PRISTUPI ZA GENERISANJE OWL ONTOLOGIJA IZ RELACIONIH BAZA PODATAKA
APPROACHES FOR GENERATING OWL ONTOLOGIES FROM RELATIONAL DATABASES

Aleksandar Damljanović, *Lanaco d.o.o.,*
Slavko Marić, *Elektrotehnički fakultetu u Banjaluci,*
Dejan Stjepanović, *Administrativna služba Grada Banjaluka*

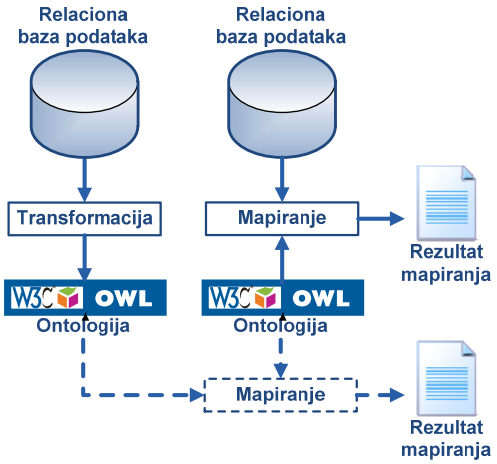
Sadržaj - *Integracija relacionih baza podataka, kao jednog od najvažnijih izvora podataka na Internetu, sa Semantičkim Web-om, predstavlja kritičan uslov za uspešnost Semantičkog Web-a. Transformisanjem u ontologije, struktura i sadržaj baza podataka postaju dostupni aplikacijama Semantičkog Web-a, koje koriste ontologije da identifikuju semantiku korištenih podataka. U ovom radu su opisani i analizirani postojeći pristupi generisanju ontologija iz relacionih baza podataka, definisanih pomoću Web Ontology Language (OWL), i data njihova komparacija.*
Klučne reči - *Ontologija, Relaciona baza podataka, Semantički Web.*
Abstract - *Integration of relational databases, as one of the most important sources of Internet content, with the Semantic Web, represents a critical prerequisite for the success of the Semantic Web. Transforming into ontologies, database structure and content become available to the Semantic Web applications, which use ontologies to identify the semantics of used data. This paper describes and analyzes existing approaches for generating ontologies from relational dtabases, defined using Web Ontology Language (OWL), and gives their comparison.*
Key words - *Ontology, Relational database, Semantic Web.*

1. UVOD

Semantički Web predstavlja viziju proširenja postojećeg Web-a, u kojoj se podaci dostupni na Web-u definišu, organizuju i koriste u odgovarajućoj formi radi izražavanja i obogaćivanja njihove semantike u cilju unapređenja automatizacije, integracije i ponovne upotrebe Web sadržaja [1][2]. Ontologija kao ključna komponenta Semantičkog Web-a, predstavlja formalizovani skup termina koji definiše koncepte i relacije za opis i prezentovanje određene oblasti interesovanja [3]. Kreiranjem i upotrebom ontologija opšteprihvaćenih od strane različitih zajednica, omogućava se integracija i zajedničko razumevanje informacija i znanja iz oblasti delovanja tih zajednica. Za definisanje ontologija na Semantičkom Web-u koriste se standardni ontološki jezici poput Web Ontology Language (OWL), koji razvija i podržava W3C (World Wide Web Consortium) Web Ontology Working Group-e [4].

Ogroman broj vrednih informacija na Web-u se dinamički generiše i pretražuje iz relacionih baza podataka pomoću odgovarajućih interfejsa za upite (eng. *query interfaces*). Njihov sadržaj najčešće nije uključen u rezultate dobijene pretraživanjem ili indeksiranjem od strane Web crawler-a, odnosno pripada tzv. Deep Web-u. Integralni deo Deep Web-a, koji sadrži preko 500 puta više informacija od Surface Web-a, čine baze podataka, a 77% tih baza podataka predstavljaju upravo relacione baze podataka [5]. Stoga jedan od kritičnih koraka u evoluciji trenutnog Web-a dokumenata u Web podataka, predstavlja uključivanje ogromne količine podataka uskladištenih u bazama podataka u koncept Semantičkog Web-a [4]. Važnost integracije struktura i sadržaja relacionih baza podataka sa Semantičkim Web-om u naučnoj zajednici, ogleda se i u osnivanju i radu W3C RDB2RDF Group-e, sa ciljem standardizacije jezika za mapiranje strukture relacionih baza podataka u RDF (Resoursce Description Framework) i OWL.

Ontologije pružaju konceptualnu viziju heterogenih izvora podataka [8], i smatramo ih interfejsom ka relacionim bazama podataka koji je u stanju da predstavi njihovu bogatu semantiku, poveća integraciju i ekstrakciju znanja iz podataka, istovremeno smanjujuci redundantnost i nekozistentnost istih. Pristupi integraciji relacionih baza podataka i ontologija mogu se klasifikovati u dve glavne kategorije: pristupi koji mapiraju baze podataka sa već postojećim ontologijama (domenskim ili lokalnim), i pristupi koji direktno transformišu sadržaj i strukturu relacionih baza podataka u odgovarajuću ontologiju [9][10] (vidi Sliku1).



Slika 1. Pristupi integraciji rel. baza podataka i ontologija

Mapiranje predstavlja vremenski zahtevan, neefikasan i naporan posao ručnog kreiranja skupa relacija između relacionih baza podataka i postojećih ontologija. Najveća prednost ovog pristupa je korišćenje već definisanih domenskih ontologija, koje su opšteprihvaćene i koje se mogu ponovo upotrebljavati. Sa druge strane, pristup transformacije strukture i podataka relacionih baza podataka u ontologije, pretpostavlja da postoji samo baza podataka, dok se kao rezultat dobija odgovarajuća ontologija. Dobijena ontologija kasnije takođe može biti mapirana sa nekom već postojećom ontologijom.

Osnovna motivacija ovog rada je da se komparativno analiziraju dosadašnja istraživanja koja se odnose na transformaciju relacionih baza podataka u OWL ontologije. Cilj je da se analizom dođe do pretpostavki pomoću kojih bi se u budućem radu predložio konsolidovani postupak za generisanje ontologija, kao osnova za izgradnju potpunih i standardnih ontologija u kontekstu Semantičkog Web-a. U sekciji 2. su predstavljeni različiti pristupi generisanja OWL ontologija iz relacionih baza podataka. Komparativna analiza opisanih pristupa i kratka diskusija sadržana je u Sekciji 3. Sekcija 4. daje zaključak i naznačava pravce daljnih istraživanja.

2. PRISTUPI ZA GENERISANJE OWL ONTOLOGIJA

Sa ciljem dobijanja pregleda aktuelnih istraživanja i komparativne analize, analizirani su sledeći radovi i pristupi:

2.1 Buccela i dr.

Buccella i dr. [11] su predstavili pristup transformacije relacionih baza podataka u OWL ontologiju putem parsiranja SQL-DDL (Structured Query Language - Data Definition Language) koda. Pravila transformacije nisu formalizovana, već su zasnovana na objašnjenima kroz primere. Pristup se sastoji od dva glavna koraka: generisanja izvorne ontologije i nakon toga njenog mapiranja sa nekom već postojećom domenskom ontologijom. Prvo se transformišu tabele bez FOREIGN KEY (dalje FK) ograničenja, a zatim se transformišu tabele sa FK ograničenjima. Tabele bez FK ograničenja transformišu se u ontološke klase. Kolone u tabelama se transformišu u funkcionalne atribute tipa podataka, koje se dodeljuju klasi putem owl:allValuesFrom restrikcije. SQL tipovi podataka se preslikavaju u odgovarajuće XML Schema tipove podataka. Ako kolona poseduje NOT NULL (dalje NN) ograničenje, ono se transformiše u restrikciju kardinalost jednaka 1. PK PRIMARY KEY (dalje PK) ograničenje se takođe transformiše u restrikciju kardinalnost jednaka 1 za pripadajuće atribute tipa podataka. Kod transformacije tabela koje poseduju FK, razgraničavaju se slučajevi kada tabela ima tačno jedan FK, tačno dva FK i slučaj kada tabela ima dva i više FK. Tabele se preslikavaju u klase u svim slučajevima sem kada imaju tačno dva FK i nemaju dodatnih kolona. U tom slučaju tabela se preslikava u u funkcionalni objektni atribut i njemu inverzni objektni atribut. FK ograničenje se transformiše u funkcionalni objektni atribut i njemu inverzni objektni atribut. Ako FK pripada PK, dodatno se definiše restrikcija kardinalnost jednaka 1. U pristupu je takođe opisana transformacija jednostavnih vrednosnih i nabrojivih CHECK ograničenja.

2.2 Li i dr.

Li i dr. [12] su predložili skup pravila za automatsko generisanje OWL ontologija iz podataka dobijenih analizom relacione šeme. Pravila su definisana kombinacijom formalne notacije i engleskog jezika, i njima su opisani postupci generisanja ontoloških komponenti: klasa, atributa, hijerarhije, kardinalnosti i instanci. Tabela sa jednim PK ograničenjem, kao i više tabela koje su povezane istim PK ograničenjem i opisuju jedan entitet, transformišu se u ontološku klasu. Tabela sa dva FK, koja predstavlja vezu između druge dve tabele, transformiše se u par inverznih objektnih atributa. Ako FK ograničenje nije deo PK, transformiše se u objektni atribut. Ako je FK ograničenje deo PK, ono se transformiše u dva međusobno inverzna objektna atributa sa prefiksima has-part i is-part-of. Sve kolone koji se ne mogu transformisati u objektni atribut, transformišu se u atribut tipa podataka. Hijerarhija klasa se definiše pomoću atributa rdfs:subClassOf. Ako kolona poseduje PK ili FK ograničenje, definišu se restrikcije minimalna i maksimalna kardinalost jednaka 1. Ako kolona poseduje NN ograničenje, ono se transformiše u restrikciju minimalna kardinalost jednaka 1. UNIQUE (dalje UQ) ograničenje se transformiše u restrikciju maksimalna kardinalost jednaka 1. Pristup definiše i pravilo za generisanje instanci klasa na osnovu podataka iz baze podataka.

2.3 Astrova

Astrova [10] je u svom radu definisala pravila i dala primere za automatsko generisanje OWL ontologije iz SQL-DDL koda. Transformaciona pravila nisu formalno definisana. Tabele se transformišu u ontološke klase, osim u slučaju kada tabela ima tačno dva FK i nema dodatnih kolona, kada se kreira par međusobno inverznih objektnih atributa. Kolone se transformišu u funkcionalni atribut tipa podataka (maksimalna kardinalnost jednaka 1), osim u slučaju ako kolona ima FK ograničenje. SQL tipovi podataka se preslikavaju u odgovarajuće XML Schema tipove podataka. UQ ograničenje se transformiše u inverzni funkcionalni atribut, a NN ograničenje u restrikciju minimalna kardninalnost jednaka 1. PK ograničenje se transformiše u inverzni funkcionalni atribut i restrikciju minimalna kardinalnost jednaka 1. Ako FK ograničenje nije deo PK, ono se transformiše u objektni atribut i restrikciju owl:allValuesOf. Ako je FK deo PK ograničenja, kreira se objektni atribut i restrikcija kardinalnost jednaka 1. U slučaju da su FK i PK ograničenja ista, transformacijom kreiramo hijerarhiju klasa putem atributa rdfs: subClassOf. CHECK ograničenja se transformiše u vrednosnu restrikciju owl:hasValue i nabrojivi tip podataka putem owl:OneOf elementa. Pristup opisuje i transformaciju podataka iz baze podataka u odgovarajuće instance ontoloških klasa.

2.4 Tirmizi i dr.

Tirmizi i dr. [13] su predstavili sistem za automatsku transformaciju relacionih baza podataka u OWL ontologije definisan u logici prvog reda (eng. *first order logic*). Sistem se sastoji od skupa predefinisanih predikata, funkcija i pravila za transformaciju SQL-DDL koda u OWL komponente. Svaka klasa ili atribut u ontologiji poseduje jedinstveni identifikator upotrebom anotacija. Tabele se transformišu u

ontološke klase u svim slučajevima, sem u slučaju kada imaju tačno dva FK ograničenja i nemaju dodatnih kolona. U tom slučaju tabela se transformiše u međusobno inverzan par objektnih atributa. FK ograničenje se transformiše u međusobno inverzan par funkcionalnih objektnih atributa. Ovo pravilo se ne primenjuje samo u slučaju kada je FK jednak PK, kada se kreira hijerarhija klasa putem atributa rdfs:subClassOf. PK ograničenje se transformiše u inverzni funkcionalni atribut i restrikciju minimalna kardinalnost jednaka 1. NN ograničenje se preslikava u restrikciju kardinalnost jednaka 1. Kolone koje ne pripadaju FK ograničenju transformišu se u funkcionalne atribute tipova podataka. SQL tipovi podataka se preslikavaju u odgovarajuće XML Schema tipove podataka. Pristup takođe opisuje transformaciju nabrojivog CHECK ograničenja putem owl:OneOf elementa.

2.5 Jurić i dr.

Jurić i dr. [14] su predložili okruženje za transformaciju semantike relacionih baza podataka u OWL ontologije. Dobijena ontologija se nakon toga proširuje dodatnom semantikom iz WordNet leksičke baze podataka. Tabele se transformišu u ontološke klase. Sve kolone se transformišu u atribute tipa podataka. SQL tipovi podataka se preslikavaju u odgovarajuće XML Schema tipove podataka. UQ ograničenje se transformiše u restrikciju maksimalna kardinalnost jednaka 1, a NN u minimalna kardninalnost jednaka 1. PK ograničenje se transformiše u inverzno funkcionalni atribut. FK ograničenje se preslikava u par objektnih atributa sa prefiksom haveRelationTo. Zavisno od kardinalnosti relacije, objektni atribut se definiše kao funkcionalni.

2.6 Etminani i dr.

Etminani i dr. [15] su opisali automatski pristup za transformaciju strukture i sadržaja baza podataka u OWL ontologiju. Sve tabela se transfomišu u ontološke klase. U pristupu su tabele podeljene na tabele bez relacija, tabele koje imaju 1:1 relacije, 1:N relacije i M:N relacije. Tabele koje učestvuju u relacijama podložne su dodatnoj transformaciji. NN ograničenje se transformiše u restrikciju minimalna kardinalnost jednaka 1, a UQ ograničenje u inverzni funkcionalni atribut. Proste kolone se transformišu u atribute tipova podataka. SQL tipovi podataka se preslikavaju u odgovarajuće XML Schema tipove podataka. PK ograničenje se transformiše kao NN i UQ ograničenja. Ako se PK sastoji iz više kolona, kreira se posebna klasa za taj PK zajedno sa inverznim funkcionalnim objektnim atributom. FK ograničenje se transformiše u objektni atribut. U pristupu je opisan i redosled transformisanja redova tabela iz baze podataka u instance u ontologiji.

2.7 Alalwan i dr.

Alalwan i dr. [8] su u svom radu predstavili sistem za integraciju baza podataka, čiji osnovni deo čine formalizovana pravila za automatsku transformaciju SQL-DDL koda u OWL ontologiju. Nakon generisanja, moguće je izvršiti validaciju dobijene ontologije. Tabele se transformišu u ontološke klase ili u međusobno inverzan par objektnih atributa. Sve kolone koje ne pripadaju FK transformišu se u atribut tipa podataka. SQL tipovi podataka se preslikavaju u odgovarajuće XML Schema tipove podataka. Hijerarhija klasa se uspostavlja ako je PK jedne tabele istovremeno i FK druge tabele, i ako ne postoje sve vrednosti PK u drugoj tabeli. PK ograničenje se transfomiše u restrikciju kardinalnost jednaka 1 ili se dodaje atribut tipa podataka definiše kao funkcionalan. NN ograničenje se preslikava u restrikciju minimalne kardinalnosti 1, UQ u restrikciju maksimalna kardinalnost jednaka 1. U pristupu se razmatra i CHECK nabrojivo ograničenje pomoću owl:OneOf elementa. FK ograničenje transformiše se u u međusobno inverzan par objektnih atributa sa definisanim domenom i opsegom. Ako se FK referencira na tabelu kojoj pripada, dodaje se restrikcija kardinalnost jednaka 1 na atribut. Rad opisuje i migraciju podataka u dobijenu ontologiju.

2.8 Damljanović i dr.

Damljanović i dr. [16] takođe su opisali pravila za transformaciju SQL-DDL koda u OWL komponente. Sve tabela relacione baze podataka transformišu se u ontološke klase. Komentari elemenata baze podataka preslikavaju se u anotacije elemenata ontologija. Kolone koje nisu deo FK transformišu se u funkcionalne atribute tipa podataka. U slučaju da kolona poseduje nekoliko ograničenja, umesto u atribut, kolona se transformiše u klasu. SQL tipovi podataka se preslikavaju u odgovarajuće XML Schema tipove podataka. NN ograničenje se transformiše u restrikciju minimalna kardinalnost jednaka 1, a UQ ograničenje u ontološku klasu i prateći objektni atribut. PK se transformiše u klasu i prateći inverzno funkcionalan objektni atribut. PK klasa ima restrikciju minimalna kardinalnost jednaka 1 za atribute tipa podataka ili klase kolona. FK se transformiše u funkcionalni objektni atribut. Ako se FK referencira na tabelu kojoj pripada, onda je atribut simetričan. Pristup opisuje CHECK ograničenje pomoću owl:hasValue restrikcije, XML Schema restrikcija i owl:OneOf elementa. Rad opisuje redosled kreiranja elemenata ontologije i transformaciju podataka iz baze podataka u instance ontologije.

2.9 Mohamed i dr.

Mohamed i dr. [17] su predstavili pravila za direktno i automatsko generisanje OWL ontologije iz SQL-DDL koda. Tabele se transformišu u ontološke klase, osim tabela koje predstavljaju vezu između drugih dveju tabela i nemaju dodatnih kolona, kada se one transformišu u međusobno inverzni par objektnih atributa. Kolone se transformišu u atribut tipa podataka sa restrikcijom maksimalna kardinalnost jednaka 1 (ili u funkcionalni atribut). SQL tipovi podataka se preslikavaju u odgovarajuće XML Schema tipove podataka. NN ograničenje se transfomiše u restrikciju minimalna kardinalnost jednaka 1, a UQ ograničenje u inverzni funkcionalni atribut. Pošto je PK kombinacija NN i UQ ograničenja, ono se transformiše po pravilama za transformaciju ta dva ograničenja. FK se transformiše u objektni atribut. Ako je FK deo PK, kreira se i restrikcija kardninalnost jednaka 1. Unarne relacije se preslikavaju u atribut simetričnosti. Referencijalna akcija ON DELETE se transformiše u atribut tranzitivnosti. CHECK ograničenje se transformiše u owl:hasValue restrikciju, kombinaciju restrikcija kardnilnosti, owl:allValuesFrom restrikciju i owl:OneOf elemenat. Pristup opisuje i transformaciju podataka iz baze podataka u ontološke instance.

	Buccella i dr.	Li i dr.	Astrova	Tirmizi i dr.	Jurić i dr.	Etminani i dr.	Alalwan i dr.	Damljanović i dr.	Mohamed i dr.
Transformacija tabela	owl:Class owl:ObjectProperty rdfs:subClassOf	owl:Class owl:ObjectProperty owl:inverseOf rdfs:subClassOf	owl:Class owl:ObjectProperty owl:inverseOf rdfs:subClassOf	owl:Class owl:ObjectProperty rdfs:subClassOf	owl:Class	owl:Class	owl:Class owl:ObjectProperty owl:inverseOf rdfs:subClassOf	owl:Class owl:AllDisjointClasses	owl:Class owl:ObjectProperty owl:inverseOf rdfs:subClassOf
Transformacija kolona	owl:DatatypeProperty owl:FunctionalProperty owl:AllValuesFrom	owl:DatatypeProperty owl:ObjectProperty	owl:DatatypeProperty owl:FunctionalProperty owl:maxCardinality 1	owl:DatatypeProperty owl:FunctionalProperty	owl:DatatypeProperty	owl:DatatypeProperty	owl:DatatypeProperty	owl:Class owl:DatatypeProperty owl:FunctionalProperty	owl:DatatypeProperty owl:FunctionalProperty owl:maxCardinality 1
Transformacija PK ograničenja	owl:cardinality 1	owl:minCardinality 1 owl:maxCardinality 1	owl:InverseFunctionalProperty owl:minCardinality 1	owl:FunctionalProperty owl:cardinality 1	owl:InverseFunctionalProperty owl:minCardinality 1	owl:Class owl:ObjectProperty owl:InverseFunctionalProperty owl:minCardinality 1	owl:FunctionalProperty owl:cardinality 1	owl:Class owl:ObjectProperty owl:InverseFunctionalProperty owl:minCardinality 1 owl:cardinality 1	owl:InverseFunctionalProperty owl:minCardinality 1
Transformacija FK/ REFERENCES ograničenja	owl:ObjectProperty owl:FunctionalProperty owl:inverseOf	owl:ObjectProperty owl:minCardinality 1 owl:maxCardinality 1	owl:ObjectProperty owl:AllValuesFrom owl:cardinality 1	owl:ObjectProperty owl:FunctionalProperty owl:inverseOf owl:minCardinality 1	owl:ObjectProperty owl:FunctionalProperty	owl:ObjectProperty	owl:ObjectProperty owl:inverseOf owl:cardinality 1	owl:ObjectProperty owl:FunctionalProperty owl:SymmetricProperty	owl:ObjectProperty owl:AllValuesFrom owl:minCardinality 1 owl:cardinality 1 owl:SymmetricProperty owl:TransitiveProperty
Transformacija NOT NULL ograničenja	owl:cardinality 1	owl:minCardinality 1	owl:minCardinality 1	owl:cardinality 1	owl:minCardinality 1	owl:minCardinality 1	owl:minCardinality 1	owl:minCardinality 1	owl:minCardinality 1
Transformacija UNIQUE ograničenja	Nije opisana	owl:maxCardinality 1	owl:InverseFunctionalProperty	owl:InverseFunctionalProperty	owl:maxCardinality 1	owl:InverseFunctionalProperty	owl:maxCardinality 1	owl:Class owl:ObjectProperty owl:InverseFunctionalProperty	owl:InverseFunctionalProperty
Transformacija CHECK ograničenja	owl:AllValusFrom owl:OneOf	Nije opisana	owl:hasValue owl:OneOf	owl:OneOf	Nije opisana	Nije opisana	owl:OneOf	owl:hasValue owl:OneOf XML Schema restrikcije	owl:hasValue owl:minCardinality owl:maxCardinality owl:OneOf owl:AllValuesFrom
Transformacija SQL tipova podataka	XML Schema DataTypes	Nije opisana	XML Schema DataTypes	XML Schema DataTypes	XML Schema DataTypes	XML Schema DataTypes	XML Schema DataTypes	XML Schema DataTypes	XML Schema DataTypes
Kreiranje instanci	Nije opisano	Opisano	Opisano	Nije opisano	Nije opisano	Opisano	Opisano	Opisano	Opisano
Kreiranje anotacija	Nije opisano	Nije opisano	Nije opisano	rdfs:label	rdfs:comment	Nije opisano	Nije opisana	rdfs:comment	rdfs:comment rdfs:label
Implementacija	Nije opisana	Ontology Learning Framework	Nije opisana	Nije opisana	Java prototype tool	Jena, Protégé, MySQL	SQL2OWL Prototype	Protégé, Oracle	Nije opisana
Ulazni podaci za transformaciju	SQL-DDL	OLF Database Analyzer	SQL-DDL	SQL-DDL	Java prototype tool - JDBC	Jena	SQL-DDL	SQL-DDL	SQL-DDL
Preduslovi	Nisu opisani	Relaciona šema je najmanje u 3NF	Nisu opisani	Relaciona šema je najmanje u 3NF	Nisu opisani	Nisu opisani	Relaciona šema je najmanje u 3NF	Nisu opisani	Nisu opisani

Tabela 1. Komparacija pristupa za generisanje OWL ontologija iz relacionih baza podataka

3. KOMPARACIJA PRISTUPA

Tabela 1. sadrži komparaciju transformacija pojedinih elemenata relacione baze podataka u odgovarajuće elemente ontologije, kao i komparaciju preduslova, ulaznih podataka za transformaciju, i opisa implementacije samih pristupa. U tabeli vidimo da većina pristupa izvršava transformaciju elemenata baze podataka na skoro identičan način i pod skoro identičnim uslovima, i da se transformacijom generišu skoro isti ontološki elementi. Analizom su uočeni i brojni nedostaci predloženih pristupa:

- Nedostatak implementacije pristupa [10][11][13][17].
- Pristupi su objašnjeni kroz primere i ne prezentuju formalno rešenje, što dovodi do dvosmislenosti [10][11][14][15][16][17].
- Pristupi transformišu samo strukturu baze, ne i podatke[11][13][14].
- Transformacija pojedinih elemenata baze podataka je svedena na transformaciju prostih primera.
- Odsustvo transformacije pojedinih ograničenja[11] [12][14][15].
- Odsustvo transformacije referencijalnih akcija u svim pristupima sem [17].
- Odsustvo transformacije okidača u svim pristupima.
- Nedostatak identifikacije atributa simetričnosti i tranzitivnosti u svim pristupima sem [16][17].
- Nedostatak otkrivanja nasleđivanja [14][15][16].
- Nedostatak analize gubitka semantike nakon transformacije u svim pristupima.

4. ZAKLJUČAK

Pošto se ogroman deo podataka na Web-u nalazi uskladišten u relacionim bazama podataka, uspeh Semantičkog Web-a umnogome zavisi od njegove sposobnosti za efikasnu integraciju sa relacionim bazama podataka. Jedan od primera te integracije predstavlja i generisanje OWL ontologija na osnovu strukture i sadržaja relacionih baza podataka. U ovom radu su opisani, analizirani i upoređeni aktuelni pristupi za generisanje OWL ontologija. I pored uočenih nedostataka, poređenje je pokazalo da se u većini pristupa transformacija strukture i sadržaja baza podataka odvija na skoro identičan način i pod skoro identičnim uslovima. To predstavlja solidnu osnovu, da kroz naredna istraživanja predložimo jedan opšteprihvaćeni, formalizovani i konsolidovani pristup generisanja OWL ontologija iz relacionih baza podataka.

Fokus rada na budućem konsolidovanom pristupu treba da bude na sledećim problemima: formalizovanje uslova transformacije, implementacija modela nasleđivanja, prepoznavanje i implementacija simetričnih i tranzitivnih relacija, okidača i referencijalnih akcija, implementacija potpune semantike CHECK ograničenja, rad na aspektima praktične upotrebljivosti generisanih ontologija, problem mapiranja dobijene ontologije sa postojećim domenskim ontologijama, problem gubitka semantike nakon transformacije itd.

LITERATURA

[1] http://www.w3.org/2001/sw/

[2] G. Antoniou and F.Van Harmelen, "A Semantic Web Primer", 2nd edition, Cambridge, MA, USA: The MIT Press 2008.

[3] http://www.w3.org/standards/semanticweb/ontology

[4] OWL 2 Web Ontology Language Document Overview, W3C Recommendation, Oct. 2009. Available: http://www.w3.org/TR/2009/REC-owl2-overview-20091027/

[5] B. He, M. Patel, Z. Zhang and K. Chang , "Accessing the deep web", Communications of the ACM, vol. 50, issue 5, pp. 94–101, May 2007.

[6] S. Sahoo, W. Halb, S. Hellmann, K. Idehen, T. Thibodeau, S. Auer, J. Sequeda and A. Ezzat, "A Survey of Current Approaches for Mapping of Relational Databases to RDF", W3C RDB2RDF XG Incubator Report, 2009. W3C Recommendation, Oct. 2009.

[7] http://www.w3.org/2001/sw/rdb2rdf

[8] N. Alalwan, H. Zedan and F. Siewe, "Generating OWL ontology for database integration", presented at the Third International Conference on Advances in Semantic Processing (SEMAPRO '09). pp. 22-31, Oct. 2009.

[9] J. Sequeda, S. Tirmizi and D. Miranker, "SQL Databases are a Moving Target", in Position Paper for W3C Workshop on RDF Access to Relational Databases, Cambridge, USA, 2007.

[10] I. Astrova, „Rules for mapping SQL relational databases to OWL ontologies", In M.A.Sicilia and M.D. Lytras, *Metadata and Semantics*, p. 415-424. New York: Springer 2009.

[11] A. Buccella, M. Penabad, F. Rodriguez, A. Farina and A.Cechich, "From Relational Databases to OWL Ontologies", in Proceedings of the Sixth National Russian Research Conference, Pushchino, Russia, 2004.

[12] M. Li, X. Du and S. Wang, "Learning ontology from Relational Database", in Proceedings of the Fourth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, pp.3410-3415, Guangzhou, China, 2005.

[13] S.H. Tirmizi, J. Sequeda and D. Miranker, "Translating SQL Applications to the Semantic Web", in Proceedings of the Nineteenth International Databases and Expert Systems Application Conference (DEXA2008), Turin, Italy, 2008.

[14] D. Jurić, M. Banek, Z. Skočir, "Uncovering the Deep Web: Transferring Relational Database Content and Metadata to OWL Ontologies", In Proceedings of the 12th international conference on Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems (KES 2008), pp. 456 – 463, Zagreb, Croatia, 2008.

[15] K. Etminani, M. Kahani, N. A. Raeeji Yanehsari, "Building Ontologies from Relational Databases", First International Conference of Networked Digital Technologies (NDT2009), Ostrava, Czech Republic, pp.555-557, July 2009.

[16] A.Damljanović and S.Marić, "Generating OWL ontologies from relational databases", 18. Telecommunications Forum - TELFOR 2010, Belgrade, Serbia, 23-25.11. 2010.

[17] H.Mohamed, Y.Jincai,J.Qian, "Towards Integration Rules of Mapping from Relational Databases to Semantic Web Ontology", 2010 International Conference on Web Information Systems and Mining, pp. 335-339, Sanya, China, 2010.