



Универзитет у Нишу
Машински факултет у Нишу
Катедра за производно-информационе
технологије и менаџмент



Милан Здравковић, дипл.маш.инж

**Формални оквир за семантичку
интероперабилност у мрежама ланаца
снабдевања**

Докторска дисертација

Ниш, Јун 2012 год.

Милан М. Здравковић: Формални оквир за семантичку интероперабилност у мрежама ланца снабдевања, докторска дисертација, Универзитет у Нишу, Машински факултет, 2012

Кључне речи: Интероперабилност система, пословни информациони системи, семантичка интероперабилност, онтологија, семантички веб

Резиме: Основни циљ рада на теми докторске дисертације је развој и верификација релевантног формалног оквира за репрезентацију знања и расуђивање о ланцима снабдевања. Формални оквир се заснива на неутралној спецификацији постојећег, опште прихваћеног референтног SCOR модела за дефиницију процеса у ланцима снабдевања. Оквир карактеришу модуларне онтологије, развијене на различитим нивоима апстракције (од директне транслације SCOR модела у заједнички коришћен формализам, преко имплицитне концептуализације базе података информационог система до експлицитних доменских онтологија) и у различитим контекстима (интер-организациони процеси). У раду се доказује да се овај оквир, применом развијене методологије може користити као основа за успостављање семантичке интероперабилности система у мрежама снабдевања.



University of Niš
Faculty of Mechanical Engineering
Chair for manufacturing, information
technologies and management



Milan Zdravković, MSc Mech.Eng.

Formal framework for semantic interoperability in supply chain networks

PhD Dissertation

Submitted to Faculty of Mechanical Engineering in Niš, University of Niš for the
degree of

PhD in Mechanical Engineering

Niš, June 2012.

Milan M Zdravković: Formal framework for semantic interoperability in Supply Chain Networks, University of Niš, Faculty of Mechanical Engineering, 2012

Keywords: Systems interoperability, Enterprise Information Systems, Semantic Interoperability, Ontology, Semantic Web

Резиме: Main objective of the thesis is the development and verification of relevant formal framework for representation and reasoning of knowledge in supply networks. The framework is based on the neutral specification of existing reference SCOR model for definition of supply chain processes. It is characterized by the modular ontologies, developed on the different levels of abstraction (from the literal translation of SCOR model to a common formalism, to implicit conceptualization of the enterprise information systems and explicit domain ontologies) and different contexts (inter-organizational processes). It is demonstrated that this framework and associated methodology can be used as a basis for establishment of the semantic interoperability of systems in supply networks.

*“Само две ствари увек изнова испуњавају моју
душу све већом љубављу и страхопоштовањем:
звездано небо нада мном и морални закон у мени”*

Имануел Кант

Предговор

Нина ме је тек прошле године питала шта ја то, у ствари радим на послу. Како дечија невиност и чистоћа перцепције заслужују искреност и јасноћу, углавном сам остао без текста, после бесних неуспелих покушаја да у глави саставим могуће одговоре. Да ли је, након (мање или више успешних) трагања у позоришту, музици, маркетингу, програмирању, менаџменту и експертској политици, моја истраживачка каријера само манифестација кризе (раних) средњих година или је, заправо усклађен и усредсређен одраз толиких проживљених радости спознаје и стварања?

Посебна је, јер је делатност чији је сумња основни алат, а незнање – благослов, јер покреће и тера ка сазнању. Тешка је, јер под теретом сујете који свако носи у себи, неминовно и непогрешиво вуче у поноре медиокритета. Одговорна је, јер мање ствара, а више инспирише, јер растаче малодушност и чини да ви и сви под вашим стакленим звоном буду бољи него што мисле да јесу. Науком се не бави, она се проповеда. То сам учио од најбољих, а тако различитих.

Траја је био и остаће саветник, сарадник и пријатељ до самоуништења. На неки начин антипод стереотипу истраживача (који је сам често одраз предрасуда неукних), својом енергијом и посвећеношћу је показао (онима са широм отвореним очима) да је овај посао слатка и страсна потреба, много више него краткотрајући материјални или нематеријални исход.

Од кочоперних Француза може да се научи много о безусловној љубави, радило се о вину, женама, нацији или професији. А безусловност значи поштење. Nervé је један од оних драгоцених и ретких људи, код којих је линија која раздваја етичност и задртост готово непрепознатљива. Његова гордост се храни сумњом, најефикаснијем научном методу, непознатом таштима.

А Нина, Матија и Јелена? Они, више него ико други заслужују истините и потпуне одговоре на своја питања. Докле год се у овом послу енергија не троши већ ствара, сву ту енергију посвећујем њима.

Ниш, 12.6.2012



Садржај

Поглавље 1: Преглед докторске дисертације	4	
1	Опис проблема.....	4
2	Циљеви и садржај истраживања	5
2.1	Истраживачка питања	6
3	Методологија	7
4	Преглед резултата истраживања и садржај докторске дисертације	7
Поглавље 2: Преглед постојећег истраживања и теоријске основе	10	
1	Увод.....	10
1.1	Преглед литературе	11
2	Интероперабилност	11
2.1	Дефиниције интероперабилности	12
2.2	Научне области, релевантне за истраживање интероперабилности предузећа	13
2.3	Оквири интероперабилности	14
2.4	Техничка питања везана за интероперабилност предузећа	18
2.5	Сервиси интероперабилности.....	21
3	Онтологије	25
3.1	Дефиниције концептуализације	26
3.2	Приступу развоју онтологија (концептуализација).....	27
4	Семантичка интероперабилност	28
4.1	Дефиниција семантичке интероперабилности.....	29
4.2	Локалне онтологије	31
4.3	Значења Entity-Relationship шема.....	32
4.4	Постојећи приступи и алати за пресликавање база података и онтологија.....	33
5	Формализми за моделирање предузећа	35
5.1	Дефиниције архитектуре предузећа.....	35
5.2	Архитектуре предузећа и оквири	36
5.3	Референтни модел операција ланца снабдевања (SCOR).....	38
5.4	Онтологије предузећа.....	43
5.5	Постојећи резултати у семантичком обогаћењу SCOR модела.....	45
5.6	Формални модели колаборативних организација.....	47
Поглавље 3: Формализација операција ланца снабдевања	51	
1	Увод.....	51
1.1	Опис приступа формализацији операција ланца снабдевања	52
2	Онтологије и модели формалног оквира.....	54
2.1	SCOR-KOS OWL Модел	57
	Компетентност SCOR-KOS OWL модела	59
2.2	SCOR-Full модел.....	64
	Концепти ресурса у SCOR-Full онтологији	70
	Логичке везе SCOR-KOS OWL и SCOR-Full концепата	74
	Експликација (објашњење) SCOR-Full концепата	75

3	Семантичка интероперабилност система у ланцима снабдевања	78
3.1	Опис приступа.....	78
3.2	Предности и утицај.....	81
Поглавље 4: Имплементација формалног оквира за семантичку интероперабилност у мрежама ланца снабдевања.....		83
1	Увод.....	83
2	Семантички сервиси интероперабилности (Semantic Interoperability Service Utilities - S-ISU).....	84
2.1	Функционална анализа окружења сервиса семантичке интероперабилности (S-ISU)	85
2.2	S-ISU meta-model	88
2.3	Сервис за трансформацију.....	92
2.4	Сервис за семантичке упите	96
Поглавље 5: Студије случајева – Интероперабилност система у виртуелном предузећу за производњу кастомизованих ортопедских имплантата		101
1	Увод.....	101
2	Анализа случаја – Производња ортопедских имплантата	103
2.1	Баријере за кастомизацију	105
2.2	Инфраструктура модела.....	105
2.3	Опис производа.....	107
2.4	IT инфраструктура.....	108
2.5	Проблеми интероперабилности у производњи кастомизованих ортопедских имплантата	109
3	Конфигурација процеса ланца снабдевања у случају производње кастомизованих ортопедских имплантата.....	111
3.1	Моделирање ланца снабдевања засновано на SCOR моделу	112
3.2	SCOR-Cfg онтологија.....	114
3.3	Семантичка апликација за конфигурацију процеса ланца снабдевања	115
3.4	Расуђивање о проблемима интероперабилности процеса.....	119
3.5	S-ISU формални модел за семантичку интероперабилност система у виртуелном предузећу за производњу кастомизованих ортопедских имплантата	124
4	Екстракција знања из пословних информационих система	127
4.1	Опис случаја и мотивација.....	128
4.2	Генерисање локалне онтологије OpenERP система.....	128
4.3	Семантичке везе између концепата OpenERP и SCOR-Full онтологија	132
4.4	Извршење семантичких упита.....	134
Поглавље 6: Закључци		141
1	Утицај постојећег истраживања на област семантичке интероперабилности у мрежама ланца снабдевања.....	141
2	Језик интероперабилности: приступ формализацији операција ланца снабдевања	145

Искуства имплементације формалног оквира за семантичку интероперабилност система.....	148
3.....	148
4 Будући правци истраживања.....	153
Литература.....	156

Поглавље 1: Преглед докторске дисертације

Развој формалног оквира за семантичку интероперабилност у мрежама ланаца снабдевања

Основни циљ тезе је дефинисан као развој и верификација формалног оквира за репрезентацију и расуђивање знања у мрежама снабдевања. Оквир се заснива на неутралној спецификацији постојећег референтног SCOR модела за дефиницију процеса ланаца снабдевања. Карактеришу га модларне онтологије, развијене на вишеструким нивоима апстракције (од имплицитних формализација информационих система предузећа, до експлицитних доменских онтологија) и у различитим контекстима (интер-организациони процеси, циљеви предузећа, итд.). У тези се демонстрира да ово окружење и описана архитектура система за његову имплементацију могу да се користе као основа за успостављање семантичке интероперабилности система у мрежама ланаца снабдевања.

1 Опис проблема

Основни фактор конкурентности предузећа у савременој економији представља обим сарадње са његовим клијентима и добављачима. Ово је нарочито важно за мала и средња предузећа, чији се успех заснива на броју ланаца снабдевања у којима учествују.

Обим сарадње једног предузећа се може мерити и нивоом интеграције одговарајућих пословних информационих система (ПИС). Интеграција ПИС омогућава размену порука, аутоматизацију пословних трансакција, интегрисани увид у пословање комплетног ланца снабдевања, итд. Интегрисањем ПИС, бришу се границе конвенционалног предузећа, а главни актер ланца снабдевања се описује парадигмом тзв. проширеног предузећа.

Међутим, интеграција ПИС изазива и одређене неповољне ефекте на флексибилност предузећа. Она подразумева фиксне договоре о формату порука, технологији за реализацију интерфејса и друге врсте техничких обавеза чије остварење има високу цену и дуго траје. Зато је уобичајено да се реализацијом ових договора стварају услови за валоризацију само веома малог броја партнерстава једног предузећа.

Данас, научну дисциплину интеграције система карактерише све веће интересовање за појам интероперабилности система. За разлику од интеграције која се бави решавањем проблема формата, протокола и процеса размене информација, интероперабилност треба да омогући тачно расуђивање о значењу информација које се размењују између два система. Зато се још назива и семантичком интероперабилношћу. Основна средства за њену реализацију су онтологије, језици за репрезентацију онтолошких модела, машине за расуђивање (inference engine) и семантичке апликације.

Нарочито важну улогу у реализацији интероперабилних система имају доменске онтологије – експлицитне репрезентације одређеног доменског знања (нпр. о управљању ланца снабдевања), односно његових концепата и логичких веза. Доменска онтологија обезбеђује тачност расуђивања о значењу информација које се размењују. Зато, она мора да буде: а) изражајна (да садржи све постојеће концепте једног домена и све везе између њих), б) експлицитна (да једнозначно дефинише све постојеће концепте и везе између њих), в) неутрална (да дефинише све постојеће концепте на апсолутан начин, независно од контекста) и г) релевантна, односно прихваћена (да се око дефиниција постојећих концепата и веза између њих слаже целокупна доменска заједница).

С обзиром на то да доменска онтологија треба да омогући интероперабилност, као универзалну способност пословних система произвољних особености, очигледно је да њена релевантност представља најзначајнију карактеристику. Недовољна релевантност представља и слабост свих досадашњих напора у креирању доменске онтологије ланца снабдевања, као што су TOVE, The Enterprise Ontology, IDEON, и др. Све оне су креиране од стране мањих тимова, и то од самог почетка, при чему је њихова верификација извршена само у малом броју веома специфичних случајева.

2 Циљеви и садржај истраживања

Имајући у виду дефиницију проблема, главни циљ рада је дефинисан као:

развој и верификација релевантног формалног оквира за репрезентацију знања и расуђивање о ланцима снабдевања.

Оригиналним приступом се излази у сусрет наведеним проблемима који до сада нису решени, чиме се стварају услови за интероперабилност система у ланцима снабдевања.

Да би се постигла релевантност, онтолошки модел је развијен као неутрална спецификација постојећег, опште прихваћеног референтног модела за дефиницију процеса у ланцима снабдевања (SCOR – Supply Chain Operations Reference). Овај модел представља већ верификовани, широко распрострањени индустријски стандард и описује процесе, активности, добре праксе, системе и метрику у ланцима снабдевања. Међутим, то чини на имплицитан начин – природним језиком описује све концепте и релације процеса ланца снабдевања. Да би се очувао интегритет референтног модела, а самим тим и компатибилност резултујућег формалног оквира са постојећим системима заснованим на SCOR моделу, овај имплицитни модел је најпре представљен уз помоћ описне логике (Description Logic), односно одговарајућег језика (OWL – The Web Ontology Language). У поступку анализе и синтезе имплицитног модела, развијен је експлицитни модел операција мрежа снабдевања – микро-теорија која обухвата опште термине и везе између њих. Концепти експлицитног и имплицитног модела су повезани логичким релацијама – SWRL (The Semantic Web Rule

Language) правилима. Коначно, у поступку успостављања релација између концепата експлицитног модела и одговарајућих концепата постојећих доменских онтологија, увећана је његова изражајност.

На овај начин, развијен је интегрисани, модуларан онтолошки оквир. Његове модуле карактеришу различити нивои апстракције – од имплицитног знања о операцијама ланца снабдевања, преко прелазне микро-теорије која представља резултат његове семантичке анализе и синтезе, до доменских онтологија у којима се концепти ове микро-теорије дефинишу у различитим контекстима. Овако дефинисани оквир чини основу семантичког слоја, који равноправно могу да користе информациони системи свих предузећа која учествују у ланцу снабдевања. У овом слоју, свако од ових предузећа је репрезентовано својим операцијама, чије се имплицитне репрезентације налазе у њиховим системима. Њихова способност семантичке интероперабилности директно зависи од логичких веза које се могу успоставити између ових репрезентација и семантичког слоја мреже снабдевања, односно формалног оквира, описаног горе. Да би оне могле да се остваре, ово имплицитно знање је потребно представити тзв. локалним онтологијама.

Поред онтологија, семантички слој чине и семантичке апликације, које представљају заједнички ресурс свих предузећа у мрежи ланца снабдевања. Њихова улога је да омогуће подршку колаборативним активностима и функцијама мреже, као што су управљање процесима који прожимају више предузећа, селекцију партнера, коришћење заједничких ресурса и сл. За остварење ових улога, свака семантичка апликација се ослања на индивидуалну апликациону (или проблемску) онтологију – формалну репрезентацију појединачног проблема. У оквиру овог рада, развијене су семантичке апликације за конфигурацију ланца снабдевања и извршење семантичких упита (RDQL – RDF Query Language) над интегрисаним онтолошким оквиром, које укључује све локалне онтологије у семантичком слоју.

Последњу групу проблема којима се овај рад бави чине аспекти функционалности и техничке реализације семантичког слоја, основног елемента архитектуре семантички интероперабилних пословних информационих система у мрежи ланца снабдевања.

2.1 Истраживачка питања

Основне групе истраживачких питања, дефинисаних за потребе истраживања, представљеног у овој дисертацији су:

- Које научне дисциплине и области су релевантне за постизање дефинисаних циљева и које је стање њиховог развоја у контексту специфичних тема? Да ли се постигнути резултати у овим научним областима могу оспорити? Да ли постоје празнине у свакој од идентификованих области и тема, у контексту дефинисаних истраживачких циљева?
- Узимајући у обзир одговоре на горе постављена питања, следећа питања везана за процес формализације су постављена: Који су основни принципи за

развој формалног модела који може омогућити семантичку интероперабилност у ланцима снабдевања? Који је одговарајући метод или приступ за његов развој? Колико је такав модел подесан у односу на формални опис семантичке интероперабилности система?

- Који софтверски алати, апликације, компоненте и повезана средства треба да се развију да би било могуће експлоатисати формални оквир за семантичку интероперабилност система у ланцима снабдевања? Како ће они бити конфигурисани?
- Да ли се описани приступ може искористити за стварање реалистичних, практичних користи за колаборативно предузеће? Како?

3 Методологија

Главни резултат рада представља формални модел мрежа снабдевања, односно, одговарајућа онтолошка репрезентација знања о мрежама снабдевања.

У изради овог модела, примењује се тзв. bottom-up (од појединачног ка општем) приступ. Приступ обухвата: 1) анализу имплицитно дефинисаног знања у SCOR референтном моделу процеса, односно, индукцију релевантних пословних термина; 2) синтезу општих категорија индукованих термина; и 3) верификацију потпуности и интегритета модела знања, која се врши успостављањем логичких веза и функција између концепата резултујућег онтолошког модела и постојећих доменских онтологија и модела предузећа (нпр. TOVE, The Enterprise Ontology, CIMOSA, итд.).

Онтолошка репрезентација имплицитног модела ресурса ће се генерисати применом методе за семантичку анализу релационе базе података изабраног система за планирање пословних ресурса (ERP систем). Ова метода треба да омогући пресликавање синтаксе и структурних образаца (schema patterns) у елементе предикатске логике, искоришћењем изражајности одговарајућих језика (OWL).

Коначно, искуства из досадашњег рада и анализа тренутног стања у релевантним научним дисциплинама, треба да допринесу спецификацији одговарајуће архитектуре семантички интероперабилних пословних информационих система.

4 Преглед резултата истраживања и садржај докторске дисертације

Проблеми, описани на почетку овог поглавља се разматрају са три становишта: постојећих релевантних научних резултата, формализације и имплементације.

Прво, показано је да постојећи истраживачки резултати у идентификованим научним областима не садрже довољно доказа да се семантичка интероперабилност система (нарочито у колаборативним окружењима, као што су ланци снабдевања) може успоставити. Док се већина истраживачких радова

усредсређује на успостављање интероперабилности система (заправо, у највећем броју случајева – на успостављање интероперабилности система на одређеном нивоу), семантичка интероперабилност се мора разматрати као нова, недовољно развијена истраживачка тема. У делу 4, поглавља 2, представљен је покушај формализације концепта семантичке интероперабилности. Њега карактерише јасно разграничење између концепата семантичке и “традиционалне” интероперабилности, при чему се узимају у обзир резултати истраживања интероперабилности система, представљени у делу 2, поглавља 2 и доступни формализми за концептуализацију значења система, описани у делу 3, поглавља 2. Формална дефиниција семантичке интероперабилности система даје основу за приступ, описан у овој тези и има велики утицај на поступак развоја методологије.

Да би било могуће имплементирати и евалуирати семантичку интероперабилност, реалности предузећа се морају представити релевантним формалним моделима. У делу 5, поглавља 2, представљени су карактеристични научни резултати везани за развој различитих формализама за моделирање предузећа (архитектуре предузећа, окружења и онтологије, шеме база података). У овом делу су описани и неки већ постојећи формални модели колаборативних предузећа. Међутим, ови модели се не могу сматрати кандидатима за онтологије формалног оквира за семантичку интероперабилност у мрежама ланца снабдевања, пре свега због нерелевантности. Тако, још увек постоји снажна потреба за изражајним, експлицитним, неутралним и релевантним моделом који ће омогућити да предузећа, односно њихови информациони системи размењују информације и услуге.

Приступ развоју овог модела је описан у делу 1, поглавља 3. Приступ се заснива на следећим премисама: 1) изражајност једног модела се може постићи избором широко усвојеног и афирмисаног индустријског релевантног модела, односно његовом семантичком анализом; 2) експлицитност једног модела се може постићи пресликавањем индукованих концепата референтног модела на постојеће концепте доменских или општих онтологија; 3) неутралност се може постићи семантичким обогаћивањем, односно синтезом препознатих концепата; 4) релевантност се може постићи креирањем логичких кореспонденција између формалних дефиниција концепата предузећа и имплицитних термина референтног модела.

Као референтни модел, усвојен је Supply Chain Operations Reference (SCOR) модел и представљен у делу 5, поглавља 2. У делу 2, поглавља 3 описани су формална репрезентација имплицитног SCOR модела (SCOR-KOS OWL), резултат његове семантичке анализе (SCOR-Full) и процес пресликавања његових концепата на типичне концепте предузећа (репрезентоване концептима OWL репрезентације изабране доменске онтологије). Коначно, у делу 3, поглавља 3, показано је како се резултујуће онтологије могу искористити за постизање семантичке интероперабилности система у мрежама ланца снабдевања.

Формални поглед на семантичку интероперабилност система у колаборативним предузећима је употпуњен развијеним приступом за његову

имплементацију, односно архитектуром семантичког слоја. Приступ се заснива на савременим трендовима дефинисања тзв. сервиса интероперабилности (Interoperability Service Utilities - ISU), представљених у делу 2, поглавља 2. Предложени приступ поновно разматра неке концептуалне правце развоја ISU сервиса у контексту разлика између “традиционалне” и семантичке интероперабилности. Приступ се заснива на методологији која је коришћена за дефиницију формалног онтолошког окружења, у смислу да идентификује компоненте сервиса семантичке интероперабилности (S-ISU), њихове одређене функционалне и концептуалне карактеристике; он успоставља релације између ових компоненти и специфичних имплицитних или експлицитних формалних модела и формално их дефинише уз помоћ мета-модела, односно S-ISU онтологије. Овај мета-модел је представљен у делу 2, поглавља 4. Реализовани су и описани основни сервиси S-ISU архитектуре, односно, сервиси за трансформацију и извршење семантичких упита. Они се заснивају на претпоставци развоја тзв. локалних онтологија, на основу извора имплицитног знања о предузећима.

Коначно, у поглављу 5, приказани су неки докази изводивости предложеног решења. У две студије случаја, показано је да се формални оквир за семантичку интероперабилност у мрежама ланаца снабдевања може користити за расуђивање о конфигурацији интер-организационих процеса (део 3, поглавља 5) и за прикупљање сродних информација из хетерогених извора (део 4, поглавља 5).

Основни закључци су представљени у поглављу 6. У овом поглављу су, такође, наведени експлицитни одговори на истраживачка питања. Стечена искуства су искоришћена да се дефинишу правци истраживања и теме који могу имати велики утицај на реализацију претпостављених користи од семантичке интероперабилности система.

Поглавље 2: Преглед постојећег истраживања и теоријске основе

релевантни за развој формалног оквира за семантичку интероперабилност у мрежама ланаца снабдевања

У овом поглављу су представљене теоријске основе истраживања извршеног за потребе ове дисертације. Оне обухватају презентацију тренутног стања развоја релевантних научних области, односно, интероперабилности предузећа, концептуализације и онтологија, семантичке интероперабилности и формализама за моделирање традиционалних и колаборативних предузећа. Средиште пажње анализе литературе је усмерено ка кључним теоријским резултатима релевантних истраживања, док је дат само површан осврт на техничка достигнућа. Ови резултати су анализирани у контексту развоја формалног оквира за семантичку интероперабилност у мрежама ланаца снабдевања.

1 Увод

Општи циљ рада, приказаног у овој дисертацији је да допринесе остваривању семантичке интероперабилности система у интер-организационим окружењима. Да би се он испунио, најпре је потребно утврдити у којим научним дисциплинама, областима и темама су постигнути релевантни научно-истраживачки резултати. Ти резултати, као и уочене празнине и недостаци се разматрају у овом поглављу. Ова разматрања се сматрају теоријским основама за постизање наведеног општог циља.

Следеће истраживачке теме су изабране и сматрају се релевантним за рад, представљен у овој дисертацији:

- Интероперабилност. Иако се рад усредсређује на семантичку интероперабилност, потребно је узети у обзир принципе интероперабилности у целини. Интегрисани поглед на интероперабилност као проблем, омогућава да се рад, представљен у дисертацији позиционира и да се сагледа његов утицај на развој научне области.
- Концептуализација и онтологије. Интероперабилност је немогуће остварити без претходно успостављених договора о концептуалним моделима који откривају тацитно и имплицитно знање о предузећима. Ови договори се успостављају концептуализацијом релевантних домена дискурса, док се за њихову спецификацију користе онтологије.
- Семантичка интероперабилност. Семантичка интероперабилност је нов научни концепт. Потребно га је јасно разграничити од “конвенционалне” интероперабилности. Зато, учињен је покушај да се постојеће дефиниције семантичке интероперабилности – формализују.

- Формализми за моделирање предузећа. Практичне користи семантичке интероперабилности се могу реализовати само уколико се као формализми користе широко прихваћени модели предузећа. Да ли у литератури и пракси постоје добри кандидати за формалне моделе предузећа? Шта недостаје? Ово су истраживачка питања која заслужују велику пажњу да би се одредио практични потенцијал остваривости семантичке интероперабилности система.

1.1 Преглед литературе

У синтези релевантних истраживања, коришћени су следећи извори информација: радови, позициони радови, радови из часописа, технички извештаји различитих радних група, организација, асоцијација и пројеката, као и различити веб сајтови. На основу анализе цитираности, рад одређених аутора је посебно узет у обзир код појединачних научних дисциплина.

На пример, као теоријска основа за интероперабилност и архитектуре предузећа, углавном је коришћен рад David Chen-а и Interop Network of Excellence мреже, а потом и резултати EU пројеката, као што су IDEAS, ATHENA и COIN. У области концептуализације и онтологија, најутицајнијим радовима се сматрају радови Nicola Guarino, Martin-а Herp и Michael-а Grüniger.

У дисертацији је наведено укупно 172 цитата на различите изворе. 66 цитата се односи на радове који су објављени у 26 значајних међународних часописа, као што су Computers in Industry, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Journal of Intelligent Manufacturing, Lecture Notes in Computer Science, Information Systems, Enterprise Information Systems и други. 24 цитата указује на различите извештаје, спецификације референтних модела и беле књиге. 20 цитата указује на радове објављене на међународним конференцијама, симпозијумима и радионицама. Коначно, 22 књиге су цитиране.

2 Интероперабилност

Упркос континуираном развоју стандардних ИСТ и организационих инфраструктура, предузећа ће дефинитивно и у догледној будућности карактерисати мешовита и разнолика ИСТ окружења. Прво, велики број предузећа има веома специфичне захтеве, којима се не може изаћи у сусрет применог “стандардних” хардверских и софтверских система. Друго, прелазак на нове платформе треба да буде постепен због (понекад, критичних) промена које овај прелазак имплицира као и због потреба предузећа да максимално искористе постојеће инвестиције. Темистокле и други (Themistocleous et al, 2001) су утврдили да 38% предузећа, приликом имплементације новог ERP система не ставља ван снаге постојеће системе. Такође, утврђено је да, у истом случају 58% предузећа није успело да интегрише нове са постојећим системима. Спрот (Spratt, 2000) је навео да разлог за ове проблеме треба тражити у

“разликама у значењима и пословним правилима које изазивају разнолике апликације које нису развијене са основном сврхом да размењују информације”.

Упркос смањењу оперативних трошкова и сложености, тешко је веровати да ће предузећа бити способна да достигну идеал потпуно хомогених система. Зато, интероперабилност постаје изузетно важан захтев приликом пројектовања архитектуре информационог система. Генерално, она се сматра способношћу два система да разумеју један други и да узајамно стављају на располагање укупну своју функционалност (Chen et al, 2008).

2.1 Дефиниције интероперабилности

Стандард ISO/IEC 2382 дефинише интероперабилност као “способност узајамне комуникације, извршења програма или трансфера података између различитих функционалних јединица, тако да њиховим корисницима није потребно темељно познавање јединствених карактеристика сваке од тих јединица”.

У ширем смислу, IEEE (IEEE, 1990) дефинише интероперабилност као “способност два или више система или компоненти система да користе информације које су разменили”. У овом случају, интероперабилност се не сматра само карактеристиком ICT система, већ такође узима у обзир и пословне процесе и организациони контекст предузећа. Дакле, интероперација се сматра потпуном само уколико су сви нивои и перспективе предузећа узети у обзир. Зато, разматрање интероперабилности треба да узме у обзир и разноликост, хетерогеност и аутономију софтверских компоненти, апликативних решења, пословних процеса и организационог контекста једног предузећа.

Из перспективе система, интероперабилност се односи на способност хетерогених, аутономних пословних информационих система да врше интеракције (размену информација и услуга) (Chen и Vernadat, 2004). У овом случају, два система заједно функционишу и један другом дозвољавају приступ ресурсима на реципрочан начин. Интероперабилност је везана за приступ сједињења (federated approach), који имплицира да се системи у току рада морају прилагодити да би били интероперабилни. Односно, не смеју да постоје било какви предуслови интероперабилности два система.

Интероперабилност се може разматрати и евалуирати на различитим нивоима, као што су: информације/подаци, услуге, процеси, системи, модели, предузећа и заједнице. Сваки од ових нивоа карактеришу различити изазови. На пример, недостатак значења (семантике) у форматима података је главни проблем за интероперабилност информација; типично статичка дефиниција сервиса је велики проблем за њихову узајамну интероперабилност; недостатак кореспонденција између стандардних и имплементираних модела и реалности предузећа је кључни изазов за интероперабилност модела предузећа. Иако се сваки од ових изазова може везати за одређени ниво интероперабилности, њима се не сме изаћи у сусрет у изолацији. Наиме, у пословним информационим системима се складишти имплицитно знање о предузећу; функционалност система се експонира путем сервиса, који се потом користе за размену информација у оквиру интра- или интер-организационих пословних процеса. Дакле, само холистички приступ интероперабилност предузећа може да

произведе знање и средства, који су потребни да би се она у пуној мери применила у пракси.

2.2 Научне области, релевантне за истраживање интероперабилности предузећа

Истраживање интероперабилности предузећа подразумева разматрање различитих научних тема, које се налазе на различитим нивоима развоја. На пример, карактеристичне области развоја архитектура интероперабилности, према резултатима InterOP мреже изврности, су¹:

- Архитектуре интероперабилности;
- Развој заснован на моделима (Model Driven Development), као мост ка областима моделирања предузећа и онтологијама;
- Рачунарство оријентисано на сервисе (проширење области веб сервиса);
- Рачунарство оријентисано на компоненте (Component-oriented computing) и рачунарство засновано на порукама (message-based computing), као имплементациона основа за рачунарство оријентисано на сервисе (Service-Oriented Computing);
- Рачунарство оријентисано на агенте (Agent-oriented Computing);
- Управљање пословним процесима и радним токовима; и
- Нефункционални аспекти система, везани за интероперабилност, као што су безбедност, поверење, квалитет сервиса, итд.

Актуелне теме истраживања у техникама и технологијама за моделирање предузећа, у вези са интероперабилношћу предузећа, дефинисане од стране ATHENA пројекта су²: оквири за архитектуру предузећа; индустријске иницијативе и стандардизација; и језици за моделирање предузећа.

У последње време, разматрају се нове парадигме, везане за концепт тзв. Будућег Интернета (Future Internet). Будући Интернет је концепт који обухвата истраживачке активности које се широм света одвијају са циљем даљег развоја интернета и званично је прихваћен од стране NSF³ и ЕС⁴. У вези са тренутним стањем истраживања Будућег Интернета, још увек је рано да се оствари технички консензус или предвиди могући учинак, везан за стандардизацију. Зато, овај термин би требало да се користи са великим опрезом, и то не као специфична технологија, већ као апстрактна референца на све научно-истраживачке активности у овом смеру⁵.

¹ Interop Network of Excellence - Contract no.: IST-508 011, Deliverable D9.1, "State-of-the art for Interoperability architecture approaches"

² ATHENA project, Contract No.507849, DA1.1.1, "State of the Art in Enterprise Modelling Techniques and Technologies to Support Enterprise Interoperability"

³ <http://www.geni.net/>

⁴ <http://cordis.europa.eu/fp7/ict/fire>

⁵ http://en.wikipedia.org/wiki/Future_Internet

Интернет Сервиса (Internet of Services) и Интернет Ствари (Internet of Things) се сматрају кључним исходима развоја Будућег Интернета. Такође, концепт пословних система будућег интернета (Future Internet Enterprise Systems - FInES) се развија са циљем да се омогући предузећима да у потпуности искористе развој Будућег Интернета. Интероперабилност се сматра једним од главних погона развоја ових парадигми.

Интернет услуга је део визије будућег интернета који подразумева да је све што је потребно за имплементацију софтверских решења доступно као сервис на интернету, укључујући сам софтвер, алате за његов развој, као и платформе (сервери, комуникациона и складишна инфраструктура) за његово извршавање. Cloud рачунарство (cloud computing) представља релативно нови модел интернет рачунарства који подразумева да су сервери, простор за складиштење, мрежна инфраструктура и информације доступни према захтевима. Главне предности интернета услуга су мале потребне инвестиције за развој и могућност вишеструко коришћења сервиса, својих и туђих (јавних). Тако, ризик који се уобичајено приписује имплементацији нових пословних идеја се смањује, што може утицати на повећање степена иновација у овој области.

Интернет ствари (Internet of Things) (Ashton, 2009) се дефинише⁶ као динамична, глобална мрежна инфраструктура са могућношћу само-конфигурисања, заснована на стандардним и интероперабилним комуникационим протоколима. У Интернету ствари, физичке и виртуелне “ствари” имају идентитете, физичке и виртуелне атрибуте и користе интелигентне интерфејсе. У Интернету ствари, од “ствари” се очекује да постану активни учесници у пословним, информационим и социјалним процесима у оквиру којих они могу да врше интеракције и комуницирају међусобно и са окружењем. Притом, они размењују информације које добијају од окружења, а реагују аутономно на догађаје тако што иницирају акције и креирају нове сервисе, са или без директне људске интервенције. Интерфејси у облику сервиса омогућавају интеракције са овим “стварима”, они могу да измене њихово стање или било коју информацију коју они чувају, узимајући у обзир принципе приватности и безбедности.

2.3 Оквири интероперабилности

Основна сврха оквира интероперабилности је да обезбеде механизам за организацију, тако да се концепти, проблеми и знање о интероперабилности предузећа могу репрезентовати на структурирани начин (Chen et al, 2008). Уобичајено, овај механизам подразумева више перспектива на проблем интероперабилности, као што су концептуална, организациона и техничка. Потом, ове перспективе се користе за анализу интероперабилности различитих пословних ентитета, као што су предузеће, процес, систем, функција, информације, итд.

⁶ "Internet of Things Strategic Research Roadmap". CERP-IoT. Retrieved 2011-04-28.

У овој дисертацији, приказани су следећи оквири: LISI, IDEAS, ATHENA и INTEROP NoE. Њихов кратак опис је приложен у наставку ове дела.

LISI⁷ (Levels of Information Systems Interoperability) представља модел зрелости и процес, развијен од стране Америчког министарства одбране, за утврђивање заједничких потреба за интероперабилношћу, за процену система који треба да задовоље ове захтеве и за избор и имплементацију решења који треба да омогуће повећање нивоа интероперабилности. LISI референтни модел (види слику 1) се користи за анализу нивоа зрелости интероперабилности, тако што омогућава процену способности система да интероперишу, у контексту атрибута који омогућавају интероперабилност: процедура, апликација, инфраструктура (Хардвер, комуникације, безбедности и системске услуге) и података.

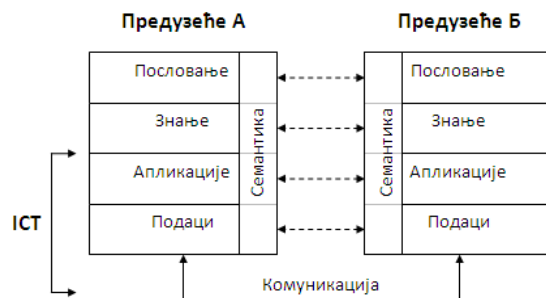
Природа интеракције информација	Одговарајући ниво интероперабилности	Атрибути интероперабилности				
		Процедуре	Апликације	Инфраструктура	Подаци	
Интерактивна манипулација дук граница домена	Интероперабилност предузећа	4	На нивоу предузећа	Интерактивне	Топологије	Модели предузећа
Дељене апликације и базе података	Интероперабилност домена	3	На нивоу домена	Колаборативне	Мреже	Модел домена
Дељење сложенијих структура података	Функционална интероперабилност	2	На нивоу програма	Аутоматизација десктоп апликација	Локалне мреже	Модел програма
Једноставна размена електронских формата података	Повезана предузећа	1	Локално	Стандардни системи	Једноставне везе	Локални
Ручна размена података	Иzolована предузећа	0	Контрола приступа	Није примењиво	Независне	Приватни

Слика 1. LISI референтни модел

IDEAS оквир интероперабилности⁸ је развијен као део активности IDEAS пројекта – прве иницијативе за истраживање интероперабилности у Европи, спроведене у оквиру FP5 оквира. Он дефинише способности везане за интероперабилност на различитим нивоима, и структурира их у нивоима модела предузећа (организациона питања, укључујући ниво пословања и знања) и системске архитектуре (ICT питања, укључујући нивое апликација, података и комуникације). Холистички поглед на проблем интероперабилности се остварује применом семантичких модела којима се успостављају кореспонденције између различитих модела на различитим нивоима. IDEAS оквир разматра интероперабилност на три нивоа детаља. Прво, сви проблеми интероперабилности су класификовани на организационе (enterprise model) и системске (ICT) (види слику 2).

⁷ C4ISR, Architecture Working Group (AWG), Levels of Information Systems Interoperability (LISI), March 30, 1998

⁸ IDEAS, 2002, Thematic Network, IDEAS: Interoperability Development for Enterprise Application and Software—Roadmaps, Annex 1—DoW, May 13, 2002



Слика 2. Нивои интероперабилности IDEAS оквира

Организациони проблеми се разматрају на нивоима пословања и знања. Интероперабилност на нивоу пословања се сматра организационом и операционом способношћу предузећа да сарађује са другим предузећима. Овај ниво укључује моделе процеса, пословања и модел за доношење одлука. Модел за доношење одлука дефинише које и какве одлуке је могуће донети, као и ниво одговорности сваке оперативне јединице, улоге и позиције. Модел пословања представља опис релација између предузећа и начина на који оно нуди своје производе и услуге на тржишту. Модел процеса дефинише скуп активности у оквиру којих се ствара вредност. Интероперабилност на нивоу знања се дефинише као компатибилност вештина, компетенција и знања једног предузећа са онима других предузећа. Ниво знања укључује моделе за дефинисање улога, вештина и компетенција и знања (процедуре, норме, правила и референце).

Интероперабилност на системском (ICT) нивоу се сматра способношћу ICT система једног предузећа да сарађују са системима других предузећа. У контексту архитектуре система, интероперабилност се разматра на нивоима апликација, података и комуникација. Апликациони ниво укључује моделе за управљање решењима (алати и процедуре потребне за администрацију пословног система), интеракцију радних места (интеракцију на нивоу корисника и система), апликациону логику (обраде које систем врши да би дошао до неког резултата) и процесну логику (редослед извршавања апликација). Ниво података описује који подаци су потребни, а које ствара систем, коришћењем модела података о производу, процесима и знању.

IDEAS оквир подразумева да је интероперабилност значајна, само уколико се интеракције врше на три различита нивоа: података, услуга и процеса, са значењима, дефинисаним у задатом контексту⁹.

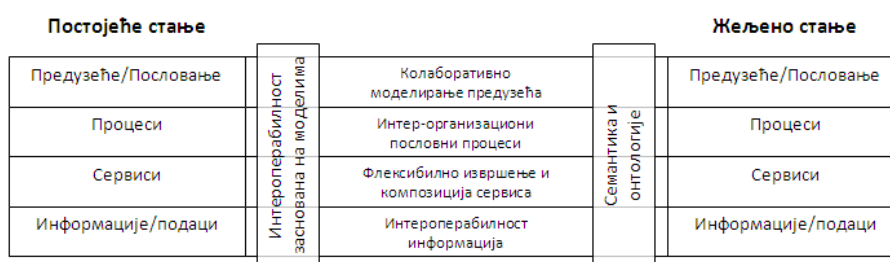
Док се IDEAS концентрише на структурирање проблема интероперабилности, ATHENA оквир интероперабилности (Berre et al, 2007) (AIF) има за циљ да понуди решења за ове проблеме. Заједничка карактеристика ATHENA решења је њихова заснованост на моделима. Решења се усредсређују на моделирање

⁹ IDEAS, IDEAS Project Deliverables (WP1-WP7), Public Reports, 2003

интеракција и размене информација које се одвијају на нивоу пословања и на техничком нивоу. AIF је структуриран на делове:

- концептуалне интеграције, која обезбеђује основу за моделирање различитих аспеката интероперабилности,
- апликационе интеграције, која обезбеђује смернице и принципе за решавање проблема интероперабилности, и
- техничке интеграције, која обезбеђује ICT алате и платформе.

ATHENA оквир интероперабилности усваја холистичку перспективу на интероперабилност тако што успоставља везе између три истраживачке области релевантне за интероперабилност пословних информационих система. Ове области су: 1) моделирање предузећа (уз помоћ којег се дефинишу захтеви интероперабилности), 2) архитектуре и платформе (које обезбеђују имплементациони оквир), и 3) онтологија, уз помоћ које се врши дефиниција значења интероперабилности и релевантних термина. ATHENA идентификује нивое на којима долази до интероперабилности: предузеће/пословање, процес, сервис и информација/податак (види слику 3). Потом, за сваки од ових нивоа, дефинише се приступ интероперабилности заснован на моделима, при чему се мета модели користе за формализацију и размену постојећих и потребних артефаката.



Слика 3. AIF концептуални оквир

Апликациона интеграција ATHENA оквира се заснива на Enterprise Unified Process¹⁰ (EUP) методологији за моделирање животног века софтвера. Дефинисана је ATHENA методологија интероперабилности (AIM) за управљање животним веком пројекта интероперабилности и она укључује активности моделирања пословне сарадње, анализе зрелости интероперабилности, мапирање и пројектовање решења, имплементацију, тестирање, процену и управљање пројектом. Технички оквир AIF описује интегрисану архитектуру која треба да помогне колаборативним предузећима. Архитектура се усредсређује на скуп алата и инфраструктурних сервиса којима се подржава колаборативни развој и пројектовање производа, интер-

¹⁰ EUP, "Enterprise Unified Process (EUP) Home Page", Enterprise Unified Process, 2006. <http://www.enterpriseunifiedprocess.com/>

организациони пословни процеси, композиција и извршење сервиса и интероперабилност информација.

Оквир интероперабилности предузећа (Enterprise Interoperability Framework - EIF) (Chen and Daclin, 2006), развијен у оквиру рада INTEROP мреже изврсности се заснива на идентификовању баријера интероперабилности, са циљем да дефинише домен интероперабилности предузећа и идентификује и структурира његово знање (решења).

Идентификоване баријере се класификују на синтаксне и семантичке разлике измеђених информација (концептуалне баријере), некомпатибилност информационих технологија (техничке) и некомпатибилност организационих структура (организационе). Потом, баријере се могу разматрати у контексту појединачних нивоа интероперабилности, дефинисаних од стране ATHENA оквира: нивоа пословања, процеса, сервиса и података, са циљем дефинисања решења. Ове две димензије дефинишу домен интероперабилности предузећа (види слику 4).



Слика 4. Дефинисање домена и структурирање знања коришћењем EIF оквира

Дводимензионалном оквиру је додата и трећа димензија (приступи интероперабилности). Она омогућава категоризацију знања и решења у контексту начина на које се баријере интероперабилности уклањају.

Поред области пословања и производње, иницијативе везане за интероперабилност се спроводе и у другим областима, као што су електронско пословање, e-health, e-government и друге. Неке од тих иницијатива су E-Health Interoperability Framework¹¹, The European Interoperability Framework¹² и друге.

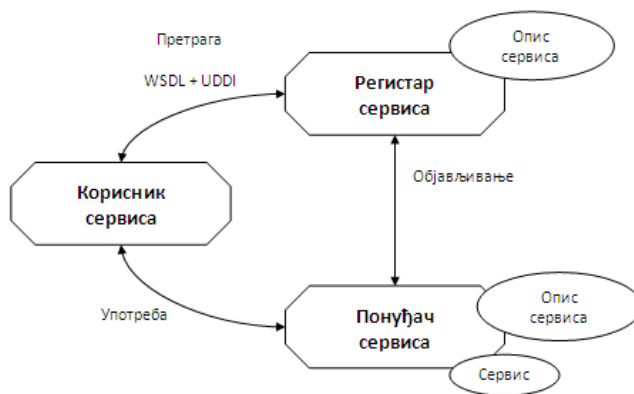
2.4 Техничка питања везана за интероперабилност предузећа

Сервисно оријентисана архитектура (SOA) представља концепт организације и коришћења дистрибуираних способности, које могу бити у различитом власништву. Очекивана корист SOA проистиче из чињенице да она омогућава да се на бази дефинисаних потреба открију способности које се могу комбиновати са циљем задовољења потреба. У оквиру SOA, ове потребе и способности постоје независно, а сервиси представљају концепте који их

¹¹ NENTA, Towards an Interoperability Framework, Version 1.8, August 21, 2005

¹² EIF, European Interoperability Framework, White Paper, Brussels, February 18, 2004

уједињују¹³. Основни технички елементи SOA су обухваћени технологијом веб сервиса.



Слика 5. Сервисно оријентисана архитектура

SOA представља облик организације интегрисаног апликативног окружења једног предузећа, који карактерише коришћење дистрибуираних функција, које се имплементирају путем сервиса. Она омогућава концепт униформних алата за експонирање, откривање, интеракцију и коришћење индивидуалних пословних функција у контексту задовољења дефинисаних циљева.

Развој интернета, електронског пословања (B2B), као и одговарајућих протокола и стандарда, пре свих XML (eXtensible Markup Language) језика, мотивисали су развој техничких решења за експонирање пословних функција у ширем контексту, чак и јавно. Данас, основни алат за колаборацију система два предузећа, односно интеграцију њихових интерних пословних функција су веб сервиси – основни елементи SOA инфраструктуре. Главни стандарди за реализацију веб сервиса су: WSDL¹⁴ (Web Services Description Language), који се користи за дефиницију структуре сервиса, односно њиховог „уговора“; и UDDI (Universal Description Discovery and Integration), који дефинише методе, принципе и смернице за управљање регистром сервиса. BPEL¹⁵ (Business Process Execution Language) језик за моделирање процеса је алат за оркестрацију веб сервиса. Он омогућава управљање пословним процесима (BPM) – област ICT која се бави дефиницијом, симулацијом, извршењем, оптимизацијом, евалуацијом и контролом пословних процеса.

Док се SOA сматра приступом који ће омогућити експонирање функција система предузећа, ATHENA пројекат и INTEROP NoE сугеришу да су

¹³ OASIS SOA Reference Model,

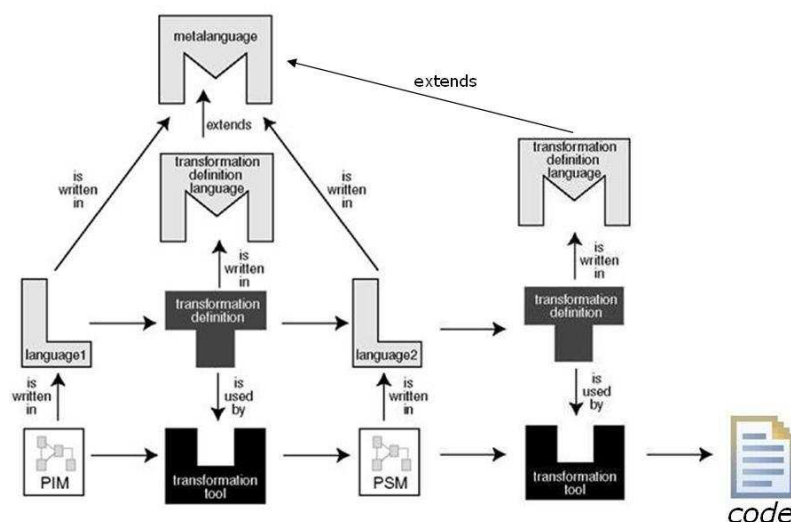
<http://www.oasis-open.org/committees/download.php/18486/pr-2changes.pdf>

¹⁴ W3C (The World Wide Web Consortium), 2003, Web Services Description Language (WSDL) 1.1, <http://www.w3.org/TR/wsdl>

¹⁵ BEA, IBM, Microsoft, SAP AG, Siebel Systems, 2003, Business Process Execution Language for Web Services Version 1.1

архитектуре засноване на моделима (Model-Driven Architecture - MDA) кандидати за технолошки избор у области пројектовања и развоја архитектуре интероперабилних система.

MDA представља приступ развоју софтверу, предложен од стране Object Management Group (OMG), 2001-е године, који користи различите моделе софтверских захтева ради подршке његовом развоју (Model-Driven Engineering, MDE). MDA дефинише системске захтеве коришћењем модела, независних од платформе (Platform-Independent Model - PIM), формализованих применом доменских језика (Domain-Specific Language - DSL). Потом, PIM се трансформише у један или више платформских модела (Platform-Specific Model - PSM) модела, које рачунари могу извршити (види слику 6).



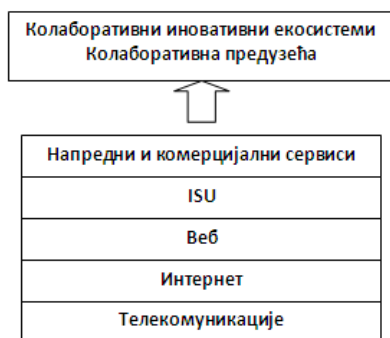
Слика 6. MDA Оквир

Очекује се да ће MDA еволуирати тако да омогући задовољење захтева моделирања предузећа и интероперабилност. Неки кораци у овом правцу су већ учињени (Chen et al, 2008) од стране ATHENA пројекта и INTEROP мреже изврсности.

У скорије време, истраживачка заједница је покренула системски приступ (Li et al, 2006) ка комодизацији функционалности интероперабилности предузећа. Приступ се заснива на премиси да се функције интероперабилности испоручују као услуге, у облику тзв. сервиса интероперабилности (Interoperability Service Utilities - ISU). Основна визија приступа је да интероперабилност предузећа постане део основне ИТ понуде на тржишту, и тако постане фундаментално добро које сва предузећа могу да користе.

2.5 Сервиси интероперабилности

Појам сервиса интероперабилности (Li et al, 2006) се користи да дефинише систем који обезбеђује интероперабилност предузећа у облику услуге. Овај систем се састоји од скупа сервиса за омогућавање основне интероперабилности у једном предузећу, независно од његовог ИТ окружења. Термин услуге се користи да имплицира да би предузећа требала да очекују приступачно ИТ средство и инфраструктуру, као основно средство за рад информатичког окружења, као што су струја или вода. Предвиђено је да ISU представља транспарентну, прошириву, отворену инфраструктуру (систем), која је развијена над парадигмом коришћења софтвера као услуге (Software-as-a-Service - SaaS). Она треба да користи отворене стандарде, да буде доступна било коме и свима. Она треба да имплементира способности које су: доступне по малој цени, приступачне у принципу свим предузећима (универзални приступ), гарантоване до неке мере и до неког нивоа у складу са скупом заједничких правила, и слободне, односно нису контролисане или их не поседује једно правно лице. Предвиђено је да ISU буде основна инфраструктура која подржава размену информација између различитих извора знања, софтверских апликација и веб сервиса.



Слика 7. Концептуални опис ISU.

Она ће користити нову генерацију веб технологија и омогућити колаборацију засновану на знању. Концептуално, ISU треба да представља нови слој отвореног сајбер простора, као што је илустровано на слици 7.

Имплементација ISU подразумева неколико принципа, од којих је најважнији – функционална децентрализација. Овај принцип имплицира peer-to-peer комуникацију и интелигентне завршетке (end-points). Ово задње је предложено као одговор на претпоставку да прецизна локација сервиса и средства за приступ неће бити предефинисани, односно унапред познати кориснику тих сервиса. Друго, ISU мора да користи отворене стандарде, а спецификација њене архитектуре ће се засновати на модуларним софтверским блоковима, при чему ће се избегавати хијерархијско раслојавање. Треће, архитектура мора да буде транспарентна, да би се омогућио развој нових способности. Четврто, окружење

и услови под којима се одвијају размене порука између сервиса морају да буду јасно дефинисани, предвидиви и униформни. Пето, кључна карактеристика ISU архитектуре је проширивост. Ово се односи на поуздану пропагацију информација кроз више система до све већег броја завршетака али и на сарадњу са другим системима.

ISU има за циљ да обезбеди и гарантује предузећима приступачну инфраструктуру за интероперабилност. Ова инфраструктура садржи сервисе, као што су: основна размена информација на интернету, транспарентно семантичко усклађивање, управљање квалитетом услуге, итд. Неки од потенцијалних ISU сервиса су:

- Сервиси који омогућавају дељење информација у реалном времену и колаборацију између предузећа у расуђивању, претраживању, откривању, композицији и аутоматској испоруци значења;
- Сервиси који користе савремене веб технологије за обезбеђење нове генерације апликација заснованих на информацијама, које се могу по потреби створити, само-декларисати, само-документовати, само-интегрисати, само-оптимизовати, само-адаптирати и само-поправити;
- Сервиси који подржавају стварање, управљање и аквизицију знања, ради омогућавања дељења тог знања међу виртуелним организацијама;
- Сервиси који могу да повежу острва интероперабилности пружањем типичних инфраструктурних способности везаних за електронско пословање, као што су управљање дигиталним потписима, сертификација, управљање идентитетом, спецификације интерфејса и шаблона, итд.
- Сервиси који подржавају следећу генерацију услуга електронског пословања, као што су верификација параметара приступа, управљање репутацијом, анализа способности електронског пословања, и др.

Иако је концепт сервиса интероперабилности дефинисан још 2006-те године, анализа литературе показује да постоји само неколико покушаја њихове имплементације.

У овој дисертацији, четири независна истраживања су кратко приказана. Она указују на тренутно разумевање ISU концепата од стране истраживачке заједнице и дефинишу прве случајеве и доказе о њиховој примењивости. Ова истраживања су везана за рад на: 1) развоју ISU платформе за управљање ланцима снабдевања у ауто-индустрији; 2) развоју iSURF ISU за семантичко усклађивање докумената о планирању; 3) развоју ISU платформе за мала и средња предузећа, засноване на серверу електронске поште; и 4) коришћењу ISU парадигме за дефинисање сервиса на основу ATHENA оквира интероперабилности. Са изузетком првог рада, сви остали су спроведени као део активности на FP7 пројектима, финансираних од стране Европске комисије: iSURF, COMMIUS и COIN.

Занг и други (Zhang et al, 2008) су развили ISU платформу за управљање ланцима снабдевања у ауто-индустрији. У овој платформи, интероперабилност се сматра способношћу која се остварује коришћењем дистрибуиране услуге. Притом, ова способност се испоручује корисницима у форми софтвера као

услуге (SaaS). Занг и други су дефинисали ISU сервисе и предложили интерактивно окружење које се користи ради успостављавања интероперабилности између Supply Business Management (SBM) и Advanced Planning and Optimization (APO) система. Од SBM сервиса се очекује да асистира предузећима у питањима везаним за добављаче, као што су управљање залихама и исплатама, испорука рачуна, итд. Са APO сервисима, предузећа могу да оптимизују своје ланце снабдевања, ради смањења трошкова, повећају маргине, смање залихе и повећају капацитет производње. APO омогућава одлучивање о томе када се издају налози, у ком редоследу и које машине треба ангажовати да би се производња завршила до предвиђеног рока. У реалности, огромна већина малих и средњих предузећа не може себи да приушти скупе информационе системе које имају уграђене SBM и APO функције. Зато, циљ ISU платформе је да омогући њихово учешће у колаборативним процесима управљања ланцима снабдевања, коришћењем ових функција као сервиса у реалном времену.

Главна функција iSURF ISU (Dogac et al, 2008) је да обезбеди семантичку медијацију докумената планирања у предузећима која користе OASIS (Organization for Advancing open Standards for the Information Society) UBL документе.

Универзални пословни језик (Universal Business Language - UBL) је окружење које чине библиотеке стандардних електронских XML пословних докумената, као што су налози за набавку и рачуни, и методи за њихово прилагођавање. Да би омогућио семантичку интероперабилност и медијацију, iSURF ISU користи способност превођења UBL докумената (Yarimagan and Dogac, 2009) једног предузећа у документе другог предузећа. Притом се претпоставља да постоји интеграција пословних информационих система са окружењем за колаборативно планирање, при чему су застареле (legacy) апликације репрезентоване семантички анотираним веб сервисима. Да би се избегли проблеми загушења централизованих архитектура, iSURF ISU је пројектован тако да омогући семантичку медијацију на дистрибуирани начин. Наиме, сви задаци се дистрибуирају кроз окружење више различитих сервера ради смањења оптерећења. iSURF ISU платформа је проширена (Kabak et al, 2009) тако да обезбеди сервисе интероперабилности за све документе који се базирају на CCTS (UN/CEFACT Core Components Technical Specification) стандардима.

CCTS стандарди нуде методологију за идентификовање скупа вишеструко корисних блокова, названих основним компонентама (Core Components) за стварање електронских докумената, као што су UBL, GS1 XML или OAGIS. Универзални пословни језик је био прва имплементација CCTS методологије у XML формату. Стандарди документације, засновани на CCTS нису интероперабилни (пошто на различити начин тумаче и имплементирају CCTS методологију) па су и даље неопходни експерти који треба да уоче и афирмишу кореспонденције између артефаката докумената. Зато, значења CCTS су дефинисана онтолошки, коришћењем формалног језика – OWL језика. Ова онтологија се сматра општом онтологијом. Развијене су и друге опште онтологије на бази осталих стандарда - GS1 XML, OAGIS и UBL (стандард изведених из CCTS). Потом, на основу општих онтологија, развијене су

онтологије шеме докумената, за различите шеме. Коначно, из оваквог онтолошког оквира, могу се расудити везе између различитих артефаката различитих стандарда. У скорије време, платформа је унапређена да подржи CPFR (Collaborative Planning, Forecasting, and Replenishment¹⁶) смернице (Kabak et al, 2009) и тако, да омогући семантичко усклађивање докумената који се заснивају на CPFR и другим подржаним форматима.

Главна мотивација за развој ISU (Truong et al, 2009) сервиса заснованих на систему електронске поште је чињеница да мала и средња предузећа не могу да приуште сложјену ИТ инфраструктуру за управљање комплексном мрежом клијената и добављача, или да уложе значајно време у савладавање сложјених решења за интероперабилност система. Њима требају једноставна, скоро бесплатна решења. Зато је ради пружања услуга интероперабилности изабран систем електронске поште, који се користи практично свуда. Архитектура Compius решења је развијена као отворен, сигуран и прилагодљив систем, који омогућава аутоматско извршење задатака, као што су захтев за документом, једноставан одговор на захтеве, издавање налога добављачима, итд.

Претходно описана три рада су пре свега оријентисана на развој веома конкретних решења. Отуд, код њих је примењена bottom-up парадигма развоја, у смислу да се ради о веома специфичним решењима која су развијена а тек потом теоријски (или и практично) усклађена са парадигмом сервиса интероперабилности.

Рад Елвесетера и других (Elvesæter et al, 2008) се сматра top-down приступом. Они су идентификовали сервисе интероперабилности, на основу ATHENA оквира за интероперабилност и дефинисали функционалне захтеве за архитектуру којом ће се ти сервиси реализовати.

Њихов приступ користи димензије ATHENA оквира да класификује сервисе интероперабилности у:

1. Интероперабилност засновану на моделима
 - Предвиђен је сервис за трансформацију модела, заснован на MDA технологији, који ће обезбедити функције складиштења, претраживања и извршења model-to-model и model-to-text трансформација са циљем да превазиђе некомпатибилности између различитих формализама за моделирање.
2. Интероперабилност пословних модела
 - Предвиђени су сервис за размену пословних модела, који се заснива на POP* мета моделу – флексибилном посредујућем језику који омогућава размену модела између различитих алата за моделирање предузећа, и
 - Сервис за анализу зрелости интероперабилности предузећа за побољшање нивоа интероперабилности
3. Интероперабилност пословних процеса
 - Предвиђени су сервис за моделирање интер-организационих пословних процеса,

¹⁶ “VICS, CPFR-An Overview”, 2004

- Сервис за семантичко моделирање пословних процеса који омогућава семантичку анотацију постојећих пословних процеса и
 - Сервис за семантичко управљање животним веком имплементираних пословних процеса, независно од платформи у којима се процеси извршавају.
4. Интероперабилност сервиса (WSMX),
 5. Интероперабилност везана за семантичко усклађивање
 - Предвиђени су: Сервис за семантичку анотацију,
 - Сервис за семантичко посредовање и усклађивање и
 - Сервис за анализу семантичких веза.
 6. Интероперабилност података и информација
 - Предвиђени су трансакциони сервис за интероперабилност података који се стара о размени информација између два конкретна актера и
 - Сервис за интероперабилност велике количине података.

3 Онтологије

У истраживачкој заједници постоји консензус да је за интероперабилност система неопходно користити онтологије. Чак штавише, постоје мишљења да су основни услови за интероперабилност слабо повезаних система: 1) максимизација нивоа формално дефинисаног значења (семантике); и 2) репрезентација овог значења на што експлицитнији начин (Obrst, 2003).

Онтологије се сматрају логичким теоријама за формалну, експлицитну, парцијалну спецификацију концептуализације. Термин онтологије потиче из домена филозофије. Ангелес (Angeles, 1981) је дефинисао онтологију као “грану филозофије која се бави редом и структуром реалности у најширем могућем смислу”. Бејтмен (Bateman, 1995) тврди да “се изучавање онтологије заснива на успеху у откривању карактеристика реалног света без којих он не би могао да постоји”. Гуарино (Guarino, 1995) је конкретнији и он дефинише онтологију (у домену филозофије) као “изучавање организације и природе света, независно од нашег знања о том свету”. Овом дефиницијом се онтологија дистанцира од епистемологије и тако се сугерише њихова међусобна независност.

У рачунарству, онтологија се сматра (Guarino and Giarretta, 1995) (парцијалном) спецификацијом семантичке структуре која се дефинише у оквиру процеса концептуализације. Она представља логичку теорију која експлицитно изражава концептуализацију коришћењем одређеног језика. У овом контексту, онтологија је спецификација која се користи за преузимање онтолошких обавеза. Практично, онтолошка обавеза представља договор коришћења одређеног речника (нпр. у постављању упита или задавању исказа), тако да је он конзистентан (не нужно и потпун) у односу на теорију дефинисану од стране онтологије. Док је концептуализација независна од језика, онтологија то није. У овом смислу, онтологија је важна за омогућавање дељења и вишеструког коришћења знања.

Најчешће коришћена синтакса за репрезентацију онтологија данас је OWL¹⁷ (OWL 2 Web Ontology Language). OWL представља фамилију језика за репрезентацију знања која се користи за развој онтологија. Језике карактерише формално значење и серијализација, заснована на RDF/XML форматима. OWL је прихваћен од стране World Wide Web (W3C) конзорцијума као стандард и до сада је привукао огромну академску и комерцијалну пажњу.

3.1 Дефиниције концептуализације

Концептуализација представља процес доношења одлука (Guarino, 1998), или перспективу на реалност, у оквиру које се знање о проучаваној области реалности, типично доступно у имплицитном и комплексном облику, реорганизује и генерализује, са одређеном сврхом. Конкретније, концептуализација се може дефинисати као интензионална семантичка структура која кодира имплицитно знање којим се ограничава структура дела неког домена (Obitko, 2007).

Концептуални модели могу да буду веома прецизни, као што су ментална слика познатог физичког објекта, али и апстрактни математички модели које није могуће визуелизовати. Они се могу развити на различитим нивоима апстракције једног домена (Zdravković et al, 2011). Концептуални модели се могу разликовати и према обиму и разноликости субјеката које репрезентују. На разноврсност и обим концептуалних модела утиче разноликост потреба везаних за њихов развој. Ова тврдња се може применити и на приступе концептуализацији којих има много и који су развијени у различитим доменима знања (LaOngsri, 2009).

Према дефиницији Енгелбарта (Engelbart, 1962), развој концептуалних модела подразумева спецификацију кључних објеката или компоненти система који се проучава, релација препознатих објеката, типова могућих промена објекта или њихових релација које утичу на функционисање система и типова утицаја које ове промене имају на систем. Слично овоме, Генесерет и Нилсон (Geneserth and Nilsson, 1987) дефинишу концептуализацију као “објекте, концепте и друге ентите за које се претпоставља да постоје у некој области од интереса и њихове међусобне везе”. Обе ове дефиниције подразумевају екстензионални карактер процеса концептуализације, у смислу да имплицирају да се елементи менталне представе о специфичном домену једноставно наводе. Неки истраживачи (Guarino, 2007) тврде да је овај принцип у контрадикцији са интензионалним карактером размишљања људи, који подразумева да се значење елемената одређује њиховим потребним и довољним условима.

¹⁷ OWL 2 Web Ontology Language. Document Overview. W3C Recommendation 27 October 2009. <http://www.w3.org/TR/owl2-overview/>

3.2 Приступи развоју онтологија (концептуализација)

Један од највећих изазова за ефикасно коришћење рачунарских система представља интероперабилност између вишеструких репрезентација реалности (података, процеса, итд.) кодираних у оквиру система, или између репрезентација реалности и саме реалности – корисника система и њихове перцепције реалности (Нерр, 2007).

Док се перцепција реалности може формализовати путем доменских онтологија, као спецификација доменских концептуализација, системске репрезентације се заснивају на тзв. локалним онтологијама, које обухватају хетерогене изворе информација, пословну логику и презентациона правила једног система. Највиши ниво апстракције у процесу концептуализације се уобичајено описује тзв. општим онтологијама. Општа онтологија представља модел општих објеката који се могу користити и у великом броју доменских онтологија. У оквиру општих онтологија се дефинише генерални речник који садржи термине и описе који се могу равноправно применити у разним околностима, односно доменима.

Интероперабилност информационих система зависи од квалитета и узајамне конзистентности онтологија које они користе (Smith, 2003). Различитости у концептуализацијама (или становиштима, односно приступима њиховом развоју) које се користе у различитим онтологијама могу довести до семантичке неусаглашености и тако, могу да имају негативан утицај на интероперабилност. Наиме, у развоју онтологија, доменски експерти могу користити дескриптивни или прескриптивни приступ, темпоралне или статичке репрезентације објеката, објективистичко или субјективистичко становиште, итд. Негативни ефекти неконзистентних концептуализација се могу умањити улагањем додатних напора у мапирање, саврење, превођење или трансформације одговарајућих онтологија (Ной, 2004).

Поред тога, онтологије се могу разликовати и према нивоу грануларности који се користи у процесу концептуализације. Коришћење различитих нивоа грануларности представља уобичајени поступак у развоју онтолошких оквира. Он се примењује у развоју општих онтологија, које често комбинују временске, трајуће перспективе реалности и концепте који постоје у времену (Grenon and Smith, 2004). Четвородимензионалне перспективе на реалност се даље могу поделити на стратешке, оперативне и тактичке под-перспективе. Овакав поступак, очигледно, има утицај на степен модуларности развијеног онтолошког оквира.

Разноликост нивоа грануларности једног онтолошког оквира проширује разноврсност одлучивања. Коришћење модуларних онтологија такође има позитивне ефекте на решавање проблема везаних за перформансе, јер омогућава дистрибуирано одлучивање (inference). Коначно, он утиче на остварење семантичке интероперабилности система.

Многи радови који укључују и развој онтологије подразумевају претпоставку да постоји јединствена онтологија коју деле и користе сви учесници једног система. Међутим, у хетерогеним окружењима, као што су интер-организационе

мреже, ова претпоставка није реалистична. Напротив, може се очекивати да ће сви партнери у једној мрежи развити своје онтологије, независно једни од других. Зато, у највећем броју случајева, различите онтологије ће се користити унутар једног система. Ипак, ова различитост не прејудуцира логичку неконзистентност термина које они садрже, нарочито уколико се различите онтологије концентришу на различите контексте истих концепата. Наиме, онтологија не би требало да представља алат за проверу тачности концепата у односу на реалност, већ за њихову експлицитну репрезентацију.

4 Семантичка интероперабилност

У великом броју оквира за интероперабилност, очекује се да се семантички алати, односно онтологије користе као алати за остваривање интероперабилности. Међутим, веома је важно разликовати интероперабилност подржану онтологијама од семантичке интероперабилности, с обзиром на то да обим семантичке интероперабилности надмашује просту размену података и бави се њиховом интерпретацијом.

Семантичка интероперабилност система имплицира да се прецизно значење размењене информације јединствено интерпретира од стране система који није иницијално развијен у ту сврху. Зато се понекад назива и општа семантичка интероперабилност. Она омогућава да системи обрађују примљене информације у контексту других информационих ресурса којима имају приступ и тако, да побољшају изражајност онтологија које користе, односно, да повећају релевантност модела података који је формализован уз помоћ тих онтологија. Она се сматра способношћу рачунарских система да размењују информације и да те информације интерпретирају, тако да систем који прима информацију препозна њено значење, дефинисано од стране система који је шаље.

У општем смислу, семантичка интероперабилност се односи на способност система који прима информацију, да тачно интерпретира потребне и довољне услове, које је послао други систем.

Синтаксна интероперабилност је предуслов за семантичку интероперабилност. Она подразумева да су унапред дефинисани формати података, језици и структуре порука, тако да систем који прима информацију може да је прочита, интерпретира и расуђује о обради примљене поруке, на основу њене структуре. У том смислу, формати одговарају протоколима који се користе у размени; језици су везани за формализме који се користе за опис значења поруке и њених елемената; структуре су везане за начин концептуализације, који се користи да се опише значење концепата из порука. Спецификација ове концептуализације, односно онтологија, омогућава свим интероперабилним системима да прецизно интерпретирају значења термина из поруке, на основу њихових логичких веза са концептима елемената онтологије.

Нека истраживања сугеришу да у повезивању значења елемената различитих система треба да се користе опште онтологије. Ова потреба је оправдана чињеницом да не постоји ниједна онтологија која описује све могуће термине везане за све могуће начине коришћења информационих система, али се сматра да је могуће да се комбинује ограничени скуп основних (примитивних)

концепта са циљем креирања свих могућих логичких описа термина, коришћених у локалним или доменским онтологијама.

Тако, уколико је следећа претпоставка тачна:

(1) Значења и начин коришћења примитивних онтолошких елемената у општој онтологији су дефинисана, и

(2) елементи доменских онтологија су креирани као логичке комбинације елемената опште онтологије,

Тада:

Значења елемената доменских онтологија се могу аутоматски расудити, коришћењем машине за одлучивање (reasoner), од стране било ког система који разуме значења елемената опште онтологије и садржи општу онтологију и логичке спецификације елемената доменске онтологије.

Зато:

Било који систем који треба да буде интероперабилан са другим системом, треба да буде способан да пренесе информације и логичке описе термина који се користе у информацији, који су креирани локално и не налазе се у општој онтологији.

4.1 Дефиниција семантичке интероперабилности

У семантички интероперабилним системима, губи се потреба за структурама података или мета информацијама које се типично користе за додељивање вредности које се размењују, да би систем који их прима могао да их разуме. Код њих, размењена информација се сматра логичким исказом или скупом логичких исказа који описују значење поруке коју један систем шаље другом. Када се користи OWL језик, ови искази одговарају тројкама у облику субјекат-предикат-објекат.

До разлика у разумевању “традиционалне” и семантичке интероперабилности долази и због недостатка апстрактне и формалне дефиниције семантичке интероперације, независне од детаља њене имплементације (Lee et al, 1996). У истраживању које је презентовано у овој тези, користи се формална дефиниција (Sowa, 2000) семантичке интероперабилности коју је поставио Џон Сова¹⁸. Такође, она је репрезентована на формални начин, да би могла да се користи за аутоматску евалуацију семантичке интероперабилности два пословна информациона система:

“Систем који шаље S је семантички интероперабилан са системом који прима R ако и само ако је тачан следећи исказ, за сваки податак p који се размењује између S и R :

За сваки исказ q који следи из p у систему S , постоји исказ q' у систему R који:

(1) следи из p у систему R , и који је

(2) еквивалентан q .

Систем који прима треба да буде способан макар да изведе логички еквивалентну импликацију за сваку импликацију система који шаље.”.

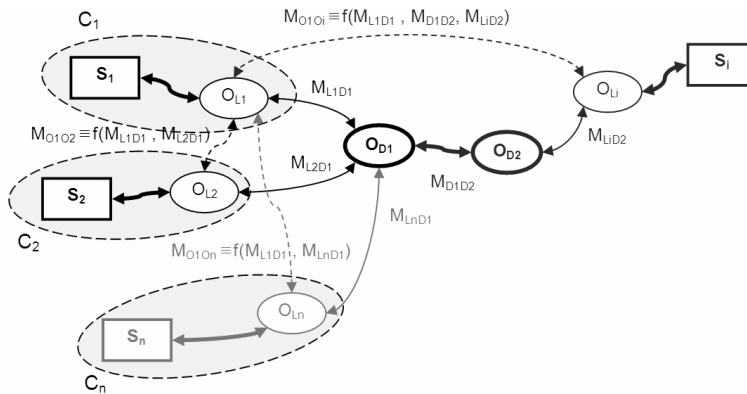
¹⁸ SUO (2001). The IEEE Standard Upper Ontology web site. <http://suo.ieee.org>

Ова дефиниција је репрезентована у контролисаном природном језику, као асиметрична логичка функција $\text{semantically-interoperable}(S,R)$:

$$\begin{aligned} & \text{data}(p) \wedge \text{system}(S) \wedge \text{system}(R) \wedge \text{semantically-} \\ & \text{interoperable}(S,R) \Rightarrow \\ & \forall p (\\ & (\text{transmitted-from}(p,S) \wedge \text{transmitted-to}(p,R)) \wedge \\ & \forall q(\text{statement-of}(q,S) \wedge p \Rightarrow q) \exists q'(\text{statement-of}(q',R) \wedge \\ & p \Rightarrow q' \wedge q' \Leftrightarrow q) \\ &) \end{aligned}$$

У овом случају, системи S и R су репрезентовани од стране тзв. локалних онтологија.

У овом раду, усвојена је следећа претпоставка: када су две локалне онтологије два одговарајућа система прсликане на исту доменску онтологију, ови системи ће бити семантички интероперабилни (види слику 8). Другим речима, уколико постоје два изолована пословна информациона система S и R и кореспондирајуће локалне онтологије O_S и O_R и ако постоје релације M_{SD1} и M_{RD1} , успостављене између концепата O_S , O_R и доменске онтологије O_{D1} , респективно, тада се може рећи да постоје релације M_{SR} које се могу расудити као логичке функције M_{SD1} и M_{RD1} .



Слика 8. Семантичка интероперабилност система.

Очигледно је да претпоставка семантичке интероперабилности зависи од тачности и потпуности логичких релација. У окружењу семантичког веба, ове релације могу еволуирати као резултат активности заснованих на интересу. Ова еволуција може да генерално утиче на тзв. флуидност информација на World Wide Web-у (Jiang et al, 2006).

У оквиру једног предузећа, различити системи се користе за имплементацију његових различитих функција. Тако, може се рећи да концептуални модели ових система описују различите контексте предузећа (C1-Cn).

Локалне онтологије се сматрају моделима имплицитног знања о предузећу. Ово знање се трансформише у експлицитно, односно, знање адекватно за рачунарску обраду, када се имплицитни термини локалних онтологија повежу логичким релацијама са одговарајућим концептуалним моделима предузећа (нпр. стандардним моделима), репрезентованим уз помоћ доменских онтологија. Такође, свака од локалних онтологија може репрезентовати један од контекста пословања предузећа. Тада, изоловани системи могу постати не само интероперабилни, већ и изражајнији, тако што стичу способност експлоатације знања о предузећу, садржаног у различитим локалним онтологијама. Изражајност се може даље увећати уколико се успоставе логичке везе између коришћене и неке друге релевантне доменске онтологије. Овакав приступ се може применити у случајевима када се жели да се пословним информационом системом управља применом различитих речника (језика).

4.2 Локалне онтологије

Док се реалности одређеног домена формализују уз помоћ доменских онтологија, репрезентације тих реалности које представљају пословни информациони системи се могу представити локалним онтологијама. Оне обједињавају хетерогене изворе информација о једном предузећу, пословну логику и правила. Локалне онтологије формализују имплицитне податке из хетерогених извода са циљем да омогуће семантичку интероперабилност система који складиште ове податке.

Да би се решио проблем имплицитности значења реалности предузећа, у раду који је описан у овој тези се усвајају следеће претпоставке (Zdravkovic et al, 2011) (са циљем дефинисања извора значења који се користе за развој локалних онтологија):

- реалности предузећа су представљене у одговарајућим пословним информационом системима, и
- модели порука које размењује једно предузеће се заснивају на моделима података пословних информационих система, имплицитно репрезентованих у њиховим базама података.

Тако, са циљем трансформације имплицитних Entity-Relationship (ER) модела у експлицитне OWL репрезентације, односно онтологије, примењен је database-to-ontology метод.

Потом, резултујуће локалне онтологије се могу преликати на опште, дељено знање о окружењу у којем једно предузеће сарађује са другима, односно, различите доменске онтологије, развијене за различите контексте пословања. Сваки контекст одговара доменској онтологији, чији су концепти логички повезани са концептима локалних онтологија. Тако, доменска онтологија постаје речник – опште прихваћено знање о одређеној перспективи на пословање предузећа, које било ко може да користи да формира упит који се извршава над “невидљивим”, имплицитним знањем репрезентованим у пословним информационом системима. На овај начин, обезбеђен је јединствени

интегрисани приступ ка различитим контекстима различитих елемената пословања предузећа.

Наведене претпоставке о корелацијама између локалних онтологија и ER модела су усвојене са циљем да се процес креирања локалне онтологије аутоматизује. У супротном, предуслов за овај процес би била детаљна анализа пословних информационих система. Пример истраживања које користи овај приступ се може наћи у раду Кастана и Антонелиса (1998). Они “анализирају описе процеса у контексту аспеката везаних за сличност информација и операција, да би могли да евалуирају семантичке кореспонденције између процеса и идентификују понављање и преклапање активности. Такође, анализирају се аспекти везани за интеракцију/сарадњу, ради евалуације степена усклађености процеса и идентификације типа и природе размењених токова информација.”.

Концептуализација пословних информационих система се може вршити и на основу пословне логике, која се уобичајено имплементира у програмском коду, и модела података, који су репрезентовани у структурама релационих база података. Очигледно, пословна логика система ће остати сакривена – само модели података ће бити експонирани од стране локалних онтологија. Изузетима се могу сматрати тригери база података, који се могу сматрати пословним правилима, уколико нису имплементирани само ради очувања референцијалног интегритета.

4.3 Значења Entity-Relationship шема

Тренутно истраживање и пракса интероперабилности база података се заснива на ранијим напорима везаним за интеграцију шема. До интеграције шема, долази (Batini et al, 1986) у контексту интеграције погледа (за време пројектовања база података) или интеграције база података (код дистрибуираног управљања базама података). Процес интеграције шема у глобалну, унификовану шему имплицира развој јединствене, интегрисане шеме – федералне шеме (Sheth and Larson, 1990), изражене коришћењем заједничког модела података.

Неусаглашеност шема је изазвана чињеницом да се један концепт може често репрезентовати на различите начине, док чак постоје и случајеви у којима се јединствена репрезентација може придружити значењима различитих концепата. Типично, интеграција шема подразумева да се ови конфликти решавају у процесу њихове трансформације. Овај процес је формализован од стране МекБрајена и Полувазиласа (McBrien and Poulouvasilis, 1998). Његови исходи су еквивалентне шеме, које се могу користити у федерацији база података. Док се капацитет информација сматра основом за мерење њихових еквивалентности, Милер и други (Miller et al, 1994) су показали да проблем расуђивања еквиваленције капацитета података у пракси није могуће решити, па су и предложили рестриктивније дефиниције релације еквивалентности.

Веома је важно нагласити да приступи интеграцији шема нису начинили покушај да интерпретирају или формализују имплицитна значења шема. Уместо

тога, они користе јединствени модел података (који не карактерише онтолошка обавеза) да омогуће федерацију база података и тако их начине интероперабилнима. Са развојем формализама за репрезентацију значења, нови приступи интероперабилности база података се све више оријентишу на трансформацију имплицитних значења шема база података у експлицитне концептуалне моделе. Много истраживача је радило на усклађивању шема (Rahm and Bernstein, 2001) (Doan and Halevy, 2005) или на интеграцији података у онтологије (Wache et al, 2001). Вилијем и други (William et al, 1996) су разматрали различите групе семантичких веза између објеката шема да би пронашли одговарајуће сличности. Зао и Рам (Zhao and Ram, 2007) су узели у обзир и информацију о инстанцама објеката шема у процесу интеграције хетерогених извора информација.

Генерално, постојећи приступи пате од примењивости на велике скупове података. Даље, већина њих се не може применити у реалним случајевима због великог потребног обима људске интервенције. Неки примери постојећег практичног рада у трансформацији базе података у онтологију су представљени у наставку текста.

4.4 Постојећи приступи и алати за пресликавање база података и онтологија

Преглед релевантне литературе указује на неколико приступа који се баве решавањем проблема пресликавања база података и онтологија. У овом делу, представљене су главне особине четири карактеристична приступа, развијених са различитим циљевима.

Конкретно, основни циљ ове упоредне анализе се односи на то како сваки од коришћених приступа решава три специфичне групе проблема везаних за пресликавање база података и онтологија: 1) интерпретацију значења ER образаца, конкретно, ниво концептуализације шеме базе података; 2) популацију података, конкретно, креирање инстанци онтолошких концепата; и 3) употребљивост приступа, односно, translацију између семантичких и релационих упита. С обзиром на то да се последње две групе проблема углавном односе на технолошке изазове, ниво концептуализације шеме се у овој тези сматра најважнијом темом.

Рад на DB2OWL алату за пресликавање представља део развоја генералне инфраструктуре интероперабилности (Ghawi and Cullot, 2007) која користи онтологије за експлицитно описивање значења извора информација и веб сервисе за омогућавање комуникације између различитих компоненти ове архитектуре. DB2OWL (Cullot et al, 2007) креира специфичне компоненте онтологије на основу специфичних случајева компоненти база података. Тако, извршава се процес конверзије (табела -> класа, поље-> карактеристика, ограничење -> релација), при чему се чува скуп кореспонденција између онтолошких и компоненти база података, чиме се омогућава translација онтолошких у SQL упите и извршавање ових упита. Међутим, нејасно је на који начин се овај процес translације врши.

Још важније, значење егзистенцијалних ограничења над пољима и кардиналност релација се не узима у обзир. Главна карактеристика овог приступа, према наводима аутора је раздвајање пресликавања података од пресликавања шема. Односно, било која манипулација подацима неће утицати на онтологије. Конзистентност два одговарајућа скупа података и онтолошких инстанци се одржава од стране упита који врше популацију онтологија са инстанцама у тренутку извршења семантичког упита. Овај метод се још назива и популација на основу упита (query-driven population) у односу на масивну популацију (massive dump), која одржава пуну усаглашеност између података у бази података и одговарајућих онтолошких инстанци. Овај приступ се користи и код Relational.OWL модела.

Relational.OWL (De Laborda and Conrad, 2005) модел представља кандидата за формат репрезентације података и шема, развијеног са примарним циљем да омогући размену шема и података у окружењу Peer-To-Peer (P2P) база података. У односу на DB2OWL, овај модел не покушава да интерпретира значење ER образаца. Он не концептуализује ER модел већ креира његову реплику. Ипак, он се може користити као посредник у процесу пресликавања база података и онтологија, уместо документа са репрезентацијом кореспонденција, који користи DB2OWL. У том смислу, рад на развоју овог модела се може сматрати комплементарним у односу на DB2OWL. На жалост, као и DB2OWL, он не моделира вишеструкост спољних кључева. Зато, он не омогућава додељивање карактеристике кардиналности извора и одредишта OWL карактеристикама. Вишеструкост извора одређује важан аспект значења одређеног концепта или табеле базе података. Наиме, када је вишеструкост спољног кључа извора једнака јединици (1), одговарајућа OWL релација се може сматрати потребним условом за инстанцирање концепта у његовом домену. Ово је важна семантичка карактеристика, јер омогућава интензионалну концептуализацију ентитета.

Док се DB2OWL и Relational.OWL користе за креирање нових онтологија на основу постојећих шема, постоје и алати који омогућавају аутоматско, полуаутоматско или ручно пресликавање између постојећих онтологија и шема. У овој тези, извештава се о раду Константиноуа и других и Ксуа и других.

Vis-A-Vis алат (Konstantinou et al, 2006) користи библиотеке Protégé софтвера за графичку репрезентацију онтологије и модела базе података (MySQL или PostgreSQL) и омогућава ручно успостављање релација између њих. Дакле, није релевантно дискутовати о нивоу концептуализације ER шеме, с обзиром на то да он зависи од ручног рада. Развијени Protégé модул омогућава и креирање семантичких упита над онтологијама, као и њихово извршавање, пресликавањем на одговарајуће релационе упите. Тако, он подржава тзв. популацију засновану на упитима. Кључном мотивацијом за развој овог приступа, сматра се ефикасност расуђивања услед смањене величине онтологија, с обзиром на то да се подаци и после пресликавања чувају у бази података.

У односу на Vis-A-Vis алат који омогућава ручно пресликавање, D2OMapper (Xu et al, 2006) има за циљ аутоматско или полуаутоматско генерисање релација између шеме базе података и постојеће онтологије. Овај рад се заснива на

искуствима аутора у развоју ER2WO (Xu et al, 2004) алата за превођење ER шеме у OWL онтологију. Главна мотивација аутора је била развој окружења које ће омогућити генерисање онтолошких анотација (екстрахованих из базе података) за динамичке веб странице. Исходи рада D2OMаррег алата изражавају концептуалне и структурне кореспонденције између шеме и онтологије. Иако се то не наводи експлицитно у радовима, сврха приступа имплицира да се за инстанцирање онтолошких концепата користи приступ популације заснован на упитима.

5 Формализми за моделирање предузећа

Један од кључних изазова за решавање проблема семантичке интероперабилности је везан за питање како пронаћи и учинити експлицитним 'имплицитне информације о предузећу или о његовом информационом систему. Концепти и претпоставке о везама између знања о предузећу и структури и садржају база података њихових система, приказани у деловима 4.3 и 4.4 овог поглавља, дефинишу правце за решавање овог проблема.

Међутим, да би две локалне онтологије биле интероперабилне, потребно је успоставити логичке везе између њихових, типично имплицитних концепата и општег знања о домену. Извори овог доменског знања су стандардне архитектуре и модели предузећа. Оба се сматрају формализмима, општим скуповима концепата и веза који се могу користити за моделирање било ког предузећа.

У овом смислу, стандардне архитектуре предузећа дају допринос семантичкој интероперабилности система у најмање два аспекта. Прво, на мање формалан начин, оне описују предузеће и тако, обезбеђују речнике за развој њихових формалнијих описа – доменских онтологија, које се могу користити за интерпретацију концепата локалних онтологија. Друго, оне омогућавају усклађивање организационе и ИСТ перспективе у једном предузећу и тако, могу утицати и на развој архитектуре пословних информационих система. Последњи аргумент имплицира да, у неким случајевима, концептуални модели који су коришћени за развој ER шема информационих система могу, у одређеној мери, кореспондирати архитектури предузећа и на тај начин, утицати на то да се пресликавање локалне и доменске онтологије лакше изврши.

5.1 Дефиниције архитектуре предузећа

ISO 15704¹⁹ дефинише архитектуру као опис основног аранжмана и веза делова једног система (физичких или концептуалних објеката или ентитета). Архитектура се може користити за имплементацију система или за његов развој

¹⁹ ISO 15704, Industrial Automation Systems - Requirements for Enterprise-reference Architectures and Methodologies, 2000

и еволуцију, током времена. Такође, може се користити и као средство комуникације између актера који учествују у његовом развоју.

Архитектура предузећа (ЕА) треба да се организује тако да омогућава расуђивање о структури, карактеристикама или понашању система (Chen et al, 2008). Она дефинише компоненте које чине систем и даје нацрт на основу којег се систем може развити. Она дефинише визију развоја система у будућности. ЕА се сматра комплементарном у односу на архитектуру софтвера и користи се за документовање организационог и пословног контекста у којем се софтвер користи.

ЕА треба сагледати одвојено у односу на концепт моделирања предузећа (ЕМ). ЕМ детаљно описује ЕА из различитих тачака гледања да би омогућила спецификацију и имплементацију система. Другим речима, док архитектура предузећа описује важне карактеристике или функције једног система, модели предузећа се користе за детаљну спецификацију тог система.

Према ISO 15704 стандарду, постоје два типа архитектура. Док се системске архитектуре (Тип 1) користе за пројектовање система на високом нивоу, архитектуре Типа 2 су заправо оквири који се користе за структурирање концепата и активности које се спроводе током развоја система.

5.2 Архитектуре предузећа и оквири

Прве архитектуре предузећа су се развиле током осамдесетих година прошлог века. Од првих напора у њиховом дефинисању, издвајају се Computer Integrated Manufacturing Open System Architecture (CIMOSA) (AMICE, 1993), која је и дефинисала појам архитектуре предузећа, ARIS (Scheer, 1994) и Закманов оквир (Zachman, 1996). Сви ови оквири су Типа 2.

CIMOSA и ARIS су приступи који се заснивају на процесима који имају за циљ да интегришу функције предузећа и система, моделирањем и праћењем токова активности.

Закманов оквир структурира разне концепте моделирања и инжињеринга предузећа, према перспективама разних учесника у тим процесима. Вишеструкост перспектива је примењена јер различити актери користе различите нивое апстракције приликом описивања предузећа и у то у контексту различитих жељених исхода. Неке од најзначајнијих архитектура развијених у Сједињеним Америчким Државама су TOGAF²⁰, развијен од стране Open Group и DoDAF²¹ (Department of Defense Architecture Framework).

Иако се прве архитектуре сматрају комплементарним, оне су развијене као резултат одвојених напора и у највећем броју случајева, за различите сврхе. Зато, постоји одређени обим редувантности и отуд и евидентна потреба за хармонизацијом. Вођена овим мотивом, IFAC/IFIP радна група за интегрисање

²⁰ Open Group, TOGAF: The Open Group Architecture Framework, Document No. 1910, Version 6, December 2000

²¹ DoD, DoD Architecture Framework Working Group, DoD Architecture Framework, Version 1.0, vol. 1: Definitions and Guidelines, February 9, 2004

предузећа је развила Генерализовану референтну архитектуру и методологију предузећа (Generalized Enterprise-Reference Architecture and Methodology) (GERAM, 1999) (GERAM) архитектуру. GERAM дефинише основне концепте који се користе у инжињерингу и интеграцији предузећа. Она хармонизује резултате рада на архитектурама CIMOSA, GRAI интегрисаној методологији (Chen and Doumeings, 1996) (GRAI/GIM) и Purdue Enterprise-Reference Architecture (Williams, 1994) (PERA).

Важан допринос је остварен и од стране Бернуса и других (Bernus et al, 2003) који су анализирали остале оквире, као што су Zachman и DoDAF у контексту GERAM, да би омогућили боље разумевање одговарајућих сличности и разлика.

Архитектуре предузећа које су развијене у прошлости се сматрају контекстуалним, у смислу да снажно рефлектују сврху и експертизе тимова који су их развили. Тако, CIMOSA је оријентисана на производњу применом рачунара (CIM), GRAI на управљање производњом, PERA на инжињеринг система, Zachman на информационе системе, а DoDAF на управљање војним операцијама. GERAM се сматра најбољим кандидатом за референтну архитектуру која се може користити за пресликавање, анализу и поређење са концептима осталих архитектура (Chen et al, 2008).

Главни резултати рада стандардизационих тела, релевантни за архитектуру и моделе предузећа су ISO 15704²² – Requirements for Enterprise Reference Architecture and Methodologies, и EN/ISO 19439²³ – Enterprise Integration – Framework for Enterprise Modeling, при чему се други сматра имплементацијом захтева који су дефинисани у првом стандарду.

IEEE 1471²⁴ стандард се бави препорученим праксама за опис архитектура система који интензивно користе софтвер. Он се бави активностима креирања, анализе и еволуције архитектуре система који се заснивају на софтверу и описивањем ових архитектура. Иако је приступ развијен у сврху развоја софтвера, његови концепти су веома релевантни и за архитектуре предузећа.

До сада није постојала колаборација између ISO и IEEE стандардизационих тела, тако да је неопходно радити на успостављању веза између одговарајућих модела, да би се обезбедила интероперабилност између њих, односно, између система који користе ове стандарде.

Иако поменуте архитектуре и оквири до одређене мере разматрају предузеће у контексту ланца снабдевања, интегрално разматрање колаборативних предузећа отежава разноликост стандарда и система који их користе. Зато, узимају се у обзир и модели који се усредсређују управо на облике сарадње у ланцима снабдевања. Најшире прихваћен стандард који их описује је референтни модел операција ланца снабдевања (SCOR).

²² ISO 15704, Industrial Automation Systems - Requirements for Enterprise-reference Architectures and Methodologies, 2000.

²³ EN/ISO 19439, Enterprise Integration—Framework for Enterprise Modelling, 2003

²⁴ IEEE 1471, Recommended Practice for Architectural Description of Software-Intensive Systems, 2000

5.3 Референтни модел операција ланаца снабдевања (SCOR)

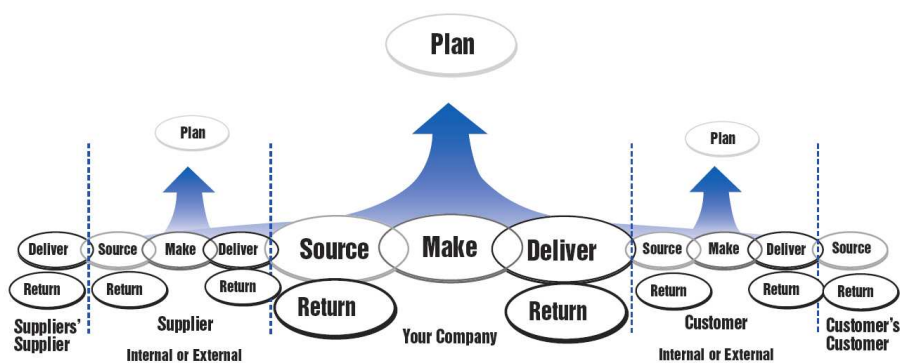
Да би се валоризовале предности система управљања ланцима снабдевања, неопходно је да они прожимају пуну хоризонталну организацију предузећа, али да досежу и даље – ван његових граница. Показало се да су референтни модели изузетно корисни алати за подршку у имплементацији оваквих система. Референтни модел операција ланаца снабдевања (Supply Chain Operations Reference - SCOR) (Stewart, 1997) представља стандардни приступ за анализу, пројектовање и имплементацију послова неопходних за побољшање перформанси пет кључних, интегрисаних процеса у ланцима снабдевања: планирања, набавке, израде, испоруке и повраћаја (plan, source, make, deliver, return). SCOR дефинише окружење које има за циљ да интегрише пословне процесе, метрику, добре праксе и технологије ради побољшања сарадње између партнера.

Развој референтних модела процеса представља одговор индустријских заједница на проблеме интероперабилности. Они имају за циљ да стандардизују колаборацију у оквиру једног домена, тако што ће обезбедити систематизацију и категоризацију концепата, таксономије података, правила, шаблоне и сл. – структуре знања, интерпретиране на организовани начин, које се користи за колаборацију људи и/или система.

Индустријски референтни модели нису формални модели. Они не представљају језике за описивање. Креирани су са циљем да групишу неке објекте са специфичном сврхом, а не да опишу природу тих објеката. Тако, веома их је тешко одржавати и еволуирати на конзистентан начин. Динамичношћу и непостојаношћу концепата је много лакше управљати уколико су они репрезентовани као скуп значењских исказа или израза, у односу на наративне описе. Такође, виши нивои изражајности и аксиоматизације нуде могућности за аутоматску подршку одлучивању. Међутим, реакција индустрије на развој референтних модела показује да се практични ефекти могу много лакше постићи уколико се модели током развоја усредсреде на високо контекстуализоване приступе код којих се врши формализација доменског знања. Доменско знање најбрже еволуира на нижим нивоима апстракције у интеракцији доменске заједнице, где је консензус много лакше постићи.

Дефинисањем референтних модела процеса стичу се услови за њихову сврсисходну имплементацију, једнозначан опис, мерење, управљање и контролу, као и ревизију. Један референтни модел процеса садржи стандардне описе процеса управљања, оквир релација које се могу успоставити између процеса, стандардну метрику за мерење перформанси процеса, праксе управљања којима се достижу највише перформансе и везе процеса са функцијама. Он може бити неутралан, као што је SCOR, или развијен за одређену грану индустрије, као што су ENUM (телекомуникације), POSC (петрохемија), BASEL II (банкарство и финансије) (Phelps, 2006). Референтни модели процеса се могу ослањати на референтне моделе података, као што су класификације производа (UNSPSC, eClass).

SCOR модел је развијен од стране Савета за ланце снабдевања (Supply Chain Council - SCC) не-профитне организације, настале 1996. године, у сарадњи AMR Research и PRTM, иницијално као средство за евалуацију тржишта ERP система. SCOR се имплементира из улоге индивидуалног предузећа и обухвата све интеракције, односно трансакције физичких ресурса два нивоа набавке и продаје од њега (од добављача његових добављача, до купаца његових купаца). Језгро модела је илустровано на слици 9.



Слика 9. Језгро SCOR модела

Референтни модели процеса се, за разлику од традиционалних метода декомпозиције, формирају идентификацијом и анализом процеса на различитим нивоима детаљности. SCOR модел карактеришу три нивоа детаљности: најопштији ниво, ниво конфигурације и ниво процесних елемената. На најопштијем нивоу, SCOR модел дефинише кључне процесе референтног модела операција ланца снабдевања.

У првом нивоу разраде, дефинишу се везе између SCOR процеса и типова процеса. У овом нивоу, одређује се стратешки карактер ланца снабдевања, тако што се избором категорија процеса, дефинише њихова конфигурација. У другом нивоу разраде, врши се декомпозиција процеса, задатих усвојеном конфигурацијом. Дефинишу се елементи процеса, усвојени изабраном конфигурацијом, информациони улази и излази, атрибути метрике и дефиниције најбољих пракси.

Кључни процеси SCOR референтног модела и активности које они обухватају су (Bolstorff and Rosenbaum, 2003):

- Планирање и управљање понуде и тражње (P). Процена и балансирање сопственим и ресурсима добављача; прикупљање и приоритизација захтева тражње; планирање залиха за дистрибуцију, производњу и захтева за материјалом; грубо планирање капацитета за све производе и канале; управљање пословним правилима, перформансама ланца снабдевања, прикупљањем података, итд.; уравнотежење планова са финансијским плановима.

- Набавка производа са залиха или производа произведених или развијених по наруџбини (S). Набавка, пријем, надзор, задржавање материјала и готових производа; издавање налога за плаћање и само плаћање; идентификација и избор снабдевача, уколико нису предефинисани; управљање пословним правилима, евалуација перформанси снабдевача и одржавање релевантних података; управљање залихама, капиталним ресурсима, улазним магацинима, мрежом снабдевача, захтевима увозно/ царинске регулативе, уговорима и ризицима проистеклим из процеса набавке.
- Производња за залихе, по наруџбини, или према захтевима (M). Потраживање и пријем материјала; производња и тестирање производа; паковање задржавање и/или отпрема производа; управљање правилима, подацима, опремом и постројењима, транспортом, производном мрежом, итд.
- Испорука – управљање наруџбинама, складиштењем, транспортом и инсталацијом за производе са залиха и производе израђене према наруџбини или захтевима (D). Обрада наруџбина; генерисање понуде; конфигурација производа; креирање и одржавање базе података клијената; одржавање базе производа са ценама; одржавање конта; складиштење; прилагођавање паковања захтевима клијената; консолидација наруџбина; отпрема производа; управљање процесима транспорта, увоза и извоза.
- Повраћај материјала и готових производа (R). Обрада враћене дефектне робе, робе под гаранцијом или вишкова, укључујући ауторизацију, терминирање, инспекцију, трансфер, администрацију гаранције, пријем и проверу дефектних производа, уклањање и замену.

На другом нивоу детаљности, ови процеси се класификују у категорије процеса (види слику 10).

		SCOR процеси					
		Plan	Source	Make	Deliver	Return	
Тип процеса	Планирање	P1	P2	P4	P3	P5	Категорија процеса
	Извршење		S1-S3	M1-M3	D1-D4	S/DR1-S/DR3	
	Поспешивање	EP	ES	ED	EM	ER	

Слика 10. Алат за конфигурацију SCOR процеса

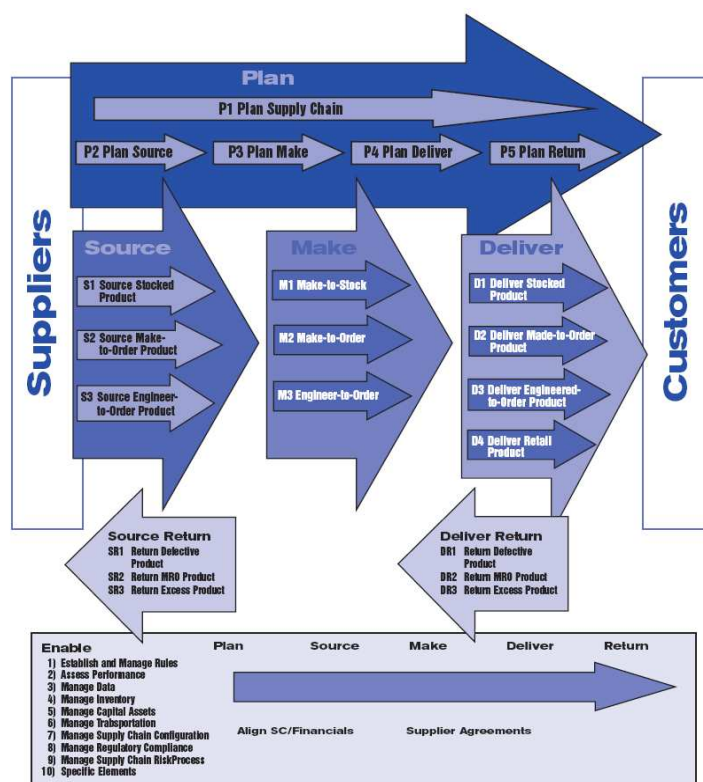
Процеси планирања се класификују у процесе P1-P5, у зависности од тога који кључни процес планирају. Процеси набавке, производње и испоруке се сматрају извршним процесима и класификују се на основу тога која стратегија производње се користи за произведени, набављени и/или испоручени производ: производња за залихе (make-to-stock), производња према наруџбини (make-to-order) или производња према захтевима (engineer-to-order). Коначно, процеси

поспешивања (Enable) се класификују према томе који кључни процес поспешују (EP, ES, EM, ED, ER).

Избором релевантних категорија процеса, формира се конфигурација ланца снабдевања. Са становишта извршења, а према врсти производње, односно производа, постоје три различите конфигурације:

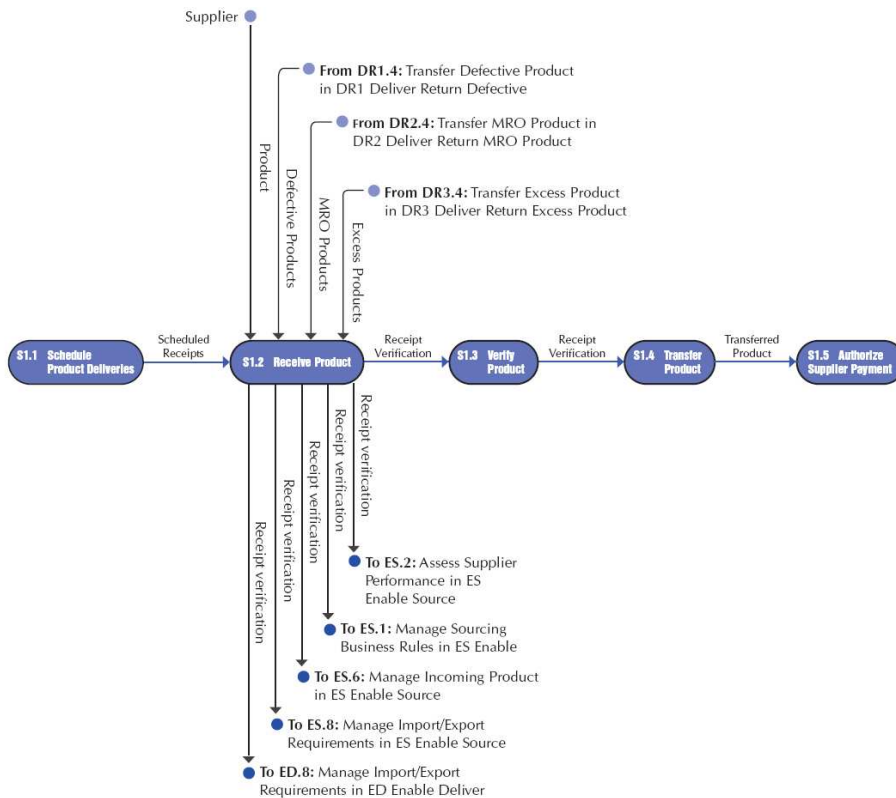
- S1, M1, D1, D4 – Производња за залихе
- S2, M2, D2 – Производња према наруџбини
- S3, M3, D3 – Производња према захтевима

Пуни опис другог нивоа детаљности SCOR модела је илустрован на слици 11.



Слика 11. Други ниво детаљности SCOR модела

Сваку категорију процеса дефинише низ елемената процеса, који заправо чине један радни ток (workflow). На слици 12, приказани су елементи категорије процеса S1 – Набавка производа са залиха (Source Stocked Product), са детаљнијом разрадом елемента S1.2 – Пријем производа (Receive product), односно дефинисањем његових веза са осталим елементима процеса.



Слика 12. Пример репрезентације трећег нивоа детаљности SCOR модела

Поред елемената процеса, једна категорија се дефинише и улазима и излазима за сваки елемент, метриком, добрим праксама, препорученим способностима система да оствари добре праксе и системима/алатима који се користе.

Перформансе SCOR процеса се мере применом елемената метрике, која је у вези са 5 одговарајућа индикатора. Метрика се такође може структурирати по нивоима. Метрика нивоа 1 је позната као стратешка метрика, односно, као скуп кључних индикатора перформанси (KPI). Они се одређују коришћењем метрике нижих нивоа. На пример, свакој од процесних категоријама је додељен скуп метрике другог нивоа који се користи за евалуацију перформанси тих процесних категорија. Слично, метрика трећег нивоа се додељује процесним елементима.

Три индикатора перформанси се односе на екстерне везе предузећа: поузданост, одзив и агилност, док преостала два представљају интерне перформансе процеса: трошкови и средства. Следи детаљан опис кључних атрибута перформанси:

- Атрибут поузданости се односи на способност извршења задатака према предвиђеним очекивањима. Поузданост се фокусира на предвидивост исхода

једног процеса. Индикатор који се узима у обзир је савршено испуњење наруџбина. Типичне метрике атрибута поузданости су: на-време, тачан-квантитет, одговарајући-квалитет.

- Атрибут одзива описује брзину којом се извршавају задаци и мери се уз помоћ индикатора времена циклуса испуњења наруџбина.
- Атрибут агилност описује способност одговора на спољне утицаје и способност промене. Спољни утицаји укључују: непрогнозирана повећања и смањења тражње, затварање предузећа добављача или партнера, природне катастрофе, терористичке акте, доступност финансијских алата, или проблеме везане за радну снагу. Агилност се евалуира уз помоћ индикатора: флексибилност ланца снабдевања у правцу снабдевача, адаптивност ланца снабдевања у правцу снабдевача, адаптивност ланца снабдевања у правцу купаца.
- Атрибут трошкова описује трошкове за спровођење процеса. Он укључује трошкове радне снаге, материјала и транспорта и евалуира се коришћењем индикатора: трошкови управљања ланцем снабдевања, укупна цена продате робе.
- Атрибут ефикасности управљања средствима описује способност за ефикасно коришћење средстава. Стратегије управљања средствима у ланцу снабдевања укључују смањење инвентара и поспешивање коришћења интерних ресурса. Кључни индикатори перформанси су циклус новчаног обрта, повраћај фиксних средстава ланца снабдевања и повраћај радног капитала.

5.4 Онтологије предузећа

Иако постоји велики број окружења за моделирање предузећа који се користе у индустрији, ово није случај са онтологијама предузећа. У овој дисертацији, представљене су три различите онтологије предузећа. Оне су развијене на различитим нивоима изражајности.

TOVE (TOronto Virtual Enterprise) онтологија (Fox et al, 1996) се користи за формално моделирање предузећа, коришћењем концепата активности, стања и времена (top-level онтологија), организације, ресурса, производа, трошкова и управљања трошкова заснованог на активностима. Основни фокус приликом развоја TOVE модела је био на повезивању структуре и понашања, кроз концепт овлашћења – права једног организационог агента да врши промене статуса. TOVE има за циљ да обезбеди софистицирану подршку процесима доношења одлука омогућавањем расуђивања, не само на основу онога што је експлицитно наведено у моделу, већ и на основу онога што модел имплицира. TOVE први пут уводи концепт компетентности онтологије и одговарајућих питања компетентности, у смислу да се онтологија сматра потребном и довољном да изврши задатке дефинисане питањима компетентности, односно, њиховим решењима. Тако, TOVE организациона онтологија дефинише три скупа питања компетентности и њихових решења, везаних за компетентност: 1) структуре, 2) понашања, и 3) ауторитета и овлашћења.

Онтологија предузећа (Uschold et al, 1998) представља резултат рада на развоју методе и рачунарских алата за моделирање предузећа, на основу формалних модела. Она има за циљ да омогући да сви актери једног предузећа имају исто разумевање релевантних аспеката. Њена улога је да се користи као комуникациони медијум (примарно, али не искључиво између људи). Друго, она има за циљ да асистира у аквизицији, репрезентацији и манипулацији знањем о предузећу. Треће, очекује се да ће она омогућити интероперабилност, јер ће се користити као формат за размену информација о предузећима. Главни критеријуми за избор термина су били честа употреба (са подразумеваним консензусом о значењу) и избегавање вишезначности. Основни елементи онтологије предузећа су Ентитет, Веза, Стање ствари и Улога. Они представљају примитиве који се користе за изражавање онтолошких дефиниција и представљају концепте, тзв. мета-онтологије. Њихова специјализација се врши на концепте 4 група: 1) Активности, планирања, способности и ресурса, 2) Организације, 3) Стратегије, и 4) Маркетинга.

IDEONTM онтологија (Madni et al, 2001) представља једног од кандидата за формално моделирање колаборативних предузећа. Њу карактеришу четири комплементарне перспективе, које описују кључне концепте и везе једног предузећа. Прва перспектива репрезентује интеракције између предузећа и његовог спољног окружења (партнери, конкуренција, клијенти, итд.). Унутар ње је први пут дефинисан концепт сензора, који се користе за “посматрање” окружења и тако омогућавају да предузеће реагује на одређене опсервације, са циљем да изазове одређене ефекте у свом окружењу. Друга перспектива, која се односи на организацију предузећа, репрезентује његову унутрашњу структуру, додељује пословне циљеве, бира стратегије за њихово остваривање и извршава адекватне процесе. Трећа перспектива се односи на пословне процесе и репрезентује циклусе планирања, извршења и контроле. Четврта перспектива формализује различите типове ресурса предузећа, који се користе у извршавању процеса.

У табели 1, представљен је упоредни приказ наведених концептуализација предузећа, који илуструје коришћене приступе развоја (сврха, степен модулације) и карактеристике везане за имплементацију (изражајност, нотација, апликације).

	The Enterprise Ontology	TOVE	IDEON™
Сврха (мотивација)	Моделирање предузећа	Моделирање предузећа	Моделирање колаборативних предузећа
Домени (приступ модуларизацији)	1) Активност, план, ресурс, 2) Организација, 3) Стратегија, 4) Маркетинг	1) Структура, 2) Поначање, 3) Ауторитет, право извршења	1) Интеракција, 2) Организација, 3) Процес, 4) Ресурс
Изражајност	Ниска	Висока	Ниска
Постојеће (познате) нотације	Ontolingua	OWL (Web Ontology Language)	Unified Modeling language (UML), Knowledge Interchange Format (KIF)
Позната примена	The Enterprise Toolset (модели пословних процеса, архитектура за интеграцију, заснована на агентима)	Интегрисано управљање ланцима снабдевања, Интеграција процеса у инжињерингу предузећа	Планирање и извршење кризних акција, засновано на процесима, Интегрисани развој производа и процеса (IPPD)

Табела 1. Преглед онтологија предузећа

Иако су ове онтологије имале одређени утицај на научну заједницу која се бави моделирањем предузећа и примењене су у неком обиму, не постоје снажни докази о њиховој имплементацији у пракси у предвиђене сврхе. Очигледан недостатак практичних користи се може оправдати тешкоћама у имплементацији. Међутим, чињеница је да се постојећи напори у развоју универзалног модела предузећа заснивају на инспиративном приступу моделирању и имплементирани су од стране индивидуалних група експерта, а не од стране научне заједнице (Grubic and Fan, 2010). Даље, онтологије предузећа су уобичајено развијане од самог почетка. Зато, развојни и нарочито процеси валидације трају веома дуго (Yan, 2007), с обзиром на велики обим посла везан за анализу и синтезу доменског знања, као и постизање консензуса о развијеним концептуализацијама са релевантном заједницом.

5.5 Постојећи резултати у семантичком обогаћењу SCOR модела

Као и већина других референтних модела SCOR представља један облик система за организацију знања. Главна карактеристика оваквих модела је субјективност, односно, одређење концепата у унапред дефинисаном контексту

(Hodge, 2000). Они нису развијени са намером да буду изражајни или прецизни, већ да дефинишу знање о специфичном домену, разумљиво људима. Међутим, њихова имплицитност се сматра препреком за интерпретацију тог знања у рачунарској комуникацији и обради. SCOR моделу недостаје семантичка прецизност. Input/Output ентитет SCOR модела садржи све ресурсе који се размењују између процесних елемената и актера – физичке или нефизичке, стања, догађаје, документе, итд. System ентитет укључује информационе системе, модуле, способности, приступе или начине и обиме коришћења, нивое интеграције, итд.

Такође, референтне моделе углавном не карактерише довољна изражајност за потпуни формални модел. У случају SCOR модела, ово је очигледно из недостатка релације између метрика и система, која може да укаже на извор информације потребне за мерење перформанси.

До сада, извршено је само неколико покушаја концептуализације SCOR модела. SCOR+²⁵ се оријентише ка превазилажењу ограничења основног SCOR модела, уз помоћ алата који се заснива на онтологији. Овај алат омогућава аутоматску, исцрпну дефиницију ланца снабдевања на четири његова нивоа: ланца снабдевања, предузећа, елемената и интеракције. Он омогућава генерисање генеричких експлицитних погледа и модела који репрезентују ова четири нивоа. На жалост, SCOR+ је комерцијални производ, па су детаљи везани за приступ формализацији, недоступни.

Лин (Lin, 2008) је проширила SCOR модел генерализацијом постојећих елемената у 3А концепте (Активност, Артефакт, Актер - Улога), дефинисаних у GPO (General Process Ontology) онтологији. Такође, искористила је модел за развој онтологије циљева, и то моделирањем SCOR атрибута перформанси као благих циљева (soft goals) и извођењем циљева специфичних за домен и метрике атрибута.

Вегети и други (Vegetti et al, 2005) су на основу SCOR модела развили SCOntology онтологију. SCOR је проширен терминима из модела предузећа, са циљем да се обезбеде основе за спецификацију информација о логистичким процесима и проширеним ланцима снабдевања процесне индустрије.

Лу и други (Lu et al, 2010) су проширили ONTO-PDM онтологију производа, развијену од стране Турси и других (Tursi et al, 2009) SCOR моделом. Резултујућа ONTO-SCOR онтологија је тако дефинисана као онтологија ланца снабдевања и користи се за омогућавање интероперабилности између свих пословних апликација које се користе у проширеном ланцу снабдевања.

На основу анализе утицаја SCOR модела на усклађивање пословних процеса и информационих система, Миле и други (Millet et al, 2009) су предложили проширени референтни модел, који укључује и информације размењене између процеса. Овај модел је предложен као одговор на идентификоване слабости SCOR модела, конкретно, недостатак важних међузависности процеса.

На крају, треба напоменути да је објављен и велики број радова са темом формализације различитих референтних модела, који анализирају значења Ro-

²⁵ Productivityapex website. <http://www.productivityapex.com/products/scor.asp>

settaNet окружења (Haller et al, 2007), UNSPSC (Hepp, 2006), AIAG и STAR (Aničić et al, 2005) спецификација, EDI (Foxvog and Bussler, 2006) стандарда, итд. Објављени резултати, методи, алати и искуства су се испоставили као веома корисни у развоју и имплементацији приступа приказаног у тези.

5.6 Формални модели колаборативних организација

1984 године, Мајлс и Сноу (Miles and Snow, 1984) су први пут описали концепт екстерних група, које су назвали “динамичким мрежама” - комбинацијама независних пословних процеса од којих сваки на својствен начин доприноси резултатима групе. Овај концепт је привукао пажњу научне заједнице и индустрије и допринео јавној дискусији која је имала за циљ дефинисање новог појма Виртуелног Предузећа. Главни изазов у формирању виртуелних предузећа је био успостављање оптималног баланса динамичких, компетентних и компатибилних скупова привремених веза између различитих предузећа и њихових актера, насупротив једноставној сарадњи физичких или правних ентитета. Приликом свог формирања, виртуелна предузећа се изводе из одговарајуће интер-организационе мреже – врсте релативно дугорочне кооперације, у односу на привремене форме колаборација које производи. Мрежа је одговорна за припрему, формирање и управљање животним веком виртуелног предузећа.

Виртуелно предузеће (организација) представља привремену мрежу независних предузећа (организација) која се удружују брзо ради експлоатисања динамичних тржишних прилика и потом, разилазе (Browne and Zhang, 1999). Њега карактерише кратко-трајући ланац снабдевања, способан да производи и испоручи малу серију потенцијално разноврсних производа, тако што користи слабо повезано, хетерогено окружење доступних компетенција, способности и ресурса. Ово окружење се још назива и Виртуелно Окружење (Virtual Breeding Environment) (Sánchez et al, 2005) или Организационо окружење (Panetto and Molina, 2008), које се дефинише као скуп организација и одговарајућих институција подршке које имају потенцијал и вољу да међусобно сарађују успостављањем основног дугорочног уговора о сарадњи и интероперабилне инфраструктуре.

Парадигме виртуелног предузећа и виртуелног окружења се заснивају на способности предузећа да се брзо конфигурише и реконфигурише, према околностима тржишта које су веома често непознате унапред или чак и у тренутку конфигурације. Зато, ефикасност и ефективност овог заједничког подухвата се чврсто темељи на интероперабилности предузећа, а не на његовој интеграцији, с обзиром на то да ова друга имплицира велики број техничких и организационих предуслова које није могуће или исплативо остварити у кратком року.

Концептом виртуелних предузећа се бавио и бави се велики број истраживача, који га је применио у различитим условима уз примену различитих метода и алата. Виртуелна предузећа су оријентисана ка клијенту и примарно фокусирана на јединствену тржишну могућност, насупротив

традиционалним ланцима снабдевања који се формирају ради остваривања чврсте и дугорочне позиције на тржишту. Она се могу формирати ради производње јединственог производа или извршења јединствене услуге (Sari et al, 2006) или чак као начин постпродајне подршке одређеног производа (Hamel, 1999). Иако се виртуелна предузећа примарно формирају ради искоришћења пословне прилике, сматра се (Katzu and Dissel, 2001) да се одређена вредност може створити и унутар њега самог, док се интерни процеси и услуге адаптирају на захтеве брзог реаговања. Тако, један од позитивних утицаја процеса реконфигурисања пословних компетенција једног предузећа се односи и на стимулацију организационе флексибилности, која има за циљ унапређену способност реаговања у будућности (Katzu and Dissel, 2001).

У овом тренутку је доступан широк дијапазон теоријског и емпијског знања везаног за интер-организационо умрежавање. Постоји ургентна потреба да се ово знање консолидује и изграде темељи за бржи и одрживији развој ове области. Циљ ECOLEAD FP6 пројекта је био да развије референтни модел за Колаборативне Умрежене Организације (CNO) (Camarinha-Matos and Afsarmanes, 2008) – јединствену основу за разумевање и објашњење различитих манифестације ове нове парадигме. Овај референтни модел је назван референтним моделом за колаборативне мреже (A Reference model for COllaborative Networks - ARCON). ARCON примењује холистички приступ тако што комбинује и усклађује технолошке и пословне перспективе, али такође укључује и друге аспекте, као што су култура, поверење и вредности. Он то чини из интерне (In-CNO) и екстерне (About-CNO) перспективе предузећа.

Колаборативне умрежене организације су се до сада моделирале применом “слабих” формализама окружења, као што је ARCON. Архитектуре се сматрају slabим формализмима јер не обезбеђују експлицитне и изражајне описе укључених концепата и релација између њих.

Коришћење снажнијих формализама, као што су они који се заснивају на описној логици омогућава не само експлицитне описе већ и расуђивање о њиховим везама, на основу стандардних логичких релација. На пример, дефиниције активности интеракције у колаборативним предузећима, предложене од стране Камариње-Матоса и других (2009), се могу изразити контролисаним природним језиком (Controlled Natural Language) да би се омогућила (аутоматска, на основу расуђивања релације садржавања) евалуација зрелости интеракције између два предузећа.

Умрежавање се дефинише као једноставна размена информација ради остваривања неке предности. Ова дефиниција се може начинити експлицитном применом следећег правила:

$$\text{network-with}(A,B) \Rightarrow \exists p(\text{information}(p) \wedge (\text{send}(A,p) \wedge \text{receive}(B,p)) \vee (\text{send}(B,p) \wedge \text{receive}(A,p)))$$

Даље, координисано умрежавање имплицира усклађивање активности две укључене стране:

$$\begin{aligned} & \text{coordinate-with}(A,B) \Rightarrow \\ & \text{network-with}(A,B) \wedge \\ & \exists m \exists n (\text{task}(m) \wedge \text{task}(n) \wedge \text{responsible-for}(A,m) \wedge \text{re-} \\ & \text{sponsible-for}(B,n) \wedge \text{has-precondition}(n, \\ & \text{status}(m, \text{'completed'})) \end{aligned}$$

Кооперација такође подразумева и дељење ресурса у сврху остваривања компатибилних циљева. Тако, наредно правило се може користити за расуђивање о вези кооперације између два предузећа:

$$\begin{aligned} & \text{cooperate-with}(A,B) \Rightarrow \\ & \text{coordinate-with}(A,B) \wedge \\ & \exists m \exists n (\text{task}(m) \wedge \text{task}(n) \wedge \text{responsible-for}(A,m) \wedge \text{re-} \\ & \text{sponsible-for}(B,n) \wedge \\ & \exists r (\text{resource}(r) \wedge \text{consumed-by}(r,m) \wedge \text{consumed-by}(r,n)) \\ & \wedge \\ & \exists g \exists f (\text{goal}(g) \wedge \text{goal}(f) \wedge \text{has-goal}(A,g) \wedge \text{has-goal}(B,f) \\ & \wedge \text{is-compatible-with}(g,f)) \end{aligned}$$

Коначно, колаборација значи да постоји заједнички циљ:

$$\begin{aligned} & \text{collaborate-with}(A,B) \Rightarrow \\ & \text{cooperate-with}(A,B) \wedge \\ & \exists m (\text{task}(m) \wedge \text{responsible-for}(A,m) \wedge \text{responsible-} \\ & \text{for}(B,m)) \wedge \\ & \exists g (\text{goal}(g) \wedge \text{has-goal}(A,g) \wedge \text{has-goal}(B,g)) \end{aligned}$$

Семантичка анализа може да се покаже као корисна на различитим нивоима интер-организационих мрежа. Прво, семантичка репрезентација упита и информација може да унапреди релевантност резултата и тако, побољша процес избора партнера. Она може да се користи уместо уобичајених репрезентација захтева за селекцију. Друго, семантички елементи се могу користити за репрезентацију партнера или група партнера и тако омогуће да се они боље познају. Оваква информација може бити веома корисна за аутоматско одређивање токова информација кроз мрежу, на основу компетенција потребних за њихово задовољење и тако, унапређење времена и потребног капацитета за размену информација. Треће, семантичке информације се могу користити за организацију мреже, односно, повећање њене ефикасности. Ово је веома важно за отворени карактер интер-организационих мрежа, код којих се традиционални приступи управљању пословних процеса, који подразумевају монолитне токове информација сматрају неадекватним, због чега се фокус истраживања у овој области премешта са моделирања процеса на моделирање интеракција (Desai et al, 2006).

Коришћење доменске онтологије се већ показало као корисно за управљање ланцима снабдевања у развоју само-интегришућих SCM система (Jones et al,

2001), подршци сарадњи пројектних тимова различитих предузећа (Lin and Harding, 2007), симулацији мреже ланаца снабдевања (Favez et al, 2005), у онлајн преговарању (Pathak et al, 2000), развоју приступа семантичке интеграције индустријских информационих система (Izza, 2009), итд. Поред овога, постоје утицајни напори да се развију семантички модели за управљање ланцима снабдевања, засновани на онтологијама (Ye et al, 2008), организовани на модуларан начин ради подршке вишеструком коришћењу и лакшем одржавању коришћених микро-теорија. У овом смислу, треба поменути да у одређеној мери и онтологије предузећа, представљене у овом поглављу формализују значења веза између клијената и добављача, где се IDEON™ онтологија чак ексклузивно фокусира на колаборативна дистрибуирана предузећа.

Поглавље 3: Формализација операција ланца снабдевања

Референтни модели играју важну улогу у управљању знањем разних облика сарадње (као што су мреже ланца снабдевања). Међутим, њих веома често карактерише недостатак семантичке прецизности и непотпуност. У овом поглављу, представљен је приступ решавању проблема семантичких неконзистентности и некомплетности Supply Chain Operations Reference (SCOR) модела. Прво, представљена је непосредна OWL спецификација SCOR концепата (и одговарајућих алата). Она је развијена са циљем да се очува оригинални приступ у класификацији ентитета референтног процесног модела и тако, да се омогући ефективна примена приступа у оригиналном контексту. Потом, приказани су SCOR-Full онтологија и њене релације са релевантним доменским онтологијама. Показано је да се она може искористити за побољшање компетенције онтолошког окружења, заснованом на SCOR моделу. Коначно, анализиран је потенцијални утицај представљеног приступа на интероперабилност система у мрежама ланца снабдевања.

1 Увод

Док су постојеће онтологије предузећа развијене у процесу концептуализације домена који је вршен од стране експерата, пракса онтолошког развоја сугерише да овај процес такође мора да узме у обзир и неку општу онтологију. Општа онтологија представља модел општих објеката који се могу користити у великом броју (ако не и свим) доменских онтологија. Она користи општи речник који садржи изразе и описе објеката. Развој доменских онтологија имплицира да се нови, специфични концепти креирају тако што наслеђују опште термине из општих онтологија, чиме се постиже развој конзистентне и изражајне онтологије. Још важније, један број услова за интероперабилност нове онтологије са другим онтологијама је већ испуњен тиме што се за њихов развој користи иста општа онтологија. Број и разноликост нивоа уситњавања унутар онтолошког окружења такође проширује оквир могућег расуђивања. Коришћење модуларних онтологија такође утиче на боље перформансе семантичких окружења, јер омогућава дистрибуирано расуђивање. Приступ развоју доменских онтологија специјализацијом термина изабране опште онтологије се сматра top-down приступом.

Међутим, и bottom-up приступ има неке предности. Прво, њега уобичајено карактерише коришћење имплицитног али опште прихваћеног знања, као што су референтни модели, стандардне спецификације, доменски језици (Domain Specific Languages - DSL), и други. Друго, време развоја је доста краће, јер се процес онтолошког развоја своди на семантичку анализу референтних модела

или стандарда. Коначно, проблем евалуације се може свести на проверу конзистентности и анализу потпуности.

Типичан проблем, везан за примену bottom-up приступа је недостатак експлицитности резултујућег модела, због чега долази до великих тешкоћа у развоју и успостављању његове интероперабилности са другим, релевантним моделима. У овој тези, примењен је bottom-up приступ у формализацији операција ланца снабдевања, на основу референтног SCOR модела, описаног у делу 5 поглавља 2. Потенцијал интероперабилности резултујућег модела је увећан увођењем два модела на различитим нивоима апстракције – имплицитног SCOR модела и семантички обогаћеног модела, који је, потом, логички повезан са OWL репрезентацијом изабране доменске онтологије.

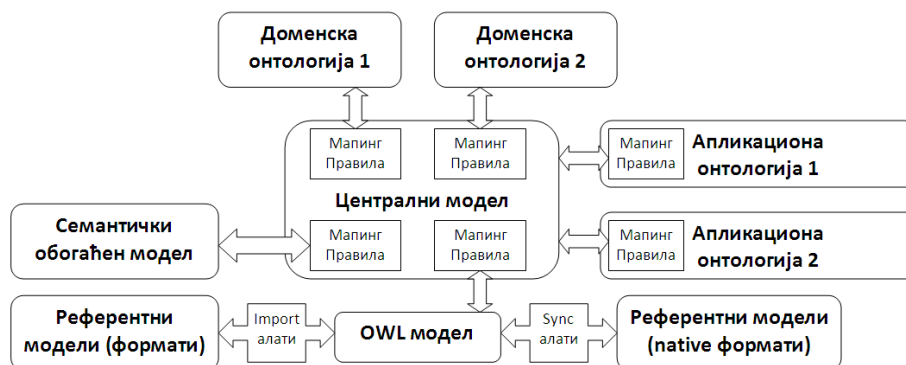
1.1 Опис приступа формализацији операција ланца снабдевања

Приступ формализацији операција ланца снабдевања, представљен у овој тези се заснива на три од пет општих приступа развоју онтологија: инспирације, индукције, дедукције, синтезе и колаборације (Holsapple and Joshi, 2002). Избор приступа имплицира избор bottom-up стратегије.

Индукција се користи у фази семантичког обогаћивања референтног модела, приликом повећања семантичке прецизности категоризација. Комбинује се са инспирационим приступом, који карактерише индивидуални (ауторов) поглед на коришћене апстракције. Инспирација се такође користи за формализацију модела који треба да се користе за решавање одређених проблема – апликационе моделе, развијене на основу одређених пројектованих циљева. Коначно, синтеза се користи у пресликавању семантички обогаћеног модела на релевантне онтологије, са циљем да се обезбеди семантичка интероперабилност и/или увећа домен расуђивања.

Да би се формализовао референтни модел, предложено је да се користе семантички усклађени слојеви директно преведене спецификације референтног модела, изведен експлицитни модел (семантички обогаћена спецификација) и одговарајућа доменска онтологија и апликациони модели, развијени на основу различитих пројектних циљева. Овакав приступ је у сагласности са праксама алата вештачке интелигенције да користе различите нивое уситњености доменског знања у решавању проблема различитих апстракција (Falkenhainer and Forbus, 1991). Приступ је демонстриран у Поглављу 5, на примеру анализе случајева коришћења SCOR модела у развоју семантичке апликације за конфигурацију процеса ланца снабдевања.

Слика 13 илуструје предложени оквир за семантичко обогаћивање референтних модела. Оквир укључује изворне моделе (референтне моделе и постојеће доменске онтологије), различите алате и резултујуће моделе: директну OWL спецификацију, семантички обогаћен модел, уједињујући (централни) модел и апликационе онтологије.



Слика 13. Оквир за семантичко обогашивање референтних модела

Пошто се референтни модели складиште и чувају у великом броју различитих формата и репрезентација, препоручује се коришћење алата за увоз као подршка иницијалном развоју и континуираном ажурирању OWL модела. Неки од примера алата за увоз су EulerGUI²⁶, који се користи за транслацију UML XMI формата и XML шема у N3 тројке и Anzo for Excel²⁷, који изводи RDF податке из Excel табела. Ажурирање модела или инстанцирање концепата који се користе се може аутоматизовати уколико се алати за увоз и одговарајућа развојна окружења користе за усклађивање OWL модела и изворних формата података апликација које користе референтне моделе. У случају SCOR модела, неки од примера таквих апликација су ARIS EasySCOR²⁸, или e-SCOR²⁹, који се користе за имплементацију SCOR стандарда.

Имплицитни концепти директне спецификације стандарда се семантички анализирају и креира се семантички обогашен модел. У овом процесу, морају се узети у обзир и приступи концептуализацији (на пример, кључне карактеристике главних концепата) изабраних доменских онтологија или општих онтологија. Уједињујући модел, који увози семантички обогашен модел и директну спецификацију модела складишти правила за успостављање кореспонденција између експлицитних и имплицитних концепата из ова два модела и/или експлицитних концепата различитих доменских онтологија.

Тако, уједињујући модел постаје јединствено место приступа знању предузећа (у контексту ланца снабдевања), пошто уједињује имплицитни (референтни модел) и два експлицитна (један општи и други који преошћује семантичке неусаглашености између општег и референтног, имплицитног) модела. Зато, он може да се користи од стране семантичких апликација, које га користе за извршавање семантичких упита који могу да прожимају целокупно

²⁶ <http://eulergui.sourceforge.net>

²⁷ <http://www.cambridgesemantics.com/semanticexchange>

²⁸ http://www.ids-scheer.com/ru/ARIS/ARIS_Reference_Models/ARIS_EasySCOR/115741.html

²⁹ <http://www.gensym.com>

интегрисано знање о предузећу, у сврху решавања специфичних апликационих проблема.

Раслојавање апликационих и репрезентационих (доменских) модела одражава парадигму раздвајања доменског и знања о решавању проблема (Gangemi, 2005) и подразумева њихову међусобну независност (Guarino, 1997). Тако, произвољни развојни циљеви се могу дефинисати и формализовати у скуп питања компетенције, и користити за развој апликационе онтологије. Иако је домен проблема у овом случају ограничен на контекст ланца снабдевања, он може бити и проширен у процесу синтезе, једноставним увођењем нових доменских онтологија и њиховим пресликавањем на семантички обогаћен модел операција ланца снабдевања.

У наставку овог поглавља, општи принципи предложене методологије су имплементирани у случају формалног оквира за операције ланца снабдевања. У делу 2, приказани су директна спецификација SCOR модела и семантички обогаћен модел. Такође, концепти семантички обогаћеног модела су дефинисани у процесу успостављања кореспонденција између његових концепата и концепата релевантне доменске онтологије - TOVE онтологије. Коначно, у делу 3, могући утицај предложене методологије се анализира у контексту семантичке интероперабилности система у окружењу ланца снабдевања.

2 Онтологије и модели формалног оквира

Доменске онтологије имају веома важну улогу у имплементацији интероперабилних система. Оне су експлицитне репрезентације специфичног доменског знања (нпр. о управљању ланцима снабдевања), односно његових концепата и логичких релација између њих. Доменске онтологије обезбеђују релевантност расуђивања о значењу информација које се размењују између система. Тако, оне морају бити; а) изражајне (да садрже све концепте једног домена и релације између њих), б) експлицитне (да јединствено дефинишу све концепте и њихове релације), в) неутралне (да објективно дефинишу све концепте, независно од појединачних контекста), и г) релевантне (у смислу да постоји консензус у доменској заједници о коришћеним концептуализацијама). С обзиром на то да је доменска онтологија посредник у интероперабилности произвољних информационих система, очигледно је да је релевантност њена најважнија карактеристика.

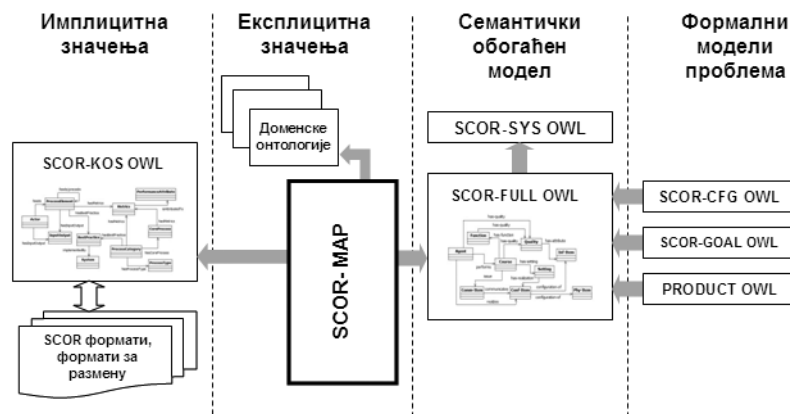
Консензус о колективном знању је изузетно тешко остварити (Hepp, 2007), нарочито када се ради о веома изражајним (или аксиоматизованим) доменским онтологијама са великим бројем концепата. Ова тешкоћа се често превазилази приступом колаборативне концептуализације, која је примењена у случају интеграције електронских каталога о производима (Guo, 2009).

Предложени формални оквир за мреже ланца снабдевања је илустрован на слици 14. Приступ његовом развоју се заснива на премиси да се доменско знање најбрже мења и еволуира на нижим нивоима апстракције, у интеракцији

доменске заједнице, зато што се консензус о специфичним терминима лакше остварује у односу на договоре о генерализацијама или апстракцијама. Чињеница је да се нижи нивои апстракције карактеришу имплицитнијим значењима стандарда, референтних модела, структура база података, итд. пошто се они најчешће описују природним језиком. Међутим, ово не мора да представља непремостиви проблем. Под условом да се ова имплицитна значења могу формализовати језиком који се заснива на описној логици, као што је OWL, при чему се не врши никакав покушај њихове концептуализације, и да се она могу семантички ускладити са значењима изражајног, неутралног доменског модела, њихово коришћење у окружењу се може испоставити као веома важно.

Наиме, ови имплицитни модели се могу искористити за превазилажење јаза између формалних доменских теорија и информационих система који користе ове имплицитне моделе. Тако, кохерентност између развоја, еволуције и коришћења специфичног, високо контекстуализованог знања и развоја формалних, изражајних модела се сматра веома важним фактором корисности резултујућег окружења.

О предностима bottom-up стратегије у развоју онтологије се већ дискутовало у овој тези. Прво, она се имплементира на бази имплицитног, али општег, широко прихваћеног знања (у овом случају, то знање формализује SCOR модел). Веома је важно напоменути да предложени приступ формализацији, супротно неким другим приступима (Millet et al, 2009), нема за циљ да прошири значења SCOR концепата, већ само да унапреди изражајност модела. Друго, време развоја је значајно скраћено, јер се процес развоја онтологије своди на семантичку анализу стандарда. Треће, проблем евалуације се може свести на проверу конзистентности и анализу потпуности.



Слика 14. Формални оквир операција ланца снабдевања.

Језгро формалног оквира се састоји од два модела који практично описују једно исто – операције ланца снабдевања, али то чине на два различита нивоа апстракције. Први слој моделира имплицитна значења SCOR елемената и

складишти знање о операцијама ланаца снабдевања коришћењем семантички слабе структуре знања. У овом слоју, SCOR елементи се репрезентују у њиховој оригиналној форми – форми природног језика и повезују се на одговарајући начин. Ова репрезентација је детаљно описана у делу 2.1. овог поглавља. Други слој чини семантички обогаћена верзија SCOR модела (представљена у делу 2.2). Она идентификује опште термине о предузећу, пресликава их на одговарајући начин на SCOR ентитете и класификује их у генеричке, међусобно повезане концепте. Оба слоја су формализована као OWL модели – SCOR-KOS (SCOR Knowledge Organization System) и SCOR-Full.

SCOR-Full се може сматрати микро-теоријом која идентификује и класификује опште термине предузећа у контексту операција ланаца снабдевања. Она је развијена семантичком анализом SCOR Input/Output елемената, идентификацијом основних термина и њиховом генерализацијом у појмове Тока (Course), Околности (Setting), Квалитета (Quality), Функције (Function) и Ресурса (Resource). Њу проширује SCOR-Goal онтологија, која омогућава логичко усклађивање SCOR-Full термина са SCOR елементима метрике перформанси. SCOR-Full онтологија је преликана на имплицитни модел знања о SCOR стандарду (SCOR-KOS). Тако, било које структурне промене основног модела, као што је увођење нових међузависности (Millet et al, 2009) ће се одмах одразити и на системе који користе SCOR-Full онтологију.

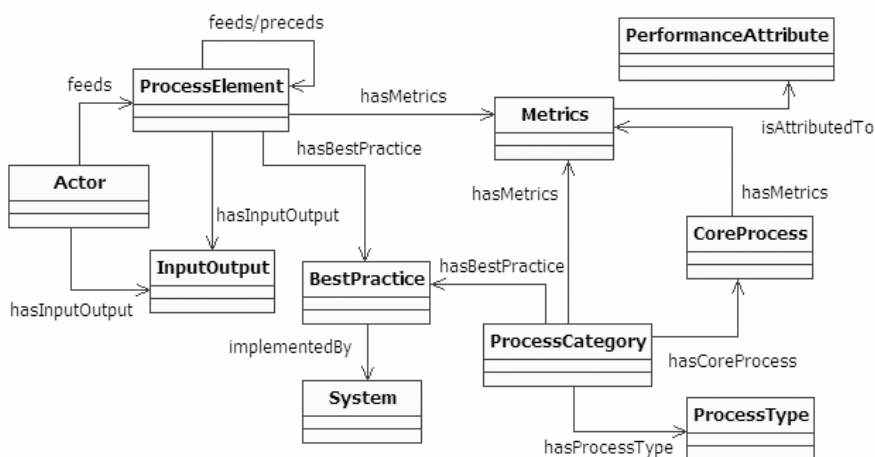
Веома је важно напоменути да SCOR-Full онтологија представља само прелазни модел, у смислу да она класификује опште термине о предузећу у контексту ланца снабдевања, док се подразумева да су значења тих термина дефинисана екстерно. Као извори спецификација ових значења, могу да се користе различите формализације предузећа, контексти и погледи различитих архитектура и друге концептуализације. Њихови концепти се могу логички повезати са концептима SCOR-Full онтологије. У овом тренутку, SCOR-Full онтологија је преликана на TOVE организациону и основну онтологију (заправо на њихове OWL репрезентације). Приступ овом пресликавању и неке кореспонденције су описани у делу 2.2 овог поглавља.

SCOR-Full онтологију могу да користе различити апликациони модели који формализују специфичне развојне циљеве. Наиме, поред онтологија, формални оквир се састоји још и од семантичких апликација, које представљају дељени ресурс свих предузећа у мрежи ланаца снабдевања. Њихова улога је да обезбеде подршку колаборативним активностима и функције мреже, као што су управљање интер-организационим процесима, избор партнера, управљање коришћењем дељених ресурса, итд. За извршење ових функција, свака од семантичких апликација користи индивидуалне апликационе (или проблемске) онтологије – формалне репрезентације индивидуалних проблема.

На пример, SCOR-Cfg OWL модел се користи за развој семантичке веб апликације за конфигурацију ланаца снабдевања (Zdravković et al, 2011). Product OWL модел се користи за развој семантичке веб апликације за аквизицију захтева о производу у интер-организационом окружењу (Zdravković and Trajanović, 2009). SCOR-Goal OWL (Zdravković and Trajanović, 2011) модел формализује функцију мерења перформанси операција ланаца снабдевања.

2.1 SCOR-KOS OWL Модел

Према предложеној методологији, SCOR референтни модел се користи као полазиште за дефинисање значења домена управљања ланцима снабдевања, пошто одражава консензус релевантне заједнице. С обзиром на слабу изражајност SCOR модела, у првом кораку, он се моделира као систем за организацију знања (Knowledge Organization System - KOS). Да би овај систем био интероперабилан са другим компонентама окружења, он се моделира коришћењем OWL језика. На слици 15, приказани су ентитети SCOR-KOS OWL модела и везе између њих.



Слика 15. Ентитети SCOR-KOS OWL модела

Ентитети SCOR модела су репрезентовани као инстанце SCOR-KOS OWL концепата: SCOR_CoreProcess, SCOR_ProcessCategory, SCOR_ProcessType, SCOR_ProcessElement, SCOR_PerformanceAttribute, SCOR_Metrics (са под-концептима SCOR_Asset_Metrics, SCOR_Reliability_Metrics, SCOR_Asset_Metrics and SCOR_Responsiveness_Metrics), SCOR_BestPractice, SCOR_System, SCOR_Actor и SCOR_Input-Output.

Потом, следеће логичке везе између ових инстанци су афирмисане:

```

hasProcessElement(SCOR_ProcessCategory,
SCOR_ProcessElement);
hasMetrics(SCOR_ProcessCategory, SCOR_Metrics);
hasProcessType(SCOR_ProcessCategory, SCOR_ProcessType);
hasBestPractice(SCOR_ProcessCategory, SCOR_BestPractice);
hasBestPractice(SCOR_ProcessElement, SCOR_BestPractice);
hasCoreProcess(SCOR_ProcessCategory, SCOR_CoreProcess);
precedes(SCOR_ProcessElement, SCOR_ProcessElement);
feeds(SCOR_ProcessElement, SCOR_ProcessElement);
  
```

```

hasInput(SCOR_ProcessElement, SCOR_Input-Output);
hasOutput(SCOR_ProcessElement, SCOR_Input-Output);
hasMetrics(SCOR_ProcessElement, SCOR_Metrics);
hasMetrics(SCOR_CoreProcess, SCOR_Metrics);
hasProcess(SCOR_CoreProcess, SCOR_CoreProcess);
feeds(SCOR_Actor, SCOR_ProcessElement);
hasInput(SCOR_Actor, SCOR_ProcessElement);
hasOutput(SCOR_Actor, SCOR_ProcessElement);
implementedBy(SCOR_BestPractice, SCOR_System);
isAttributedTo(SCOR_Metrics, SCOR_PerformanceAttribute)

```

Следеће релације се могу расудити као инверзне одговарајућим афирмисаним релацијама:

```

succeeds(SCOR_ProcessElement, SCOR_ProcessElement);
measure(SCOR_Metrics, SCOR_ProcessElement);

```

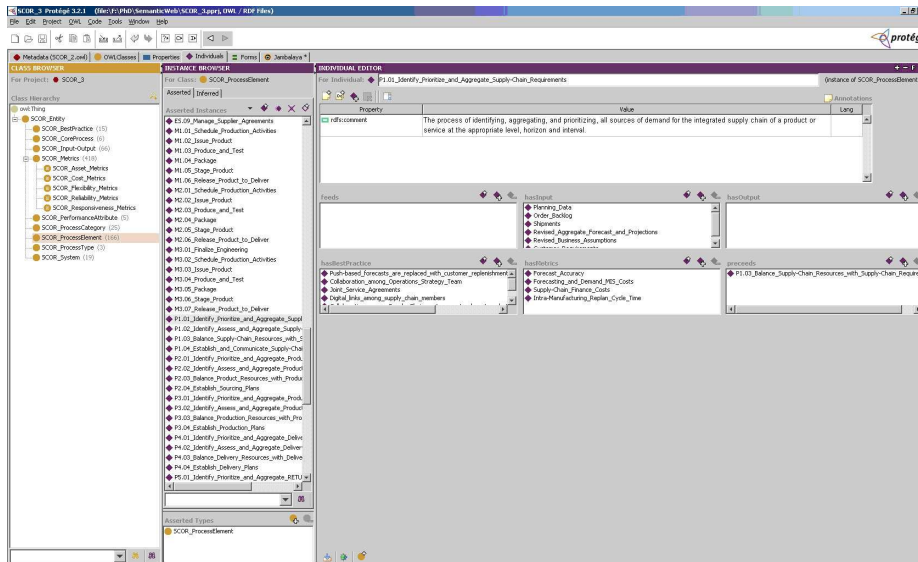
Такође, аксиоматска дефиниција концепата SCOR_Asset_Metrics, SCOR_Flexibility_Metrics, SCOR_Reliability_Metrics и SCOR_Responsiveness_Metrics омогућава аутоматску класификацију метрике различитих типова:

```

SCOR_Asset_Metrics •
(( isAttributedTo.{Assets})) • SCOR_Metrics)
SCOR_Reliability_Metrics •
(( isAttributedTo.{Reliability})) • SCOR_Metrics)
SCOR_Asset_Metrics •
(( isAttributedTo.{Assets})) • SCOR_Metrics)
SCOR_Responsiveness_Metrics •
(( isAttributedTo.{Responsiveness})) • SCOR_Metrics)

```

SCOR-KOS OWL модел је развијен као OWL-DL онтологија, коришћењем Protégé (Knublauch et al, 2004) алата (види слику 16), на бази семантичке анализе верзије 6 SCOR референтног модела. Модел садржи 418 елемената метрике, 166 процесних елемената, 25 категорија процеса, 164 добрих пракси, 282 Input/Output елемената и 108 елемената система. За расуђивање о релацијама SCOR-KOS OWL модела, коришћен је Pellet 1.5 алат (Sirin et al, 2007).



Слика 16. Protégé алат са SCOR-KOS OWL моделом

У SCOR-KOS OWL моделу, токови процеса су афирмисани коришћењем релације precedes(SCOR_ProcessElement, SCOR_ProcessElement). Такође, о токовима се може расудити коришћењем њој инверзне релације: succeeds(SCOR_ProcessElement, SCOR_ProcessElement). Додатно, релација feeds(SCOR_ProcessElement, SCOR_ProcessElement) се користи за успостављање токова између процесних елемената различитих процеса.

Ова релација се такође користи и за афирмисање токова између процесних елемената и актера SCOR процеса. Актер SCOR процеса може да буде добављач, купац или било која организациона јединица предузећа из чије се перспективе управља ланцем снабдевања, као што су продаја, маркетинг или правна служба.

Компетентност SCOR-KOS OWL модела

Циљ директне OWL спецификације је да очува начин класификације који сугерише SCOR модел. Он репрезентује концепте и карактеристике SCOR стандарда и тако омогућава коришћење SCOR-KOS модела у оригиналне сврхе. Ове сврхе се могу формализовати дефинисањем питања компетентности, која се користе за валидацију модела.

Компетентност SCOR-KOS OWL модел се може проверити коришћењем следећих питања:

1. Који елементи процеса чине један SCOR процес и којим редоследом?
2. Који су улазни и излазни ресурси за изабрани процесни елемент?
3. Које су метрике и добре праксе везане за изабрани процесни елемент?
4. Који системи могу утицати на побољшање изабраног процесног елемента и/или категорије процеса?

У наставку овог дела, разматра се компетентност SCOR-KOS OWL модела и описује начин на који се може одговорити на питања компетентности.

Редослед процесних елемената се може одредити извршењем SPARQL упита над афирмисаним “precedes” (директно претхођење) тројкама. SPARQL (Prud'hommeaux and Seaborne, 2008) (SPARQL Protocol and RDF Query Language) је језик за формирање RDF упита, који се користи за екстракцију и манипулацију подацима који се складиште у Resource Description Framework формату.

Највећи број категорија процеса карактеришу једноставни линеарни токови елемената, са изузецима P1, P2, P3 и P4 категорија процеса планирања, код којих постоји конкурентност елемената.

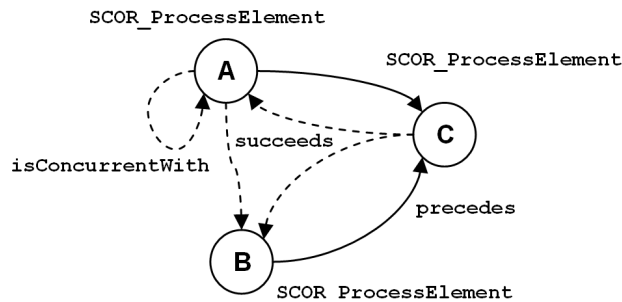
Дефиниција конкурентности у SCOR-KOS OWL моделу се користи само за одређивање гранања токова и тако, није семантички потпуна. Конкурентност се расуђује на основу “isConcurrentWith” релације и моделира се уз помоћ аксиома ланаца карактеристика (property chain), на бази афирмисаних “precedes” и расуђених (инверзних) “succeeds” карактеристика:

`precedes o succeeds => isConcurrentWith`

, или уз помоћ RDQL упита:

`∃precedes.(2 succeeds)`

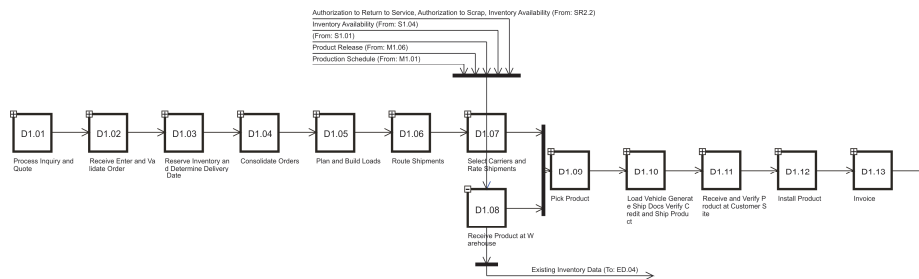
Слика 17 приказује пример конкурентних процесних елемената А и В, који претходе процесном елементу С (афирмисане карактеристике). Расуђене карактеристике “succeeds” и “isConcurrentWith” су илустроване коришћењем испрекиданих линија.



Слика 17. Приступ моделирању конкурентности процесних елемената

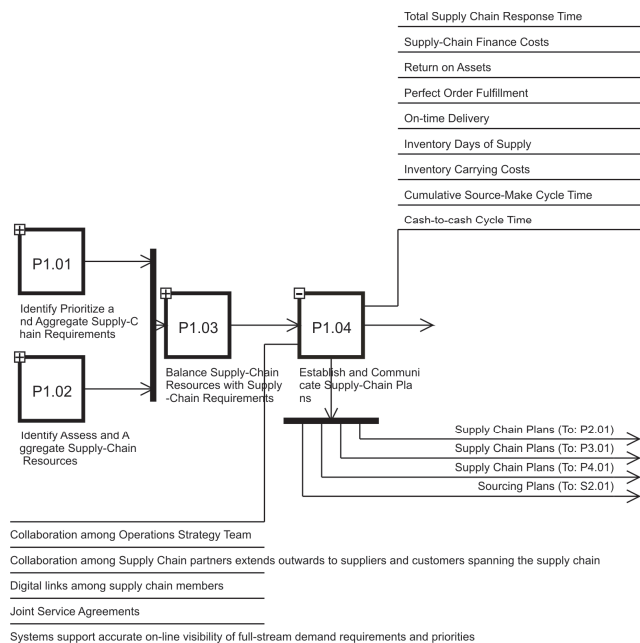
Токови улазних и излазних ресурса се одређују уз помоћ SPARQL упита, који враћају индивидуе “SCOR_InputOutput” концепта из домена афирмисаних тројки “hasInput” и “hasOutput” карактеристика. Извор ових карактеристика се одређује из домена “fedBy” карактеристике, инверзне карактеристици “feeds”, која се користи за афирмисање веза између елемената процеса различитих категорија процеса.

Слика 18 илуструје улазне и излазне ресурсе процесног елемента D1.08. Визуелизација елемента D1.08 је генерисана од стране развијеног алата који користи SCOR-KOS OWL модел да прикаже афирмисане и расуђене карактеристике његових елемената.



Слика 18. Визуелизација категорије процеса D1, са изабраним елементом D1.08

У одговору на питање компетентности 3, алат такође приказује елементе метрике и добрих пракси, афирмисане уз помоћ “hasBestPractice” и “hasMetrics” карактеристика. Слика 19 приказује мапу категорије процеса “P1. Plan supply chain”, са укљученим слојем који приказује метрику и добре праксе.



Слика 19. Визуелизација категорије процеса P1 са слојем који приказује метрику и добре праксе

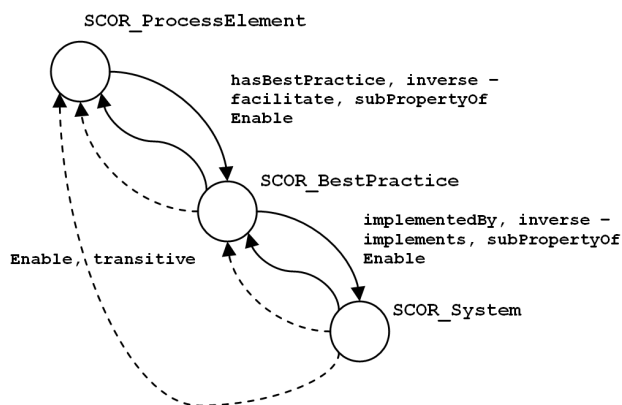
Расуђивање о системима који могу унапредити изабране процесне елементе (или категорије) је омогућено увођењем карактеристика:

```
implements (SCOR_System, SCOR_BestPractice)
```

, и:

```
facilitates (SCOR_BestPractice, SCOR_ProcessElement),
```

које имају и инверзне карактеристике “implementedBy” и “hasBestPractice”, које се користе за афирмисање веза између процесних елемената, добрих пракси и система. Ове карактеристике су дефинисане као под-карактеристике транзитивне карактеристике “enable”. Тако, омогућено је расуђивање релација између “SCOR_System” и “SCOR_ProcessElement” концепата (види слику 20).



Слика 20. Афирмисане и расуђене релације између индивидуа SCOR_System, SCOR_BestPractice и SCOR_ProcessElement концепата

Након успостављања ових релација, за „B2B Integration and Application Server System”, могу се расудити следећи искази:

```
enable P1.01_Identify_Prioritize_and_Aggregate_Supply-Chain_Requirements
enable P1.02_Identify_Assess_and_Aggregate_Supply-Chain_Resources
enable P1.04_Establish_and_Communicate_Supply-Chain_Plans
enable
P4.01_Identify_Prioritize_and_Aggregate_Delivery_Requirements
```

Наиме, може да се закључи да имплементација B2B интеграције и апликационог сервера може позитивно да утиче на побољшање перформанси четири, горе наведена процесна елемента.

С обзиром на то да су добре праксе такође везане за категорије процеса, могуће је расудити утицај система или способности система на категорије процеса. На пример, за индивидуу „Supply Chain Event Management Software”, на основу иницијалних афирмација, може се расудити наредни релевантни исказ:

enable P2_Plan_Source

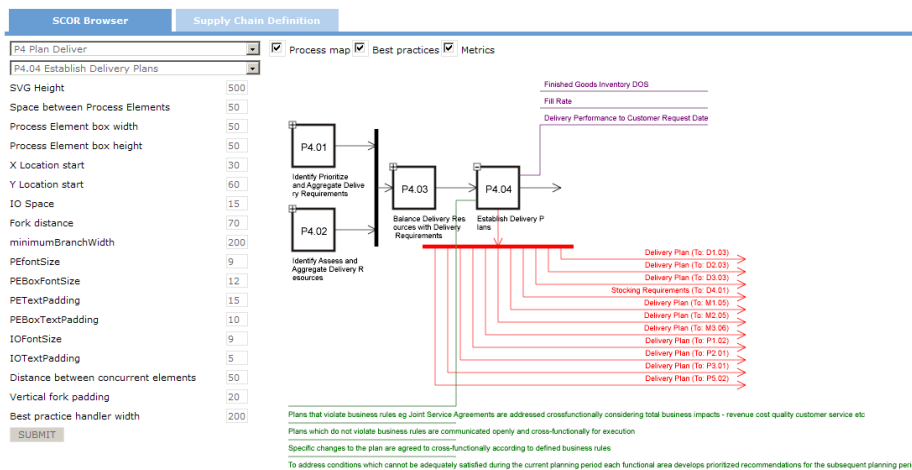
Наиме, може се закључити да се имплементацијом система за управљање догађајима у ланцу снабдевања, може позитивно утицати на перформансе процеса планирања набавке.

Дефинисањем инверзне карактеристике “enabledBy”, постаје могуће и расуђивање релација између система и процесних елемената (категирија) у обрнутом правцу. Тако, сада је могуће идентификовати системе чија примена може побољшати перформансе изабраног процесног елемента или категорије. Овај закључак је и одговор на последње питање компетентности SCOR KOS OWL модела.

SCOR-KOS OWL је коришћен за развој веб апликације за навигацију и визуелизацију SCOR стандарда. Главне особине ове апликације су:

- Приказ редоследа елемената процеса за изабрану категорију процеса.
- Приказ токова улазних и излазних ресурса за изабрани елемент процеса.
- Приказ метрике и најбољих пракси за изабрани елемент процеса
- Подешавање приказа кроз избор оптималних параметара.

Слика 21 приказује радну површину веб апликације, са приказаним излазним ресурсима, добрим праксама и метрикама за елемент процеса „P4.04. Establish delivery plans“, који припада категорији процеса „P4. Plan Deliver“.



Слика 21. Категорија процеса „P4. Plan Deliver“

Алат је развијен коришћењем RAP (RDF API for PHP) (Oldakowski et al, 2005) апликативног програмског интерфејса за парсирање, извршавање упита, манипулацију и серијализацију RDF модела. Неке карактеристике RAP API окружења су: подршка за RDF, RDFS, N3, N-Triple и OWL моделе, серијализација онтологија у MySQL базе података, обрада RDQL и SPARQL упита, ограничена подршка за расуђивање, итд. За визуелну репрезентацију, коришћен је SVG (Scalable Vector Graphics) формат.

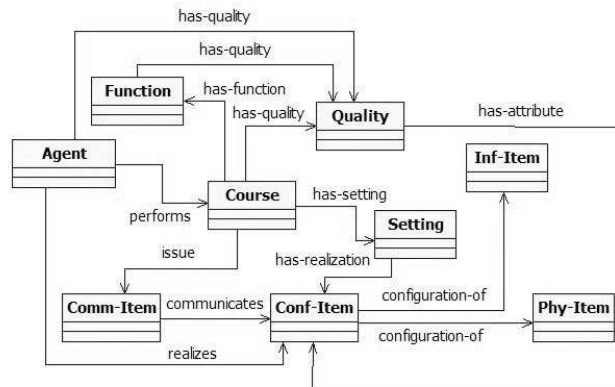
2.2 SCOR-Full модел

Иако је развијен као семантички обогачен модел SCOR референтног стандарда, SCOR-Full се може сматрати доменском онтологијом – микро теоријом за репрезентацију и управљање знањем о операцијама ланаца снабдевања. Она формализује основне концепте операција ланаца снабдевања, који су описани у дефиницијама SCOR модела. Она је развијена семантичком анализом SCOR Input/Output елемената, идентификацијом основних појмова и њиховом категоризацијом. Она проширује SCOR-Sys онтологију, која формализује SCOR System елемент, а проширена је од стране SCOR-Goal онтологије (Zdravković and Trajanović, 2011), која семантички усклађује њене концепте са SCOR Performance Metrics елементом. Ове две онтологије нису у оквиру истраживања које је обављено за потребе ове тезе и о њима се неће расправљати.

SCOR-Full онтологија нема за циљ да формализује ланац снабдевања, већ само да реши семантичке неконзистентности SCOR референтног модела. Зато, њен домен је стриктно ограничен на коришћење општих појмова о предузећу за изражавање постојећих елемената SCOR модела.

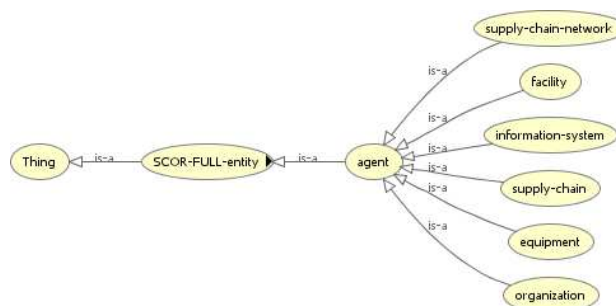
Централни појам SCOR-Full онтологије (као што је то случај и код SCOR модела) је генерализација процеса, у смислу да он служи као главни контекст за семантичку дефиницију других концепата у онтологији.

Главни концепти SCOR-Full онтологије су: Агент, Ток, Ресурс (и његови субконцепти: Информациони ресурс, Физички ресурс, Конфигурисани ресурс и Комуницирани ресурс), Функција, Квалитет и Околност. Слика 22 илуструје главне концепте SCOR-Full онтологије и везе између њих.



Слика 22. Концепти првог нивоа SCOR-Full онтологије и везе између њих

Агент (види слику 23) је концепт који описује извршну улогу и обухвата све ентитете који извршавају индивидуални или скуп задатака у мрежи ланаца снабдевања, као што су: опрема, организација, ланац снабдевања, мрежа ланаца снабдевања, постројење или информациони систем.



Слика 23. Таксономија “agent” концепта

Иако су семантички описани као улоге, агенте не карактерише експлицитна дефиниција функција. Функционалност се дефинише као карактеристика тока, који извршава агент. Тако, агенти су функционални само у контексту тока који извршавају. Основна формална последица ових претпоставки је та да агенти не постоје уколико не извршавају одређени ток вршних ствари. Зато, потребан услов за једног агента је да извршава неки ток. Другим речима, концепт агента у SCOR-Full онтологији наслеђује анонимну класу:

$$\forall a (\text{agent}(a)) \exists c (\text{course}(c) \wedge \text{performs}(a, c))$$

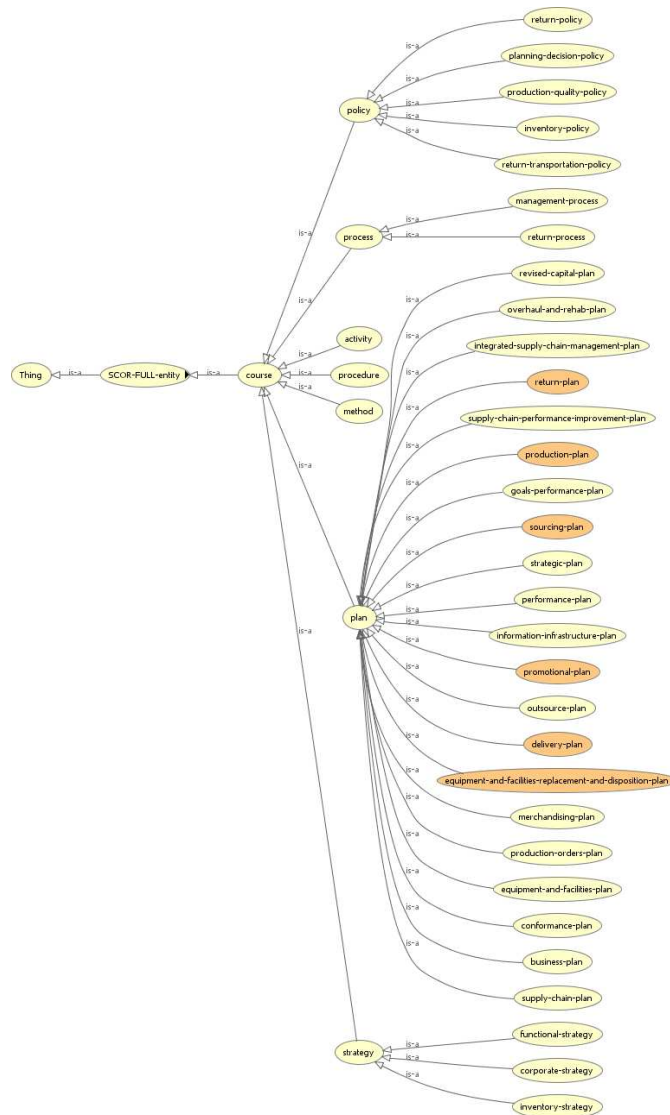
Подконцепти концепта агента, као што су опрема, постројење, информациони систем, организација, ланац снабдевања и мрежа ланца снабдевања такође наслеђују ову анонимну класу.

Ток (види слику 24) класификује описе (прошних или будућих) уређених скупова вршних ствари: активности, процесе, методе, процедуре, стратегије или планове, на истом нивоу апстракције. Појмом тока се генерализују вршне или извршене ствари које карактеришу особине околности (које одговарају утицајним или резултујућим стањима, ограничењима, захтевима, итд.), квалитета (цена, трајање, капацитет, перформансе, итд.) и организације (агента или пословне функције). Први потребан услов за класификацију индивида типа тока је да су оне функционалне, у смислу да постоји нека општа сврха због које се извршава уређени скуп вршних ствари (извршио се или ће се извршити). Други потребан услов је да ток има утицај на околност тока (циљ или стање) и/или прима некакав одзив од њега или узима у обзир неку од његових карактеристика (као што су ограничење, захтев, правило или претпоставка). Другим речима, ток морају да карактеришу околности (setting).

Зато, концепт тока наслеђује две анонимне класе:

$$\forall c \text{ (course}(c)) \exists f \text{ (function}(f) \wedge \text{has-function}(c, f))}$$
$$\forall c \text{ (course}(c)) \exists s \text{ (setting}(s) \wedge \text{has-setting}(c, s))}$$

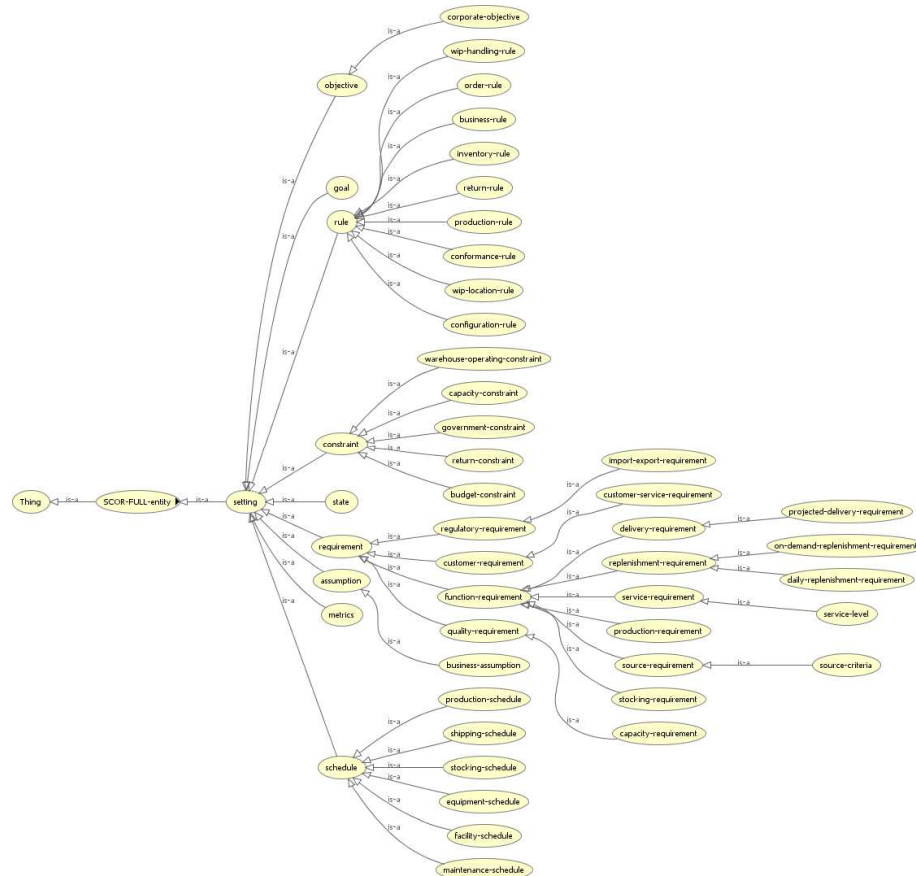
Иако се концепту тока могу придодати различити атрибути (квалитети), вршећи или одговорни актер и комуникациони ресурси, ови се не сматрају његовим дефинишућим карактеристикама.



Слика 24. Таксономија концепта тока

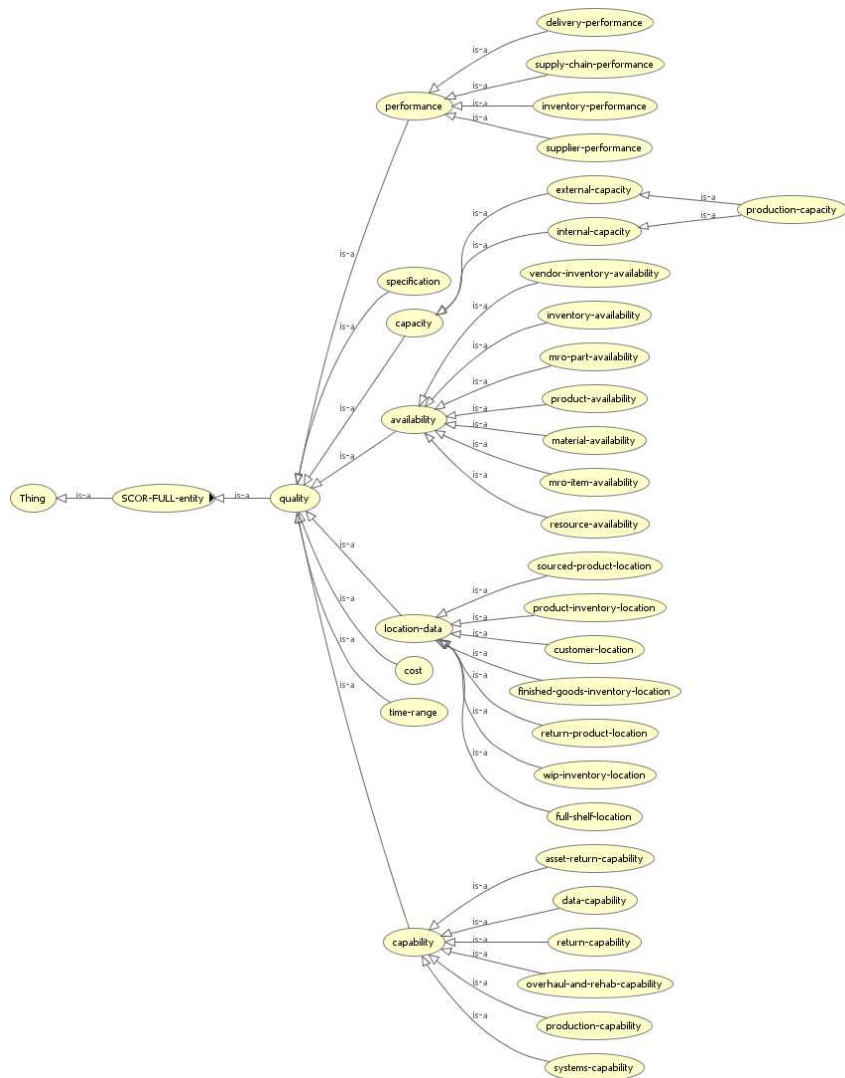
Околност (Setting) (види слику 25) обезбеђује опис окружења тока. Он уједињује семантички дефинисане карактеристике контекста у којем се ток дешава – његову мотивацију, поспешиваче или ограничења. Зато, околност класификује правила, метрику, захтеве, ограничења, циљеве или претпоставке скупа акција. Док су индивидуе концепта околности семантички описане њиховом класификацијом у неки од подконцепата, оне такође морају бити асоциране са одређеним квантификованим појмовима који описују одређене вредности или стања. Иначе, њихова природа би остала апстрактна. Зато,

потребан услов за околност је да је реализована од стране неког конфигурисаног ресурса (детаљан опис следи):

$$\forall s (\text{setting}(s)) \exists ci (\text{configured-item}(ci) \wedge \text{has-realization}(s, ci))$$


Слика 25. Таксономија “setting” концепта

Квалитет (види слику 26) представља општи атрибут тока, агента или функције који се може опазити или измерити, нпр. способност, капацитет, доступност, перформансе, цена или време/место.



Слика 26. Таксономија концепта квалитета

Као и у случају концепта околности, ови атрибути су само семантички описане апстрактне категорије. Зато, они се морају пресликати на специфичне вредности или стања. Потребан услов за индивидуе концепта квалитета је да су асоциране са најмање једном индивидуом концепта конфигурисаног ресурса:

$$\forall q \text{ (quality}(q)) \exists ci \text{ (configured-item}(c) \wedge \text{has-attribute}(q, ci))$$

Анонимна класа коју наслеђује концепт квалитета се може представити и уз помоћ Manchester OWL синтаксе, на следећи начин:

```
has-attribute min 1 configured-item
```

Концепт функције (види слику 27) уједињује елементе хоризонталне пословне организације, као што су: складиштење, превоз, контрола, продаја, допуна, повраћај, испорука, распоређивање, одржавање, производња, итд. Иако их је могуће описати одређеним квалитетима, концепт функције је апстрактни концепт чија основна улога је да семантички дефинише контекст тока.



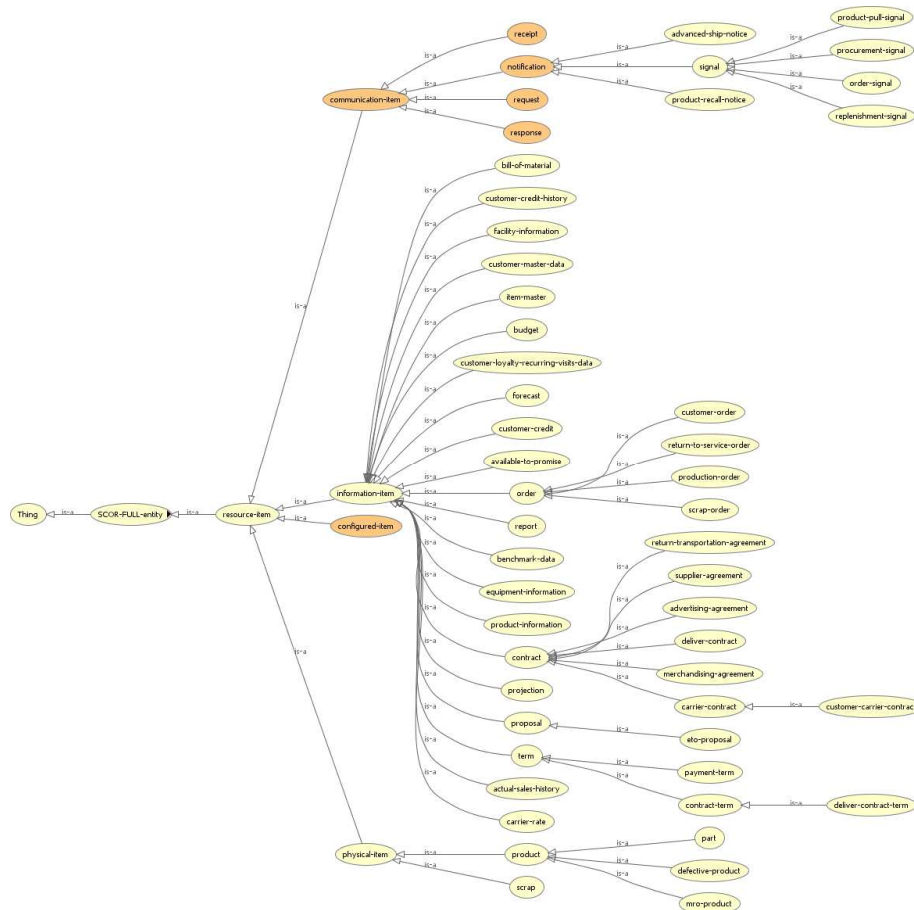
Слика 27. Таксономија концепта функције

Концепти ресурса у SCOR-Full онтологији

Уместо да репрезентује токове процеса, SCOR-Full се користи за моделирање омогућавајућих и проузрокованих стања његових активности. Ова стања се репрезентују коришћењем концепта конфигурираног ресурса (Conf-Item), опсега “has-postcondition” и “has-precondition” карактеристика концепта тока и његовог подконцепта - Активности.

Ресурс (види слику 28) је општи појам који генерализује комунициране (Comm-Item, нпр. Обавештење, Одговор, Захтев) и конфигуриране (Conf-Item, са дефинисаним стањем) информационе ресурсе (Inf-Item), као што су наруџбина, прогноза, извештај, буџет, итд., и физичке ресурсе (Phy-Item). Док су информациони ресурси атрибути квалитета (или функције, агента и тока),

Њихове конфигурације су реализације правила, метрике, захтеva, ограничења, циљева или претпоставки тока.



Слика 28. Таксономија концепта ресурса

Конфигурисаним ресурсима се моделира семантика ресурса – физичких или информационих ресурса, појмова који се користе за генерализацију основних, размењивих објеката у пословном окружењу. Примери информационих ресурса су наруџбина, прогноза, буџет, уговор, извештај, предлог, саставница, итд. Њихова структура није детаљно описана од стране SCOR-Full онтологије. Из њене перспективе, они се сматрају атомским концептима чије се значење може дефинисати усклађивањем са другим онтологијама предузећа. Физички ресурси су Производ (MRO-Product, Defective-Product и Part) и Отпад. Конфигурисане ресурсе карактерише једно или више стања информационих или физичких ресурса, додељена нумеричка вредност (или вредност другог примитивног типа) или реализација од стране другог конфигурисаног ресурса:

$$\begin{aligned}
& (\text{Inf-Item}(\text{?x}) \wedge (\text{has-numerical-value}(\text{?x}, \text{decimal}) \vee \text{has-} \\
& \text{text-value}(\text{?x}, \text{string}) \vee \text{has-date-value}(\text{?x}, \text{dateTime}) \vee \\
& (\text{information-item}(\text{?i}) \wedge \text{has-realization}(\text{?x}, \text{?i}))) \vee \\
& ((\text{Phy-Item}(\text{?x}) \vee \text{Inf-Item}(\text{?x})) \wedge \text{has-} \\
& \text{state}(\text{?x}, \text{state}(\text{?y}))) \Rightarrow \text{Conf-Item}(\text{?x})
\end{aligned}$$

Тако, информациони ресурси се конфигуришу када се најмање једна њихова карактеристика дефинише или конфигурише, на било који начин. Понекад, није могуће конфигурирати информациони ресурс са једноставним објектом, као што је примитивни тип или стање. Зато, он се може и “реализовати” другим конфигурираним ресурсом, као сложеном карактеристиком.

У основи, као и други концепти, информациони ресурс је такође апстрактне природе и представља само носиоца информације. Типично, информациони ресурси наслеђују анонимне класе које одређују на који начин су ови ресурси реализовани. На пример, у случају `production-schedule-item` подконцепта информационог ресурса, ове анонимне класе су дефинисане на следећи начин (Manchester OWL syntax):

```

has-product-information exactly 1 product-information
has-production-end-date exactly 1 dateTime
has-production-start-date exactly 1 dateTime

```

где су “`has-production-end-date`” и “`has-production-start-date`” подкарактеристике “`has-date-value`” функције. “`Has-product-information`” је подкарактеристика “`has-realization`” карактеристике. Тако, потребни услови за расуђивање једног елемента плана производње су: 1) да је везан за само један производ; 2) да му је дефинисан почетак производње и 3) да му је дефинисан планирани крај производње.

Слично, “`product-information`” информациони ресурс је конфигурисан (тако, његова реализација се користи у опсегу првог потребног услова, горе) тако што је везан за најмање једну идентификацију производа:

```

has-product-id exactly 1 string

```

Могућа стања су идентификована у анализи SCOR модела и укључују 25 могућих атрибута конфигурираних ресурса, који се могу везати за различите информационе или физичке ресурсе. Неки од примера постојећих стања су: `Adjusted`, `Approved`, `Authorized`, `Completed`, `Delivered`, `Installed`, `Loaded`, `Planned`, `Released`, `Returned`, `Updated`, `Validated`, итд. Често, имплицитни појмови SCOR-KOS OWL се директно односе на конфигуриране ресурсе SCOR-Full онтологије. На пример, наредни изрази (правила) дефинишу везе између неких од SCOR појмова и концепата SCOR-Full онтологије, односно, њихових стања:

$$\text{customer-credit}(\text{?x}) \wedge \text{in-state}(\text{?x}, \text{Adjusted}) \Rightarrow \text{SameAs}(\text{?x}, \text{Adjust_Customer_Credit})$$

$\text{return-to-service}(?x) \wedge \text{in-state}(?x, \text{Authorized}) \Rightarrow \text{SameAs}(?x, \text{Authorization_to_Return_to_Service})$

$\text{product}(?x) \wedge \text{in-state}(?x, \text{Consolidated}) \Rightarrow \text{SameAs}(?x, \text{Consolidated_Product})$

$\text{contract}(?x) \wedge \text{in-state}(?x, \text{Approved}) \Rightarrow \text{SameAs}(?x, \text{Approved_contract})$

$\text{item-master}(?x) \wedge \text{in-state}(?x, \text{Approved}) \Rightarrow \text{SameAs}(?x, \text{Approved_Item_Master})$

$\text{contract}(?y) \wedge \text{in-state}(?y, ?x) \Rightarrow \text{SameAs}(?x, \text{Contract_Status})$

Док Inf-Item концепт дефинише значење релевантног ресурса, Conf-Item описује његову динамику. Треба нагласити да SCOR-Full онтологија афирмише семантичку релацију (“realizes (Agent, Conf-Item)”) која се може искористити за расуђивање о томе који агент је одговоран за одређено стање ресурса, иако се ова информација не налази у оригиналном SCOR моделу. SCOR-Full онтологије ће се ослањати на екстерне доменске онтологије за превазилажење ове некомплетности.

Да ви се добио изражајни модел процеса, веома је важно дефинисати како активности и одговарајући ресурси комуницирају о ресурсима, односно, како их размењују. Ово знање је записано (на имплицитан начин) у оригиналном SCOR моделу (коришћењем природног језика) и користи се од стране SCOR-Full онтологије за формализацију апстрактних комуницираних ресурса (Comm-Item), који обухватају специфичне концепте обавештења (Notice), или његовог подконцепта Сигнала, захтева (Request), одговора (Response) и потврде (Receipt). SCOR модел не обезбеђује експлицитну информацију о томе ко комуницира коришћењем конфигурираних ресурса, али се о овом може расудити коришћењем екстерног доменског знања (TOVE онтологија), на основу ланца карактеристика:

$\text{performs}(\text{Agent}, \text{Course}) \circ \text{issue}(\text{Course}, \text{Comm-Item})$

У овом случају, прва релација се може расудити на основу логичких веза између екстерне TOVE онтологије и друге релације – из SCOR-KOS OWL модела. Потребни услови за Comm-Item су да је он издат (issued), односно захтеван, да је на њега одговорено, да је послат у виду обавештења или да је примљен (requested, responded, notified или received) од стране тока и да комуницира конфигурирани ресурс:

$\text{Course}(?x) \wedge \text{Conf-Item}(?y) \wedge \text{issue}(?x, ?z) \wedge \text{communicates}(?z, ?y) \Rightarrow \text{Comm-Item}(?z)$

Још специфичнији аксиоми су афирмисани за субконцепте Comm-Item, коришћењем подкарактеристика issue (Course,Comm-Item) карактеристике, као што су: issue-request(Course, Request), issue-response(Course, Response), issue-notice(Course, Notice) and issue-receipt(Course, Receipt).

У овом тренутку, SCOR-Full онтологија садржи 212 концепата и 33 карактеристике, логички повезане са SCOR Input/Output елементима.

Логичке везе SCOR-KOS OWL и SCOR-Full концепата

SWRL (Semantic Web Rule Language) (Horrocks et al, 2004) представља предлог за језик којим се описују правила у семантичком вебу, који комбинује подврсте OWL језика са Rule Markup Language (RuleML) језиком. Правила представљају облике импликације коју чини хипотеза (тело правила) и последица (глава правила). Значење правила се може тумачити као: када год су испуњени услови дефинисани у хипотези, онда морају бити и испуњени услови последице.

Да би се повећала флексибилност предложеног семантичког окружења, за пресликавање концепата SCOR-Full онтологије и индивидуа SCOR-KOS OWL модела, користе се SWRL правила.

На пример, све индивидуе класе business-rule из SCOR-Full онтологије се сматрају истоветним као и SCOR Input/Output концепт “Business_Rules_For_Return_Processes”, уколико постоји процес повраћаја у SCOR-Full онтологији који карактерише пословно правило горе, као околност (setting).

```
business-rule(?x) ∧ return-process(?y) ∧ has-rule(?y,
?x) ⇒ SameAs(?x, Business_Rules_For_Return_Processes)
```

Сличне кореспонденције између имплицитних појмова SCOR-KOS OWL модела и концепата SCOR-Full онтологије су успостављене у следећим примерима:

```
available-to-promise(?x) ∧ time-range(?y) ∧ has-
quality(?x, ?y) ⇒ SameAs (?y, Avail-
able_to_Promise_Date)
```

```
capability(?x) ∧ return-process(?y) ∧ has-quality(?y,
?x) ⇒ SameAs (?x, Capabilities_of_the_Return_Processes)
```

Семантичке везе између SCOR-Full и SCOR-KOS омогућавају карактеризацију операција ланца снабдевања која се врши од стране SCOR-Full онтологије, у контексту SCOR референтног модела. На пример, на основу прве горе наведене SWRL импликације, може се расудити да је пословно правило, афирмисано у SCOR-Full онтологији као околност за инстанцу процеса повраћаја, излаз из SCOR процесног елемента “ER.01 Manage Business Rules for Return Processes”. У супротном смеру, релевантно расуђивање SCOR-KOS OWL модела може да резултује формалним значењем изабраног SCOR елемента. Сличне импликације се могу извести из друга два примера “Available_to_promise_date” и “Capabilities_of_the_Return_processes” SCOR концепата.

Експликација (објашњење) SCOR-Full концепата

Да би био комплетан формални модел, SCOR референтном моделу недостаје изражајност. Један од доказа за то је недостатак везе између метрике и система, која би могла да укаже на извор информације потребне за мерење перформанси процеса. Ово је очигледно ограничење референтног модела и оно се не може превазићи у поступку семантичког обогаћења.

Међутим, семантички обогаћен модел омогућава успостављање референци између формализованих система, способности система, итд, и циљева, пресликаних на метрике SCOR модела, коришћењем екстерног знања, формализованог у разним доменским онтологијама.

Наиме, уколико постоје системи S_1 и S_2 , који се заснивају на онтологијама O_1 и O_2 (екстерно знање), и уколико постоји логичка веза између ове две онтологије $O_1 \equiv O_2$, компетентност O_1 ће бити проширена и S_1 ће моћи да доноси квалификоване закључке о оба домена.

На пример, у TOVE организационој онтологији, концепт Communication-Link (cl) означава комуникацију у којој организациони агенти добровољно обезбеђују информацију за коју сматрају да је релевантна за друге агенте. TOVE организациона онтологија се може проширити аксиомом ланца карактеристика нове information-provided-by(inf,oa) везе, успостављене између концепата Organization-Agent (oa) и Information (i):

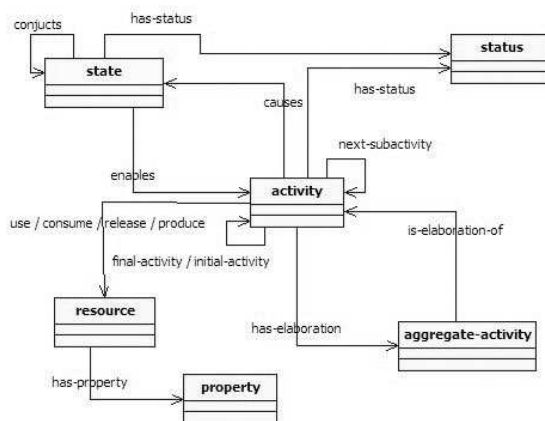
```
information-provided-by(inf,oa) • inverse(inverse(has-sending-agent(cl,oa)) o will-volunteer(cl,i))
```

Афирмације горе наведене TOVE везе се могу искористити за расуђивање о изворима информација релевантних за мерење перформанси процесних елемената уколико су испуњене следеће претпоставке: 1) организациони агент је апстракција концепта информационог система; 2) афирмисане су или расуђене кореспонденције између TOVE Information и SCOR-Full Inf-Item индивидуа; 3) SCOR-Full Inf-Item индивидуе су конфигуриране а те конфигурације су пресликане на одговарајуће концепте циљева.

Усклађивање SCOR-Full онтологије са релевантним онтологијама чине све истраживачке напоре који се заснивају овим онтологијама, комплементарним са предложеним приступом. Тако, они и утичу на повећање компетентности SCOR-Full онтологије. На пример, пресликавањем Location индивидуа на GIS (Geographic Information Systems) онтологије, могу се створити услови за расуђивањем рута транспортних предузећа. Пресликавањем Product индивидуа на одговарајуће идентификаторе UNSPSC или eClass онтологија, клијентима се може обезбедити сервис за идентификовање снабдевача заменских или алтернативних делова или подсклопова. Пресликавање Process индивидуа на Partner Interface Process елементе из RosettaNet онтологије може да омогући колаборацију између два предузећа која користе различите стандарде за моделирање својих процеса ланца снабдевања.

Са циљем побољшања изражајности SCOR-Full онтологије, она је логички усклађена са OWL репрезентацијама TOVE онтологија (онтологија ресурса, организације и основне – активност-стање-време онтологије).

TOVE онтологија ресурса дефинише семантичке релације (и ограничења – аксиоме) између појмова ресурса и активности. Ове релације обезбеђују расуђивање о додељивању ресурса одређеној активности, њиховом трошењу и доступности у одређено време. Тако, захваљујући успостављеним релацијама, компетентност SCOR-Full онтологије се проширује на питања компетенције, као што су: Који ресурси су додељени (или доступни) одређеном процесном елементу у одређено време? Да ли постоји алтернатива недоступном ресурсу, који треба да користи процесни елемент, у одређено време? Или још конкретније: Да ли се непланирана наруџбина за производњу 10 хидрауличких пумпи које је потребно испоручити до 10. септембра, 2011, може прихватити (у контексту доступних ресурса)?

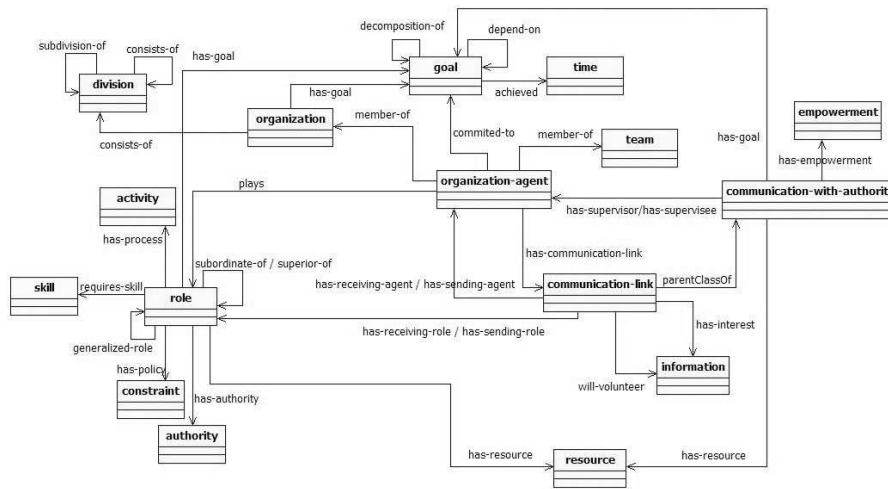


Слика 29. TOVE Activity-State-Time онтологија

Усклађивање са TOVE Activity-State-Time онтологијом омогућава SCOR-Full онтологији да расуђује о ресурсима који су додељени активности или процесном елементу, на основу предвиђених $use(a,r)$, $consume(a,r)$, $release(a,r)$ и $produce(a,r)$ релација између концепата $activity(a)$ и $resource(r)$. Ове релације означавају тзв. коначна стања и такође се могу користити за дефинисање предуслова и пауслова SCOR-Full активности. Наиме, док се $Conf-Item$ концепт користи за опис измена карактеристика ресурса, укључујући и његово постојање и/или квантитет, горње релације репрезентују тип ове промене. „ $Consume$ “ стање је еквивалент измене ресурса, који користи активност и оно неће постојати након што се активност заврши. „ Use “ стање подразумева неку (или никакву) промену карактеристика тока извршене акције. Оба стања се могу класификовати као омогућавајућа стања пошто представљају предуслове активности. Док „ $Release$ “ стање ресурса представља изазвано стање активности, чије омогућавајуће стање је „ Use “ овог ресурса, „ $Produce$ “ стање индицира да је $Resource-Item$, који није постојао пре извршене активности –

створен од стране те активности. Ова два стања представљају изазвана стања активности и еквивалентна су SCOR-Full па условима.

Коначно, TOVE онтологије могу обезбедити информацију о садржају SCOR активности (и потенцијално обезбеде смернице за избор одговарајућих SCOR Level 4 задатака) на основу “conjuncts” релације омогућавајућих и изазваних стања. Ова релација омогућава дефиницију подстања датог стања и тако, дефинише услове-услова.



Слика 30. Фрагмент TOVE организационе онтологије

TOVE организациона онтологија (види слику 30) повезује структуру и понашање предузећа, коришћењем концепта овлашћења (empowerment). Овлашћење представља право организационог агента да изврши акције промене статуса (стања или активности). Логичким везама између TOVE и SCOR-Full онтологија, омогућава се коришћење екстерног знања о предузећу за расуђивање о томе ко може променити стање ресурса и тако, испуни предуслове за одвијање једне активности, или о томе, ко има право да изврши ту активност.

Даље, логичке везе са TOVE организационом онтологијом омогућавају побољшану компетентност структуре и понашања (у контексту организационих циљева) SCOR-Full модела. На пример, оне могу да обезбеде одговоре на следеће типове питања: Чија дозвола (ако је уопште потребна) је потребна да би се извршио задатак у склопу одређеног процесног елемента (активности)? Ко има право да провери пријем набављеног дела? Који комуникациони линк ће се користити да би се добила одређена информација?, итд.

3 Семантичка интероперабилност система у ланцима снабдевања

Од SCOR-Full онтологије се очекује да подржи управљање знањем о операцијама ланца снабдевања. Она класификује концепте или релевантне индивидуе, који се могу користити од стране колаборативних система. Она омогућава избор објеката, потребних за конзистентно и потпуно дефинисање концепата операција ланца снабдевања. Она обезбеђује смернице за имплементацију SCOR референтног модела. Она не увећава изражајност SCOR стандарда, већ само генерализује опште појмове о предузећу у контексту ланца снабдевања, имплицитно дефинисане у SCOR моделу. Међутим, ове генерализације омогућавају усклађивање SCOR-Full модела са релевантним моделима предузећа, као што су TOVE онтологија и тако, омогућавају експлоатацију овог знања и побољшање компетентности SCOR стандарда. Коначно, и најважније, од SCOR-Full онтологије се очекује да омогући семантичку интероперабилност система, релевантних за управљање мрежама ланца снабдевања.

Док SCOR-KOS обезбеђује имплицитна значења о појмовима операција ланца снабдевања коришћењем одговарајућих језика за репрезентацију знања, SCOR-Full онтологија (и њене логичке релације са доменским онтологијама и самим SCOR-KOS моделом) чине ова значења експлицитним. Објективна концептуализација и одговарајућа експлицитна репрезентација доменског знања се сматра главним условом да би два релевантна система могла да буду семантички интероперабилна. У овом делу тезе, описан је приступ семантичкој интероперабилности у мрежама ланца снабдевања. Овај приступ користи описано формални оквир. Такође, неке практичне последице семантичке интероперабилности система на управљање ланцима снабдевања су представљене.

3.1 Опис приступа

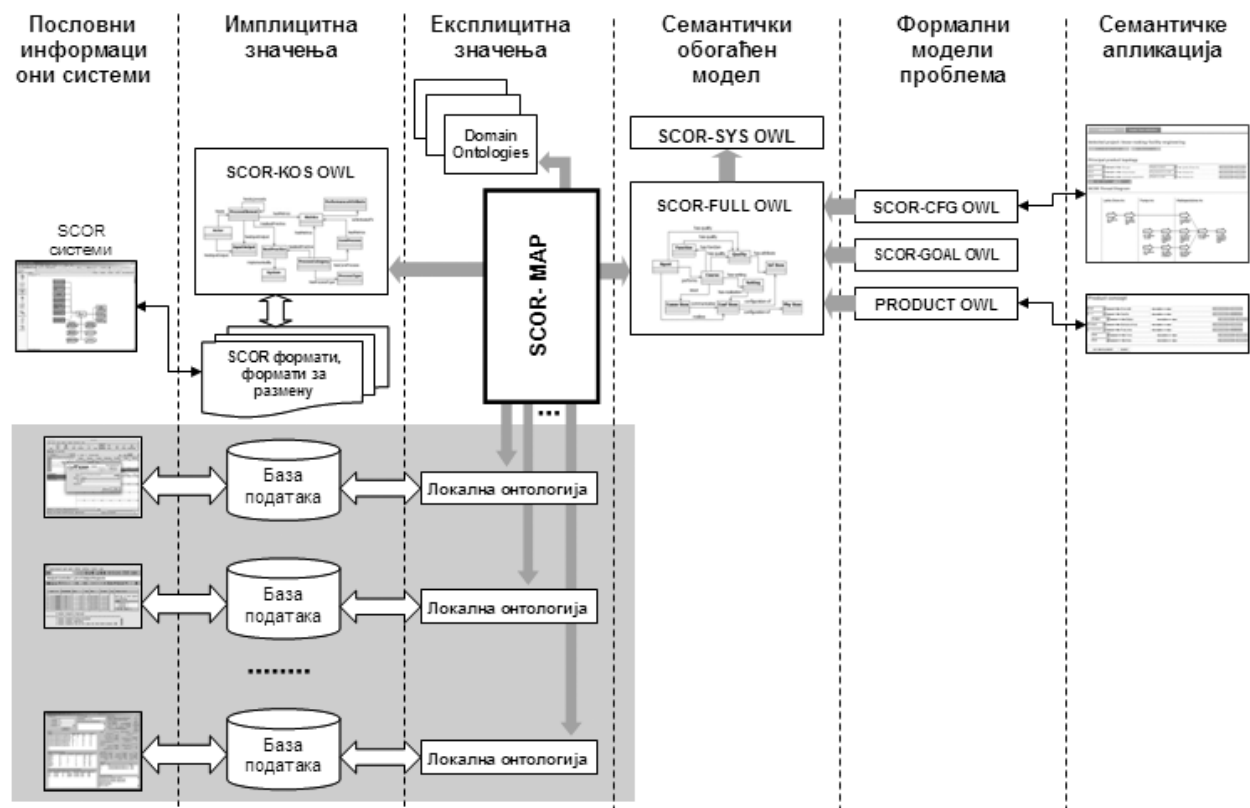
Слика 31 приказује проширени поглед на формални оквир операција ланца снабдевања, представљен у овом поглављу. Формални оквир је развијен на различитим нивоима апстракције. Тако, њега чине модуларне онтологије, које су класификоване унутар слојева имплицитне и експлицитне семантике, семантичког обогаћења и формалних модела пројектних циљева – апликативне или проблемске семантике.

У приступу семантичкој интероперабилности система у окружењу ланца снабдевања, додата су два апликациона слоја формалном окружењу. Први слој репрезентује информационе системе, заправо изворе изолованих “острва” значења индивидуалних предузећа. Други слој репрезентује семантичке апликације, које су типично имплементиране од стране мрежа ланца снабдевања или виртуелних окружења (VBE) са циљем да омогуће неку од интегративних функција, при чему све организације из једне мреже могу имати

користи од тих функција или од достављања података семантичким апликацијама, у подршци за обезбеђење функција.

Семантичке апликације заправо експлоатишу логичке везе које су успостављене између формалног оквира операција ланаца снабдевања и острва локалних значења, репрезентованих помоћу локалних онтологија, у заједничком интересу мреже, односно, за испуњење кооперативних циљева. Локалне онтологије формализују имплицитне податке из хетерогених извора, да би се омогућила семантичка интероперабилност система који складиште ове податке. Са циљем да се реши проблем имплицитности значења о реалностима предузећа, претпоставља се: 1) да су ове реалности репрезентоване од стране одговарајућих пословних информационих система; и 2) да се модели порука које се размењују у предузећу заснивају на моделима података пословних информационих система, који су имплицитно репрезентовани у њиховим базама података. Предложени приступ има за циљ да ову репрезентацију начини експлицитном.

Да би се имплицитни Entity-Relationship (ER) модели трансформисали у експлицитне OWL репрезентације, односно локалне онтологије, примењен је database-to-ontology метод. Потом, ове локалне онтологије су преликане на опште, дељено знање о сарадњи предузећа, наиме на формални оквир за операције ланаца снабдевања, коме се могу додати и нови контексти. Сваки од ових контекста одговара доменској онтологији, чији концепти су логички повезани са концептима локалних онтологија. Зато, доменска онтологија постаје речник – опште знање о одређеној перспективи на предузеће које било ко може да користи да састави упите који би се извршили над невидљивим, имплицитним знањем које се складишти у системима. Тако, постаје могуће остварити јединствен, интегрисани приступ вишеструким контекстима одређеног концепта о предузећу.



Слика 31. Семантичка интероперабилност система у мрежама ланца снабдевања

3.2 Предности и утицај

Скуп семантичких технологија, који се састоји од неформалних речника или формалних онтологија, алата за расуђивање и семантичких апликација обезбеђује средства за развој и имплементацију новог слоја архитектуре пословних система. Главна улога овог слоја је да да начини имплицитна значења различитих пословних система (и референтних модела које они користе) – експлицитним и узајамно усклађеним. Зато, од овог слоја се очекује да омогући семантичку интероперабилност ових система и омогући бољу интеграцију хетерогених окружења, као што су мреже ланаца снабдевања.

У овом сценарију, системи ће бити репрезентовани у семантичким слојевима њиховим локалним онтологијама – семантички слабирепрезентацијама (OWL моделима) имплицитног знања о предузећу које се уобичајено складишти у релационим базама релевантних система и у другим изворима података. Технике и алати семантичког усклађивања се могу користити за контекстуализацију и експликацију индивидуалних репрезентација, тиме што препознају кореспонденције између ових репрезентација и формалних микро-теорија, као што је SCOR-Full онтологија. Такође, семантичке везе између SCOR-Full концепата и других доменских и проблемских онтологија се могу искористити за примену интегрисаног приступа о решавању неког од проблема мрежа ланаца снабдевања.

На пример, проблем избора партнера се може везати за дефицију индивидуалног семантичког упита који изражава потребне и довољне услове, везане за способност, капацитет, цену, доступност, итд. (ови одговарају појму квалитета у SCOR-Full онтологији) одређеног ресурса или агента (при чему упит узима у обзир све ресурсе и све агенте у целој мрежи). Логичке везе између ових појмова, који се користе у упиту и различитих концепата различитих локалних онтологија обезбеђују да се један упит интерпретира на исти начин у свим семантичким слојевима информационих система свих партнера. Тако, једним упитом (формално израженим) се може истражити комплетна мрежа, упркос хетерогености коришћених система и њихових извора података (синтаксе, образаца примењених у моделирању података, итд.).

Управљање колаборативним процесима се може омогућити праћењем стања (конфигурација) ресурса у семантичком слоју (коришћењем софтверских агената), и изазивањем одговарајућих релевантних акција (нпр. иницирањем SCOR процесних елемената или еквивалентно, покретањем активности процеса) у тренутку када су успостављене жељене конфигурације. Тако, жељене конфигурације ресурса чији се параметри складиште као семантичке анотације модела процеса (генерисаних од стране алата за моделирање процеса) се континуално упоређују са специфичним ентитетима релевантних локалних онтологија. У тренутку када постану логички истоветне, софтверски агент може да афирмише нову индивиду типа Активност, додели агента овој индивидуи и подеси остале потребне карактеристике. Ова промена се може такође пропагирати уназад, афирмисањем логички еквивалентних концепата

одговарајућих локалних онтологија и потом, ажурирањем релевантних база података. Одговарајући информациони системи ће бити ажурирани аутоматским уносом радног налога, позивом веб сервиса, издавањем захтева за потврду (ауторизацију) или сличном акцијом.

Више детаља о имплементацији поменутог семантичког слоја је дато у Поглављу 4, ове тезе.

Поглавље 4: Имплементација формалног оквира за семантичку интероперабилност у мрежама ланца снабдевања

У претходном поглављу, представљени су концептуални описи формалног оквира за семантичку интероперабилност у мрежама ланца снабдевања. Оквир укључује формалне моделе и релације између тих модела и техничких компонената оквира: пословних информационих система, локалних онтологија и семантичких апликација. У овом поглављу, на основу концептуалног описа, идентификовани су и анализирани проблеми имплементације и одговарајући скупови функционалности. Потом, приступ за реализацију ових функција, односно сервиси семантичке интероперабилности (Semantic Interoperability Service Utilities - S-ISU) су предложени и описани. Развијен је и представљен и мета модел резултујуће архитектуре (S-ISU Ontology). Посебна пажња је скренута на функционалност трансформације имплицитних значења пословних информационих система у експлицитне локалне онтологије и обраду семантичких упита у оквиру.

1 Увод

У последњем делу Поглавља 3, приказан је и описан проширени поглед на формални оквир за семантичку интероперабилност у мрежама ланца снабдевања. Овај поглед објашњава улогу формалних модела операција ланца снабдевања у остваривању семантичке интероперабилности унутар ланца снабдевања. Он усклађује формалне моделе са реалностима предузећа, односно имплицитним значењима појмова који се складиште у пословним информационим системима.

Шема на слици 31 у поглављу 3, илуструје овај проширени поглед – она наводи главне ентитете архитектуре и успоставља везе између њих. Формални модели се користе да би опште знање о мрежи ланца снабдевања било приказано на експлицитан начин. Извор овог знања чини SCOR референтни модел. Потом, ово знање се усклађује са општим знањем о предузећу или другим контекстима ланца снабдевања. Ово знање се репрезентује коришћењем доменских онтологија. Затим, оно се контекстуализује коришћењем проблемских или апликационих онтологија, које формализују неке специфичне, интегративне, дељене, опште коришћене функције мреже у целини. Коначно, индивидуална предузећа се репрезентују у формалном оквиру путем својих локалних онтологија.

Концептуални опис формалног оквира се сматра полазиштем за дефинисање техничке архитектуре за семантичку интероперабилност система у мрежама ланца снабдевања. На основу овог описа, проблеми имплементације се идентификују и анализирају. Техничка архитектура се састоји од два скупа

функционалности. Први скуп је везан за виртуелно окружење мреже ланаца снабдевања. Други скуп функционалности је везан за индивидуална предузећа. Проблеми имплементације одговарају овим скуповима и они су:

1. Аутоматска или полуаутоматска трансформација имплицитних значења информационих система у формалну локалну онтологију;
2. Проширивост оквира, наиме, процес додавања нових локалних онтологија (регистрација предузећа) и нових доменских онтологија (регистрација речника, повећање изражајности) у оквир;
3. Аутоматско или полуаутоматско усклађивање додатих локалних или доменских онтологија са претходно постојећим знањем;
4. Поуздано дистрибуирано расуђивање;
5. Јединствена тачка приступа оквиру знања – алат који обрађује “Ask” и “Tell” семантичке упите, предузима одговарајуће акције и враћа резултате у облику онтологије, уколико је потребно.

Наведени проблеми имплементације одговарају скуповима функционалности или способности формалног оквира за семантичку интероперабилност у мрежама ланаца снабдевања: транслацији, регистрацији, усклађивању, расуђивању или обради упита. Сваки од ових скупова може да буде директно или индиректно коришћен од стране било ког или свих чланова виртуелног окружења. Зато, веома је важно реализовати корисне, употребљиве софтверске алате који ће реализовати наведене функције, односно, начинити их униформним, доступним, јефтиним и приступачним целој мрежи.

У овом поглављу, концепт сервиса интероперабилности се прилагођава са циљем решавања наведених проблема имплементације формалног оквира за семантичку интероперабилност у мрежама ланаца снабдевања. У контексту проблема имплементације постојећих приступа реализацији ISU концепта, дефинисани су функционални захтеви сервиса семантичке интероперабилности (S-ISU). Ови захтеви се користе за анализу предлога архитектуре S-ISU техничког оквира. Важне компоненте архитектуре су детаљно описане, а сви описи су формализовани развојем S-ISU онтологије – мета модела архитектуре семантички интероперабилних система.

2 Семантички сервиси интероперабилности (Semantic Interoperability Service Utilities - S-ISU)

Један од принципа рада ISU је да користе сервисе. Зато, интероперабилност постаје намерно ограничена и делимична, јер зависи од обима и функционалности понуђених сервиса. Ограничења приступа који се заснивају на сервисима се може разматрати у два аспекта.

Први аспект је везан за обим и доступност постојећих пословних сервиса који се сматрају предусловом за имплементацију ISU. Други аспект условности је везан за бројност и разноликост сервиса интероперабилности.

У овом делу, анализирани су захтеви семантичке интероперабилности система и идентификовани су сервиси семантичке интероперабилности. Такође, донете су и аргументоване неке одлуке везане за пројектовање концептуалне архитектуре. Потом, идентификовани сервиси су детаљно описани у контексту предложене архитектуре. Ови описи су формализовани уз помоћ S-ISU онтологије за семантичку интероперабилност система. Коначно, сваки од сервиса је описан, а тежиште је стављено на сервисе за генерисање локалних онтологија и извршење семантичких упита над платформом.

2.1 Функционална анализа окружења сервиса семантичке интероперабилности (S-ISU)

Основни проблем семантичке интероперабилности система је идентификација логичких кореспонденција између два модела, где је један од тих модела имплицитна репрезентација знања о предузећу (или неког од његових контекста), а друга експлицитни модел предузећа или неке од његових функција.

Зато, најважнији сервис у S-ISU архитектури је сервис за семантичко усклађивање. Процеси препознавања и, у неким случајевима, афирмисања релација између концепата и индивидуа две онтологије одговара онтолошким операцијама, као што су: спајање (merging), пресликавање (mapping), усклађивање (alignment), рафинисање (refinement), унификација (unification), интеграција (integration) или наслеђивање (inheritance). Ове операције су изузетно сложене и не могу се извршити аутоматски у не-тривијалним случајевима. Уобичајени разлози за то су коришћење веома изражајних језика због којих долази до неодлучивости или недовољна спецификација концептуализација да би се пронашле сличности између њих. Очигледно, део сервиса за семантичко усклађивање мора бити и клијентски софтвер, који треба да омогући преглед и ревизију предложених логичких веза, као и њихово ручно афирмисање.

У архитектури семантичке интероперабилности, предузеће се репрезентује својим локалним онтологијама. Локална онтологија може да представља било који формални модел предузећа или неког од његових функција или контекста којим оно жели да се репрезентује у интероперабилном домену. Увођење предузећа у овај домен се врши преко сервиса за регистрацију. Овај сервис омогућава декларацију локација локалних онтологија али и правила за извршење семантичких упита. Наиме, предузеће може да одлучи да безусловно ограничи приступ одређеном делу информација (нпр. под-графу) у локалној онтологији. Или, предузеће може да пожели да омогући приступ одређеним информацијама, према захтеву, у процесу извршења упита. Веома је важно нагласити да у овом другом случају, процес извршења семантичких упита постаје асинхрон. Сервис за регистрацију се користи и за увођење доменских онтологија. Ове онтологије описују различите перспективе на пословање предузећа или неки од његових контекста. На пример, оне се могу користити за

спецификацију концептуализације стандардних речника имплицитно дефинисаних појмова.

Локална онтологија представља репрезентацију имплицитних значења о предузећу. Уколико се претпостави да се реалност предузећа на одређени начин складишти у одговарајућим пословним информационим системима, њихове базе података и остала средства за складиштење се могу сматрати релевантним изворима информација о значењима ових реалности. Неки аргументи у корист ових претпоставки су описани у делу 4, поглавља 2. Ове базе података је потребно експонирати на неки начин, тако да се омогући трансформација имплицитног знања о предузећу који се у њима садржи у валидну локалну онтологију. Зато, идентификован је трансформациони сервис као елемент S-ISU архитектуре. Овај сервис је развијен и објашњен детаљно у делу 2.3, овог поглавља. Приступ примењен у његовом развоју омогућава комплетну (са становишта изражајности OWL језика) експликацију имплицитних значења ER модела, као и пуну кореспонденцију између семантичких и релационих упита. Ова кореспонденција се експлоатише и у развоју сервиса за семантичке упите.

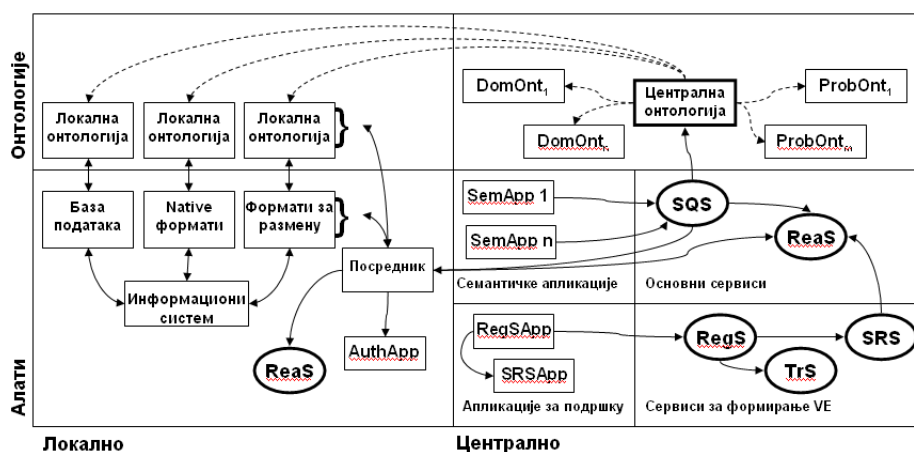
Сервис за семантичке упите чине “Ask” и “Tell” интерфејси, који омогућавају екстракцију релевантних индивидуа и афирмисање нових у циљним локалним онтологијама. Сервис за семантичке упите се сматра јединственом тачком приступа укупном знању интероперабилног домена. Његов “Ask” интерфејс обрађује семантичке (DL – Description Logics) упите у облику пара (O, C), где је O скуп концепата које је потребно расудити, а C – скуп ограничења које је потребно применити на њихове карактеристике, односно ограничења вредносне и квалификоване кардиналности.

Уколико су пресликавања између регистрованих локалних и доменских онтологија конзистентна и потпуна, речник доменске онтологије се може користити за састављање семантичких упита, без икаквог знања о значењима концепата локалних онтологија предузећа (Zdravković et al, 2011). “Tell” интерфејс SQS сервиса прихвата семантичке упите у форми тројки (A, C, U), где је A скуп исказа који се афирмишу, C – скуп услова репрезентованих уз помоћ концепата из стандардног речника, а U – идентификатор локалне онтологије у којој искази треба да се афирмишу. Више детаља о томе како сервис за семантичке упите ради, приказано је у делу 2.4 овог поглавља.

У дистрибуираном окружењу, машина за расуђивање се може сматрати јединственом, независном компонентом. Она се користи приликом извршавања семантичких упита и у процесу семантичког усклађивања. Први корак ка машинама за расуђивање које се могу користити у дистрибуираној архитектури је спецификација DIG (Description Logics Implementation Group’s) интерфејса (Bachhofer and Patel-Schneider, 2006). Овај интерфејс омогућава механизам независан од имплементације који обезбеђује приступ функцијама расуђивања и подржан је од стране највећег броја машина за расуђивање. Он прихвата HTTP захтеве и одговара у складу са садржајем дефинисаним од стране XML шеме. С обзиром на то да је DIG једноставан протокол којим се само експонира машина за расуђивање, он не подржава конекције у оквиру којих се одржавају стања или ауторизацију. Зато, у архитектури је предвиђен и развој сервиса за

расуђивање, имплементиран на врху DIG интерфејса и он омогућава функције које нису директно подржане од стране DIG интерфејса. Скоро сав рад на семантичком расуђивању још увек подразумева централизован приступ код којег се сво расуђивање врши на јединственом систему. Међутим, пренос целих модела до централне машине за расуђивање може да потраје, а машине показују и велико слабљење перформанси када раде са великим моделима (Schlicht and Stuckenschmidt, 2009). Постоје различите стратегије (Bonacina, 2000) паралелизације логичког расуђивања које се могу користити у његовој имплементацији. Зато, сервис за семантичко расуђивање се сматра дистрибуираним сервисом.

На основу анализе наведене горе, предложена је архитектура за постизање семантичке интероперабилности система - S-ISU архитектура. Она се састоји од онтолошких и функционалних оквира, лоцираних и експлоатисаних централно или локално. У овом случају термини “централно” и “локално” имплицирају да се ради о дистрибуираној компонентној архитектури, у којој су неки њени ентитети лоцирани иза фајерволова предузећа, док су други дељени од стране више предузећа, или су у власништву брокера. На слици 32, илустроване су компоненте S-ISU архитектуре.



Слика 32. Компоненте S-ISU архитектуре.

Локално, предузећа се представљају интероперабилном свету својом имплицитном семантиком из база података система и форматима датотека, коришћењем локалних онтологија. Оне су пресликане на произвољан број централно складиштених доменских онтологија (DomOnt_{1-n}), које формализују речнике, тако да било ко може да извршава упите над локалним онтологијама непознате структуре, коришћењем појмова из познатих модела.

На централном нивоу, уведе се тзв. апликационе или проблемске онтологије (ProbOnt_{1-m}). Оне се користе да формализују специфичне, интегративне функције виртуелних предузећа, као што су колаборативно управљање пословним

процесима или тендери. Проблемске онтологије користе дељене семантичке апликације које обезбеђују ове функције (SemApp_{1-m}).

На слици 32, онтологије су међусобно повезане релацијама увоза (испрекидане линије). Друге релације између компонената се односе на коришћење (“uses”). У овој архитектури, разликују се сервиси који се користе током животног века виртуелног предузећа, односно сервис за семантичке упите (SQS) и сервис расуђивања (ReaS); и они који се користе само једном, односно, сервис за регистрацију (RegS), сервис за семантичко усклађивање (SRS) и сервис за трансформацију (TrS). Као што је раније поменуто, уведене су и апликације подршке (RegSApp and SRSApp), са циљем да омогуће учешће људи у процесу регистрације и семантичког усклађивања. Њихове функције се сматрају тривијалним, па се о њима и не дискутује у овој тези.

Јединствена тачка приступа интероперабилном свету је обезбеђена од стране сервиса за семантичке упите, односно његових “Ask” и “Tell” интерфејса. Они прихватају упите, при чему ове упите могу да састављају корисници, семантичке апликације или други сервиси. По пријему, “Ask” упит (у чијем се састављању користе појмови регистрованих речника) се интерпретира “у језицима” сваке од регистрованих локалних онтологија. Ова транслација се врши од стране сервиса за расуђивање, на основу логичких релација између локалних и доменских онтологија. Потом, паралелно се извршавају локални упити. За извршење локалних упита, одговорни су посредници (listeners), локалне компоненте S-ISU архитектуре. Они прихватају индивидуалне захтеве за информацијама и извршавају упите. Уколико предузеће поседује локалну посвећену машину за расуђивање, онда се она користи за расуђивање о резултатима упита. Иначе, позива се централни сервис за расуђивање. На основу правила приступа, резултати у облику OWL тројки улазе у процедуру одобравања (која се врши уз помоћ семантичке апликације за ауторизацију – AuthApp) или се одмах враћају сервису за семантичке упите. У првом случају, процес извршења семантичких упита је асинхрон. Тако, он се извршава од стране сервиса за семантичке упите у различитим нитима захтева и одговора.

2.2 S-ISU meta-model

Архитектура која је описана претходно је формализована у облику S-ISU онтологије. S-ISU онтологија је илустрована на слици 33.



Слика 33. S-ISU Онтологија

Главни концепт S-ISU онтологије је компонента, која класификује концепте интерфејса, контејнера података и алата. Остали концепти највишег нивоа су актер, процес, податак и функција (која се користи само за агрегацију описа функција у природном језику).

У контексту интероперабилности, интерфејс представља главну функционалну компоненту S-ISU онтологије. Контејнер података је било која компонента која подразумева неки облик перзистентности података, афирмисан релацијом складиштења (“stores”), и она класификује концепте базе података, датотеке и онтологије. Алат представља апстрактни концепт чији подтипови су пословни информациони систем, посредник (Listener), семантичка апликација и сервис, и њихове индивидуе се директно афирмишу у S-ISU онтологији. Актер се дефинише као нешто што користи неки алат. Он класификује запослене у предузећу, департмане, предузећа, виртуелно окружење (VBE) и виртуелно предузеће, док се додатним карактеристикама описују везе између њих. Ове везе се могу искористити за расуђивање приступачности одређеног алата од стране одређеног актера, на основу карактеристика поседовања и колаборације.

Још важније, карактеристике могу да укажу на то где долази до интероперација између предузећа у једном виртуелном предузећу. Наиме, виртуелно предузеће се може сматрати скупом процеса, конфигурисаних уз помоћ једноставних релација претхођења. Тада, виртуелно предузеће чине

предузећа која имплементирају те процесе. Зато, релација партнерства једног предузећа у одређеном виртуелном предузећу се може расудити као ланац карактеристика:

```
implements-process(Enterprise, Process) o is-process-  
of(Process, VE)
```

Сваки од процеса је додељен индивидуалном предузећу у процесу формирања виртуелног предузећа, док се додатни искази афирмишу ради декларације који информациони системи, у власништву предузећа, се користе за подршку специфичном процесу.

До интероперација између два предузећа је потребно да дође када процес, у власништву једног предузећа претходи (или следи) процесу у власништву другог. Тако, везе интероперабилности предузећа се могу расудити коришћењем следећег SWRL правила:

```
Process(?p1), Process(?p2), Enterprise(?e1), Enter-  
prise(?e2), implements-process(?e1,?p1), implements-  
process(?e2,?p2), precedes(?p1,?p2),  
DifferentFrom(?e1,?e2)->interoperate-with(?e1,?e2).
```

Основни концепти и везе за ово расуђивање су приказани на слици 34а. Слика 34б илуструје примере процеса (са афирмисаним релацијама претходности) виртуелног предузећа за инжењеринг инсталације за израду вештачког снега, који чине три предузећа.

На основу горе поменутог правила, следећи искази се могу расудити:

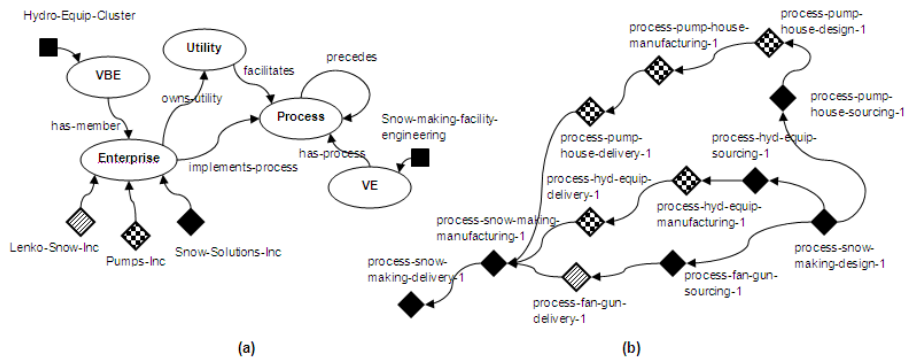
```
interoperate-with('Pumps-Inc', 'Snow-Solutions-Inc'),  
interoperate-with('Lenko-Snow-Inc', 'Snow-Solutions-  
Inc'),  
interoperate-with('Snow-Solutions-Inc', 'Lenko-Snow-  
Inc'),  
interoperate-with('Snow-Solutions-Inc', 'Pumps-Inc').
```

Последњи концепт највишег нивоа, податак, се сматра као било шта што се размењује између алата, конкретно, њихових интерфејса, и што се складишти у неком контејнеру података.

Интерфејс се сматра функционалном јединицом једног алата, односно сервиса. Тако, сервис може бити мултифункционалан, у зависности од интерфејса које имплементира. У том смислу, улога сервиса се не додељује, већ расуђује у S-ISU архитектури, као:

```
Service and has-interface some (has-function value  
'<literal>')
```

, где вредност карактеристике has-function описује функцију интерфејса ('function-reasoning', 'function-transformation', итд.).



Слика 34. Организациони поглед на пример S-ISU онтологије

Док слика 34 илуструје део организационог погледа на S-ISU онтологију, компонентна архитектура је описана од стране погледа средстава (asset view), генерисаног на основу расуђених релација зависности. Анализа зависности се може генерисати расуђивањем “uses” релација коришћења компоненти S-ISU, на основу афирмисаних под-карактеристика транзитивне ‘uses’ карактеристике, као што су: `imports(Ontology, Ontology)`, `uses-data-container(Utility, Data-Container)` и `uses-utility(Utility or Actor, Utility)`. Док се ова последња користи за афирмисање релација између генеричких алата S-ISU, интероперација између регистрованих (афирмисаних) система се може расудити коришћењем SWRL правила:

```

EIS(?u1), EIS(?u2), Process(?p1), Process(?p2), Enterprise(?e1), Enterprise(?e2), facilitates(?u1, ?p1), facilitates(?u2, ?p2), implements-process(?e1, ?p1), implements-process(?e2, ?p2), precedes(?p1, ?p2), DifferentFrom(?e1, ?e2) -> system-interoperate-with(?u1, ?u2).

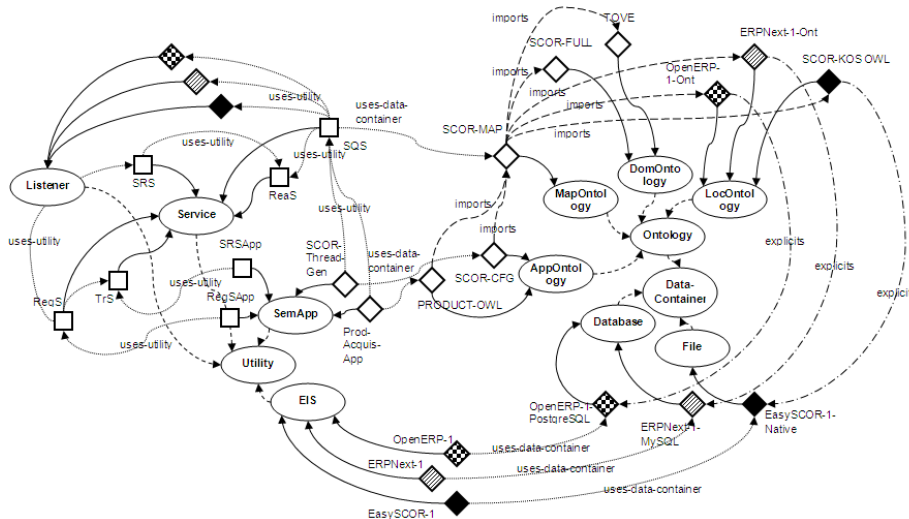
```

Важно је нагласити да карактеристике интероперација нису симетричне, јер се семантичка интероперабилност система сматра једносмерном.

Анализа зависности је демонстрирана на примеру ланца снабдевања за производњу инсталације за производњу вештачког снега, при чему је примењен онтолошки оквир за семантичку интероперабилност, заснован на SCOR моделу. Поглед средстава S-ISU архитектуре у овом случају је илустрован на слици 35. Илустрација прави разлику између афирмисаних компонената (представљених ромбовима различитих шара, у зависности од власништва над одговарајућим компоненатама) и генеричких компонената S-ISU (представљених квадратима), при чему обе представљају индивидуе S-ISU онтологије.

Такође, припадност индивидуа S-ISU класама (елипсоиди) је афирмисана и приказана је на слици пуним линијама. Перспектива на средства S-ISU архитектуре на слици 35 је илустрована примером ланца снабдевања у којем три предузећа сарађују у организационом контексту, описаном на слици 34. У овом

случају, предузећа експонирају MySQL базу ERPNext система, PostgreSQL базу података OpenERP система и формат EasySCOR система у виртуелном предузећу за производњу инсталације за вештачки снег, коришћењем следећих локалних онтологија: ERPNext-1-Ont, OpenERP-1-Ont и SCOR-KOS OWL, респективно.



Слика 35. Поглед средстава на S-ISU архитектуру.

У овом примеру, две дељене семантичке апликације пружају подршку у животном веку виртуелног предузећа, односно, SCOR-Thread-Gen, за конфигурацију процеса ланца снабдевања; и Prod-Acquis-App, за аквизицију захтева производа, при чему се ови проблеми моделирају уз помоћ две апликационе онтологије: SCOR-Cfg OWL и PRODUCT-OWL. Обе апликације користе сервис за семантичке упите за афирмисање или расуђивање о имплицитном знању, складиштеном у локалним онтологијама, уз коришћење два речника: TOVE онтологије предузећа и SCOR-Full – доменске онтологије о операцијама ланца снабдевања.

У наредним деловима, описани су најважнији развијени сервиси S-ISU архитектуре – сервис за трансформацију и сервис за семантичке упите.

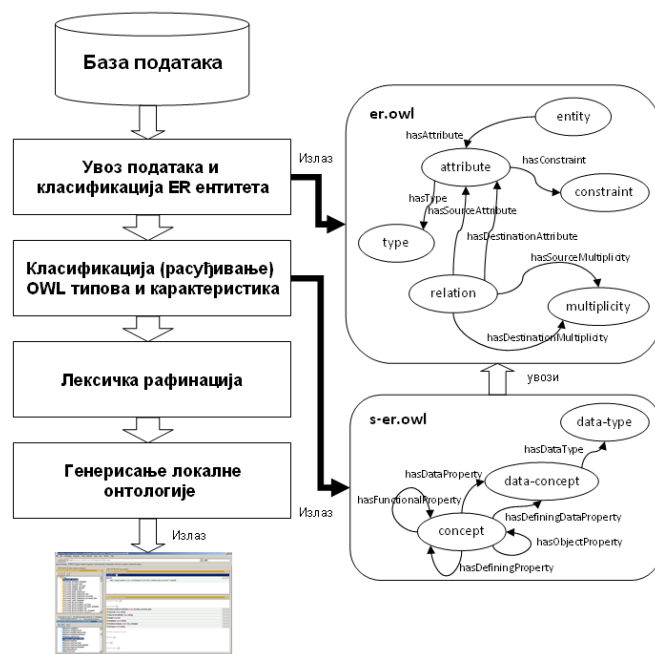
2.3 Сервис за трансформацију

Процес пресликавања базе података и онтологије је процес у којем се имплицитна значења шеме базе података усклађују са експлицитним и формалним структурама знања у онтологији. У овој тези, шема базе података се користи за генерисање ове формалне структуре, при чему се чувају логичке везе између ER мета модела и генерисане локалне онтологије. Ове везе ће омогућити транслацију семантичких у релационе упите.

Процес генерације се састоји од 4 фазе:

1. увоз података и класификација ER ентитета;
2. класификација (расуђивање) OWL типова и карактеристика;
3. лексичко пречишћавање;
4. генерисање локалне онтологије.

Процес је илустрован на слици 36. Он је подржан од стране веб апликације, развијене уз помоћ претходно описаног RAP API апликационог интерфејса. Веб апликација се састоји од модула за увоз/афирмацију података о инстанцама ER мета модела, лексичког пречишћавања и трансформације класификованих OWL типова и карактеристика у појмове локалне онтологије.



Слика 36. Приступ пресликавању базе података у онтологије

У првом кораку трансформације, шема базе података се анализира и конструише се OWL репрезентација ER модела. Ово врши развијена апликација, која се повезује са базом података, користи упите интроспекције да открије њену структуру и афирмише релације између елемената коришћењем предложене ER формализације (er.owl). Следећи искази се афирмишу за сваки тип одговарајуће табеле: hasAttribute (entity, attribute), hasType(attribute, type) и hasConstraint(attribute, 'not-null') и/или hasConstraint(attribute, 'unique') (уколико је примењиво). Следећи искази се афирмишу за сваку релацију: hasDestinationAttribute (relation, attribute), hasSourceAttribute(relation, attribute).

Даље, резултујућа (серијализована) OWL репрезентација се увози у мета модел (s-er.owl), који класификује будуће OWL концепте (правило Ax₁) и домене и опсеге објектних и простих карактеристика, на основу дефинисаних правила (правила Ax₂ и Ax₄). Иако се спецификацијом објектних и простих карактеристика намећу можда непотребна ограничења на резултујућу онтологију, она се сматрају важним за побољшање ефикасности процеса пресликавања и усклађивања, који је критичан за семантичку интероперабилност.

Са друге стране, егзистенцијална ограничења из ER модела се асоцирају за експлицитна значења резултујуће онтологије, односно, потребне услове за расуђивање класификација индивидуа. Тако, значење концепата се може узети за ове потребне услове. Овај приступ концептуализацији се назива интензионалним и сматра се еквивалентним људском размишљању (Guarino, 1997), насупротив екстензионалном приступу који се односи на просто навођење елемената менталних слика о специфичном домену.

Према овим ограничењима, правила за интензионалну концептуализацију (наслеђене анонимне класе) за одређени ентитет се идентификују расуђивањем опсега hasDefiningProperty(concept, concept) и hasDefiningDataProperty(concept, data-concept) релација (правила Ax_{2,2} и Ax_{4,2}, испод).

Конечно, приступ узима у обзир функционалност карактеристика (owl:FunctionalProperty). Функционална карактеристика је она која може да има само једну (јединствену) вредност у за сваку индивидуу x. Оне се класификују када се идентификује релација 1-према-1 између два концепта (правило Ax_{2,3}, испод).

Класификација будућих OWL концепата се врши расуђивањем на основу следећих правила:

Ax₁. Концепти су сви ентитети OWL репрезентације ER модела, осим оних ентитета чији су сви атрибути на извору релација (овај случај одговара прелазним табелама, које се користе за повезивање две табеле mapu-to-mapu релацијом).

$$\text{er:entity}(x) \wedge \text{not} (\text{er:hasAttribute only} (\text{er:attribute} \wedge (\text{er:isSourceAttributeOf some er:relation}))) \Rightarrow \text{s-er:concept}(x)$$

Ax_{2,1}. Домени и опсези објектних карактеристика се могу расудити уз помоћ следећег правила.

$$\begin{aligned} &\text{er:entity}(x) \wedge \text{er:entity}(y) \wedge \text{er:relation}(r) \wedge \\ &\text{er:hasAttribute}(x, a1) \wedge \text{er:hasAttribute}(y, a2) \wedge \\ &\text{er:isDestinationAttributeOf}(a2, r) \wedge \\ &\text{er:isSourceAttributeOf}(a1, r) \Rightarrow \text{s-er:hasObjectProperty}(x, y) \end{aligned}$$

Ax_{2,2}. Домени и опсези дефинишућих карактеристика (потребни услови концепта) се могу расудити коришћењем правила доле. Дефинишућа

карактеристика је под-карактеристика (`rdfs:subPropertyOf`) објектне карактеристике (отуд и поједностављена репрезентација правила доле).

$$s\text{-er:hasObjectProperty}(x, y) \wedge er\text{:hasConstraint}(a1, 'not\text{-null}') \Rightarrow s\text{-er:hasDefiningProperty}(x, y)$$

Ax_{2.3}. Домени и опсежи функционалних карактеристика се могу расудити коришћењем правила доле. Функционална карактеристика је под-карактеристика (`rdfs:subPropertyOf`) дефинишуће карактеристике (отуд и поједностављена репрезентација правила доле).

$$s\text{-er:hasObjectProperty}(x, y) \wedge er\text{:hasConstraint}(a1, 'not\text{-null}') \Rightarrow s\text{-er:hasDefiningProperty}(x, y)$$

Ax₃. Прости концепти су сви атрибути OWL репрезентације ER модела који нису на извору ниједне релације.

$$er\text{:attribute and not}(er\text{:isSourceAttributeOf some } er\text{:relation}) \Rightarrow s\text{-er:data-concept}$$

Ax_{4.1}. Домени и опсежи простих карактеристика се могу расудити коришћењем правила доле. Опсежи простих карактеристика су прости типови података који одговарају простим типовима из XML шеме.

$$er\text{:type}(x) \Rightarrow s\text{-er:data-type}(x)$$
$$s\text{-er:concept}(c) \wedge er\text{:attribute}(a) \wedge er\text{:type}(t) \wedge er\text{:hasAttribute}(c, a) \wedge er\text{:hasType}(a, t) \Rightarrow s\text{-er:hasDataProperty}(c, t)$$

Ax_{4.2}. Домени и опсежи дефинишућих простих карактеристика се могу расудити коришћењем правила доле. Дефинишућа проста карактеристика је под-карактеристика (`rdfs:subPropertyOf`) прости карактеристике (отуд и поједностављена репрезентација правила доле).

$$s\text{-er:hasDataProperty}(c, t) \wedge er\text{:hasConstraint}(a, 'not\text{-null}') \wedge er\text{:hasConstraint}(a, 'unique') \Rightarrow s\text{-er:hasDefiningDataProperty}(c, t)$$

Горе наведене правила су специфицирана у `s-er.owl` коришћењем SWRL језика. Доле су наведени неки примери SWRL репрезентација конверзионих правила.

$$(R1) \text{ entity}(?e), \text{ hasAttribute max } 0 \text{ attribute}(?a), \text{ isSourceAttributeOf some relation}(?r) \text{ -> concept}(?e)$$
$$(R2.1) \text{ entity}(?e1), \text{ entity}(?e2), \text{ relation}(?r), \text{ attribute}(?a1), \text{ attribute}(?a2), \text{ hasAttribute}(?e1, ?a1), \text{ hasAttribute}(?e2, ?a2), \text{ isDestinationAttributeOf}(?a2, ?r), \text{ isSourceAttributeOf}(?a1, ?r) \text{ -> hasObjectProperty}(?e1, ?e2)$$

```
(R2.2) entity(?e1), entity(?e2), relation(?r),
attribute(?a1), attribute(?a2), hasAttribute(?e1,?a1),
hasAttribute(?e2,?a2), isDestinationAttributeOf(?a2,?r),
isSourceAttributeOf(?a1,?r), hasConstraint(?a1,"not-
null")->hasDefiningProperty(?e1,?e2)
```

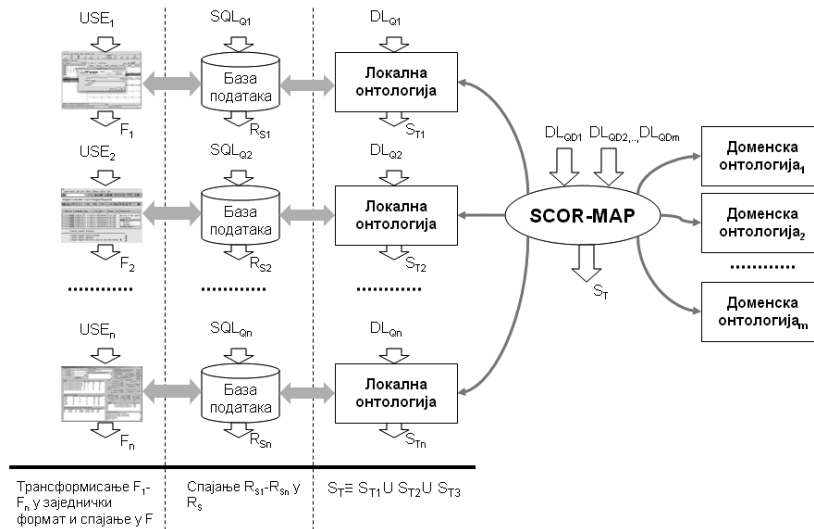
Ова правила класификују индивидуе OWL репрезентације ER модела базе података (er.owl) у мета модел (s-er.owl). Расуђени искази се могу изменити у једноставној веб апликацији, која такође и извршава процес генерисања локалне онтологије. У овом процесу, ентитети мета модела се трансформишу у одговарајуће OWL, RDF и RDFS исказе – у резултујућу локалну онтологију. Концепти генерисане локалне онтологије су анотирани са идентификаторима (URI) одговарајућих ER ентитета из er.owl модела. Тако, постаје могућа транслација семантичких у SQL упите.

2.4 Сервис за семантичке упите

Семантичка интероперабилност система омогућава јединствено место приступа комплетном знању из интероперабилног света. Не само да она омогућава коришћење једног семантичког упита који екстрахује и комбинује релевантне информације из више извора имплицитних података, већ и коришћење различитих речника за састављање овог упита.

Слика 37 илуструје како се подаци екстрахују из хетерогених извора коришћењем три различита приступа: 1) једноставним коришћењем информационих система; 2) спајањем резултата релационих упита из база података; и 3) извршењем семантичких упита. У првом случају, користе се (USE_i) алати информационих система за извоз датотека са подацима (F_i), а свака од ових датотека се трансформише у заједнички формат и спаја. У другом случају, SQL упити (SQL_{Qi}) се извршавају у базама података информационих система, а резултујући скупови података (R_{Si}) се потом спајају.

У случају екстракције података уз помоћ семантичких упита, под условом да су логичке везе између локалних и доменских онтологија конзистентне и комплетне, јединствени DL упит (DL_{Qi}) се може саставити коришћењем било ког речника, формализованог доменским онтологијама, и извршити ради екстракције истих података. Тако, који год се речник користи за састављање упита, резултат његовог извршења је иста унија скупова тројки (S_{Ti}).



Слика 37. Екстракција података из хетерогених извора

У овом делу, описан је метод за афирмацију индивидуа у локалној онтологији, на основу резултата извршења семантичких упита. Метод је илустрован на слици 38 и састоји се од следећих корака:

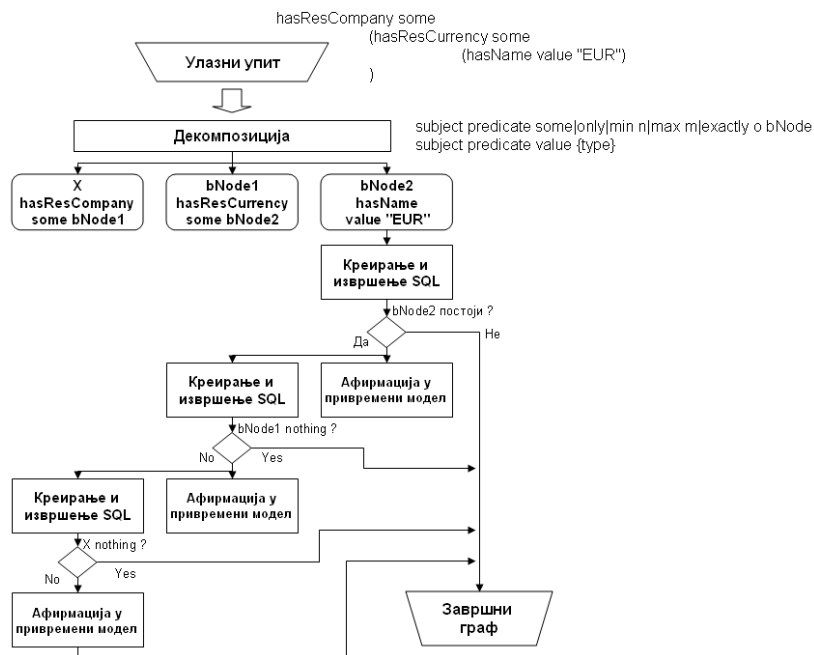
1. декомпозиција и анализа семантичког упита;
2. екстракција података и афирмисање индивидуа;
3. расуђивање.

Семантички упит се сматра паром (O, C) , где је O скуп концепата које је потребно расудити, а C – скуп ограничења које је потребно применити на њихове карактеристике, заправо ограничења вредности ($owl:hasValue$ и ограничења квалификоване кардиналности, $owl:allValuesFrom$, $owl:someValuesFrom$) и кардиналности ($owl:cardinality$, $owl:minCardinality$, $owl:maxCardinality$). Ово одговара поједностављеној репрезентацији SQL упита која укључује табеле (и поља) и предикат поређења, односно, ограничења која се намећу редовима из табела које враћа упит. Додатно, различити типови ограничења одговарају различитим случајевима (или обрасцима, када се мапирају сложени семантички упити) SQL упита.

С обзиром на то да се релевантни закључци могу донети само на основу расуђивања о домену и опсегу карактеристика, скуп C се може сматрати потребним и довољним за репрезентацију семантичких упита. На пример, у локалној онтологији OpenERP информационог система (види Поглавље 5 ове тезе), DL упит “ $hasAccountAccountType\ some\ (hasCode\ value\ 3)$ ” враћа све инстанце `account_account` концепта чији је код једнак 3.

Ова врста репрезентације упита (уз помоћ само ограничења карактеристика) може да произведе непредвидиве и завањајуће резултате када се ограничења примењују над општим лексичким појмовима различитих концепата, као што су

назив, тип, идентификатор, и сл. Вишезначност одговарајућих карактеристика се рефлектује на релевантну онтологију у смислу да су њихови домени уобичајено дефинисани као унија великог броја концепата. На пример, у OpenERP онтологији, домен “hasName” прсте карактеристике је унија 170 концепата. Међутим, ова вишезначност се може сматрати и као предност у неким случајевима. Ограничења вредности над вишезначним простим карактеристика могу произвести релевантно расуђивање и тако, она могу омогућити извршење семантичких упита без потребе за детаљним познавањем структуре онтологије. Ова врста упита се пресликава на скуп SQL упита од којих сваки одговара појединачном концепту из домена карактеристике, где WHERE део одговара релевантним ограничењима над редовима. На пример, у процесу пресликавања (на примеру OpenERP онтологије), DL упит “hasName value ‘Derek Porter’” се најпре користи за расуђивање свих 170 могућих концепата (домена карактеристика), који се потом користе за генерисање квалификованих (O,C) парова, нпр. “res_users and hasName value ‘Derek Porter’”.



Слика 38. Извршење примера семантичког упита у локалној онтологији

У првом кораку метода, извршава се декомпозиција и семантичка анализа семантичког упита. Четворке у облику (subject predicate some|only|min n|max m|exactly o bNode) и (subject predicate value {type}) се екстрахују из улазног упита. У случају DL упита који враћа све концепте који су везани за предузећа чија је примарна валута EURO, следећи DL упит се користи:


```
hasResCompany some (hasResCurrency some (hasName value "EUR" ))
```

У овом случају, идентификоване су следеће четворке:

```
X hasResCompany some bNode1  
bNode1 hasResCurrency some bNode2  
bNode2 hasName value "EUR"
```

У неким случајевима, потребно је саставити сложеније упите ради дефинисања захтева корисника. Пример сложенијег упита је ситуација у којој је потребно дефинисати више ограничења над истим концептима, тако да се узима у обзир пресек два или више скупова, од којих сваки одговара индивидуама које испуњавају појединачне критеријуме. На пример, сви плативи налози за предузећа чија је примарна валута EURO се могу расудити коришћењем следећег DL упита:

```
hasAccountAccountType value "Payable" and hasResCompany  
some (hasResCurrency some (hasName value "EUR" ))
```

У овом случају, идентификоване су следеће четворке:

```
X hasAccountAccountType value "Payable"  
X hasResCompany some bNode1  
bNode1 hasResCurrency some bNode2  
bNode2 hasName value "EUR"
```

У наредном кораку извршења семантичког упита, успоставља се веза са базом података а скупови SQL упита се састављају и извршавају за сваки елемент четворке, у обрнутом редоследу, као резултат анализе представљене горе. Сваки упит враћа податке који се користе за генерисање OWL исказа који се потом афирмишу у привремени модел. Сваки скуп OWL исказа одговара графу, чија је главна индивидуа инстанца концепта, расуђена на основу домена карактеристике четворке или враћеног резултата (лабеле). Друге индивидуе или вредности одговарају дефинишућим карактеристика овог концепта (наслеђеним анонимним класама). У случају вишезначја, резултујући празни чворови (blank nodes) се репрезентују као скупови, који се филтрирају као резултат расуђивања опсега претходне четворке, у финалној фази метода.

Као што је и приказано на слици 38, излаз процеса извршења семантичког упита над локалном онтологијом је скуп OWL тројки који формализује делове локалне онтологије, афирмисане индивидуама чије карактеристике одговарају ограничењима, дефинисаним од стране DL упита.

Очигледно, у овом примеру је примењен приступ популације на основу упита. Као што је већ раније наведено, овај приступ одваја податке од мета модела и тако, омогућава боље перформансе процеса расуђивања. Међутим, у овом тренутку, популација на основу упита се не може применити у сложеном окружењу међусобно повезаних онтологија, као што је сценарио семантички

интероперабилних система. У наставку овод дела, наведена су два главна аргумента за ову тврдњу.

Семантичко расуђивање још увек подразумева централизовани приступ код којег се сва расуђивања врше на јединственом систему. Последица оваквог приступа је да све повезане онтологије (типично повезане релацијама увоза) морају да се учитају у софтвер за расуђивање пре него што сам процес расуђивања започне. У сценарију семантичке интероперабилности, машина за расуђивање користи афирмисане логичке кореспонденције између локалних и доменских онтологија да расуди о индивидуама локалне онтологије коришћењем језика доменске онтологије. С обзиром на то да је све онтологије потребно учитати у меморијски простор машине, није могуће применити приступ популације на основу упита, јер база података није приступачна из овог простора. Овај проблем се може решити прилагођавањем машина за расуђивање или омогућавањем флексибилнијих и динамичких релација увоза, при чему се, на пример, увежане локалне онтологије попуњавају индивидуама од стране динамичких сервиса, способних да обраде ограничења из семантичког упита извршеног у родитељској онтологији (која увози локалну онтологију). У овом тренутку, не постоје познати радови научне заједнице на ову тему.

Други проблем популације локалних онтологија на основу упита у интер-органizacionом окружењу је безбедност података, односно ауторизација приступа. Код приступа масивног увоза, специфична правила за извоз и синхронизацију се могу имплементирати ради објављивања само одређених делова базе података система у локалној онтологији. Међутим, популација на основу упита се врши у реалном времену, када се сам упит извршава. Зато, веома је тешко имплементирати правила приступа и управљати њима. Може се чак замислити и сложенији али реалистичан сценарио по којем предузеће жели да управља приступом одређеној информацији по захтеву у процесу извршења семантичког упита. Важно је напоменути да, у овом случају, процес извршења семантичког упита постаје асинхрон. Поново, чини се да ни ова тема није обрађена од стране истраживачке заједнице.

Упркос овим проблемима, популација на основу упита се још увек сматра бољим кандидатом за примену у семантички интероперабилним системима у односу на масиван извоз. Проблеми статичких и ограничених увоза и права приступа су пре свега везани за техничке изазове, који се могу уклонити вероватније него проблеми перформанси машина за расуђивање заснованих на описној логици.

Поглавље 5: Студије случајева – Интероперабилност система у виртуелном предузећу за производњу кастомизованих ортопедских имплатата

У претходна два поглавља ове дисертације, описан је приступ развоју и имплементацији формалног окружења за семантичку интероперабилност у мрежама ланаца снабдевања. У трећем поглављу, предложен је вишенивоски онтолошки оквир, заснован на SCOR референтном моделу. У четвртном поглављу, представљен је процес имплементације, са нагласком на процес увођења информационих система предузећа у интероперабилно окружење. У овом поглављу, дати су неки докази о изводивости и корисности предложеног окружења и метода имплементације. Две студије случаја су представљене. У првој, показано је како се приступ може искористити да подржи једну од општих функција виртуелног окружења – конфигурацију процеса ланаца снабдевања. Друга студија случаја илуструје на који начин се S-ISU архитектура користи за екстракцију релевантних информација из локалних онтологија коришћењем јединственог упита, при чему се демонстрира пример колаборативног планирања производње у виртуелном окружењу.

1 Увод

У оригиналној визији семантичког веба, предвиђено је обезбеђење новог слоја на врху постојеће World Wide Web инфраструктуре, који треба да аотира садржај веб страна, тако да рачунари могу да га разумеју. Међутим, од самог почетка, развој семантичког веба је сматран академском делатношћу, много пре него практичном технологијом. Постоји много техничких, научних и пословних изазова за имплементацију сценарија семантичког веба. Чињеница је да се овај развој заснива на семантичкој аотацији имплицитно записане и неструктуриране информације, уз коришћење RDF, RDFS и OWL речника и онтологија. Зато, он подразумева bottom-up тип приступа, где аутори индивидуалних веб страна треба да уложе додатни напор у чињењу њихових страна компатибилним са будућим вебom – семантичким вебom.

Очигледан проблем овог сценарија је у томе да не постоји подстицај који ће мотивисати ауторе да ово раде, посебно због тога што тренутно не постоји велики број алата којима се таква аотирана информација може експлоатисати, у директну корист веб сајта, односно њихових аутора.

Оквир за семантичку интероперабилност система, предложен у овој дисертацији, има управо за циљ да пружи овакав подстицај омогућивши предузећима да послују на флексибилан начин, док симултано учествују у много више ланаца снабдевања него што је то било могуће са конвенционалним технологијама интеграције. Тако, предузеће се приближава новим

организационим парадигмама виртуелних окружења и виртуелних предузећа и постаје способно да се много динамичније понаша на тржишту.

Интероперабилност се сматра једним од основних подстицаја за реализацију визије семантичког веба. Иако се о њој доста разматра у академској заједници, али и на тржишту, чини се да је улога семантике у актуелним напорима да се два система учине интероперабилним – површна. Наиме, код конвенционалних приступа, семантика се само асоцира некој врсти структуриране информације, односно, врши се анотација ове информације, без обзира на то да ли је она репрезентована као XML порука, ред табеле базе података или ентитет модела предузећа. Ово је управо карактеристика раније споменутог bottom-up приступа.

Најмање две негативне последице оваквог приступа се могу уочити из чињенице да је потребно уложити велики напор (и знање) у семантичку анотацију статичне, имплицитне информације. Прво, обим овог напора уобичајено ограничава домет задатка. Зато, семантички подржана интероперабилност се постиже у малом броју специфичних случајева колаборације система и она подразумева велики број предуслова, везаних за пре свега ручно усклађивање два имплицитна семантичка модела. Отуд, не очекују се неки индикретни ефекти или утицаји овог посла. Друга и важнија последица bottom-up приступа је везана за чињеницу да што је ограниченији скуп порука које је потребно аотирати, “слабији” ниво концептуализације се примењује. У овом случају, веома је вероватно да ће екстензионалне концептуализације доминирати над интензионалним приступима. Даље, не постоји очигледан интерес за рад на успостављању кореспонденција између исхода ових концептуализација и формалних виших онтологија, јер су директна пресликавања између концепата два система ефикаснија, са становишта односа уложеног напора и резултата, у кратком року. Коначни резултат је тај да су поруке аотирани имплицитним концептима, иако су ти концепти репрезентовани језицима семантичког веба.

Предложени оквир за семантичку интероперабилност у мрежама ланца снабдевања подразумева прагматичнији приступ који комбинује корисничку оријентацију top-down приступа и ефикасност bottom-up парадигме.

У његовом случају, разноликост и ниво корисничких предности (и тако, домет интероперабилности) директно кореспондира са обимом експлицитног знања које једног предузеће добровољно уводи у дељено колаборационо окружење. У сценарију семантичке интероперабилности, аотирани поруке се замењују логичким исказима, где је свака индивидуа коришћених концепата аотирани подацима. Тако, расуђивање постаје много једноставније и ефикасније, јер повећани обим репрезентованих значења у окружењу и отуд, повећани број релација, побољшавају квалитет и корисност расуђивања. Овај обим значења експлоатише одговарајући обим семантичких апликација, које су директно везане за остваривање корисничких вредности семантичких технологија. Семантичке апликације се могу једноставно увести у окружење, јер оне имплементирају само презентациони слој, а експлоатишу постојећи апликациони и слој складиштења (аналогије са конвенционалним архитектурама вишеслојних апликација). Може се сматрати да је пословна

логику дефинисана у доменским и локалним онтологијама (барем, генеричка, општа пословна правила), док су подаци складиштени у њиховим природним окружењима – базама података и приступа им се посредством локалних онтологија.

Приступ типа top-down имплицира да се универзални (барем универзални за изабрани домен) онтолошки оквир користи када се успостављују кореспонденције између различитих семантичких репрезентација реалности домена. Тако, обезбеђује се да се имплицитна значења микро-реалности, као што је једно предузеће, информациони систем или референтни модел, конзистентно семантички ускладе са експлицитном доменском реалношћу. Велики је изазов да се реалност једног домена учини експлицитном. Велики број модела и онтологија су развијени да одговоре овом изазову, при чему су неки од њих приказани у другом поглављу ове дисертације. Међутим, они су развијени применом тзв. инспирационог приступа и нису проверени на начин који би омогућио њихову широко распрострањену употребу и само-одрживи развој. Зато, њима недостаје корисничка, практична вредност. Са циљем да се овај проблем реши, предложени приступ полази од референтног модела, широко прихваћеног од стране индустрије (SCOR), репрезентује га коришћењем семантичких језика на имплицитан начин (види поглавље 3, део 2.1), тако да се може лако пресликати на основне формате система који се заснивају на овом стандарду. Коначно, приступ подразумева да се ови имплицитно дефинисани концепти семантички ускладе са експлицитно дефинисаним појмовима у SCOR-Full теорији. Тако, постаје могуће да се модел ланца снабдевања прошири, јер се концепти ових експлицитно дефинисаних појмова могу ускладити и са сличним појмовима из других онтологија.

Веома је важно напоменути да је постизање универзалне интероперабилности далеко од реалности. Предложени оквир се концентрише на проблеме везане за ланце снабдевања и предлагањем решења за ове проблеме, он проширује конвенционално разумевање нових организационих форми, као што су виртуелна предузећа и виртуелна окружења. Ови проблеми укључују и колаборативно планирање у функцији избора партнера у процесу формирања виртуелног предузећа и конфигурацију процеса у ланцу снабдевања. У овом поглављу, приказано је на који начин ови проблеми могу бити решени уз помоћ предложеног оквира за семантичку интероперабилност, на примеру производње ортопедских имплантата.

2 Анализа случаја – Производња ортопедских имплантата

Успешност ортопедских предиктивних, превентивних, дијагностичких и терапеутских активности зависи од низа фактора, као што су: доступност података о стању пацијента, знање и искуство лекара и доступност материјалних ресурса (инструмената, уређаја, фиксатора, имплантата, софтвера, и др.). Веома често, хирурзи нису у ситуацији да ове активности спроводе на ефикасан начин. Њихова ефикасност и ефективност се постиже када се праве

одлуке доносе брзо, на основу потпуне и ажурне информације о стању пацијента. Ове одлуке подразумевају избор одговарајућих акција, које се извршавају експлоатисањем одговарајућих ресурса, на одговарајући начин, и уобичајено се њихово доношење подржава од стране информационих система.

Конвенционални имплантати су били веома успешни и коришћени током последњих 30 година и везани су за најчешће спроведене хируршке операције у ортопедији, широм света (Hartgysson et al, 2007). У великој већини случајева, конвенционални имплантати омогућавају задовољавајуће резултате лечења.

Међутим, понекад није довољно користити стандардне компоненте имплантата због неубичајене анатомије или потенцијалних ризика од пост-оперативних компликација (Keenan et al, 2000), као што је асептичко слабљење. Уобичајени разлог за асептичко слабљење је неравномерна расподела оптерећења широм површине костију. Овај проблем се може решити коришћењем кастомизованог дизајна имплантата, који се прилагођава специфичним карактеристикама анатомије пацијента.

Истраживање производње кастомизованих ортопедских имплантата је типично везано за технологије директне производње (Gibson и Hartgysson, 2006). Нова опрема за брзу производњу прототипа (rapid-manufacturing) обезбеђује много већу ефикасност у малим серијама или у појединачној производњи. Најчешће коришћени метод за директну производњу материјала велике јачине, као што је титанијум је топљење зраком електрона (electron-beam melting - EBM). Међутим, сложеност процеса и производа који су укључени у производњу и друге релевантне процесес указује на то да много других изазова (нпр. организационих) мора да се узме у обзир да би коришћење кастомизованих имплантата постало свакодневница у ортопедској хирургији.

Два важна проблема, везана за дневну праксу у ортопедској хирургији су: интероперабилност информација и производња високо кастомизованих производа.

Велики скуп информација је потребно комбиновати брзо од стране лекара са циљем да постане могуће да се одлучи о акцијама које је потребно спровести након дијагнозе. Овај скуп укључује историју болести пацијента, дијагнозу, доменске моделе (који формализују знање потребно за доношење одлука о терапеутским активностима), информације о доступности ресурса потребних за терапеутске активности, доступност других лекара и техничара, итд. Свим овим информацијама је потребно приступити и обрадити их интегрално да би се донеле релевантне одлуке. Ово се уобичајено постиже тако што се омогућава да системи у којима се складиште ове информације постану интероперабилни.

Други проблем ортопедске хирургије је везан за производњу ортопедских имплантата. Ортопедски имплантати могу да буду веома сложени, кастомизовани производи које је потребно произвести, на основу горе наведених информација у најкраћем могућем року. Кључни фактори производње кастомизованих ортопедских имплантата су ниво кастомизације и време испоруке финалног производа. Вишим нивоима кастомизације се смањује трајање операције и повећава поузданост имплантата. Тако, смањују се и период постоперативног опоравка пацијента и цена лечења. Такође, смањују се и

ризници од могућих компликација; трошкови лечења једне компликације могу достићи вредност трошкова више успешних операција.

2.1 Баријере за кастомизацију

Две најкрупније не-техничке баријере за кастомизацију су: 1) недостатак ефикасности традиционалних производних предузећа у малосеријској или појединачној производњи; и 2) недостатак ефикасности у трансферу мулти-дисциплинарног знања, потребног са пројектовање кастомизованог имплантата.

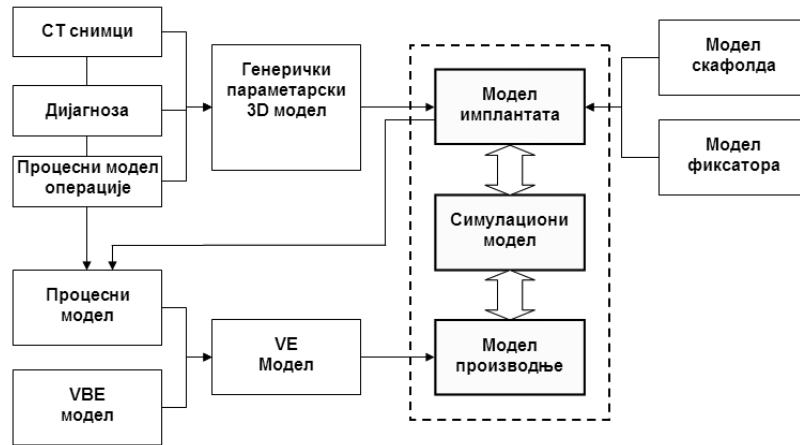
Генерално, производна предузећа оптимизују дизајн својих производа по критеријумима једноставности и трошкова, док своје радне токове прилагођавају углавном производњи већих серија. Зато, она нису способна да производе појединачне производе на ефикасан начин. У традиционалном смислу, радни токови за производњу кастомизованих имплантата укључују велики број анализа и одлучивања, као што су интерпретација и анализа СТ скенова, анализа прототипова од воска, механичка анализа, прикупљање информација и дозвола, итд. Недостатак ефикасности да прилагоде своје традиционалне радне токове овим активностима постаје још критичнији када предузећа морају да ангажују и добављаче различитих делова или услуга.

Сав овај људски рад укључује и велики број интеракција између различитих експерата током којих се дискутује о функционалним (медицинским), механичким, организационим и другим перспективама на процес кастомизоване производње.

Да би се превазишле ове баријере, предложене су инфраструктуре система и модела. Инфраструктура модела формализује знање потребно за производњу кастомизованих имплантата и тако омогућава и његову размену. Док системи замењују људе у процесима доношења одлука и тако повећавају ефикасност процеса кастомизације производа, модели се такође сматрају и алатима за интероперабилност система. Они користе различите формализме за експлицитну репрезентацију домена од интереса (релевантних за системе).

2.2 Инфраструктура модела

Производња кастомизованих ортопедских имплантата се заснива на вишенивоском рачунарском моделу људског анатомског система, који се састоји од перспективе дизајна, понашања и производње (види слику 39). Модел одређеног нивоа се користи да реши специфичне проблеме и прате га одговарајући алати за његово креирање, одржавање и коришћење.



Слика 39. Инфраструктура модела

Моделима се репрезентују различити погледи на ортопедске имплантате. Они имају за циљ да омогуће репрезентацију релевантног знања и расуђивање у области доношења одлука везаних за лечење и предоперативно планирање, као и конфигурацију виртуелног предузећа, планирање технологије и управљање пословним процесима.

Генерички параметарски 3D модел изабране кости репрезентује површине и запремине чија геометрија се одређује математичким и логичким релацијама успостављеним између неких кључних параметара. Овај модел се конструише на основу података добијених из СТ (Computed Tomography) скенова и неопходан је за дигиталну реконструкцију трауматизоване кости. Потом, на основу овог модела, дизајнира се скафолд, који треба да замени недостајући део кости. Имплантат се уобичајено састоји од скафолда, фиксатора (користи се за теже оптерећене кости) и био-разградивог материјала за остео-фиксацију.

Симулациони модели омогућавају предвиђање и оптимизацију механичког понашања имплантата под реалним условима оптерећења, коришћењем методе коначних елемената (Finite Element Analysis - FEA). Симулациони модели такође узимају у обзир и будућу експлоатацију коштаног имплантата, укључујући и симулацију операције.

Док су горе наведене две групе модела везане за дизајн и понашање имплантата, производни модели успостављају референце између њихових елемената и концепата и:

1. процеса, везаних за производњу имплантата и имплементацију (модел процеса);
2. способности и ресурса, потребних за производњу имплантата, конфигурисаних на одређени начин (модел виртуелног предузећа).

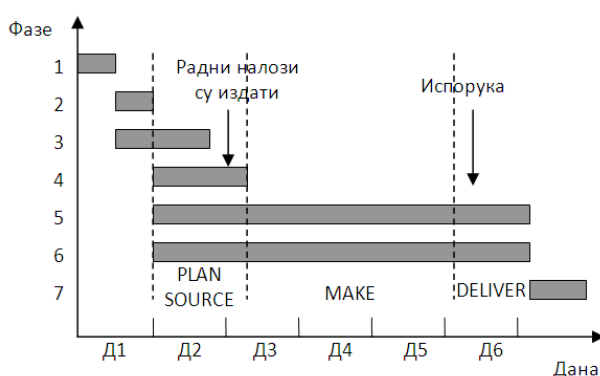
Производни модели такође укључују и формалне доменске моделе, као што су модели предузећа, колаборативног окружења и ланца снабдевања. Ови модели представљају део опште инфраструктуре знања виртуелног окружења.

2.3 Опис производа

У зависности од типа трауме костију, кастомизовани ортопедски имплантат се може састојати од неких од различитих типова и дизајна фиксатора и скафолда. Додатно, у производњу и/или имплементацију кастомизованог имплантата могу бити укључене и неке услуге, као што су: предоперативно планирање, симулација репозиције, дигитална реконструкција, ремоделовање, анализа биомеханичких карактеристика имплантата, стерилизација, оцена етичког комитета, сертификација производа и други.

На пример, у случају рака костију на тибији (већа од две кости потколенице), недостајући део кости се замењује скафолдом, који се ојачава унутрашњим фиксатором. Скафолд се дизајнира на основу геометрије кости, која је дигитално реконструисана на основу СТ снимака. Геометрија и топологија унутрашњег фиксатора се одређује на основу дијагнозе и предоперативног плана, развијеног од стране хирурга. Процес производње кастомизованог дела је такође предмет процене од стране клиничког етичког комитета и анализе биомеханичких карактеристика.

У овом случају, сматра се да се производња делова имплантата и коришћење везаних услуга извршавају унутар виртуелног окружења, које се састоји од предузећа, квалификованих, сертификованих и компетентних да испоруче производени део и/или да обезбеде одговарајућу услугу. Виртуелно окружење је организовано као кластер и технички се координише од стране брокера – предузећа. Брокерско предузеће је главни снабдевач ортопедских имплантата клиничких центара. Сваки случај испоруке оваквих производа и услуга се сматра случајем виртуелног предузећа.



Слика 40. Животни век виртуелног предузећа за производњу кастомизованих ортопедских имплантата

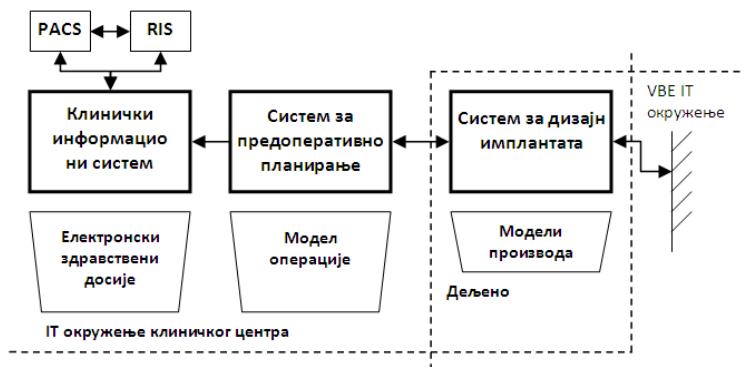
Брокер је задужен за следеће активности:

1. прима и преговара наруџбине;
2. дефинише уговор, договор о нивоу услуга (Service Level Agreements - SLA) и сертификационе процесе;
3. доставља хитне услуге клиничким центрима у дефинисању захтева и иницира одговарајућу инфраструктуру производа;
4. формира и лансира виртуелно предузеће, избором партнера и конфигурисањем процеса;
5. обезбеђује да се испорука производа и услуга врши у складу са SLA и сертификатим производа;
6. управља спровођењем уговора за време целог животног века виртуелног предузећа;
7. расформира виртуелно предузеће.

Илустрација на слици 40 приказује горе поменуте активности и одговарајуће фазе животног века виртуелног предузећа, у описаном случају.

2.4 ИТ инфраструктура

Потребна агилност виртуелног предузећа се обезбеђује кроз интензивно коришћење ИТ система за координацију и извршење процеса. Зато, пре идентификације и анализе проблема интероперабилности, разматра се ИТ окружење за производњу ортопедских имплантата. Ово окружење се описује у овом делу, из перспективе корисника, односно клиничког центра и дељених, заједничких система виртуелног окружења. Оно је илустровано на слици 41.



Слика 41. ИТ инфраструктура

Дијагностика и предоперативно планирање се врше на основу електронског здравственог досијеа (Electronic Medical Record - EMR) пацијента, који укључује СТ снимке и друге информације. Ове информације се складиште у клиничком информационом систему (Clinical Information System - CIS), интегрисаном скупу

IT алата, дизајнираном да управља медицинским, административним, финансијским и правним аспектима медицинских услуга. Релевантни подсистеми CIS су радиолошки информациони систем (Radiology Information System - RIS) и систем за комуникацију и архивирање слика (Picture Archiving and Communication System - PACS). RIS се користи од стране радиолошких служби за складиштење, манипулацију и дистрибуцију радиолошких података и снимака пацијента. PACS представља технологију за медицински третман слика, која обезбеђује складиштење и приступ сликама (снимцима) добијених из више типова извора.

Систем за предоперативно планирање (PRE-OP-Sys) се користи за доношење најважнијих одлука, везаних за важне карактеристике кастомизованих имплантата. На пример, на основу СТ снимака и интерпретираних карактеристика трауме, PRE-OP-Sys је способан да предложи позицију, величину и оријентацију реза, геометрију недостајућих делова костију, критичне карактеристике имплантата и/или фиксатора, начин репозиције измештених делова костију, итд (Vitkovic et al, 2011).

Систем за дизајн имплантата (IMPL-D-Sys) представља софтвер који користе виртуелно окружење (репрезентовано од стране брокера) и хирурзи. Неке карактеристике овог система су дизајн топологије производа, пружање подршке у доношењу одлука везаних за геометријске карактеристике и избор потребних услуга.

2.5 Проблеми интероперабилности у производњи кастомизованих ортопедских имплантата

Интероперабилност се сматра једном од најважнијих карактеристика система виртуелног предузећа, јер омогућава флексибилну колаборацију; она смањује време потребно за формирање виртуелног предузећа, као и његово расформирање. С обзиром на то да је време производње критично за производњу кастомизованих имплантата, веома је важно размотрити проблеме интероперабилности у овом случају.

Проблеми интероперабилности се могу разматрати у два аспекта. Први аспект укључује међусобне везе између знања, средстава и процеса медицинског (клинички центри) и производног (виртуелно окружење) окружења. Други аспект је везан за проблеме интероперабилности унутар виртуелног окружења. У традиционалном смислу, ово разматрање одговара разликовању између интероперабилности између клијента и произвођача и произвођача и снабдевача.

Главни исход сарадње између клијента и произвођача је иницирање производне моделске инфраструктуре, односно, дефиниција спецификације производа. Имајући у виду високе захтеве везане за ефикасност и квалитет, од највеће је важности да се уведе одређени ниво аутоматизације, пре свега тако што ће се уклонити сви предуслови за ову колаборацију и потребе за успостављањем претходних договора. Зато, неопходно је размотрити проблеме интероперабилности између виртуелног и окружења клиничких центара.

Преглед ових проблема се у даљем тексту, разматра на нивоима домена, података, организације и система.

Доменска (концептуална) интероперабилност се односи на семантичке кореспонденције између домена хирургије и производње и она утиче на интероперабилност модела (интероперабилност између модела предоперативног планирања и процесног модела виртуелног окружења). Проблем производње кастомизованих ортопедских имплантата је мултидисциплинаран. Доменска интероперабилност се постиже тако што се најпре формирају формални доменски речници, а потом се успостављају кореспонденције између концепата различитих модела, које могу да омогуће аутоматску обраду знања у пресеку две дисциплине.

Проблеми интероперабилности података су везани за размену различитих формата између различитих система. До ове размене долази између CIS и PRE-OP-Sys и; између PRE-OP-Sys и IMPL-D-Sys. У првом случају, решавање проблема се односи на усклађивање формата података EMR и оперативног процесног модела. Она такође подразумева интерпретацију кључних геометријских карактеристика на основу CT снимака. У случају размене између PRE-OP-Sys и IMPL-D-Sys, потребно је ускладити формате података који одговарају преоперативном процесном моделу (укључујући и кључне геометријске карактеристике) и параметријском 3D моделу.

Организациона интероперабилност се односи на административне процедуре, везане за процену предложене моделске инфраструктуре од стране клиничког етичког комитета.

Коначно, проблеми интероперабилности система су везани за интеракцију између:

- CIS и PRE-OP-Sys. PRE-OP-Sys треба да буде способан да приступи детаљима EMR и CT снимцима, складиштеним у PACS, експлоатисањем референци између CIS и PACS;
- PRE-OP-Sys и IMPL-D-Sys. С обзиром на то да је дизајн имплантата директно везан за план операције, интероперабилност ова два система се сматра критично важном;
- IMPL-D-Sys и VBE IT инфраструктуре. У овом случају, проблеми интероперабилности су везани за експлоатисање кореспонденција између модела производа и: 1) CAD система, у којима се складишти параметарски 3D модел; 2) FEA система, који складиште моделе механичких анализа; и 3) заједничких VBE апликација за избор партнера у виртуелно предузеће и конфигурацију процеса.

Када се говори о семантичкој интероперабилности, проблеми интероперабилности система, наведени горе, се могу интерпретирати као што је наведено у даљем тексту.

Предоперативно планирање се заснива на локацији и распореду делова анатомске структуре унутар људског тела, изражених на квантитативан или квалитативан начин (коришћењем просторних релација). Овај распоред се може формализовати коришћењем одговарајуће анатомске онтологије (Burger et al,

2008). Када се операција планира, релевантне просторне карактеристике се могу искористити за одређивање карактеристика микро-корака које је потребно извршити током операције, као што су углови улаза вијака којима се фиксатор причвршћује за кост, тачке контаката фиксатора и кости, итд. Релевантне карактеристике просторних релација се могу експлоатисати за аутоматско расуђивање (Schultz and Hahn, 2001), које може помоћи процес предоперативног планирања. Да би ово било могуће, потребно је испунити два услова. Прво, СТ снимци морају бити семантички анотирани са карактеристичним геометријским одликама релевантних костију, при чему се за анотацију могу користити концепти анатомске онтологије. Друго, PRE-OP-Sys треба да буде способан да расуди о просторним релацијама и одговарајућим карактеристикама микро-корака, тако што ће експлоатисати претходно успостављене логичке везе између анатомске онтологије и онтологије оперативног процеса (модела).

Друго разматрање интероперабилности CIS и PRE-OP-Sys је важно када предоперативно планирање укључује и планирање анестезије. У овом случају, очигледно је да се директне везе између избора врсте анестезије и медицинске историје и стања пацијента (читљивих из EHR) могу користити за смањење ризика и повећање ефикасности операције.

Горе поменуте просторне релације су такође релевантне за разматрање семантичке интероперабилности између PRE-OP-Sys и IMPL-D-Sys система. Оне обезбеђују формалне дефиниције геометријских ограничења која се уобичајено узимају у обзир када се одређује дизајн ортопедског имплантата. На пример, угао између дисталног и проксималног дела унутрашњег фиксатора зависи од распореда костију и тетива.

Конечно, трећи поглед на проблеме семантичке интероперабилности је везан за колаборацију IMPL-D-Sys система и ИТ окружења виртуелног окружења. Главни циљ ове колаборације је производња и испорука најрелевантнијег, најпоузданијег кастомизованог ортопедског имплантата на најефикаснији начин, на основу концептуалног описа производа. Ови процеси и предложена инфраструктура за семантичку интероперабилност су размотрени у наредном делу.

3 Конфигурација процеса ланаца снабдевања у случају производње кастомизованих ортопедских имплантата

Као што је раније поменуто у анализи случаја, један од аспеката разматрања проблема интероперабилности је везан за виртуелно окружење. Тај аспект се односи на интероперабилност између произвођача и његових добављача. У првој студији случаја у овом поглављу, показано је како се формални оквир за семантичку интероперабилност у мрежама ланаца снабдевања може искористити за конфигурацију процеса ланаца снабдевања.

У студији случаја је приказана демонстрација коришћења SCOR-KOS OWL модела за конфигурацију процеса ланаца снабдевања, односно, расуђивање и презентацију SCOR дијаграма тока за описани случај виртуелног предузећа за

производњу кастомизованих ортопедских имплантата. SCOR дијаграм тока је илустрација специфичне конфигурације процеса набавке, производње и испоруке, креирана на основу топологије производа, учесника и производних стратегија за сваку од компоненти.

Усклађеност пословања са индустријским стандардима представља конкурентну предност једног предузећа, посебно уколико оно зависи од учешћа у више ланаца снабдевања. Она је корисна за области хоризонталне интеграције, интероперабилности система и флексибилног управљања, као критичних фактора успеха колаборативних предузећа. Међутим, предности проистекле из ових карактеристика су реалистичне само уколико се усклађеношћу управља на начин који омогућава једноставну аквизицију, складиштење, ефикасно вишеструко коришћење и континуирану еволуцију знања, релевантног за ове стандарде. Другим речима, неопходно је, успоставити и одржавати семантичке везе између референтних модела и знања предузећа. Да би то било могуће, потребно је да буду испуњена два услова.

Прво, референтни модел мора бити семантички обogaћен, као услов за успостављање логичких релација између његових ентитета и концепата знања о предузећу. У овој дисертацији, овај услов је испуњен концептуализацијом индивидуалних ентитета SCOR модела, односно, развојем SCOR-Full онтологије.

Друго, знање о предузећу се мора складиштити у експлицитном облику. Методологија, представљена у овој дисертацији предлаже локалне онтологије као кандидате за начин складиштења, а уз њих и методе за експликацију знања о предузећу (трансформисањем Entity-Relationship шема пословних информационих система) и за извршење семантичких упита над локалним онтологијама.

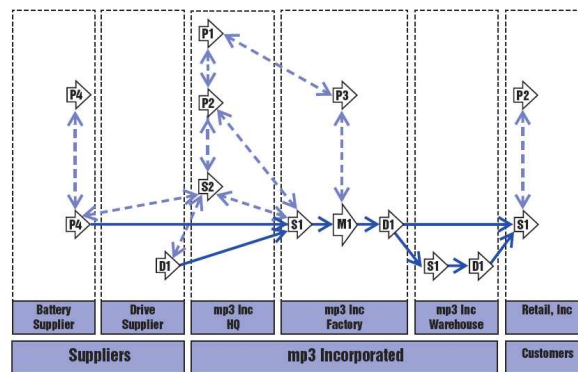
Студија случаја, представљена у овом делу је пример корисности предложене методологије раслојавања значења на различитим нивоима апстракције, где семантичке апликације које треба да реше специфичан проблем, користе апликационе онтологије (пресликане на имплицитне референтне моделе, у овом случају SCOR-KOS OWL модел) да реше тај проблем.

Специфични проблем на коме је метод је илустрован је конфигурација ланаца снабдевања, односно, генерисање мапа процеса, релевантних за производњу одређеног производа у контексту његовог ланца снабдевања.

3.1 Моделирање ланца снабдевања засновано на SCOR моделу

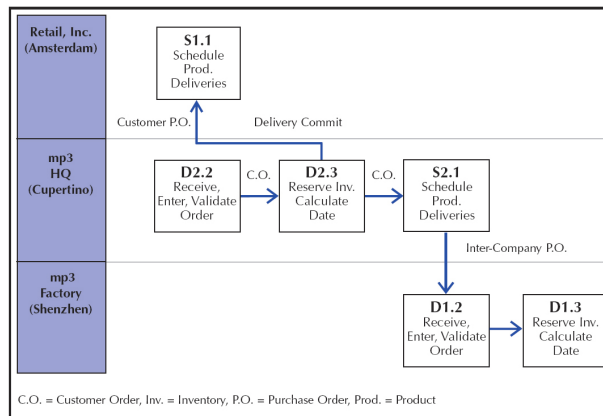
Мотив једног предузећа за моделирање ланца снабдевања може да буде развој стратегије, ширење, оптимизација или реинжињеринг процеса, стандардизација или реорганизација предузећа, покретање ћерки-фирми, доношење одлука о ангажовању партнера, и сл. SCOR референтни модел разматра четири различита типа модела, који се могу развити у различите сврхе, на различитим нивоима детаљности: дијаграм пословног оквира, географску мапу, дијаграм тока и модел радних токова.

Дијаграм пословног оквира дефинише опсег ланца снабдевања. Наиме, он дефинише учеснике и репрезентује основне токове информација и материјала између ових учесника. Географска мапа се користи да репрезентује токове материјала у географском контексту. У односу на дијаграм пословног оквира, он уводи нови ниво детаља – основни субјекти процеса моделирања нису предузећа, већ категорије процеса. SCOR дијаграм тока (види слику 42) успоставља релације између категорија процеса, које су претходно додељене предузећима која их имплементирају.



Слика 42. Пример SCOR дијаграма тока

Модел радних токова (види слику 43) илуструје детаљну репрезентацију процеса нивоа 3 (елементи процеса), све везе између ових елемената процеса и предузећа (или њихових делова) која их имплементирају.

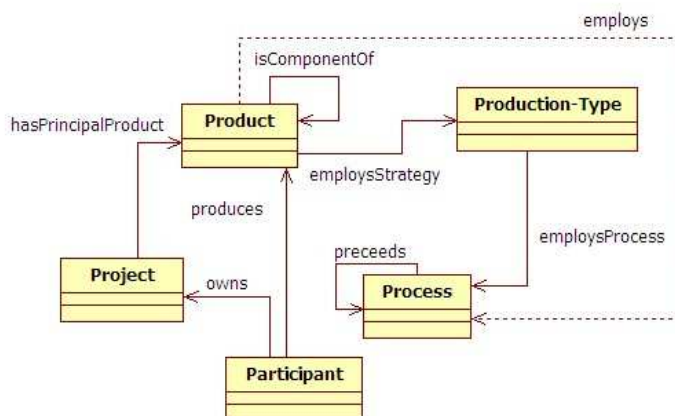


Слика 43. Пример SCOR модела радних токова

3.2 SCOR-Cfg онтологија

У развоју семантичке апликације за конфигурацију процеса ланца снабдевања, први корак је био развој концептуализације проблема. Зато, случај виртуелног предузећа за производњу кастомизованих ортопедских имплантата се разматра као пројекат у власништву фокалног партнера виртуелног предузећа, односно брокера. Основни циљ пројекта је производња (или инжињеринг) главног производа (за залиха или по наруџбини), који се састоји од других производа (делова), који се производе и испоручују од стране изабраних партнера из виртуелног окружења са различитим коришћеним стратегијама (за залихе, по наруџбини)

Ова концептуализација се користи за дизајнирање проблемске или апликационе онтологије – SCOR-Cfg OWL модела. Овај модел је илустрован на слици 44. Састоји се од следећих концепата: пројекат, производ, тип производње, процес (са подконцептима, од којих сваки одговара одређеном типу процеса) и учесник.



Слика 44. SCOR-Cfg онтологија

Релације између концепата су успостављене помоћу наредних карактеристика:

```
hasPrincipalProduct(Project, Product)
isComponentOf(Product, Product)
employsStrategy(Product, Production_Type)
employsProcess(Production_Type, process)
owns(Participant, Project)
precedes(Process, Process)
produces(Participant, Product)
```

Иницијално, у SCOR-Cfg OWL модел су афирмисане индивидуе производних стратегија и процеса. Тако, концепт типа производње садржи следеће

индивиде: engineering-to-order, made-to-order and made-to-stock. Концепт процеса (или његови подконцепти: Deliver-Process, Make-Process, Plan-Process и Source-Process) садрже следеће индивиде:

D1._Deliver_stocked_product
D2._Deliver_made-to-order_product
D3._Deliver_engineered-to-order_product
M1._Make-to-stock
M2._Make-to-order
M3._Engineer-to-order
P1._Plan_supply_chain
P2._Plan_source
P3._Plan_make
P4._Plan_deliver
S1._Source_stocked_product
S2._Source_made-to-order_product
S3._Source_engineered-to-order_product

Карактеристике “employsStrategy” и “employsProcess” су дефинисане као подкарактеристике транзитивне карактеристике “employs”. Ове релације омогућавају расуђивање процеса набавке, производње и испоруке везане за производњу компоненте произведене одређеном стратегијом.

3.3 Семантичка апликација за конфигурацију процеса ланца снабдевања

Семантичка веб апликација је развијена за потребе аутоматске конфигурације процеса ланца снабдевања. Ова апликација користи проблемску онтологију – SCOR-Cfg OWL модел. Коришћење апликације обухвата:

1. Афирмисање конфигурације производа, односно топологије главног производа и производних стратегија за сваку компоненту и
2. Позивање алгорита (преко семантичких упита) за генерисање и цртање SCOR дијаграма тока.

Различити обрасци процеса (и улога) се примењују за сваку од три могуће производне стратегије: производње за залихе, производње по наруџбини и инжињеринга по наруџбини.

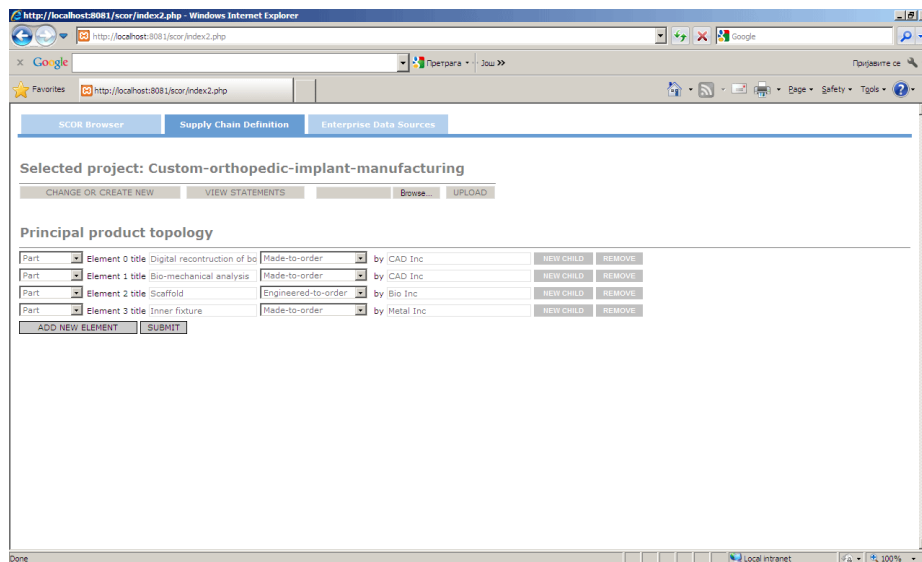
Као што је то био случај и са апликацијом за преглед SCOR-KOS OWL модела, семантичка апликација је развијена коришћењем RAP апликационог интерфејса. За визуелну репрезентацију, користи се SVG (Scalable Vector Graphics) формат. За расуђивање, односно извршавање семантичких упита, користи се Pellet 1.5 (Sirin et al, 2007) машина за расуђивање.

Функционалност семантичке апликације се демонстрира на случају производње кастомизованих ортопедских имплантата. Конкретно, узима се у

обзир пример производа кастомизованог ортопедског имплантата за случај рака костију тибиде.

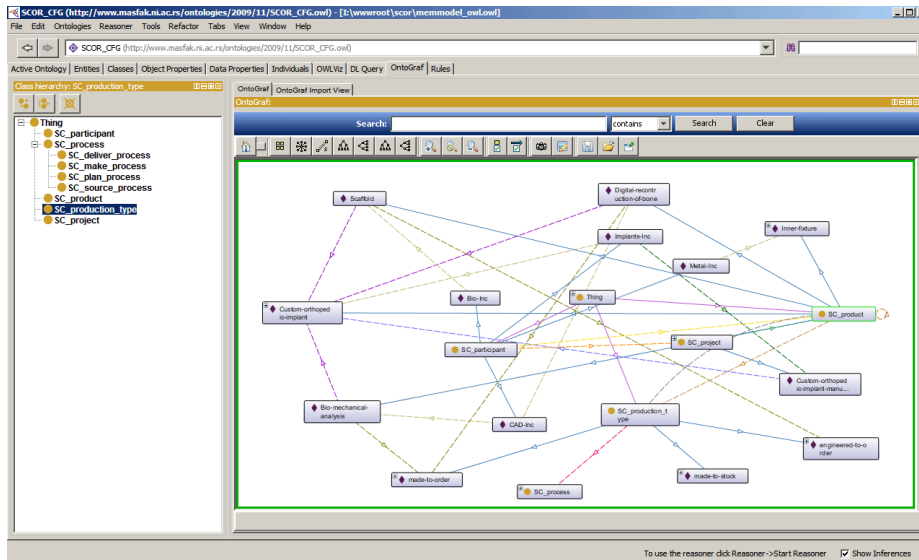
У овом случају, недостајући део костију се замењује скафолдом, који се ојачава унутрашњим фиксатором. Додатно, за производњу имплантата су везане и услуге дигиталне реконструкције трауматизоване кости и анализа биомеханичких карактеристика имплантата. Из перспективе конфигурације ланца снабдевања, ове две услуге се сматрају деловима саставнице имплантата. Тако, њих је, као услуге потребно набавити, имплементирати (SCOR Make процес) и испоручити, исто као што је то случај са материјалним деловима, односно унутрашњим фиксатором и скафолдом.

У процесу конфигурације ланца снабдевања коришћењем семантичке апликације, информације о производу се добављају коришћењем софтверске апликације за аквизицију производа у интер-организационим мрежама (Zdravković и Трајановић, 2009). Слика 45 приказује основни интерфејс за дефиницију топологије кастомизованог ортопедског имплантата, са унетим информацијама.



Слика 45. Интерфејс за дефинисање топологије основног производа

Слање података из форме за дефинисање топологије производа иницира афирмисање нових исказа у OWL моделу. Ови искази су везани за додељивање типова и афирмисање карактеристика. Слика 46 илуструје изглед SCOR-Cfg OWL модела, након извршених афирмација.



Слика 46. (Делимична) визуелизација афирмисаних исказа (у Protege алату)

Генерисање SCOR дијаграма тока се врши избором учесника пројекта ланца снабдевања, његових производа (компоненти) и коначно процеса, у том редоследу. Партнери изабраног пројекта се могу расудити коришћењем следећег DL упита:

```
(produces some
(isComponentOf some
(isPrincipalProductOf value <selected_project>)))
or
(produces some
(isPrincipalProductOf value <selected_project>))
```

Да би се омогућило расуђивање учесника у неограниченом броју нивоа снабдевања и тражње, гледано од главног учесника, карактеристика “isComponentOf” је дефинисана као транзитивна. Даље, за сваког учесника, компоненте главног производа за које је он одговоран се могу расудити коришћењем следећег семантичког упита:

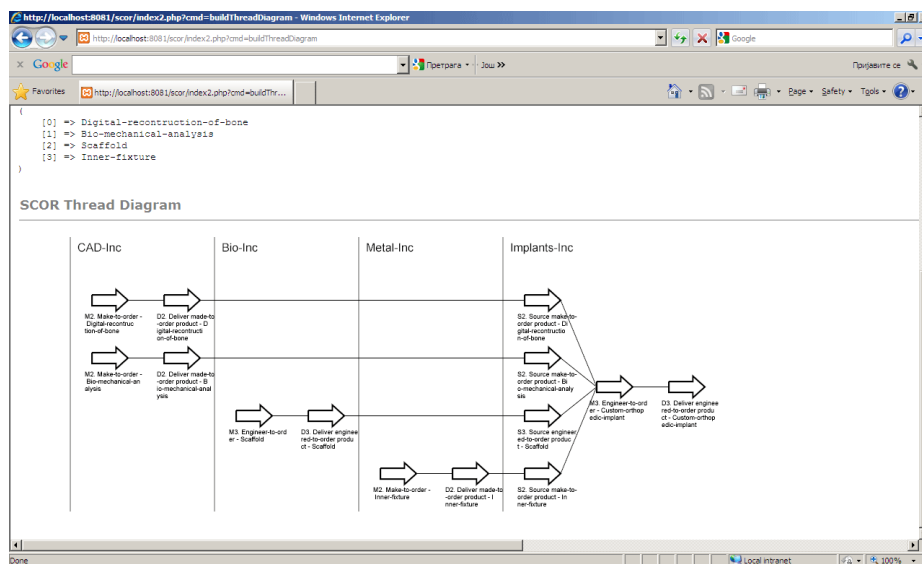
```
producedBy value <participant>
and (
isComponentOf some
(isPrincipalProductOf value <selected_project>)
or
(isPrincipalProductOf value <selected_project>))
```

Процеси се расуђују на основу афирмисаних “precedes” релација које одређују могуће прелазе између SCOR категорија процеса, унутар индивидуалних

учесника (S_x - M_y - D_y) или између њих (D_1 - S_1 , D_2 - S_2 , D_3 - S_3). Други, афирмисани прелази између учесника су важни за расуђивање о процесима набавке, на основу топологије главног производа. За изабрани производ, процеси се могу расудити коришћењем наредног семантичког упита:

```
SC_process and
((preceededBy some
(employedBy some
(isComponentOf value <product>)))
and SC_source_process)
or
(employedBy value <product>))
```

Слика 47 приказује главни исход семантичке апликације - SCOR дијаграм тока. Он је генерисан од стране апликације, на основу података прикупљених из SCOR-Cfg OWL модела, помоћу DL упита приказаних горе.



Слика 47. Генерисани SCOR дијаграм тока

SCOR дијаграм тока је концептуална мапа ланца снабдевања, развијена на основу правила, афирмисаних у SCOR-CFG OWL моделу, дефинисаних SCOR стандардом. Он омогућава визуелну репрезентацију процеса високог нивоа (категирија процеса), улога и основних токова информација и ресурса између учесника ланца снабдевања. Неке од особина представљене апликације су: расуђивање сложених дијаграма тока, генерисање модела процеса и радних токова и генерисање смерница за имплементацију. Ове особине су детаљније описане у наставку.

Приказани пример демонстрира само интеракције и колаборације између два нивоа ланца снабдевања: главног клијента и његових добављача првог нивоа. Међутим, број визуелизованих нивоа зависи од топологије производа: уколико се унесе детаљнија топологија (где је она репрезентована као саставница производа, са потпуном структуром, до нивоа делова или материјала), комплетан ланац снабдевања се може репрезентовати SCOR дијаграмом тока, са бројем нивоа који одговара дубини топологије производа. Тако, фокални партнер виртуелног предузећа добија могућност пуног, детаљног увида у прогрес имплементације једног пројекта. Слично, за боље његово праћење, могуће је детаљно репрезентовати и хоризонталну организацију индивидуалних актера виртуелног предузећа, расуђивањем додатних учесника за различите производне стратегије: складишта (власника процеса набавке и испоруке), погона (власника процеса производње) и централа (власника процеса планирања).

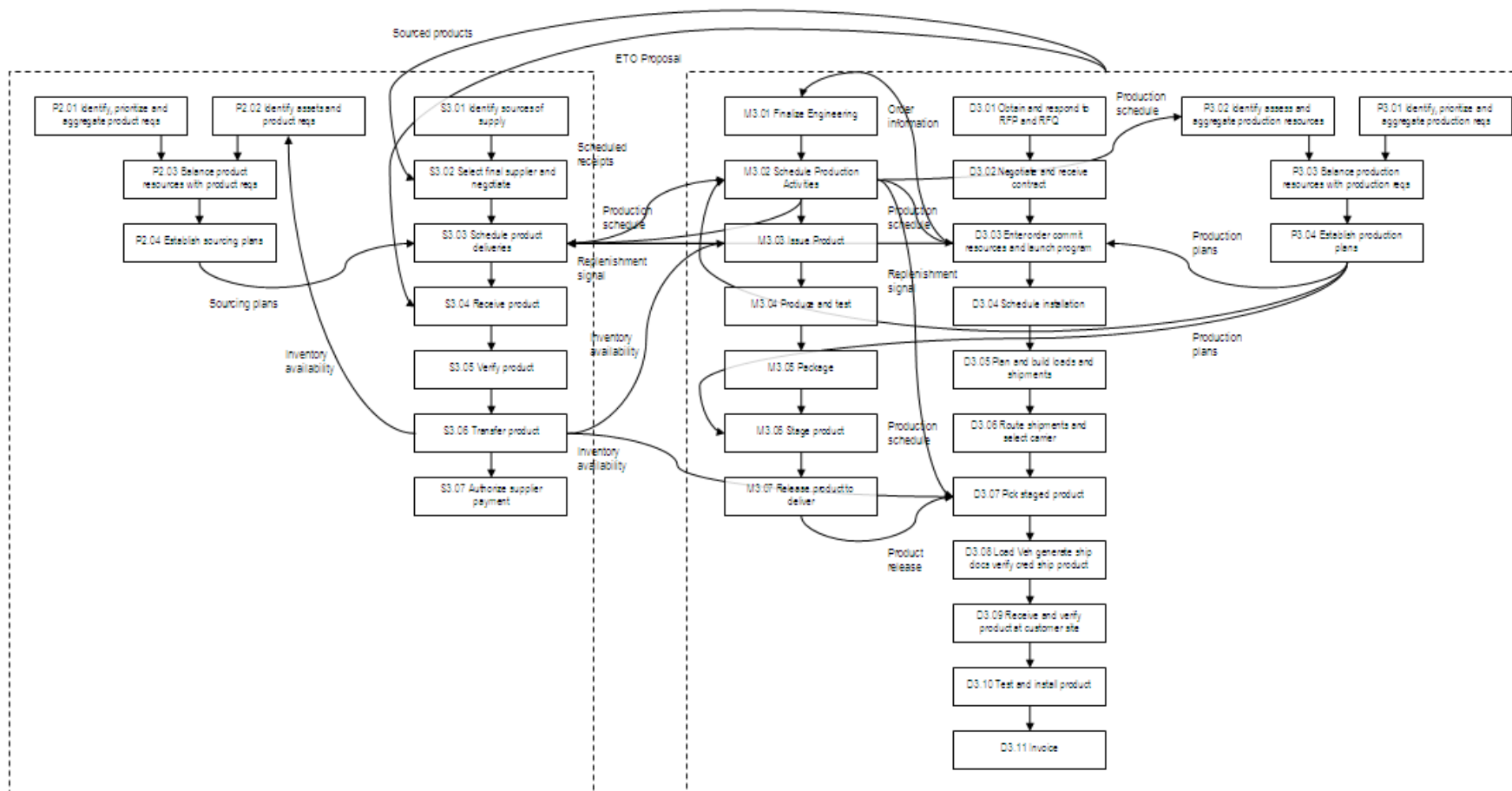
Релације којима се усклађују SCOR-KOS и SCOR-Cfg OWL модели, такође обезбеђују могућност генерисања детаљних смерница за имплементацију стандарда, које се могу састојати од предложених добрих пракси, релевантних система (или њихових модула, способности, начина коришћења, итд.) за спровођење пројекта, праћења ресурса (SCOR Input и Output елементи), окружења за мерење перформанси ланца снабдевања, коришћењем SCOR метрике и идентификације проблема интероперабилности процеса.

3.4 Расуђивање о проблемима интероперабилности процеса

Интероперабилност процеса се може свести на интероперабилност између система који имплементирају те процесе.

На пример, семантичка апликација за конфигурацију ланца снабдевања и SCOR-KOS OWL модел омогућавају расуђивање веза између индивидуалних елемената процеса, наиме, токова ресурса између активности процеса, идентификованих приликом генерисања SCOR дијаграма тока. Слика 48 илуструје размену ових ресурса за случај *engineered-to-order* производње, наиме, између категорија процеса P2. Plan Source, S3. Source Engineered-to-Order Product, M3. Make Engineering-to-Order product и D3. Deliver Engineered-to-Order product. Такође, додатне категорије процеса су укључене у имплементацију ове стратегије: EP. Enable Plan; ES. Enable Source; EM. Enable Make; ED. Enable Deliver и P3. Plan Make. Само “P3. Plan Make” категорија процеса из ове последње групе је илустрована на слици 64, због сложености визуелне репрезентације.

Овај пример одговара колаборацији између фокалног партнера и добављача скафолда и унутрашњег фиксатора ланца снабдевања за производњу кастомизованог ортопедског имплантата.



Слика 48. Пример токова између елемената процеса за тип производње engineered-to-order

Уколико претпоставимо да оба партнера користе ERP систем, ови системи се сматрају интероперабилним (у контексту размењених информација између SCOR процеса), уколико су способни да размене и разумеју информацију која се размењује између следећих категорија процеса:

- S3_Source_Engineer-to-Order_Product and M3_Engineer-to-Order
- S3_Source_Engineer-to-Order_Product and D3_Deliver_Engineered-to-Order_Product
- M3_Engineer-to-Order and S3_Source_Engineer-to-Order_Product
- D3_Deliver_Engineered-to-Order_Product and S3_Source_Engineer-to-Order_Product

С обзиром на то да се интероперабилност сматра једносмерном способношћу система, два различита упита су потребна за расуђивање концепата који се размењују од стране два система, где први имплементира процесе набавке фокалног партнера, док други узима у обзир процесе производње и испоруке снабдевача.

Информација коју је потребно послати из ERP система фокалног партнера до ERP система добављача и интерпретирати од стране овог другог се може расудити коришћењем следећег DL упита:

```
(isOutputFrom some (isProcessElementOf value S3_Source_Engineer-to-Order_Product)) and (isInputFor some (isProcessElementOf value M3_Engineer-to-Order)) or (isOutputFrom some (isProcessElementOf value S3_Source_Engineer-to-Order_Product)) and (isInputFor some (isProcessElementOf value D3_Deliver_Engineered-to-Order_Product))
```

Овај упит резултује следећим SCOR Input-Output елементима:

Scheduled_Receipts
Inventory_Availability

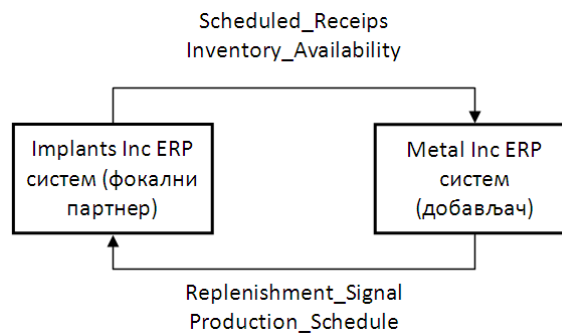
У супротном смеру, користи се наредни DL упит:

```
(isOutputFrom some (isProcessElementOf value M3_Engineer-to-Order)) and (isInputFor some (isProcessElementOf value S3_Source_Engineer-to-Order_Product)) or (isOutputFrom some (isProcessElementOf value D3_Deliver_Engineered-to-Order_Product)) and (isInputFor some (isProcessElementOf value S3_Source_Engineer-to-Order_Product))
```

Овај упит резултује следећим SCOR Input-Output елементима:

Replenishment_Signal
 Production_Schedule

Илустрација на слици 49 приказује захтеве за два ERP система који имплементирају одговарајуће SCOR процесе, према генерисаном SCOR дијаграму тока (илустрација показује само интеракције између ERP система фокалног партнера и изабраног добављача) и за расуђеним исказима везаним за размену ресурса између ова два система. Веома је важно нагласити да су расуђена средства релевантна само када се разматра горе поменуто SCOR окружење.



Слика 49. Пример захтева интероперабилности

Заказане пријемнице (Scheduled receipts) се односе на било које компоненте или делове за које већ постоји план испоруке (испорука је заказана). Оне се планирају од стране фокалних партнера и испоручују се добављачу на бази његовог календара производње (production schedule).

Према SCOR-Full онтологији (види поглавље 3, део 2.2), календар производње се сматра подконцептом “setting” појма и репрезентован је експлицитно концептом “production-schedule”, подконцептом “function-schedule”->“schedule”. Тако, истоветност индивидуа концепта “production-schedule” из SCOR-Full модела и “Production_Schedule” из SCOR-KOS OWL (типа SCOR_Input_Output) се обезбеђује следећим једноставним SWRL правилком:

```
production-schedule(?x) ⇒ SameAs (?x, Production_Schedule)
```

У SCOR-Full домену, “setting” се дефинише као околност било ког типа која утиче на неки ток акција. Она је везана за неко стање или конфигурацију материјалних (physical-item) или нематеријалних (information-item) ресурса, односно, везана је за неку индивидуу концепта конфигурисаног ресурса “configured-item”:

```
∀s (setting(s)) ∃ci (configured-item(c) ∧ has-realization(s,ci))
```


Околност календара производње је конфигурирана реализацијом “production-schedule-item” подконцепта “information-item”. Тако, “production-schedule” концепт наслеђује анонимну класу, дефинисану као (Manchester OWL syntax):

```
has-realization some production-schedule-item
```

“Production-schedule-item” концепт наслеђује анонимне класе, дефинисане као (Manchester OWL syntax):

```
has-product-information exactly 1 product-information
has-production-end-date exactly 1 dateTime
has-production-start-date exactly 1 dateTime
has-product-quantity exactly 1 float
```

,где су просте карактеристике “has-production-end-date” и “has-production-start-date” дефинисане као подкарактеристике просте карактеристике “has-date-value”, а “has-product-quantity” је подкарактеристика has-numerical-value. “Has-product-information” је подкарактеристика “has-realization property”. Тако потребни услови за инстанцирање једног елемента календара производње су: 1) да има за себе везан барем један производ; 2) да је за тај производ дефинисан датум почетка производње; и 3) да је за тај производ дефинисан очекивани датум завршетка производње (за више детаља, погледати део 3.2 поглавља 3).

Слично, информациони ресурс “product-information” се конфигурише (па се његова реализација и користи у опсегу првог потребног услова дефинисаног горе) асоцирањем идентификатора.

```
has-product-id exactly 1 string
```

Додатно, “function-schedule” концепт такође наслеђује анонимну класу:

$$\forall fs \text{ (function-schedule}(s)) \exists f \text{ (function}(f) \wedge \text{schedules}(fs, f))$$

За концепт “production-schedule”, овај услов се специјализује у:

```
schedules some production
```

Као што је горе приказано, SCOR-Full онтологија семантички описује концепт календара производње. Овај опис се пресликава на одговарајућу индивидуу из SCOR-KOS OWL модела, тако да се она може користити у контексту SCOR процеса и у овом случају, за расуђивање проблема интероперабилности одговарајућих пословних информационих система

Ови проблеми се могу сматрати решеним, уколико су семантички описи концепата – порука које се размењују између система, усклађени са одговарајућим концептима одговарајућих система. Ово се разматра детаљно у делу 4, овог поглавља.

3.5 S-ISU формални модел за семантичку интероперабилност система у виртуелном предузећу за производњу кастомизованих ортопедских имплантата

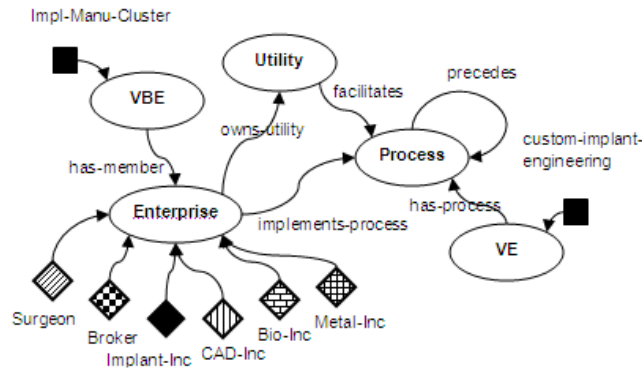
SCOR дијаграм тока није мапа процеса. Заправо, он само представља репрезентацију конфигурације ланца снабдевања. Ова конфигурација се може сматрати затвореним моделом пословних процеса уколико су дефинисани и процеси планирања и релације између елемената ових процеса. Пуни модел процеса се може генерисати додавањем и експлоатацијом правила за конфигурисање SCOR Plan активности и других активности, који се могу додати ручно. На пример, у случају производње кастомизованих ортопедских имплантата, следећи процеси се узимају у обзир:

1. Предоперативно планирање, у дељеном власништву хирурга и VBE брокера;
2. Дизајн имплантата, у дељеном власништву хирурга и VBE брокера. У овом процесу, иницира се моделска инфраструктура производа. Она садржи детаљну информацију о производу, укључујући и информације везане за његову производњу. Тако, овај процес такође укључује и планирање набавке, производње и испоруке, везане за скафолд и унутрашњи фиксатор, као и услуге анализе биомеханичких карактеристика и дигиталне реконструкције трауматизоване кости;
3. Набавка, производња и испорука скафолда и унутрашњег фиксатора. Док се подпроцеси набавке налазе у власништву VBE брокера или фокалног партнера, производња и испорука су додељени изабраним партнерима (као исход процеса набавке);
4. Набавка, имплементација и испорука услуга дигиталне реконструкције трауматизоване кости и анализе биомеханичких карактеристика имплантата. Власништво над овим подпроцесима се додељује на сличан начин као претходно;
5. Набавка и имплементација оцене етичког комитета и испорука резултата оцене.

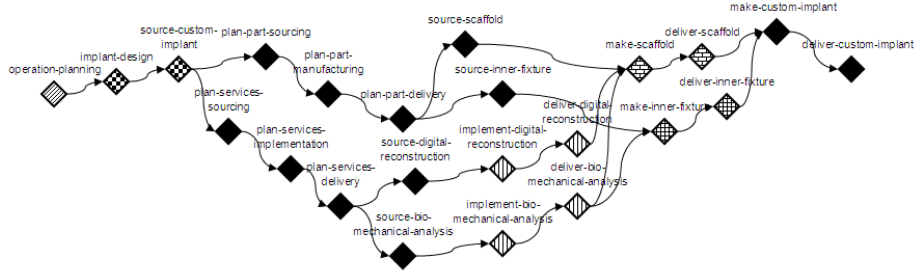
Горе дефинисани процеси укључују активности, генерисане од стране семантичке апликације за конфигурацију ланца снабдевања и формализоване су коришћењем S-ISU онтологије (види поглавље 4, део 2.2) у фази формирања виртуелног предузећа. Циљ процеса формализације је да се идентификују захтеви интероперабилности између система, укључених у виртуелно предузеће и структура средстава, потребних за испуњење ових захтева.

Виртуелно предузеће за инжињеринг кастомизованих имплантата се сматра скупом процеса, конфигурираних једноставним релацијама претхођења. Потом, виртуелно предузеће се (формално) саставља од предузећа која имплементирају ове процесе. Кључни концепти и карактеристике везани за расуђивање релација интероперабилности су представљени на слици 50. Слика 51 приказује примере процеса (са афирмисаним релацијама претхођења) виртуелног предузећа за производњу кастомизованих имплантата, састављеног од 4 предузећа, где је

карактеристика `implements-process` илустрована шаром предузећа и индивидуума процеса.



Слика 50. Релевантни афирмисани искази у организационом погледу S-ISU онтологије



Слика 51. Организациони поглед на S-ISU онтологију у случају производње ортопедских имплантата

Као што је већ поменуто, релација партнерства предузећа у виртуелном предузећу се може расудити као ланац карактеристика:

`implements-process(Enterprise, Process) o is-process-of(Process, VE)`

Сваки од процеса је додељен индивидуалном предузећу у процесу формирања виртуелног предузећа, након њиховог избора.

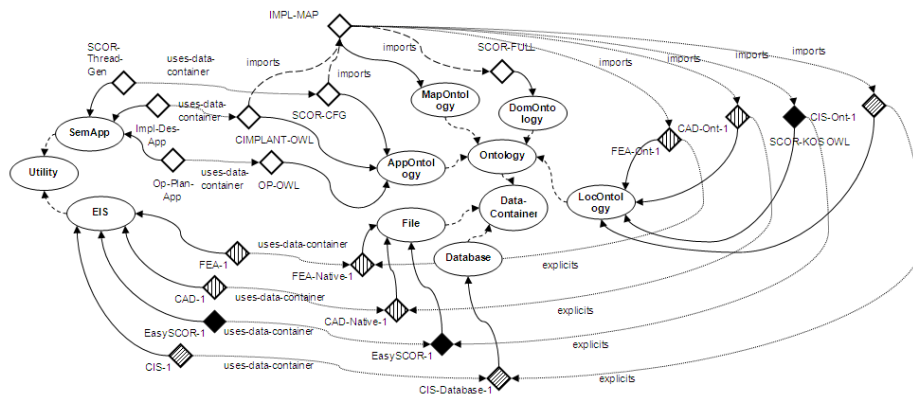
До интероперација између два предузећа долази када процес, у власништву једног предузећа претходи (или следи) процесу у власништву другог. Тако, релације интероперабилности предузећа се могу расудити применом SWRL правила (види поглавље 4, део 2.2):

Process(?p1), Process(?p2), Enterprise(?e1), Enterprise(?e2), implements-process(?e1,?p1), implements-process(?e2,?p2), precedes(?p1,?p2), Different-From(?e1,?e2)->interoperate-with(?e1,?e2)

На основу правила горе, следећи искази се расуђују у овом случају:

```
interoperate-with('Surgeon', 'Broker')
interoperate-with('Broker', 'Implant-Inc')
interoperate-with('Implant-Inc', 'Bio-Inc')
interoperate-with('Implant-Inc', 'Metal-Inc')
interoperate-with('Implant-Inc', 'CAD-Inc')
interoperate-with('CAD-Inc', 'Bio-Inc')
interoperate-with('CAD-Inc', 'Metal-Inc')
interoperate-with('Bio-Inc', 'Implant-Inc')
interoperate-with('Metal-Inc', 'Implant-Inc')
```

Док слика 51 илуструје део организационог погледа S-ISU онтологије, ИТ компонентна архитектура се описује њеним погледом средстава, генерисаним расуђивањем релација зависности.



Слика 52. Парцијални приказ перспективе ресурса S-ISU онтологије у случају производње ортопедских имплантата

Перспектива средстава S-ISU онтологије се користи за афирмисање постојећих система и њихових контејнера података, за идентификацију локалних онтологија, за афирмисање семантичких апликација и одговарајућих апликационих онтологија. Слика 52 је само парцијална илустрација перспективе средстава и такође не приказује системе партнера (нпр. ERP системе), њихове контејнере података и локалне онтологије.

Инстанцирани модел одговара описаном случају производње имплантата за случај рака костију тибије. Он експлоатише значења формализована од стране локалних онтологија (која одговарају подацима из CAD, FEA, SCOR и CIS система) и једне доменске онтологије – SCOR-Full, експлицитне репрезентације

SCOR модела (види поглавље 3, део 2.2). Концепти ових локалних онтологија су узајамно пресликани коришћењем логичких правила дефинисаних у централној IMPL-MAP онтологији. Тада, ово повезано знање се експлоатише за различите сврхе, од стране дељених семантичких апликација за дизајн имплантата (Impl-Des-App), предоперативно планирање (Op-Plan-App) и конфигурацију процеса (SCOR-Thread-Gen). Ове опште сврхе су формализоване од стране проблемских онтологија – SIMPLANT-OWL, OP-OWL и претходно описане SCOR-Cfg апликационом онтологијом.

4 Екстракција знања из пословних информационих система

У претходном делу, семантичка усклађеност имплицитног референтног модела и апликационе онтологије се експлоатише за потребе конфигурације ланца снабдевања за случај производње кастомизованих имплантата. Потом, ова конфигурација се користи за расуђивање о проблемима интероперабилности процеса и за идентификацију информација које је потребно разменити и интерпретирати од стране система којима се имплементирају конфигурисани процеси. Ове информације (SCOR Input Output елементи) су експлицитно описане коришћењем SCOR-Full онтологије. Коначно, показано је како се може користити S-ISU онтологија за описивање организационе и перспективе средстава виртуелног предузећа за производњу кастомизованих ортопедских имплантата.

Представљени случај репрезентује top-down приступ у смислу да експлоатише референтни модел и његову експликацију, ради нуђења опште услуге од користи за све чланове виртуелног окружења. Он има за циљ да обезбеди практичну вредност семантичке интероперабилности система, јер остварује алате који повећавају ефикасност процеса конфигурације виртуелног предузећа и тако, смањује време и трошкове за његово формирање.

Међутим, ова практична вредност се може увећати уколико семантичке апликације постану способне да доносе одређене закључке у реалном времену, везане за функције које оне обезбеђују, у контексту укупног знања свих предузећа – чланова виртуелног окружења. Прво је потребно да то знање постане узајамно компатибилно или комплементарно, а потом да се пронађе начин да се оно искористи за доношење конкретних закључака о заједничкој функцији, као што је избор партнера виртуелног предузећа, колаборативно планирање, колаборативно пројектовање производа, итд.

Са становишта нивоа апстракције, овај приступ се сматра bottom-up приступом, јер укључује: 1) експликацију значења у предузећу; 2) успостављање кореспонденција између ових експликација (формулисаних у локалним онтологијама), доменских модела (као што је SCOR-Full, усклађен са SCOR-KOS OWL) и апликационих модела (као што је SCOR-Cfg); и 3) расуђивање над интегрисаним онтолошким оквиром. Приступ коришћен у кораку експликације је описан у поглављу 4, делу 2.3, где је показано како се

имплицитни извори информација о предузећима, као што су релационе базе података могу аутоматски трансформисати у формалне, локалне онтологије. У поглављу 4, делу 2.4, показано је како се семантички упити могу искористити за екстракцију индивидуа локалних онтологија.

У овом делу, ови кораци су демонстрирани на случају колаборације између два партнера виртуелног предузећа за производњу ортопедских имплантата. Показано је како се знање о одређеним информационим системима може трансформисати у формалну локалну онтологију и како се информације о календару производње могу екстраховати из ове локалне онтологије, коришћењем SCOR Full онтологије.

4.1 Опис случаја и мотивација

У делу 3.4 овог поглавља, показано је како се могу расудити проблеми интероперабилности између фокалног партнера виртуелног предузећа за производњу ортопедских имплантата и добављача њихових компоненти. Потом, информација која се размеђује између два система фокалног партнера и добављача се експлицитно објашњава, коришћењем SCOR-Full онтологије. Формална дефиниција календара производње се сада може искористити за екстракцију семантички истоветних појмова из ова два система.

Једна од предности семантички интероперабилних система (види слику 8) је могућност коришћења јединствених критеријума за расуђивање исказа који су тачни у свим овим системима, упркос њиховој хетерогеној структури. Наиме, одређени семантички упит који се извршава над локалном онтологијом O_{Li} би уобичајено омогућио расуђивање тројки из базе података S_i . Међутим, уколико постоје пресликавања (или њихова логичка функција) између O_{Li} и O_{Lj} , расуђене тројке би такође укључиле и информације из базе података S_j .

У случају виртуелног предузећа за производњу имплантата, семантички упит који се креира коришћењем појмова SCOR-Full (или неке друге) доменске онтологије, се може искористити за проналажење календара производње за одређени производ, произведен од стране добављача делова имплантата. Овај календар производње се складишти у бази података информационих система добављача, али је формализован од стране одговарајуће локалне онтологије. С обзиром на то да различити информациони системи складиште исте податке коришћењем различитих структура, концепти ових локалних онтологија морају бити на одговарајући начин семантички усклађени са концептима доменске онтологије који ће се користити за екстракцију тражене информације.

4.2 Генерисање локалне онтологије OpenERP система

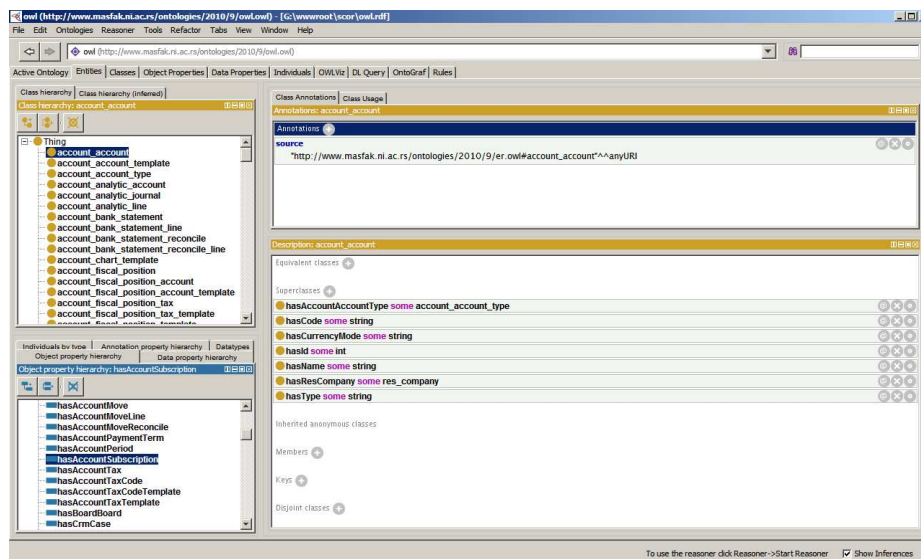
Приступ генерисању локалне онтологије је демонстриран на случају OpenERP пословног информационог система. У случају производње кастомизованог имплантата, претпоставља се да је тај систем у власништву Metal Inc. предузећа, добављача унутрашњег фиксатора кастомизованог имплантата. Локална онтологија се генерише са циљем да омогући решавање проблема

интероперабилности процеса (види део 3.4), тако да систем фокалног партнера може на једноставан начин приступити календару производње добављача.

OpenERP је скуп пословних апликација отвореног кода који укључује функције продаје, CRM, управљања пројектом, управљања складиштењем, производњом, рачуноводствене функције и управљање људским ресурсима. Према наводима аутора, овај систем представља алтернативу отвореног кода системима као што су SAP ERP или Microsoft Dynamics. OpenERP се заснива на клијент-сервер парадигми, при чему клијент комуницира са сервером коришћењем XML-RPC интерфејса. Он користи PostgreSQL релациону базу података за њихово складиштење.

Шема базе података OpenERP система је трансформисана у локалну онтологију, коришћењем веб апликације која имплементира описани метод (види поглавље 4, део 2.3).

Са свим инсталираним модулима, база података OpenERP система броји 238 табела. У првом кораку увоза базе података у er.owl модел, односно приликом инстанцирања OWL репрезентације ER модела, креирано је 3806 индивидуа (2633 типа “attribute”, 238 типа “entity” и 934 типа “relation”) и афирмисано је 7999 исказа о њиховим објектним карактеристика. Ове индивидуе и њихове карактеристике одговарају структури шеме базе података OpenERP система и представљају њихову директну OWL репрезентацију.



Слика 53. OpenERP локална онтологија у Protege апликацији.

У другом кораку трансформације, извршена је аутоматска класификација OWL концепата и карактеристика и генерисан је s-er.owl модел. 193 концепата, 493 концепата података и 2779 карактеристика је расуђено, на основу SWRL правила, описаних у делу 2.3 поглавља 4, извршених над директном OWL

репрезентацијом креираном у претходном кораку. Сва расуђивања се складиште у посебној OWL датотеци, која се сматра мета-моделом шеме базе података OpenERP система.

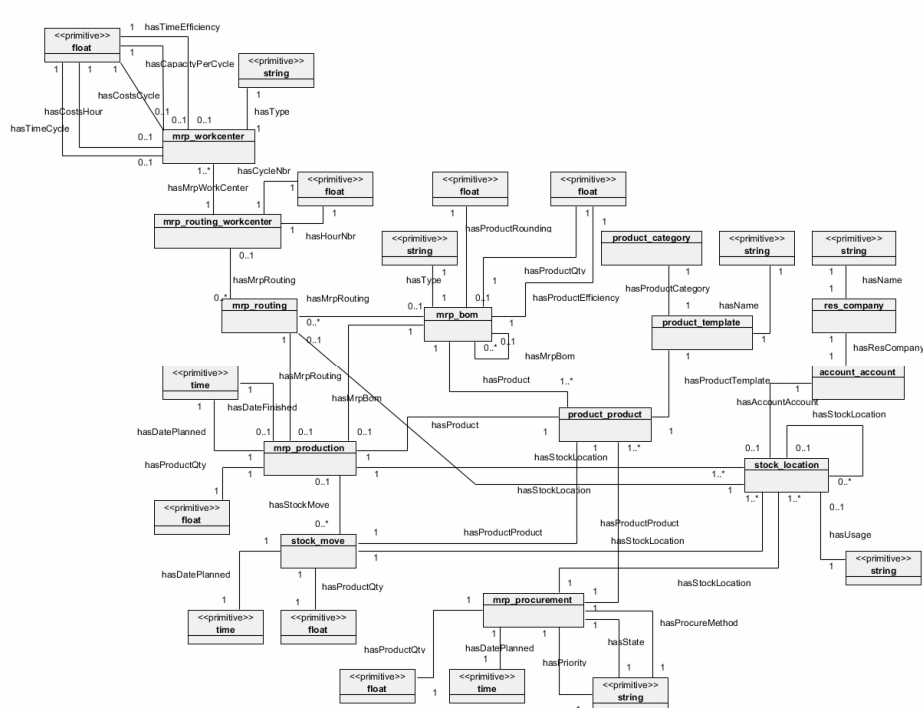
У последњем кораку генерисања локалне онтологије, апликација трансформише класификоване индивидуе мета модела OpenERP базе података у одговарајуће OWL концепте и карактеристике (види слику 53).

Резултујућа OWL датотека се сматра исходом описаног процеса трансформације базе података у онтологију. У случају OpenERP система, није потребно уложити додатни рад за лексичку рафинацију јер је приликом развоја базе података коришћен природни језик за опис ентитета и њихових атрибута.

Резултујућа концептуализација, односно генерисана локална онтологија у потпуности одговара корисничком виђењу OpenERP система. То је показано у наставку текста, у опису производног модула OpenERP система.

Производни модул OpenERP система омогућава управљање мастер подацима о производима, мастер саставницама, радним центрима и токовима. Он аутоматизује управљање набавкама, терминирање производње и набавке. Он помаже управљање производњом, налозима за испоруку и постпродајним услугама. Слика 54 приказује фрагмент UML репрезентације OWL концепата и релација (из генерисане локалне онтологије) који описују производни модул OpenERP система.

Основа за управљање производњом у OpenERP систему је управљање мастер подацима, односно, саставницама, радним центрима и токовима. Саставнице (“mgr_bom” концепт на слици 54) описују структуре производа који се производи, једног или више нивоа – од подсклопова до сировог материјала, од којих се свака може премештати са залиха, производити или набављати (дефинисано функционалном карактеристиком “hasType” концепта “mgr_bom”). Радни центри (“mgr_work_center”) репрезентују основне јединице производње (машине или људски ресурси, одређене функционалном карактеристиком “hasType”), способне за вршење операција материјалне трансформације, са одређеним капацитетом, израженим у циклусима (за машине) или сатима (за људске ресурсе). Операције (“mgr_routing”) дефинишу производне операције које је потребно извршити у радним центрима. Они су везани за саставнице производа.



Слика 54. Фрагмент UML репрезентације OpenERP локалне онтологије

Када се мастер подаци дефинишу, систем може аутоматски да генерише термин производње (термин генерисања налога производње – “mpr_production”, и набавке – “mpr_procurement”) применом правила производње по наруџбини, правила минималних залиха (у случају производње за залихе) или на основу плана производње (који се заснива на прогнозама). За производњу по наруџбини, налози се израчунавају на бази квантитета нарученог производа, саставнице и датума испоруке. За сваку од компонената производа који се набављају, генерише се налог за набавку. Планирани датуми (“hasDatePlanned” карактеристика) налога се прорачунавају на основу датума испоруке и производње и времена потребних за производњу компоненти. У случају производње за залихе, уместо датума испоруке, користе се правила минималних залиха за термирање производње. У овом случају, налози се аутоматски активирају када се достигну минималне вредности залиха.

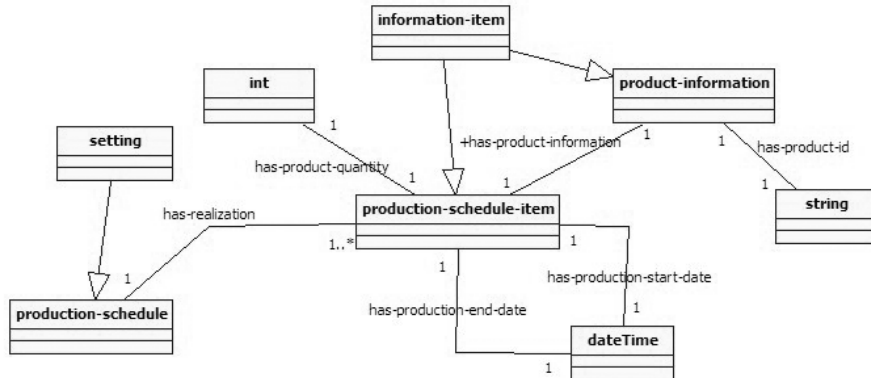
Логистиком производње се управља на бази токова залиха (“mpr_stock_move” концепт). OpenERP подржава три различита типа локација залиха: физичке локације залиха (складишта), партнерске локације (залихе клијената и добављача) и виртуелне локације. Појам локације залиха се користи за дефинисање pull & push токова и за управљање локацијама за складиштење, укључујући интерне, производне, партнерске и друге. Он се користи за

управљање логистиком производње, јер се свака производна операција (описана “mrg_routing” концептом) може узети за појединачну локацију залиха.

Горе описани начин на који OpenERP систем ради са управљањем производњом семантички одговара доменском концептуалном моделу, који је илустрован на слици 54. Међутим, иако се горе описани принципи користе за управљање производњом у много других (ако не и у свим) ERP система, они се реализују различитим шемама база података. Разлике у приступима концептуализације које су користили пројектанти ERP система имају негативни утицај на способност обих система да сарађују. Овај проблем се може решити применом метода за усклађивање различитих семантичких модела – различитих експлицитних репрезентација имплицитних реалности два система, односно локалних онтологија и концептуалних модела специфичног домена. У наредном делу, размотрене су семантичке разлике између концепата који описују појам термина производње у доменској (SCOR-Full) и локалној онтологији OpenERP система.

4.3 Семантичке везе између концепата OpenERP и SCOR-Full онтологија

У делу 3.4 овог поглавља, представљен је семантички опис концепта production-schedule, SCOR Full доменског модела. Овај опис је илустрован на слици 55.



Слика 55. Семантички опис концепта production-schedule у SCOR-Full онтологији

У OpenERP локалној онтологији, календар производње је описан концептом “mrg_production”. Овај концепт наслеђује следеће анонимне класе, које одговарају потребним условима за расуђивање овог концепта:

```

hasDatePlanned some time
hasId some int
hasName some string
  
```

```
hasProductProduct some product_product
hasProductQty some float
hasStockLocation some stock_location
```

Додатно, ‘mrp-production’ концепт се налази у домену следећих карактеристика:

```
hasDateFinished(mrp_production, time)
hasStockMove(mrp_production, stock_move)
hasMrpBom(mrp_production, mrp_bom)
hasMrpRouting(mrp_production, mrp_routing)
```

Имајући на уму семантичке описе концепта “production-schedule”, SCOR-Full онтологије и концепта “mrp-production”, OpenERP онтологије, лако се може закључити да интенционална дефиниција концепта “production-schedule-item” семантички кореспондира концепту “mrp-production”, OpenERP локалне онтологије. Тако, ова два концепта се сматрају логички еквивалентним.

Зато, следећа SWRL правила се могу афирмисати у централну онтологију:

- (1) `production-schedule-item(?x) ⇒ SameAs (?x, mrp-production)`
- (2) `mrp-production(?x) ⇒ SameAs (?x, production-schedule-item)`

SCOR-Full концепт “product-information” одговара концепту OpenERP “product_template”, који је везан за “product_product” концепт преко карактеристике “hasProductTemplate”, концепта “product_product”. Анонимне супер класе концепта “product_template”, OpenERP локалне онтологије су:

```
hasCostMethod some string
hasId some int
hasMesType some string
hasName some string
hasProcureMethod some string
hasProductCategory some product_category
hasStandardPrice some decimal
hasSupplyMethod some string
hasType some string
```

Коначно, наредна SWRL правила се могу афирмисати са циљем да омогуће извршење семантичких упита, односно екстракцију календара производње за одређени производ из локалне онтологије.

- (3) `product-information(?x) ⇒ SameAs (?x, product_template)`
- (4) `product-template(?x) ⇒ SameAs (?x, product_information)`

- (5) $\text{product-information}(\text{?pi}) \wedge \text{has-name}(\text{?pi}, \text{?n}) \Rightarrow \text{has-Name}(\text{?pi}, \text{?pid})$
- (6) $\text{production-schedule-item}(\text{?psi}) \wedge \text{has-product-information}(\text{?psi}, \text{?p}) \wedge \text{hasProductProduct}(\text{?psi}, \text{?pp}) \Rightarrow \text{hasProductTemplate}(\text{?pp}, \text{?p})$

Правила (3) и (4) успостављају релацију логичке импликације између SCOR-Full концепта “product-information” и OpenERP концепта “product_template”. Правило (5) успоставља логичку импликацију карактеристика “has-name” (SCOR-Full) и “hasName” (OpenERP), у случају када је концепт “production-information” (или еквивалентан “product_template”) у домену “has-name” карактеристике. Последње правило (6) успоставља логичке везе између “has-product-information” карактеристике концепта “production-schedule-item” (SCOR-Full) и карактеристика “hasProductProduct” и “hasProductTemplate” OpenERP локалне онтологије.

Семантичке везе између концепата локалне и доменске онтологије су успостављене са основним циљем да омогуће расуђивање над локалном онтологијом, при чему се концепти доменске онтологије користе за креирање семантичког упита. Тако, постаје могуће да се користе термини доменске онтологије за расуђивање над више локалних онтологија, којима се више различитих партнера репрезентује у виртуелном предузећу. Ово је детаљно објашњено у наредном делу.

4.4 Извршење семантичких упита

Једном када је локална онтологија OpenERP система генерисана а логичке везе између ње и доменске онтологије (нпр. SCOR-Full) су успостављене, може се применити метод за извршење семантичких упита, описан у поглављу 4, делу 2.4, за екстракцију релевантне информације, као што је календар производње за одређени производ.

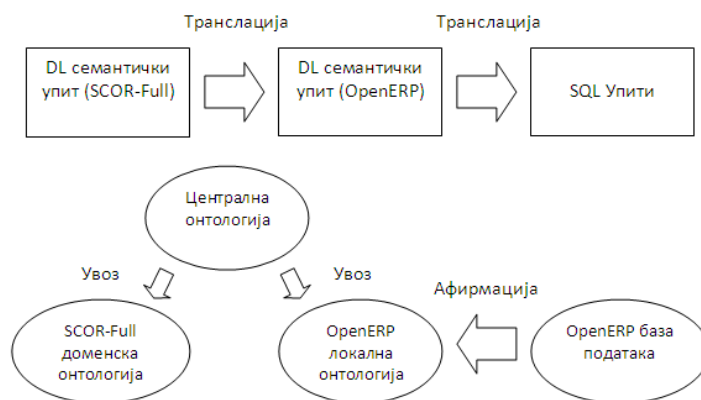
У делу 2.5 овог поглавља, описан је процес расуђивања проблема интероперабилности процеса. Ови проблеми су везани за интероперације између ERP система два партнера виртуелног предузећа за производњу кастомизованих ортопедских имплантата. У овом случају, расуђено је да се између два система размењује информација о календару производње. Сада, фокални партнер може да користи семантичке упите да екстрахује календар производње за задати део из базе података ERP система добављача (унутрашњи фиксатор - inner fixture F12). Овај семантички упит се може записати коришћењем заједничког речника виртуелног предузећа, у овом случају – SCOR-Full онтологије, као:

```
has-realization some (production-schedule-item and has-product-information some (has-name value "Custom inner fixture F12"))
```

Под претпоставком да су успостављене семантичке везе између SCOR-Full и OpenERP онтологија, од овог семантичког упита се очекује да врати све индивидуе SCOR-Full концепта “production-schedule”, које задовољавају услов да су везане за производ чији назив је “Custom inner fixture F12”, при чему те индивидуе представљају формалне репрезентације података из базе података OpenERP система.

Упити, као што је овај се извршавају над централном онтологијом која садржи све логичке везе између осталих онтологија. Она увози све онтологије, и складишти SWRL правила која дефинишу логичке везе између њихових концепата. У зависности од приступа популацији индивидуа, могућа су два сценарија извршења (види део 2.4 поглавља 4). Приступ масивног извоза подразумева да су сви подаци репрезентовани као индивидуе у процесу генерисања онтологије (или пресликавања постојеће онтологије са шемом базе података). У овом случају, семантички упит би без икаквих услова вратио све релевантне индивидуе.

Приступ популацији који се заснива на упитима (види слику 56) подразумева да се индивидуе афирмишу у онтологији у времену извршења семантичког упита. Овај приступ се користи у развоју S-ISU окружења. У овом приступу, две врсте трансформације упита је потребно применити. Прва треба да транспонује семантички упит, записан у језику доменске онтологије у други семантички упит, који се може извршити над локалном онтологијом.



Слика 56. Извршење семантичких упита над онтологијом инстанцираном током упита

Други тип механизма трансформације упита је потребно применити да би се семантички упит трансформисао у SQL упит или низ ових упита који се извршавају у бази података; резултати извршења ових упита се потом репрезентују као логички искази који се афирмишу у локалној онтологији. Овај, други тип трансформације је развијен у оквиру представљеног истраживања и објашњен је у делу 2.4 поглавља 4.

DL упит који враћа календар производње за производ (део) са називом "Custom fixture F12" из локалне онтологије OpenERP система је:

```
mrp_production and hasProductProduct some (hasProductTemplate some (hasName value "Custom inner fixture F12"))
```

Према методу, у првом кораку извршења семантичког упита, упит се декомпонује у следеће четворке:

```
X hasProductProduct some bNode1
bNode1 hasProductTemplate some bNode2
bNode2 hasName value "Custom fixture F12"
```

У наредном кораку, генеришу се SQL упити за сваку четворку, у обрнутом редоследу. Домен карактеристике “hasName”, OpenERP онтологије представља унију 170 скупова – концепата, од којих сваки одговара једној табели. Тако, резултујући SQL упит представља низ од 170 SELECT упита.

SQL упити, генерисани од стране модула за извршење семантичких упита за последњу четворку су:

```
(1) SELECT * FROM account_account_template WHERE
    name='Custom fixture F12'
(2) SELECT * FROM account_account_consol_rel WHERE
    name='Custom fixture F12'
....
....
(65) SELECT * FROM product_template WHERE name='Custom
    fixture F12'
....
....
(170) SELECT * FROM wkf_workitem WHERE name='Custom fix-
    ture F12'
```

Упити се извршавају а резултујући скупови података се трансформишу у логичке исказе који се коначно, афирмишу у привремени модел.

Упит (65) горе враћа описе обрасца производа који одговарају задатим критеријумима. Резултујући скуп података се потом трансформише у логичке исказе који описују индивидуе концепта “product_template” и његове потребне услове.

```
custom-fixture_f12 type product_template
custom-fixture_f12 hasCostMethod 'Average price'
custom-fixture_f12 hasId 1332
custom-fixture_f12 hasMesType 'Measure type'
custom-fixture_f12 hasName 'Custom fixture F12'
custom-fixture_f12 hasProcureMethod 'Make to Order'
Inner-Fixtures type product_category
Inner-Fixtures hasName 'InnerFixtures'
Inner-Fixtures hasId 12
custom-fixture_f12 hasProductCategory Inner-Fixtures
```

```
custom-fixture_f12 hasStandardPrice 540.00
custom-fixture_f12 hasSupplyMethod 'Produce'
custom-fixture_f12 hasType 'Product type'
```

Ови логички искази се потом афирмишу у привремени модел (који се складишти у меморијском простору апликације за извршење семантичких упита).

Веома је важно нагласити да је процедура извршења семантичких упита рекурзивна. Од упита се очекује да екстрахује из базе података и афирмише све потребне услове за задати концепт. Када резултујући скуп података укључује и поље које се налази на одредишту један-према-више релације, алгоритам региструје појаву другог концепта (који није основни тип податка) као потребан услов. У овом случају, други SQL упит се извршава да би извукао податке који одговарају овом концепту. У случају горе, за дефиницију потребних услова концепта “product_template”, мора се креирати и афирмисати у привремени модел индивидуа концепта “product_category”.

У наредној итерацији извршења упита, следећа четворка се трансформише у скуп SQL упита. Као што је показано горе, ограничења вредности се трансформишу у SQL упите на једноставан начин, где се основни типови података (у овом случају, стрингови), користе као критеријуми. У овој итерацији, критеријум је дефинисан уз помоћ инстанци онтологије (у овом случају низ bNode2). У примеру горе, само једна инстанца се афирмише у локалној онтологији, као резултат прве итерације. Зато, у другој итерацији, следећи исказ се транспонује у SQL упите:

```
bNode1 hasProductTemplate custom-fixture-f12
```

Када се користе егзистенцијална ограничења, SQL WHERE искази се интерпретирају као вредности функционалних простих карактеристика ове инстанце:

```
custom-fixture_f12 hasId 1332
```

Имајући на уму да је домен карактеристике “hasProductTemplate” унија три концепта (“product_pricelist_item”, “product_product” и “product_supplierinfo”) у OpenERP локалној онтологији, генерисан је следећи скуп SQL упита:

- (1)

```
SELECT product_pricelist_item.* FROM product_pricelist_item, product_template WHERE product_pricelist_item.product_template_id=product_template.id AND product_template.id='1332'
```
- (2)

```
SELECT product_product.* FROM product_product, product_template WHERE product_product.product_template_id=product_template.id AND product_template.id='1332'
```
- (3)

```
SELECT product_supplierinfo.* FROM product_supplierinfo, product_template WHERE product_supplier-
```

```
info.product_template_id=product_template.id AND
product_template.id='1332'
```

У овом примеру, само други SELECT упит враћа неку вредност, јер је фиксатор произведен по наруџбини, тако да листа цена и информације о снабдевачу нису примењиве у овом случају. Слично као и у случају прве итерације, резултујући скуп података се трансформише у скуп логичких исказа, који описују индивидуу “product_product” концепта OpenERP локалне онтологије, коришћењем следећих потребних услова:

```
custom-fixture_f12_p type product_product
custom-fixture_f12_p hasId 67
custom-fixture_f12_p hasProductTemplate custom-
fixture_f12
```

Ови логички искази су такође афирмисани у привременом моделу. У последњој итерацији, домен карактеристике “hasProductProduct” је одређен за задати опсег (“custom-fixture_f12_p” индивидуа). Тада, вредност функционалне карактеристике се користи за генерисање SQL упита. Овај скуп има 22 SELECT упита јер је домен карактеристике “hasProductProduct” унија 22 скупа:

```
(1) SELECT account_analytic_line.* FROM ac-
count_analytic_line, product_product WHERE ac-
count_analytic_line.product_id=product.id AND prod-
uct.id='67'
...
(7) SELECT mrp_production.* FROM mrp_production, prod-
uct_product WHERE
mrp_production.product_id=product.id AND prod-
uct.id='67'
...
(22) SELECT stock_warehouse_orderpoint.* FROM
stock_warehouse_orderpoint, product_product WHERE
stock_warehouse_orderpoint.product_id=product.id AND
product.id='67'
```

У супротности са претходном итерацијом, у овом кораку, враћају се индивидуе више од једног концепта – све индивидуе за које је везан фиксатор као производ (домен карактеристике “hasProductProduct”), као што су индивидуе концепата account_invoice_line, delivery_carrier, mrp_bom, и других. Тада, резултујући скупови података се трансформишу у логичке исказе који се афирмишу у привремени модел. Неки од релевантних исказа су:

```
custom-fixture_f12_prod_sched type mrp_production
custom-fixture_f12_prod_sched hasDatePlanned '2012-02-15
23:59:59'
custom-fixture_f12_prod_sched hasId 67
```



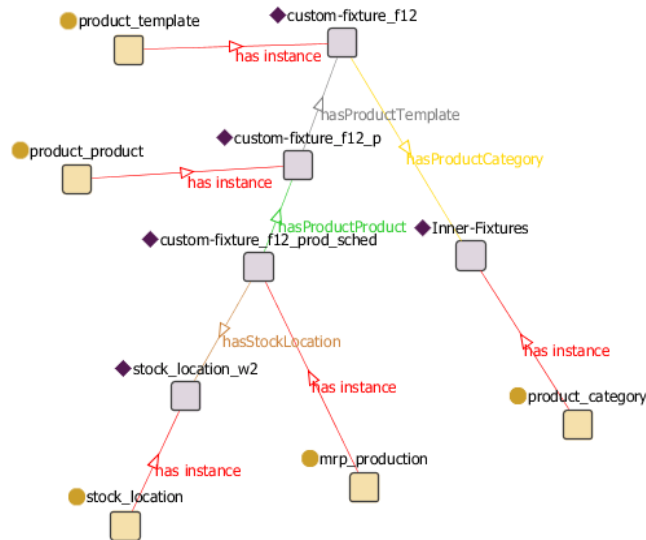
```

custom-fixture_f12_prod_sched hasName 'Production sched-
ule for Custom fixture F12'
custom-fixture_f12_prod_sched hasProductProduct custom-
fixture_f12_p
custom-fixture_f12_prod_sched hasProductQuantity 3.0
custom-fixture_f12_prod_sched hasDateFinished '2012-02-17
23:59:59'
stock_location_w2 type stock_location
stock_location_w2 hasAllocationMethod ''
stock_location_w2 hasChainedAutoPacking ''
stock_location_w2 hasChainedLocationType ''
stock_location_w2 hasId 8
stock_location_w2 hasName ''
stock_location_w2 hasUsage 'Warehouse 2'
custom-fixture_f12_prod_sched hasStockLocation
stock_location_w2

```

У овом тренутку, све индивидуе, потребне за семантичку репрезентацију резултата се налазе у привременом моделу, у меморијском простору апликације. Други корак метода извршења семантичких упита се може сматрати завршеним.

У трећем, последњем кораку метода, над привременим моделом се извршава семантички DL упит, ради филтрирања релевантних индивидуа. Наиме, као што је показано горе у опису треће итерације у извршењу упита, расуђивања домена карактеристика могу да резултују вишком информација које нису релевантне у овом случају. Такође, када се користе сложени семантички упити (са вишеструким ограничењима над жељеном инстанцом, види део 2.4 поглавља 4), потребно је расудити пресек резултујућих скупова инстанци, од којих сваки одговара индивидуалном ограничењу. Коначно, филтрирани модел се враћа као крајњи исход извршења семантичког упита. Илустрација исхода случаја извршења упита са циљем добијања календара производње за производ “Custom fixture F12” је дата на слици 57 (просто карактеристике нису приказане).



Слика 57. Визуелна репрезентација календара производње за пример производа “Custom fixture F12”.

Резултујући граф представља семантичку репрезентацију концепта календара производње и добијен је након што је семантички упит трансформисан у низ SQL упита који су извршени над базом података OpenERP система. Сада, његови концепти и индивидуе се могу пресликати на доменске моделе и тако се може омогућити напредније или шире расуђивање. Још важније, концепт календара производње OpenERP локалне онтологије може постати логички еквивалентан одговарајућим концептима локалних онтологија других система. Тако, ови системи могу постати способни да логички интерпретирају поруке у којима се налазе различите репрезентације календара производње.

Поглавље 6: Закључци

истраживања и развоја формалног окружења за семантичку интероперабилност у мрежама ланца снабдевања

У овој дисертацији, представљени су методологија, процес развоја и верификација формалног оквира за репрезентацију и расуђивање знања у мрежама ланца снабдевања. Као закључак, у овом поглављу је представљена дискусија приказаних резултата. Дискусија укључује критички поглед на тренутно стање истраживања у релевантним научним областима, главне карактеристике и ограничења представљене методологије и резултујућег онтолошког и техничког оквира, и анализа могућег утицаја и уочене слабости. Ово задње је искоришћено за постављање будућих праваца истраживања, важних за побољшање корисности и примењивости методологије. Дискусија такође укључује и експлицитне одговоре на истраживачка питања, постављена у поглављу 1 ове дисертације.

1 Утицај постојећег истраживања на област семантичке интероперабилности у мрежама ланца снабдевања

Упркос великом потенцијалном смањењу оперативних трошкова и комплексности које доноси коришћење хомогених система, чињеница је да ће предузећа и у будућности имати хетерогена ICT окружења. Основни разлог за то је оправдавање постојећих инвестиција и специфични захтеви којима се не може изаћи у сусрет коришћењем “стандардних” архитектура. Чак се очекује да ће, због комплексности података (везаних за све веће захтеве предузећа за аутоматизацијом) и даљег развоја ICT технологија (посебно оних везаних за будући интернет), ниво хетерогености у системским архитектурама да се повећава. Зато, интероперабилност ће постати све важнија карактеристика пословних информационих система. Ова претпоставка доводи до важног питања спремности постојећег истраживања интероперабилности предузећа да створи практичне резултате и одговарајући утицај на пословање.

Велика већина релевантних радова у овој области се и даље заснива на резултатима IDEAS, ATHENA и INTEROP NoE пројеката. Дискусија у делу 2.3 поглавља 2 показује да су ови радови снажно компатибилни. Док се IDEAS концентрише на структурирање проблема интероперабилности, ATHENA усваја IDEAS оквир и тражи решења за ове проблеме. Потом, EIF иде један корак даље са циљем да дефинише баријере интероперабилности и анализира их на сваком он ATHENA нивоа интероперабилности. У оквиру горе поменутих пројеката, већ је дефинисан теоријски оквир интероперабилности предузећа као научне дисциплине.

Међутим, упркос великом труду у развоју оквира интероперабилности предузећа, концепти везани за њу још увек нису довољно дефинисани. Потребно је дефинисати формалне исказе у домену интероперабилности, односно доменску онтологију интероперабилности (Chen et al, 2008). Иницијални напор у дефинисању онтологије интероперабилности је већ начињен у оквиру ATHENA и INTEROP NoE пројеката, али она није никада достигла довољну зрелост. Даље, тренутни резултати показују да су, до одређеног обима неконзистентни са постојећим дефиницијама интероперабилности предузећа.

Интероперабилност је везана за приступ федерације, која имплицира да се системи морају у току рада прилагодити да би вршили интероперације – не сме се унапред претпоставити постојање неких пре-дефинисаних средстава који потпомажу интероперабилност. На жалост, то није случај са постојећим оквирима. Препоручује се коришћење значења (онтологија) за усклађивање два система на различитим нивоима. Међутим, структурирање проблема интероперабилности према предложеним нивоима поставља озбиљно ограничење. Наиме, индивидуални нивои, чије се коришћење сугерише од стране оквира, се не могу семантички анализирати у изолацији. Овакав приступ карактерише велики број техничких тешкоћа које, са друге стране, повећавају обим техничких захтева које је потребно испунити да би дошло до интероперација.

У закључку, мишљење аутора је да пословни системи не би смели да се експонирају у интероперабилном окружењу преко нивоа или било којих других концептуалних категорија, већ посредством онтологија. Тада, онтологије би требало да се користе у усклађивању или екстракцији знања, као средство за одређивање и евалуацију нивоа интероперабилности. Тако, једино пре-дефинисано средство, потребно да би два система могла да врше интероперације је скуп заједничких појмова, значења или семантике. Ова врста техничке независности интероперабилности система се може постићи уз помоћ принципа семантичке интероперабилности.

У разматрању основних принципа семантичке интероперабилности система, описаних у делу 4, поглавља 2, закључено је да је она безусловна и универзална. Она није структурирана по нивоима, нити подразумева неку одређену врсту архитектуре за њену имплементацију (нпр. SaaS парадигму). Ограничења могу постојати, али су она везана само за: 1) непотпуност или неваљидност логичких веза између две онтологије; 2) изражајност имплицитних модела, односно локалних онтологија; 3) изражајност језика који се користе за формализацију тих модела; или 4) ограничени приступ неком делу информација, моделираних деловима локалне онтологије.

Горња дискусија о структурирању интероперабилности имплицира једну важну претпоставку: проблем интероперабилности предузећа се може редуковати на проблем интероперабилности њихових информационих система. Иако је веома релевантан за интероперабилност предузећа, проблем усклађивања организационе и ИСТ перспективе једног предузећа није проблем интероперабилности. Он се решава у оквиру тема архитектура предузећа и уз

помоћ MDA парадигми. Такође, очекује се да ова област изнедри (слабе) формализме који се могу користити у контексту семантичке интероперабилности система.

У области архитектуре предузећа, Чен и други (Chen et al, 2008) су идентификовали неке од највећих истраживачких проблема које је потребно решити у будућности, у корист развоја области интероперабилности предузећа. Они су указали на потребу убрзанијег развоја референтних архитектура Типа 1, на вишим нивоима апстракције. Ове архитектуре могу увећати ефикасност процеса инжињеринга и интеграције предузећа. На другој страни, архитектуре предузећа је потребно повезати са формализмима вишег нивоа апстракције, језицима или онтологијама за репрезентацију структуре архитектуре предузећа, карактеристика и особина у ранијим фазама развоја. Такође, експлоатација архитектура предузећа може бити много ефикаснија уколико се више развију принципи и методи за евалуацију, а постојеће архитектуре се ускладе међусобно – на концептуалном (захтеви, сврха) и економском (исходи, утицај) нивоу. Коначно, континуирано усклађивање пословне и ИТ архитектуре представља један од највећих изазова за имплементирање архитектура предузећа у индустрији. Ово усклађивање треба да реши проблеме до којих је дошло за време процеса управљања ИТ изменана и еволуције архитектура предузећа. Очекује се да ће се ови проблеми решити коришћењем MDA парадигме.

Када се разматра семантичка интероперабилност система, веома су важни приступи концептуализације који се користе у развоју система, због различитог, често контекстуалног разумевања домена знања које је уграђено у пословне информационе системе. Овај проблем изазива дисбаланс потребног нивоа онтолошке обавезе и епистемолошке димензије у процесу концептуализације. У том смислу, задатак концептуализације пословних информационих система није да концептуализује моделе система, већ да учини претпоставке о менталним моделима дизајнера информационих система, које су они користили приликом нпр. развоја Entity-Relationship модела и да уведу онтолошку обавезу тако што ће учинити ове моделе у потпуности или делимично еквивалентним значењима реалног света. Анализа постојећих приступа у трансформацији база података у онтологије, представљена у делу 4.4 поглавља 2 показује да овај циљ још није постигнут. Постојећи приступи пате од озбиљних слабости, везаних за непотпуност интерпретације ER модела, односно недостатак логичких импликација кардиналности релација и егзистенцијалних ограничења.

Постоје и неки општији проблеми ограничења домена концептуализације на шеме базе података. Понекад, ER модели не изражавају значења функционалности система или модела података; када се информациони системи пројектују на високо генерички начин, значења се складиште као подаци у табелама базе података. На пример, у системима за управљање пословним процесима, структура пословних процеса, односно активности, структуре података и порука, блокови за компензацију и управљање грешкама су дефинисани од стране корисника система и нису изражени у шеми базе података. Овај проблем је евидентан чак и у тривијалним случајевима. На

пример, атрибут “type” се често користи од стране програмера да се опише неки ентитет. Он се може трансформисати у просту карактеристику `hasType(string)`. У овом случају, значење карактеристике остаје непознато, због вишезначности лингвистичког појма “type”. Слична примедба се може дати и за често коришћен појам “status”. Међутим, често се ово значење може одредити на основу листе придружених података у редовима базе која се може семантички анализирати у контексту домена (ентитета) карактеристика горе. На пример, уколико се OWL користи као формализам, “hasType some bNode” исказ се може користити за моделирање ове карактеристике, где је bNode анонимна класа која садржи листу (`owl:oneOf`) елемената која одговара подацима везаним за атрибут типа. У нешто формалнијем приступу, вредности ових атрибута се могу сматрати класификаторима подкласа. На пример, карактеристика `hasType(string)` концепта Machine tool, афирмисана са неком од вредности: “turning”, “milling” или “drilling” може омогућити расуђивање следећих подконцепата концепта Machine tool - Lathe, Mill и Drill.

У горњим случајевима, интервенција доменског експерта у уређивању концептуалног модела може бити неизбежна. Постоје истраживања која се баве овим проблемом и представљају алате за аутоматско или полуаутоматско откривање значења садржаних у постојећим обрасцима података (Astrova, 2004). У сваком случају, тешко је вероватно да ће се идеал потпуно аутоматског генерисања локалних онтологија достићи у ближој будућности. Генерисане локалне онтологије се зато увек морају сматрати прелазним моделима, које је потребно обрадити од стране доменских или експерата информационих система.

Последње истраживачко питање постављено у поглављу 2 је било: које су практичне користи (семантичке) интероперабилности предузећа, или који је утицај релевантних постојећих резултата области о којима се дискутовало у том поглављу на начин свакодневног вођења пословања?

У поглављу 2, представљени су правци за успостављање нових организационих форми. Иако је у области нових организационих форми дошло до значајних иновација, везе између клијента и добављача су задржале своју суштину, дефинисану оквиром традиционалних ланаца снабдевања. Економски феномени, као што су глобализација, аутсорсинг, увећана тражња за кастомизацијом и специјализацијом не мењају ову суштину. Ово је разлог због којег наслов ове дисертације укључује термин ланца снабдевања, а не нове термине виртуелних предузећа или окружења. Међутим, чињеница је да нове околности пословања, као и нови захтеви везани за флексибилност и одзив на промене на тржишту имају велики утицај на то како се ове везе успостављају и одржавају. Очекује се да ће нове методе и одговарајући ICT алати имати велике користи од истраживања семантичке интероперабилности система. Наиме, њена главна карактеристика и предност над конвенционалном интероперабилношћу или интеграцијом је драматично смањење техничких предуслова за интероперације и тако, смањење оперативних трошкова и времена потребног за имплементацију. Ово последње се сматра критичним фактором нових ланаца снабдевања, који се креирају брзо, по појави пословне прилике.

2 Језик интероперабилности: приступ формализацији операција ланца снабдевања

Семантичка интероперабилност се може лако објаснити коришћењем основа људске комуникације. Када предузећа размењују поруке за време неког колаборативног процеса, њихови информациони системи су одговорни за артикулацију, пренос и интерпретацију тих порука. Подразумевано, информациони системи се не развијају са сврхом да комуницирају. Зато, језик који они размеју је локални и није користан за комуникацију. Ово представља главни проблем интероперабилности система. У дисертацији, овај проблем се решава уз помоћ формалног оквира за колаборацију у ланцу снабдевања – основног облика колаборације између два или више предузећа. Главни принципи процеса формализације су описани у наставку овог дела. Анализа предложене методологије за формализацију треба да одговори на следећа истраживачка питања:

- Који су главни принципи развоја формалног модела који могу утицати на стварање семантичке интероперабилности у окружењу ланца снабдевања?
- Који је одговарајући метод и/или приступ за његов развој?
- Како ће се тај модел уклопити у формални опис семантичке интероперабилности система?

Када се локални језици преведу на универзално доменско знање, ово знање постаје алат за комуникацију. Предуслов за имплементацију овог сценарија је да се сви локални језици и доменско знање формално опишу, коришћењем истог формализма. Када се исти формализам користи у свим формалним описима, такође постаје могуће да се дефинишу логичке везе између појмова локалних језика и доменског знања. Сада, доменско знање се може сматрати напредним речником, који се користи за формално описивање значења свих појмова у размењеним порукама.

Значење се формално описује јер га је потребно прорачунати, односно расудити од стране различитих агената у различите сврхе. Ова формална дефиниција има за циљ да симболе, који се користе за формални опис одређеног објекта приближе његовој уобичајеној менталној репрезентацији. У вези са овим, струја логичких позитивиста снажно аргументује да значење није ништа друго до низ тачних исказа које оно обухвата. Тако, значење се објашњава коришћењем референци на постојеће (вероватно, такође логички објашњене) ствари у свету. Процес репрезентације ових значења се назива интензионалном концептуализацијом.

У лингвистици, значење је оно што пошилалац у комуникацији изражава у поруци примаоцу (или посматрачу) и оно што прималац расуди у тренутном контексту комуникације (Акмајан et al, 1995). Диверзитет контекста у којима се иста порука расуђује може лако довести до различитих интерпретација значења поруке. Прагматично значење разматра контексте који имају утицај на значење и разликује две његове основне форме: лингвистичко и ситуационо значење.

Лингвистички контекст је везан за то како се значење разуме, без разматрања намере или претпоставки. Ситуациони контекст је везан за не-лингвистичке факторе који утичу на значење поруке.

Лингвистички контекст значења зависи од изражајности речника који се користи за репрезентацију ових значења и нивоа апстракције који се примењује у његовом развоју. Оба фактора значајно утичу на способност примаоца да разуме пренете поруке. Изражајност речника се, у основи односи на бројност и разноликост концепата (и њихових карактеристика) који се користе за опис једног домена знања. Виши нивои изражајности су важни за случајеве комуникације о веома специфичним концептима и релацијама у домену. У највећем броју случајева, тешко је очекивати да ће слушалац са стране разумети комуникацију између два доменска експерта.

Ниво апстракције има много дубљи утицај. Људско разумевање непознатих термина се често своди на покушаје успостављања референци на познате, повезане појмове (или услове). Када то није довољно за разумевање појма, људи редукују или елиминишу услове у покушају да расуде општији, апстрактнији, познати појам, који може помоћи у разумевању непознатог. Чак се понекад додају и нови услови да би се непознати термин специјализовао на специфичнији. Тако, постојање различитих нивоа апстракције једног истог (или сличних) појма може значајно побољшати разумевање доменског знања.

Уобичајено, виши нивои апстракције коришћени у развоју једног речника имплицирају нижу изражајност, и обрнуто. Међутим, предности оба фактора се могу комбиновати развојем различитих речника чији концепти су међусобно повезани и усклађени. Тако, високо апстрактно, мање изражајно знање се може везати за веома специфично. Уколико се узме у обзир горе поменути комуникација између два експерта о специфичним доменским темама, јасно је да референце на познате генерализације специфичних појмова могу дефинитивно помоћи спољном слушаоцу у разумевању ове комуникације.

Међутим, и даље се поставља питање – које знање користити за развој ових речника? Постоји много радова везаних за концептуализацију знања о предузећу, укључујући архитектуре, оквире и онтологије. Неки од најзначајнијих радова у овој области су укратко представљени у делу 5, поглавља 2. основни проблем ових модела знања је недостатак баланса у постављању нивоа апстракције.

Недостатак релевантности је слабост свих постојећих напора у дефиницији онтологије ланаца снабдевања, као што су TOVE онтологија, онтологија предузећа, IDEON онтологија и друге. Све ове онтологије су развијене у изолацији, применом инспирационог приступа, од самог почетка, док је њихова верификација извршена само у малом броју случајева.

Да би се овај проблем решио, приступ развоју који је представљен у овој дисертацији је везан за коришћење реалног, опште прихваћеног знања о домену, где је SCOR модел изабран као очигледно најбољи кандидат. Имплицитно знање о операцијама ланаца снабдевања, складиштено у SCOR моделу је описано изабраним формализмом. Тада, у фази индукције и синтезе, ово знање је начињено експлицитним, пошто су његови појмови логички пресликани на

одговарајуће појмове доменске онтологије – SCOR-Full. Овакав метод превазилази ограничења постојећих top-down приступа у онтолошком развоју (представљених у делу 5.4 поглавља 2) и тако, он постаје кандидат за примену у реалним, индустријским условима. Такође, он узима у обзир и могуће предности bottom-up приступа јер предвиђа да се концепти оквира пресликају на концепте неке опште онтологије. Овим се и завршава одговор на друго истраживачко питање.

Имајући на уму дискусију горе и у одговору на прво истраживачко питање, идентификовани су наредни главни принципи развоја формалног модела за семантичку интероперабилност у окружењу ланца снабдевања:

- OWL-DL се користи као формализам за описивање значења и контекста формалног оквира за операције ланца снабдевања. OWL-DL обезбеђује максималну изражајност у контексту комплексности расуђивања, односно комплетности, одлучивости и доступности практичних метода расуђивања.
- Лингвистички контекст значења обезбеђују концепти доменских онтологија, формалних описа доменског знања.
- Лингвистички и ситуациони контекст значења и само значење је описан коришћењем претпоставки о намери пошиљаоца. Намера се типично концептуализује обезбеђењем потребних услова за дати концепт.
- Централна доменска онтологија је развијена на основу индустријског стандардног модела – референтног модела процеса.
- Додатни контексти су обезбеђени увођењем додатних доменских онтологија. Тако, речник информационих система је проширен, као и компетентност доменског знања.
- Ситуациони контекст порука је обезбеђен од стране проблемских или апликационих онтологија – формалних описа одређених проблема које треба да реше семантичке апликације које користе формални оквир.

Горе наведени принципи су искоришћени за развој формалног оквира за семантичку интероперабилност у мрежама ланца снабдевања. Овај оквир је представљен и описан у делу 3, поглавља 3.

У контексту услова изражајности, експлицитности, неутралности и релевантности доменске онтологије, представљених на почетку овог дела, донети су следећи важни закључци о описаном формалном оквиру:

1. Оквир је изражајан јер формализује широко прихваћени индустријски стандард – SCOR референтни модел;
2. Оквир је експлицитан јер су имплицитни SCOR елементи логички усклађени са општим појмовима предузећа из SCOR-Full онтологије;
3. Оквир је неутралан, онолико колико су неутрални концепти доменских онтологија које се користе за описивање значења појмова;
4. Оквир је релевантан јер одражава индустријску праксу (SCOR референтни модел).

У архитектури за постизање семантичке интероперабилности система у ланцу снабдевања, формални модели чине експлицитним опште знање мреже ланаца снабдевања. Кичма овог знања је SCOR референтни модел. Потом, SCOR формални модел је усклађен са општим знањем о предузећима или другим перспективама на ланац снабдевања. Ово знање је репрезентовано од стране доменских (или чак и општих) онтологија. Даље, опште знање се контекстуализује коришћењем проблемских или апликационих онтологија, које формализују неке интегративне, дељене или заједнички коришћене функције мреже у целини. Коначно, индивидуална предузећа су представљена у формалном оквиру коришћењем локалних онтологија.

Управо ове локалне онтологије представљају формалне описе локалних језика које системи користе за колаборацију. Уместо прости размене информација између система, формална дефиниција семантичке интероперабилности система, представљена у делу 4.1 поглавља 2 указује на то да системи врше расуђивање логичких исказа, на основу тих размењених информација.

3 Искуства имплементације формалног оквира за семантичку интероперабилност система

У овом делу, дати су коначни аргументи за изборе принципа архитектуре, начињене током развоја и имплементације оквира семантичке интероперабилности приказаног у овој дисертацији. Аргументи одговарају одговорима на следећа истраживачка питања:

- Које софтверске сервисе, апликације, компоненте и средства је потребно развити да би било могуће експлоатисати формални оквир за семантичку интероперабилност система у ланцу снабдевања?
- Како ће они бити конфигурисани?
- Који је потребан обим људског рада у процесу чињења два система семантички интероперабилним?

Избори принципа архитектуре су везани за праћење тренда све бољег искоришћења и комодитизације ИТ технологије. Овај тренд указује на то да ће основне ИТ функције у будућности бити приступачне свим предузећима кроз ИТ функционалности, обезбеђене путем Софтвер-као-сервис (Software-as-a-Service - SaaS) парадигме. SaaS парадигма је револуционализовала испоруку софтвера, развијањем нових пословних модела, као што је плати-по-коришћењу (pay-per-use). Тако, она је омогућила широки избор начина на које предузеће може да користи једно рачунарско средство. Једно од тих средстава је сада и интероперабилност, која ће бити приступачна путем сервиса интероперабилности (Interoperability Service Utilities - ISU), који су: 1) доступни по ниској цени; 2) приступачни свима; 3) гарантовани до неког нивоа; 4) слободно се развијају, нису ни у чијем власништву. ISU архитектура и неке

развијене апликације и приступи у њеној имплементацији су описани у делу 2.5, поглавља 2.

На жалост, анализа постојећих резултата у имплементацији ISU архитектуре указује на то да почетни захтеви и даље нису испуњени. Прво, чињеница да ISU експлоатише сервисе је намерно ограничење над укупном архитектуром. Наиме, одређени ниво бројности и разноликости пословних сервиса је предуслов за конфигурацију сервиса интероперабилности, па ће и нивои интероперабилности зависити од њих. Тако, моћи ће да се заузме само функционални, вертикални приступ интероперабилности само одређених пословних функција, за које постоје сервиси. На пример, у раду Занга и других, слој ISU сервиса је организован на функционалан начин, при чему се најважнијим сматрају SBM (Supply Business Management) и APO (Advanced Planning and Optimization) ISU сервиси. Поставља се питање да ли се ова два сервиса требају уопште сматрати сервисима интероперабилности. Наиме, SBM и APO експонирају одређене пословне функције и способности обраде јавности (заправо, виртуелном окружењу), али њих не карактеришу способности интероперабилности. Иако се SBM и APO могу комбиновати у композитне сервисе, ови композитни сервиси ће увек бити ограничене функционалности, због недостатка бројности и разноликости градивних блокова – основних сервиса.

Иако ограничења интероперабилности не произилазе директно из приступа функционалне организације, у овом случају је очигледно да ће обим интероперабилности између два система зависити од бројности доступних функционалних сервиса интероперабилности.

Ограничење обима је још евидентније у раду на развоју iSURF ISU платформе. Она се заснива на моделима докумената. Зато, сврха ове платформе се више односи на синтаксну него семантичку интероперабилност. Семантичка медијација је једини ISU сервис у iSURF платформи. Она се користи за усклађивање модела веома ниског нивоа апстракције.

Даље, пословни сервиси морају бити семантички анотирани да би ISU инфраструктура могла да ради ефикасно, односно, да омогући тачно усклађивање између потреба и понуде сервиса. Коначно, иако већ постоје неки напори да се дефинишу општи сервиси интероперабилности (Elvesæter et al, 2008), ови напори до сада нису произвели неке озбиљније резултате.

Имајући на уму горе наведено, архитектура оквира за семантичку интероперабилност система у окружењу ланца снабдевања се дефинише на основу следећих принципа:

- Предложена архитектура узима у обзир ограничења функционалног приступа и она подразумева да предузећа морају донети сопствену одлуку (на бази њиховог интереса, потреба и захтева) о томе са којим обимом и оквиром интероперабилности рачунају (односно, које онтологије, или њихове делове ће регистровати у интероперабилном свету);
- Значења о предузећу су описана локалним онтологијама. Основна јединица интероперабилности у окружењу умрежених предузећа је локална

онтологија, а не сервис. Основни циљ оквира за семантичку интероперабилност система је да учини те онтологије интероперабилним.

- Локалне онтологије су експлицитне формалне репрезентације значења пословних информационих система, при чему се полази од ER шема њихових база података.
- Предвиђају се само минимални технички предуслови за свако предузеће које жели да учествује у интероперабилном свету виртуелног окружења.
- Формални оквир не користи неко посебно средство за складиштење. Он потпомаже испоруку и размену информација комбиновањем њихових извора (односно, локалних онтологија). Само мета-информације о интероперабилним системима се чувају централно.

У процесу имплементације горе поменутих принципа, и у одговору на прво истраживачко питање, постављено у овом делу дисертације, пет главних сервиса семантичке интероперабилности (S-ISU) су дефинисана и анализирана у делу 2 поглавља 4:

1. Сервис за семантичко усклађивање, који врши аутоматску или полуаутоматску идентификацију логичких веза између две доменске или локалне онтологије;
2. Сервис за регистрацију који се користи за декларацију локације и правила коришћења локалне или доменске онтологије;
3. Сервис за трансформацију који се користи за експликацију имплицитних значења ER шеме и за обезбеђивање пуне усклађености између семантичких и релационих упита;
4. Сервис за извршење семантичких упита који се користи за екстракцију релевантних индивидуа из локалних онтологија;
5. Сервис за расуђивање, који се користи за приступање функционалности DL машине за расуђивање.

У одговору на друго истраживачко питање, наиме, са циљем да се објасни како су сервиси конфигурисани, S-ISU архитектура је анализирана из перспективе компоненти и организације, коришћењем мета-модела – S-ISU онтологије. Коначно, два главна сервиса S-ISU архитектуре су развијена – сервис за трансформацију и сервис за извршење семантичких упита. Они су и имплементирани у контексту предложене архитектуре. Ови сервиси су детаљно објашњени у деловима 2.3 и 2.4, респективно, поглавља 4.

Једном конфигурисана, предложена архитектура ће омогућити семантичку интероперабилност система. Основни услов за семантичку интероперабилност је да се повећа обим експлицитног значења. Откривање знања о предузећу, трансформација имплицитних у експлицитна значења и усклађивање различитих експлицитних модела су активности које су везане за веома тежак ручни рад, због разноликости, сложености и величине података о предузећу. Зато, веома је пожељан одређени ниво аутоматизације ових процеса, што се и омогућава неким резултатима представљеним у овој дисертацији. Међутим, мора се напоменути да ће квалитет резултата аутоматских алата варирати много

и биће везан за изражајност имплицитних података који се користе као улаз. На пример, сви резултати процеса трансформације се могу сматрати прелазним, јер је потребно уложити велики рад у њихову рафинацију и реструктурирање.

Евидентно је да трансформација шеме базе података у онтологију није нова и оригинална истраживачка тема. Међутим, већина постојећих метода се не сматра корисним за генерисање локалне онтологије, која се користи у формалном оквиру за мреже ланаца снабдевања, из најмање три разлога.

Прво, и најважније, постојећи приступи не интерпретирају значења свих ER конструката и образаца. Слично, може се приметити да постојећи приступи не користе пуну изражајност OWL језика. Ови аргументи су детаљно описани у делу 4.4, Поглавља 2, ове тезе. Друго, приступи популације инстанци нису адекватни за употребу у окружењу колаборативних предузећа. Коначно, иако се у неким радовима наводи да су развијени методи за translацију семантичких у SQL упите, детаљне информације о овим методима нису доступне. Табела 2 приказује компаративну анализу изабраних приступа, укључујући и приступ представљен у овој тези.

	DB2OWL	Relational.OWL	D2OMapper	Vis-A-Vis	Овај приступ
Главна карактеристика	Креирање нове онтологије из постојеће базе података	Креирање нове онтологије из постојеће базе података	Креирање релација између базе података и постојеће онтологије	Креирање релација између базе података и постојеће онтологије	Креирање нове онтологије из постојеће базе података
Семантичка интерпретација ER образаца	Значења егзистенцијалних ограничења поља и кардиналност релација нису узети у обзир	Резултујући модел је (семантички ослабљена) реплика базе података. Није ни покушано да се интерпретирају њена значења.	Заснива се на пет хеуристичких правила. Коментар за DB2OWL важи и у овом случају.	Није релевантно. Ниво концептуализације је избор експерта, пошто се релације успостављују ручно.	Види правила за класификацију OWL концепата у овом делу.
Процес пресликавања података	Популација на основу упита	Масивни извоз	Популација на основу упита	Популација на основу упита	Популација на основу упита, привремено, по захтеву
Кореспонденције између базе података и онтологије	XML документ са релацијама	Није познато	XML документ са релацијама	Није познато	Коришћење URI ентитета er.owl “реплике” за аотирање концепата локалне онтологије

Табела 2. Анализа изабраних приступа за пресликавање база података и онтологија

Други изазов развоја локалних онтологија је везан за популацију инстанци, односно за то када и који подаци из базе података су репрезентовани у локалној онтологији. Као што је раније наведено, две врсте приступа су до сада примењене.

Масиван извоз подразумева да су сви подаци репрезентовани као индивидуе у процесу генерисања онтологије (или мапирања постојеће онтологије са шемом базе података). Поред тога што имплицира очигледне тешкоће у вези са одржавањем, ова врста је неприхватљива пре свега због величине резултујуће онтологије и документа са релацијама и због тога, проблема у перформансама процеса расуђивања.

Популација на основу упита претпоставља да се индивидуе афирмишу у локалној онтологији за време њене експлоатације, односно након извршења семантичког упита. У овом случају, неки вид превођења упита се примењује ради трансформације семантичког у SQL упит или упите који се потом

извршавају у бази података. Резултати се, коначно репрезентују као логички искази који се могу (или не морају) афирмисати у локалној онтологији.

У различите сврхе, постојећи приступ популације на основу упита се може сматрати добрим избором. Међутим, када се дискутује о семантичкој интероперабилности између разнбројних и разноликих информационих система, уочени су одређени проблеми, пре свега везани за сложеност расуђивања у случају када се упит извршава над модулалним онтолошким окружењем; и за права приступа подацима.

У поглављу 5, приказани су неки докази о изводивости и корисности предложеног оквира и имплементационог метода. Две студије случајева које користе предложени оквир су приказане. У првој, показано је како се приступ може експлоатисати да подржи једну од општих функција сваког виртуелног окружења – конфигурацију процеса ланца снабдевања (део 3 поглавља 5). Процењено је да уклањањем проблема интероперабилности, предложена инфраструктура може смањити животни век виртуелних предузећа за производњу кастомизованих ортопедских имплантата на само 4-8 дана. Ово се сматра више него прихватљивим периодом за многе случајеве трауме. У традиционалном окружењу, а због много више људских одлука и недостатка интероперабилности, производња кастомизованог имплантата може да траје и до 3 месеца (Christensen and Chen, 2008). Горе наведена претпоставка се заснива на чињеници да се семантичким оквиром практично аутоматизује фаза конфигурације процеса виртуелног предузећа, као и размена информација између релевантних система. Зато, примена оквира значајно смањује време, потребно за планирање ланца снабдевања. За разлику од традиционалних ланца снабдевања и великосеријске производње, планирање појединачне производње у виртуелном окружењу се не заснива на прогнозама. Оно зависи од правовременог приступа подацима о доступним капацитетима, материјалима и другим средствима.

Друга студија случаја илуструје на који начин се S-ISU архитектура може користити за екстракцију календара производње из локалних онтологија коришћењем једног семантичког упита. Тиме се помаже планирање колаборативне производње у виртуелном окружењу (део 4 поглавља 5). Док прва студија случаја врши верификацију модела, друга демонстрира практичну корисност сервиса за трансформацију и извршење семантичких упита.

4 Будући правци истраживања

У последњем делу ове дисертације, наведени су неки будући правци истраживања. Они су дефинисани на бази критеријума потпуне оперативности предложене инфраструктуре у индустријским околностима. Зато, листа будућих праваца истраживања није резултат критичке анализе постојећег стања истраживања у области (види део 1 овог поглавља) или општа дискусија, већ резултат неформалне гап анализе, изведене из искустава у спровођењу представљеног истраживања.

У листи која следи, уочени проблеми у раду су формулисани као теме будућег истраживачког рада, који може значајно побољшати потенцијал оквира семантичке интероперабилности, приказаног у овој дисертацији. Следеће теме су узете у обзир:

1. Општа семантичка интероперабилност

- Имплементација методе евалуације семантичке интероперабилности два система;
- Даљи развој теоријских основа за семантичку интероперабилност, следећи принципе људске комуникације;

2. Формални модел операција ланаца снабдевања

- Даља експликација SCOR-Full доменског модела пресликавањем на релевантне и комплементарне доменске моделе, као што су RosettaNet , UNSPSC , AIAG и STAR , EDI , итд;
- Развој нових апликационих модела и онтологија које директно експлоатишу SCOR-Full доменски модел;
- Top-down валидација SCOR-Full доменског модела семантичком анализом логичких веза са општим онтологијама, као што је DOLCE;

3. S-ISU сервиси за трансформацију и извршење семантичких упита

- Анализа образаца података са циљем откривања значења вишезначних појмова локалних онтологија (нпр. тип или статус);
- Полуаутоматска класификација концепата локалних онтологија (релација садржавања) анализом потребних услова за различите концепте;
- Развој универзалног метода за транслацију семантичких упита, где ови упити користе концепте две онтологије, логички повезане коришћењем SWRL правила;
- Развој метода и алата за извршење семантичких упита “Tell” типа;

4. Општи алати семантичког веба

- Имплементирање дистрибуираног расуђивања за модуларне онтологије повезане релацијама динамичког увоза;
- Имплементирање нивоа приступа и контроле делова онтологија у дистрибуираним онтолошким оквирима;
- Побољшање перформанси и квалитета алата за семантичко усклађивање.

Предложене теме ће допринети успостављању семантичке интероперабилности као научне дисциплине и тако, повећати интерес научне заједнице (тема 1). Повећана релевантност SCOR-Full микро теорије (тема 2) ће дати допринос њеној стандардизацији и тако, повећаном обиму коришћења. Она ће такође утицати на даље истраживање SCOR референтног модела и решавање неких од његових проблема (као што су недостајуће зависности, концептуалне неконзистентности, итд.). Коначно, побољшање S-ISU сервиса и

инфраструктуре семантичког веба (теме 3 и 4) се односе на неке изазове развоја и валидације предложеног концептуалног оквира које ће произвести веома значајне користи за практичну имплементацију предложених метода.

Литература

- Akmajian, A., Demers, R., Farmer, A., Harnish, R. (1995). *Linguistics: an introduction to language and communication*, 4th edition. 1995. Cambridge: MIT Press
- AMICE (1993). *CIMOSA - Open System Architecture for CIM*, 2nd edition, Springer-Verlag, Berlin, 1993
- Andrews, T., Curbera, F., Dholakia, H., Golland, Y., Klein, J., Leymann, F., Liu, K., Roller, D., Smith, D., Thatte, S., Trickovic, I., Weerawana, S. (2003). *Business Process Execution Language for Web Services*, Version 1.1
- Angeles, P.A. (1981). *Dictionary of Philosophy*. Harper Perennial. New York, 1981.
- Aničić, N., Ivezić, N., Jones, A. (2005). An architecture for semantic enterprise application integration standards. In: *Proceedings of The First International Conference on the Interoperability of Enterprise Software and Applications (I-ESA'05)*
- Ashton, K. (2009). That 'Internet of Things' Thing. *RFID Journal*. 22 July 2009
- Astrova, I., 2004. Reverse Engineering of Relational Databases to Ontologies. In *Lecture Notes in Computer Science*, LNCS 3053 (2004) 327-341
- Bateman, J.A. (1995). On the relationship between ontology construction and natural language: a socio-semiotic view. *International Journal of Human-Computer Studies*. 43 (5–6) (1995) 929–944
- Batini, C., Lenzerini, M., Navathe, S.B. (1986). A comparative analysis of methodologies for data-base schema integration. *ACM Computing Surveys*. 18 (4) (1986)
- Bechhofer, S., Moller, R., Crowther, P. (2003). The DIG description logic interface. In: *Proceedings of the International Description Logics Workshop (DL 2003)*
- Bechhofer, S., Patel-Schneider, P.F. (2006). DIG 2.0: The DIG Description Logic Interface Overview, <http://dig.cs.manchester.ac.uk/overview.html>
- Bernus, P., Nemes, L., Schmidt, G. (Eds.) (2003). *Handbook on Enterprise Architecture*. Springer-Verlag, 2003
- Berre, A.J., Elvesæter, B., Figay, N., Guglielmina, C.J., S. G., Karlsen, S.G. (2007). The ATHENA Interoperability Framework. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Interoperability for Enterprise Software and Applications (I-ESA'07)*. Springer (2007) 569-580
- Berre, A.J., Hahn, A., Akehurst, D., Bezivin, J., Tsalgatidou, A., Vernaut, F., Kutvonen, L., Lington, P.F. (2004). State-of-the art for Interoperability architecture approaches. *Interop Network of Excellence - Contract no.: IST-508 011, Deliverable D9.1*
- Berry, A.J. (1994). Spanning traditional boundaries: organization and control of embedded operations. *Leadership & Organization Development Journal*. 15 (7) 4-10
- Bolstorff, P., Rosenbaum, R. (2003). *Supply Chain Excellence: A Handbook for Dramatic Improvement Using the SCOR Model*. AMACOM

- Bonacina, M.P. (2000). A taxonomy of parallel strategies for deduction. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*. 29(1-4) (2000) 223–257
- Browne, J. and Zhang, J. (1999). Extended and Virtual Enterprises – similarities and differences. *International Journal of Agile Management Systems*. 1(1) 30-36
- Burger, A. Davidson, D. Baldock, r. (Eds.) (2008). *Anatomy Ontologies for Bioinformatics. Principles and Practice*. Series: Computational Biology, Vol. 6. 1st Edition., 2008, XVI, 356 p. 73
- Camarinha-Matos, L. M., Afsarmanesh, H., Galeano, N., Molina, A. (2009). Collaborative networked organizations – Concepts and practice in manufacturing enterprises. *Computers & Industrial Engineering*, 57 (1) 46-60
- Camarinha-Matos, L. M., & Afsarmanesh, H. (2006). Collaborative networks: Value creation in a knowledge society. In: *Proceedings of PROLAMAT, 2006 IFIP international conference on knowledge enterprise – New challenges*. Shanghai, China, Boston: Springer.
- Camarinha-Matos, L. M., & Afsarmanesh, H. (2008). *Collaborative networks – Reference modeling*. New York: Springer
- Camarinha-Matos, L.M., Afsarmanesh, H. (2008). On reference models for collaborative networked organizations. *International Journal Production Research*. 46 (9) (2008) 2453–2469
- Carroll, J. J., Dickinson, I., Dollin, C., Reynolds, D., Seaborne, A., Wilkinson, K. (2004). Jena: Implementing the semantic web recommendations. In: *Proceedings of the 13th International World Wide Web Conference (WWW 2004)*
- Castano, S., De Antonellis, V. (1998). A framework for expressing semantic relationships between multiple information systems for cooperation. *Information Systems*. 23 (3-4) (1998) 253-277
- Chen, D., Doumeingts, G. (1996). The GRAI-GIM reference model, architecture and methodology. In: P. Bernus, et al. (Eds.), *Architectures for Enterprise Integration*, Chapman & Hall, London, 1996
- Chen, D., Daclin, N. (2006). Framework for Enterprise Interoperability. In: *Proceedings of IFAC TC5.3 Workshop EI2N06, Bordeaux, France, March 21, 2006*
- Chen, D., Doumeingts, G., Vernadat, F. (2008). Architectures for enterprise integration and interoperability: Past, present and future. *Computers in Industry*. 59 (2008) 647–659
- Chen, D. Vernadat, F. (2004). Standards on enterprise integration and engineering - a state of the art. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 17 (3) (2004) 235–253
- Childe, S.J. (1998). The extended enterprise – a concept of co-operation, *Production Planning and Control*. 9 (4) 320-327
- Choi, Y., Kang, D., Chae, H., Kim, K. (2006). An enterprise architecture framework for collaboration of Virtual Enterprise chains. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*
- Christensen, R., Curbera, F., Meredith, G., Weerawana, S. (2001) *Web Services Description Language (WSDL) 1.1*, W3C Note 15 March 2001, <http://www.w3.org/TR/wSDL>

- Christensen, A., Chen, D. (2008). Personalizing Orthopedic Implants. MDDI Online. <http://www.mddionline.com/article/personalizing-orthopedic-implants>
- C4ISR (1998), Architecture Working Group (AWG), Levels of Information Systems Interoperability (LISI), March 30, 1998
- COMPTIA (2004). European Interoperability Framework, White Paper, Brussels, February 18, 2004
- CROSI (2005). Semantic Integration Technology Survey, <http://eprints.ecs.soton.ac.uk/10842/1/crosi-survey.pdf>
- Cullot, N., Ghawi, R. and Yetongnon, K. (2007). DB2OWL: A Tool for Automatic Database-to-Ontology mapping. In: Proceedings of the 15th Italian Symposium on Advanced Database Systems. June, 17-20. 2007, Torre Canne di Fasano (BR), Italy.
- De Laborda, C.P. and Conrad, S. (2005). Relational.OWL: a data and schema representation format based on OWL. In: Proceedings of the 2nd Asia-Pacific conference on Conceptual modelling. January 30 - February 4, 2005. Newcastle, Australia.
- Desai, N., Mallya, A.U., Chopra, A., Singh, M. (2006). OWL-P: A Methodology for Business Process Development. Lecture Notes in Computer Science. 3529 (2006) 79-94
- Diez, A.B.G. (2004). First Version of State of the Art in Enterprise Modelling Techniques and Technologies to Support Enterprise Interoperability. Advanced Technologies for Interoperability of Heterogeneous Enterprise Networks and their Application (ATHENA) - Contract no.: 507849, Deliverable D.A1.1.1
- Dogac, A., Jardim-Gonçalves, R. (2009). iSurf: RFID enabled collaborative supply chain planning environment. In: Proceedings of IFIP TC9 - 4th MEDITERRANEAN CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEMS
- Dogac, A., Laleci, G.B., Okcan, A., Olduz, M., Sesana, M., Canepa, A. (2008). iSURF: An Interoperability Service Utility for Collaborative supply chain Planning across Multiple Domains, Proc. of the eChallenges 2008 Conference
- Elvesæter, B., Taglino, F., Del Grosso, E., Benguria, G., Capellini, A. (2008). Towards Enterprise Interoperability Service Utilities. In: Proceedings of the International Workshop on Enterprise Interoperability (IWEI 2008), 15-19 September 2008, Munich, Germany
- Engelbart, D.C. (1962). Augmenting human intellect: a conceptual framework. In: Menlo Park, CA: Stanford Research Institute.
- Ehrig, M., Staab, S. (2004). QOM: Quick ontology mapping. In: Proceedings of the International Semantic Web Conference (ISWC), 683-697
- Euzenat, J. (2004). An API for ontology alignment. In: Proceedings of the International Semantic Web Conference (ISWC), 698-712
- Falkenhainer, B., Forbus, K.D. (1991). Compositional modeling: finding the right model for the job. *Artificial Intelligence*. 51 (1-3) 95-143
- Fayez, M., Rabelo, L. and Mollaghasemi, M. (2005). Ontologies for supply chain simulation modelling. In: Proceedings of the 37th Winter Simulation Conference. Orlando, USA, December 04-07, 2005

- Felix T.S. Chan, H.K. (2005). The future trend on system-wide modelling in supply chain studies. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 25 (7-8) (2005) 820-832
- Forrester, J.W. (1961). *Industrial Dynamics*, The M.I.T. Press, Cambridge, MA, 1961
- Fox, M.S., Barbuceanu, M. and Gruninger, M. (1996). An organization ontology for enterprise modelling: preliminary concepts for linking structure and behaviour. *Computers in Industry*. 29 (1-2) 123-134
- Foxvog, D., Bussler, C. (2006). Ontologizing EDI semantics. In: *Proceedings of the Workshop on Ontologising Industrial Standards*. pp. 301-311. Springer, Tucson, AZ, USA, 2006
- Gangemi, A., Guarino, N., Masolo, C., Oltramari, A. and Schneider, L. (2002). Sweetening Ontologies with DOLCE. *Knowledge Engineering and Knowledge Management: Ontologies and the Semantic Web, Lecture Notes in Computer Science*, 2473 (2002) 223-233
- Gangemi, A. (2005). *Ontology Design Patterns for Semantic Web Content*. *Lecture Notes in Computer Science*. 3729 (2005) 262-276
- Genesereth, M.R., Nilsson, N.J. (1987). *Logical Foundation of Artificial Intelligence*, Morgan Kaufman, Los Altos, CA, 1987
- GERAM (1999). IFAC-IFIP Task Force, GERAM: Generalized Enterprise Reference Architecture and Methodology, Version 1.6.3, IFAC-IFIP Task Force on Architecture for Enterprise Integration, 1999. <http://www.ict.griffith.edu.au/~bernus/taskforce/geram/versions/geram1-6-3/GERAMv1.6.3.pdf>
- Giunchiglia, F., Shvaiko, P., Yatskevich, M. (2004). S-Match: an algorithm and an implementation of semantic matching. In: *Proceedings of the European Semantic Web Symposium (ESWS)*, 61-75
- Gibson, I., Harrysson, O.L.A. (2006). Direct Fabrication of Custom Orthopedic Implants Using Electron Beam Melting Technology. In: *Advanced Manufacturing Technology for Medical Applications: Reverse Engineering, Software Conversion and Rapid Prototyping*. Wiley
- Ghawi, R. and Cullot, N. (2007). Database-to-Ontology Mapping Generation for Semantic Interoperability. In: *Proceedings of 3rd International Workshop on Database Interoperability*. September, 24. 2007, Vienna, Austria.
- Goldman, S.L., Nagel, R.N., Preiss, K. (1995). *Agile Competitors and Virtual Organizations – Strategies for Enriching the Customer*, Van Nostrand Reinhold, New York
- Grefen, P., Mehandjiev, N., Kouvas, G., Weichhart, G., Eshuis, R. (2009). Dynamic business network process management in instant virtual enterprises. *Computers in Industry*. 60 (2) (2009)
- Grenon, P., Smith, B. (2004). SNAP and SPAN: Towards Dynamic Spatial Ontology. *Spatial Cognition and Computation* 4 (1) 69-103
- Grabot, B. (2008). *Process Alignment or ERP Customisation: Is There a Unique Answer?*, Springer Series in Advanced Manufacturing, ERP Systems and Organisational Change, Springer, London, (2008) 139-156

- Grubic, T., Fan, I.-S. (2010). Supply chain ontology: Review, analysis and synthesis. *Computers in Industry*. 61 (8) 776-786
- Guarino, N. (1995). Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation. *International Journal of Human-Computer Studies*. 43 (5-6) (1995) 625-640
- Guarino, N. (1997). Understanding, building and using ontologies. *International Journal of Human-Computer Interaction*. 46 (2-3) (1997) 293-310
- Guarino, N. (1998). *Formal Ontology in Information Systems*. IOS Press
- Guarino, N., and Giaretta, P. (1995). Ontologies and knowledge bases – towards a terminological clarification. In: Mars, N., ed. *Towards very large knowledge bases: knowledge building and knowledge sharing*. Amsterdam: IOS Press, 25-32.
- Guo, J. (2009). Collaborative conceptualisation: towards a conceptual foundation of interoperable electronic product catalogue system design. *Enterprise Information Systems*. 3 (1) (2009) 59-94
- Haller, A., Gontarczyk, J., Kotinurmi, P. (2007). Towards a complete SCM Ontology – The Case of ontologising RosettaNet. In: *Proceedings of the 2008 ACM Symposium on Applied Computing (SAC08)*, March 16-20, 2007, Fortaleza, Ceara, Brazil
- Hamel, G. (1999). Bringing Silicon Valley Inside. *Harvard Business Review*, September – October, pp.71-84
- Harrysson, O.L., Hosni, Y.A., Nayfeh, J.F. (2007). Custom-designed orthopedic implants evaluated using finite element analysis of patient-specific computed tomography data: femoral-component case study. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 8 (91) (2007)
- Hepp, M. (2007). Ontologies: State of the art, business potential and grand challenges. In Hepp, M., De Leenheer, P., de Moor, A. and Sure, Y. (eds), *Ontology Management – Semantic Web, Semantic Web Services and Business Applications* (pp.3-22), Berlin/Heidelberg: Springer.
- Hepp, M. (2006). Products and Services Ontologies: A Methodology for Deriving OWL Ontologies from Industrial Categorization Standards. *International Journal on Semantic Web and Information Systems*. 2 (1) (2006) 72-99
- Hodge, G. (2000). *Systems of Knowledge Organization for Digital libraries - Beyond traditional authority files*, Washington, DC: the Council on Library and Information Resources, <http://www.clir.org/pubs/reports/pub91/contents.html>
- Holsapple, C.W., Joshi, K.D. (2002). A collaborative approach to ontology design. *Communications of the ACM*. 45 (2) (2002) 42-47
- Horrocks, I., Patel-Schneider, P.F., Boley, H., Tabet, S., Grosz, B., Dean, M. (2004). SWRL: A Semantic Web Rule Language - Combining OWL and RuleML. W3C Member Submission 21 May 2004. <http://http://www.w3.org/Submission/SWRL/>
- Huber, C., Plüss, A. (2003). Vertrauenskultur – Erfahrungen aus dem Produktionsnetzwerk Virtuelle Fabrik Nordwestschweiz/Mittelland. In *Vernetzt planen und produzieren*, TU Chemnitz, Sonderforschungsbereich 457, Tagungsband, pp. 143-147
- IDEAS (2002) Thematic Network, IDEAS: Interoperability Development for Enterprise Application and Software—Roadmaps, Annex 1—DoW, May 13, 2002

- IEEE. (1990). IEEE Standard Computer Dictionary: A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries. Institute of Electrical and Electronics Engineers. 1990
- Izza, S. (2009). Integration of industrial information systems: from syntactic to semantic integration approaches. *Enterprise Information Systems* 3 (1) (2009) 1-57
- Jagdev, H.S., Thoben, K.D. (2001). Anatomy of enterprise collaborations, *Production Planning and Control*. 12 (5) 437-451
- Jespersen, B.D., Larse, T.S. (2006). *Supply Chain Management - in Theory and Practice*. Copenhagen:Business School Press.
- Jiang, G., Cybenko, G., Hendler, J.A. (2006). Semantic interoperability and information fluidity. *International Journal of Cooperative Information Systems*. 15 (1) (2006) 1-21
- Jones, A., Ivezic, N. and Gruninger, M. (2001). Toward self-integrating software applications for Supply Chain Management. *Information Systems Frontiers*. 3 (4) 403-412
- Kabak, Y., Dogac, A., Ocalan, C., Cimen, S., Laleci, G. B. (2009). iSURF Semantic Interoperability Service Utility for Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment. In: *Proceedings of the eChallenges Conference, October 2009, Istanbul, Turkey*.
- Kalfoglou, Y., Schorlemmer, M. (2003). *Ontology mapping: the state of the art*
- Katzy, B.R., Dissel, M. (2001). A toolset for building the Virtual Enterprise. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 12 (2) 121-131
- Katzy, B.R., Loeh, H., Zhang, C. (2004). *Virtual Organising Scenarios. Collaborative Networked Organizations*, Springer US, pp.27-40
- Katzy, B., Ma, X. (2002). A research note on virtual project management systems. In: K. Pawar, F. Weber, & K. Thoben (Eds.) *Proceedings of the 8th international conference on concurrent enterprising ICE* (pp. 517–520). Rome: University of Nottingham
- Keenan, J., Chakrabarty, G., Newman, J.H. (2000). Treatment of supracondylar femoral fracture above total knee replacement by custom made hinged prosthesis. *Knee* 2000, 7 (2000) 165-170
- Klein, M., Ding, Y., Fensel, D., Omelayenko, B. (2002). *Ontology management - Storing, aligning and maintaining ontologies*
- Klein, M. (2001). Combining and relating ontologies: an analysis of problems and solutions. In: *Proceedings of IJCAI2001 Workshop on Ontologies and Information Sharing*
- Knublauch, H., Fergerson, R.W., Noy, N.F., Musen, M.A. (2004). The Protégé OWL Plugin: An Open Development Environment for Semantic Web Applications. *The Semantic Web – ISWC 2004 In The Semantic Web – ISWC 2004*, Vol. 3298 (2004), pp. 229-243
- Konstantinou, N., Spanos, D., Chalas, M., Solidakis, E. and Mitrou, N. (2006). VisAVis: An approach to an intermediate layer between ontologies and relational database contents. In: *Proceedings of International Workshop on Web Information Systems Modeling*. June, 6, 2006, Luxembourg.
- Lamber, D.M., Knemeyer, A.M. (2004). *We're in This Together*. Harvard Business Review on Supply Chain Management

- LaOngsri, S. (2009). Semantic Extensions and a Novel Approach to Conceptual Modelling. Ph.D. Thesis. School of Computer Science, Engineering and Mathematics, The Flinders University of South Australia
- Lee, J.Y., Kim, K. (2007). A distributed product development architecture for engineering collaborations across ubiquitous Virtual Enterprises. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 33 (1-2) 59–70
- Lee, J.L., Madnick, S.E., Siegel, M.D. (1996). Conceptualizing semantic interoperability: A perspective from the knowledge level. *International Journal of Cooperative Information Systems*. 5 (4) (1996) 367-393
- Li, M.S., Cabral, R., Doumeingts, G., Popplewell, K. (eds) (2006). Enterprise Interoperability Research Roadmap, 31 July 2006, http://cordis.europa.eu/ist/ict-ent-net/ei-roadmap_en.htm
- Lima, C., Vallejos, R. V., Varvakis, G. (2004). Applying knowledge management to support a virtual organization of mould and die makers. In: L. M. Camarinha-Matos & H. Afsarmanesh (Eds.), *Processes and foundations for virtual organizations* (pp. 351–358). Boston: Kluwer.
- Lin, H.K., Harding, J.A. (2007). A manufacturing system engineering ontology model on the semantic web for inter-enterprise collaboration. *Computers in Industry*. 58 (5) 428-437
- Lin, Y. (2008). Semantic Annotation for Process Models. PhD thesis, Norwegian University of Science and Technology
- Lu, Y., Panetto, H., Gu, X. (2010). Ontology Approach for the Interoperability of Networked Enterprises in supply chain Environment. *On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2010 Workshops* (Meersman R., et al.) (Eds), 5th IFAC/IFIP Workshop on Enterprise Integration, Interoperability and Networking (EI2N'2010), HERNISSOU, Crete, Greece, October 27-28, Springer Verlag, Lecture Notes in Computer Science, LNCS 6428, 229-238
- MacKenzie, C.M., Laskey, K., McCabe, F., Brown, P.F., Metz, R. (eds) (2006). OASIS Reference Model for Service Oriented Architecture 1.0. Public Review Draft 2, 31 May 2006
- Madni, A.M., Lin, W., Madni, C.C. (2001). IDEONTM: An Extensible Ontology for Designing, Integrating and Managing Collaborative Distributed Enterprises. *Systems Engineering*. 4 (1) 35-48
- Maedche, A., Motik, B., Silva, N., Volz, R. (2002). MAFRA – A Mapping FRamework for distributed ontologies. *Proceedings of EKAW 2002*.
- McBrien, P., Poulouvassilis, A. (1998). A Formalisation of Semantic Schema Integration. *Information Systems*. 23 (5) (1998) 307-334
- Miller, R.J., Ioannidis, Y.E., Ramakrishnan, R. (1994). Schema equivalence in heterogeneous systems: Bridging theory and practice. *Information Systems*. 19 (1) (1994) 3-31
- Millet, P.A., Schmitt, P. and Botta-Genoulaz, V. (2009). The SCOR model for the alignment of business processes and information systems. *Enterprise Information Systems*. 3 (4) (2009) 393-407
- Miles, R.E., Snow, C.C. (1984). Fit, failure and hall of fame, *California Management Review*. 26 (3) 10-28

- Motwani, J., Subramanian, R., Gopalakrishna, P. (2005). Critical factors for successful ERP implementation: exploratory findings from four case studies. *Computers in Industry*, 56 (6) (2005) 529-544
- NEHTA (2005). Towards an Interoperability Framework, Version 1.8, August 21, 2005
- Noy N.F. (2004). Semantic integration: a survey of ontology-based approaches. *ACM SIGMOD Record Special section on semantic integration*. 33 (4) 65-70
- Noy N., Klein, M. (2002). Ontology evolution: Not the same as schema evolution. *Knowledge and Information Systems*, 2002.
- Obitko, M. (advisor Vladimir Marik) (2007). Translations between Ontologies in Multi-Agent Systems. Ph.D. dissertation, Faculty of Electrical Engineering, Czech, Technical University in Prague, 2007
- Obrst, L. (2003). Ontologies for semantically interoperable systems. In: *Proceedings of the 12th International Conference on Information and Knowledge Management*. November 3-8, 2003, New Orleans, USA
- Oldakowski, R., Bizer, C., Westphal, D. (2005). RAP: RDF API for PHP. Workshop on Scripting for the Semantic Web (SFSW 2005) at 2nd European Semantic Web Conference (ESWC 2005), Heraklion, Greece, May 2005
- Panetto, H., Molina, A. (2008). Enterprise integration and interoperability in manufacturing systems: Trends and issues. *Computers in Industry*. 59 (7) (2008) 641–646
- Pathak, S.D., Nordstrom, G. and Kurokawa, S. (2000). Modelling of supply chain: a multi-agent approach. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*. 3 2051 -2056
- Perrin, O., Wynen, F., Bitcheva, J., Godart, C. (2003). A Model to Support Collaborative Work in Virtual Enterprises, *Lecture Notes in Computer Science*, Springer Berlin / Heidelberg. 2678 (2003) 104-119
- Peñaranda, N., Galeano, N., Romero, D., Mejía, R., Molina, A. (2006). Process improvement in a virtual organization focused on product development using collaborative environments. In *Proceedings of IFAC symposium on information control problems, in manufacturing (INCOM'06)*. Mat 17–19th, 2006, Saint-Etienne, France
- Phelps, T. (2006). SCOR and Benefits of Using Process Reference Models. In: *Proceedings of Supply Chain International Conference*, Taiwan, 2006
- Prud'hommeaux, E., Seaborne, A. (Eds) (2008). SPARQL Query Language for RDF, W3C Recommendation 15 January 2008, <http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>
- Sánchez, N.G., Apolinar, D., Zubiaga, G., Atahualpa, J., González. I. and Molina, A. (2005). Virtual Breeding Environment: A First Approach to Understanding Working and Sharing Principles. In: *Proceedings of the 1st International Conference on interoperability of Enterprise Software and Applications*. February 23-25, 2005, Geneva, Switzerland
- Sari, B., Se, T., Kilic, E.S. (2006). Formation of dynamic Virtual Enterprises and enterprise networks, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 34 (11-12) (2006) 1246-1262

- Scheer, A.-W. (1994). *Business Process Engineering. Reference Models for Industrial Enterprises*, 2nd edition, Springer-Verlag, Berlin, 1994
- Schlicht, A., Stuckenschmidt, H. (2009). Distributed Resolution for Expressive Ontology Networks, In *Proceedings of the 3rd International Conference on Web Reasoning and Rule Systems*, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 2009
- Schulz, S., Hahn, U. (2001). Parts, Locations, and Holes - Formal Reasoning about Anatomical Structures, *Artificial intelligence in medicine, Lecture Notes in Computer Science*, 2001, 2101 (2001) 293-303
- Sheth, A., Larson J. (1990). Federated Database Systems. *ACM Computing Surveys*. 22 (3) (1990) 183-236
- Sirin, E., Parsia, B., Grau, B., Kalyanpur, A., Katz, Y. (2007). Pellet: A practical OWL-DL reasoner. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web. Software Engineering and the Semantic Web*. 5 (2) (2007) 51-53
- Smith, B. (2003). *Ontology and Information Systems*. In: Zalta, E.N., ed. *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy*. Stanford, CA
- Sowa, J. (2000). *Knowledge Representation : Logical, Philosophical, and Computational Foundations*, CA:Brooks/Cole Publishing Co.
- Sprott, D. (2000) Componentizing the enterprise application packages, *Communications of the ACM*. 43 (2000) 63–69
- Stewart, G. (1997). Supply-chain operations reference model (SCOR): the first cross-industry framework for integrated supply-chain management. *Logistics Information Management*. 10 (2) 62–67
- Themistocleous, M., Irani, Z., O’Keefe, R.M. (2001). ERP and application integration: exploratory survey. *Business Process Management Journal*. 7 (2001) 195–204
- Tursi, A., Panetto, H., Morel, G., Dassisti M. (2009). Ontological approach for Products-Centric Information System Interoperability in Networked Manufacturing Enterprises. *IFAC Annual Reviews in Control*. 33 (2) (2009) 238-245
- Truong, H.L., Morten, E., Laclavik, M., Burkhart, T., Carpenter, M., Dorn, C., Gkouvas, P., Konstantinos, K., Lopez, D.L., Marín, C.A., Melchiorre, C., Pinuela, A., Seleng, M., Werth, D. (2009). Email-based Interoperability Service Utilities for Cooperative Small and Medium Enterprises. In: Cordeiro, J., Filipe, J. (Eds.): *ICEIS 2009 - Proceedings of the 11th International Conference on Enterprise Information Systems*, Volume SAIC, Milan, Italy, May 6-10, 2009. 95-101
- Uschold, M., King, M., Moralee, S. and Zorgios, Y. (1998). The enterprise ontology. *Knowledge Engineering Review*. 13 (1) 31-89
- Vanderhaeghen, D., Loos, P. (2007). Distributed model management platform for cross-enterprise business process management in Virtual Enterprise networks. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 18 (5) 553-559
- Vegetti, M., Gonnet, S., Henning, G., Leone, H. (2005). Towards a supply chain ontology of information logistics within process industry environments. In: *Proceedings of The Fourth Mercosur Congress on Process Systems Engineering*, August, 14-18, 2005, Rio de Janeiro, Brazil

- Vernadat, F.B. (2002). Enterprise Modeling and Integration (EMI): Current Status and Research Perspectives. *Annual Reviews in Control*. 26 (2002) 15-25
- Vermesan, O., Friess, P., Guillemin, P., Gusmeroli, S., Sundmaeker, H., Bassi, A., Jubert, I.S., Mazura, M., Harrison, M., Eisenhauer, M., Doody, P. (2009). Internet of Things Strategic Research Roadmap. Internet of Things Initiative
- Visser, P. R. S., Jones, D. M., Bench-Capon, T. J. M., Shave, M. J. R. (1997). An analysis of ontological mismatches: Heterogeneity versus interoperability. In: *Proceedings of AAAI 1997 Spring Symposium on Ontological Engineering*, Stanford, USA, 1997
- Vitković, N., Trajanović, M., Milovanović, J., Korunović, N., Arsić, S., Ilić, D. (2011). The geometrical models of the human femur and its usage in application for preoperative planning in orthopedics. In: *Proceedings of the 1st International Conference on Internet Society Technology and Management - ICIST* (pp. 13) Kopaonik
- Wache, H., Vogele, T., Visser, U., Stuckenschmidt, H., Schuster, G., Neumann, H., Hubner, S. (2001). Ontology-Based Integration of Information – Survey of Existing Approaches, In: *Proceedings of IJCAI-01*, 2001
- W3C OWL Working Group, (2009). OWL 2 Web Ontology Language Document Overview. W3C Recommendation 27 October 2009
- Williams, T.J. (1994). The Purdue enterprise reference architecture. *Computers in Industry* 24 (2/3) (1994) 141–158
- Williamson, O. (1985). *The Economic Institutions of Capitalism: Firms, Markets, Relational Contracting*. New York, The Free Press
- Xu, Z., Zhang, S. and Dong, Y. (2006). Mapping between Relational Database Schema and OWL Ontology for Deep Annotation. In: *Proceedings of the 2006 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence*. 18-22. December, 2006, Hong Kong.
- Xu, Z., Cao, X., Dong, Y. and Su, W. (2004) Formal Approach and Automated Tool for Translating ER Schemata into OWL Ontologies. *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining, Lecture Notes in Computer Science*. 3056 (2004) 464-475.
- Yan, T. (2007). Practical Issues in Ontology Engineering. In: Arabnia, H.R., Yang, M.Q. Yang, J.Y, eds. *Proceedings of the 2007 International Conference on Artificial Intelligence, ICAI 2007, Volume II, June 25-28, 2007, Las Vegas, Nevada, USA*. pages 730-736, CSREA Press, 2007
- Yarimagan, Y., Dogac, A. (2009). A Semantic-Based Solution for UBL Schema Interoperability. *Journal IEEE Internet Computing*. 13 (3) (2009)
- Ye, Y., Yang, D., Jiang, Z. and Tong, L. (2008). Ontology-based semantic models for Supply Chain Management. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 37 (11/12) 1250-1260
- Zachman, J. (1996). *The Framework for Enterprise Architecture: Background, Description and Utility*. Zachman Institute for Advancement, 1996, <http://www.zifa.com>
- Zdravković, M., Trajanović, M. (2009). Integrated Product Ontologies for Inter-Organizational Networks, *Computer Science and Information Systems (COMSIS)*. 6 (2) (2009) 29-46

- Zdravković, M., Panetto, H., Trajanović, M. (2011). Local ontologies for semantic interoperability in supply chain networks. In: Proceedings of the 13th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS 2011), 8-11. June 2011, Beijing, China, pages 22-31, SciTePress
- Zdravković, M., Panetto, H., Trajanović, M., Aubrey, A. (2011). An approach for formalising the supply chain operations. *Enterprise Information Systems*. 5 (4) (2011) 401-421
- Zdravković, M., Trajanović, M. (2011). Ontological framework for performance measurement of supply chain operations. In: Proceedings of 6th International Working Conference - Total Quality Management Advanced & Intelligent Approaches, 7-11. June 2011, Belgrade, Serbia
- Zeffane, R. (1995). The widening scope of inter-organizational networking: economic, sectoral and social dimensions. *Leadership & Organization Development Journal*. 16 (5) (1995) 26-33
- Zhang, Y., Lio, S., Jiao Y. (2008). An interoperability service utility platform for automobile Supply Chain Management. In: the Proceedings of the 12th Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshop, 2008 , pp. 230 - 237, Munich

Преглед коришћених скраћеница

AHP	Analytic Hierarchy Process
AIAG	Automotive Industry Action Group
AIM	ATHENA Interoperability Methodology
API	Application Program Interface
APO	Advanced Planning and Optimization
ARCON	A Reference model for Collaborative Networks
B2B	Business-to-Business
BOM	Bill of Material
BPEL	Business Process Execution Language
BPM	Business Process Management
CAD	Computer Aided Design
CIMOSA	Computer Integrated Manufacturing Open System Architecture
CIS	Clinical Information System
CN	Collaborative Network
CNO	Collaborative Networked Organization
CPFR	Collaborative Planning, Forecasting, and Replenishment
CT	Computed Tomography
DIG	Description Logics Implementation Group
DL	Description Logic
DoDAF	Department of Defense Architecture Framework
DSL	Domain-Specific Language
ER	Entity/Relationship
EA	Enterprise Architecture
EC	European Commission
EDI	Electronic Data Interchange
EE	Extended Enterprise
EIF	Enterprise Interoperability Framework
EIS	Enterprise Information System
EM	Enterprise Modeling
EMR	Electronic Medical Record
ERP	Enterprise Resource Planning
EUP	Enterprise Unified Process
FEA	Finite Element Analysis
FInES	Future Internet Enterprise Systems
FOL	First-Order Logic
GERAM	Generalized Enterprise-Reference Architecture and Methodology
GIS	Geographic Information System
GPO	General Process Ontology
HTTP	Hypertext Transport Protocol
IDE	Integrated Development Environment
IDEAS	Interoperability Development for Enterprise Application and Software

IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IFAC	International Federation of Automatic Control
IFIP	International Federation for Information Processing
Interop NoE	Interoperability Network of Excellence
ISO	International Organization for Standardization
ISU	Interoperability Service Utilities
KIF	Knowledge Interchange Format
KPI	Key Performance Indicator
LAMP	Linux, Apache, MySQL and PHP/Perl/Python
LISI	Levels of Information Systems Interoperability
MDA	Model-Driven Architecture
MDE	Model-Driven Engineering
MRP	Material Requirements Planning
NSF	National Science Foundation
OIL	Ontology Interchange Language
OMG	Object Management Group
OWL	The Web Ontology Language
PACS	Picture Archiving and Communication System
PDM	Platform-Definition Model
PDM	Product Data Management
PERA	Purdue Enterprise-Reference Architecture
PERT	Program Evaluation Review Technique
PIM	Platform-Independent Model
PSM	Platform-Specific Model
RDF	Resource Description Framework
RDFS	RDF Schema
RDQL	RDF Query Language
RFID	Radio Frequency Identification
RIS	Radiology Information System
RPC	Remote Procedure Call
SaaS	Software-as-a-Service
SBM	Supply Business Management
SCC	supply chain Council
SCM	Supply Chain Management
SCOR	Supply Chain Operations Reference
SCOR-KOS	SCOR Knowledge Organization System
S-ISU	Semantic Interoperability Service Utilities
SLA	Service Level Agreement
SME	Small or Medium Enterprise
SMTP	Simple Mail Transport Protocol
SOA	Service Oriented Architecture
SPARQL	SPARQL Protocol and RDF Query Language
SPI	Smart Product Infrastructure
SPM	Synchronization Point Model

SQL	Structured Query Language
SVG	Scalable Vector Graphics
SWRL	The Semantic Web Rule Language
TOVE	Toronto Virtual Enterprise
UBL	Universal Business Language
UDDI	Universal Description Discovery and Integration
UML	Unified Modeling language
UNSPSC	The United Nations Standard Products and Services Code
URI	Uniform Resource Identifier
VBE	Virtual Breeding Environment
VE	Virtual Enterprise
VECCF	Virtual Enterprise Chain Collaboration Framework
VEM	Virtual Enterprise Methodology
VO	Virtual Organization
WSDL	Web Services Description Language
WSMX	Web Service Execution Environment
XML	eXtensible Markup Language