

ONTOLOŠKA HETEROGENOST KAO PREPREKA ZA INTEGRACIJU ZNANJA UNUTAR SEMANTIČKOG WEBA

ONTOLOGICAL HETEROGENEITY AS AN OBSTACLE FOR KNOWLEDGE INTEGRATION IN THE SEMANTIC WEB

Marko Horvat¹, Ivan Dunder², Sergej Lugović¹

¹Tehničko veleučilište u Zagrebu

²Sveučilište u Zagrebu, Filozofski fakultet

Sažetak

Semantički web, kao tehnološka paradigma koja određuje pravce razvoja World Wide Weba, privukla je veliku i raznoliku zajednicu obrazovnih i istraživačkih institucija, pa i poslovnih tvrtki, koje dijele zajedničko uvjerenje da će semantički web preoblikovati način kako World Wide Web funkcionira te kako se koristi. U radu je opisana revolucionarna ideja paradigme semantičkog weba kao i njezini postulati koji se temelje na formalnoj logici i automatiziranom rasuđivanju. Navedeni su programski jezici i druge tehnologije koje omogućuju realizaciju semantičkog weba. Također, naznačeni su najvažniji alati za praktičnu implementaciju semantičkog weba. Analizirani su glavni izazovi koji sprečavaju potpunu realizaciju paradigme semantičkog weba.

Ključne riječi: *semantički web, ontologije, baze znanja, formalna logika, automatizirano rasuđivanje, RDF, OWL*

Abstract

The Semantic Web as a World Wide Web trend setting technological paradigm has attracted a large and diverse community of educational and research institutions, as well as enterprise companies, all sharing a common belief that one day the Semantic Web will reshape the way the current World Wide Web functions and is being used. The groundbreaking idea behind the Semantic Web paradigm is described together with its formal logic and automated reasoning background. The enabling programming languages and other computer technologies are specified. Additionally, the most important tools for practical implementation of the Semantic

Web are listed. Major challenges preventing the complete realization of the Semantic Web paradigm are analyzed.

Keywords: *semantic web, ontologies, knowledge bases, formal logic, automated reasoning, RDF, OWL*

1. Uvod

2. Introduction

Semantički web je proširenje koncepta World Wide Weba (WWW) u kojemu je definirana semantika informacija i usluga sa svrhom ostvarenja jednoznačne razmjene informacija između osoba i računala [1–4]. Cilj semantičkog weba je opisati informacije, bilo koje – primjerice, web stranice, multimediju, tekstne i numeričke podatke, zapise u bazama podataka, web servise, programska sučelja – tako da ih istodobno mogu razumjeti i koristiti ljudi i računala [1–4]. U tom smislu možemo reći da je semantički web novi način razmišljanja o optimalnom načinu predstavljanja, korištenja i razmjene podataka ili znanja na webu, prvenstveno između računala, ali također između ljudi i računala. Zbog ovih razloga semantički web je od velikog interesa znanstvenicima, gospodarstvenicima, ali i visokim obrazovnim ustanovama – fakultetima i veleučilištima – jer pružaju budućim inženjerima znanja i vještine koja će biti relevantna na tržištu rada sutrašnjice.

Formalno gledano semantički web sastoji se od tri međusobno povezana segmenta [5]:

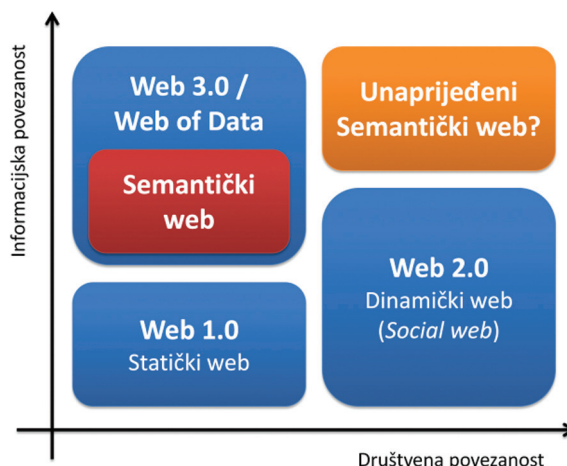
1. Skup teorija, principa i aksioma
2. Skup računalnih tehnologija, programskih

jezika i alata koje omogućuju njegovu implementaciju

3. Zajedničke radne grupe za definiranje vezanih koncepata i izvedbenih tehnologija koja organizirano djeluje pod okriljem društva IEEE.

Osim semantičkog weba često možemo čuti i za pojam Web 3.0. Makar možemo koristiti oba termina, bitno je ne napraviti grešku i posve izjednačiti Web 3.0 i semantički web. To nisu istoznačnice. Web 3.0 je kudikamo širi koncept koji je prvenstveno prihvaćen u IT industriji, dok na semantičkom webu ponajprije rade stručnjaci, istraživači i inženjeri (Slika 1). U tom pogledu korisno je razgraničiti pojmove Web 1.0, Web 2.0 i Web 3.0 koji se često koriste u stručnoj literaturi. Pojam Web 1.0 prvobitno nije bio potreban, odnosno nije ni postojao, sve dok se nisu pojavile nove paradigme izrade i korištenja weba koje su zbog svojih zajedničkih značajki i jednostavnijeg razlikovanja od starih tehnologija skupno obuhvaćene u novi pojam Web 2.0. Možemo reći da je Web 2.0 termin za trend korištenja različitih web tehnologija u svrhu poboljšanja individualne i grupne produktivnosti, razmjene informacija i, možda najvažnije, kolaboracije između različitih korisnika Interneta. Web 2.0 je uveo društveno računarstvo (eng. *social computing*) u kojemu se dinamički formiraju, definiraju, i redefiniiraju *on-line* virtualne zajednice, wiki (otvoreni) forumi, blogovi, i brojne druge usluge utemeljene na webu za multimodalnu razmjenu informacija i dokumenata. U smislu potrebno je gledati i na Web 3.0 ne kao puku evoluciju Weba 2.0, već na posve novu paradigmu i način razmišljanja o mogućnostima uporabe web tehnologija i cjelokupnog weba.

Svi segmenti semantičkog weba se kontinuirano razvijaju, ali neki su dijelom već i posve funkcionalni. Od 2013. god. semantički web integriran je u još širi koncept *Web of Data* [6]. Kao što je poznato, na današnjem webu većina informacija namijenjena je ljudima – stranice su dizajnirane tako da budu kvalitetno dizajnirane, zanimljive, važan sadržaj brzo uočljiv na raznim uređajima različitih veličina ekrana, korisnici ih moraju intuitivno i učinkovito koristiti itd. Vizualni sadržaj, font, položaj teksta, linka ili slike na ekranu, odabir dinamičkih efekata, navigacije... svi imaju učinak na korisnika, tj.



Slika 1 Međusobni odnosi pojmova Web 1.0, Web 2.0, Web 3.0 i semantički weba u kontekstu razina društvene i informacije povezanosti koje omogućuju, s osvrtom na moguću pojavu novih paradigmi uporabe web tehnologija.

Figure 1 Relationships between terms Web 1.0, Web 2.0, Web 3.0 and Semantic web in the context of social and information relatedness levels which they enable, and with relation to a possible development of new paradigms in usage of web technologies.

čovjeka. Izazivaju njegovu pažnju i emocije. Privlače ga na uporabu web stranica ili odbijaju. S računalom, naravno, to nije slučaj. Računalo “razumije” samo izvorni programski kod stranica. Čak i ako koristimo *web scrapere* opet ih moramo prilagoditi strukturi određenih stranica i ne možemo izvući sve mnogobrojne i raznolike informacije koje čovjek dobiva samo jednim pogledom na isti sadržaj. semantički web bi to trebao promijeniti [1]. O semantičkom webu možemo razmišljati kao o platformi za razmjenu informacija na jedinstven i uvijek jednak način, bez potrebe za posebnim protokolima, formatima ili programskim sučeljima. Sve stranice, ako žele, mogu surađivati, dijeliti sadržaj svojih baza podataka i usluge. Sada se za svaka dva sustava koja žele surađivati mora dodatno razviti posebna programska podrška (npr. dijeljeni web servisi ili API). U semantički web takva funkcionalnost je već ugrađena. Definirani su i mehanizmi određivanja vjerodostojnosti podataka i povjerenja u njihovo podrijetlo (eng. *data provenance*) kako bi svatko mogao za sebe odijeliti pogrešne i nepotrebne podatke [7].

Osnovna karakteristika, ujedno i prednost, semantičkog weba je opis informacija pomoću

logike jer se tako omogućava opis dokumenata, podataka i svog znanja pomoću univerzalnih logičkih izraza, a ne raznolikih vlastitih (eng. *proprietary*) formata. Zbog toga je uz pomoć besplatno dostupnih usluga za automatizirano rasuđivanje (rasuđivača, eng. *reasoner*) moguće izvođenje novog (implicitnog) znanja iz postojećeg (eksplicitnog) znanja, odnosno upita nad bazom znanja. Drugim riječima, pomoću semantičkog weba moguće je automatsko zaključivanje u bazama znanja koje zamjenjuje standardne upite nad, recimo, SQL bazama podatka i dubinsku analizu podataka (eng. *data mining*). Na svu sreću svi potrebni alati: uređivači, repozitoriji i tražilice podataka, rasuđivači, ljske ekspertnih sustava, radni okviri, različiti korisni *plugin*-ovi, pa i same već gotove baze znanja, već su dostupne na webu i to gotovo uvijek besplatno.

2. Razvoj vizije semantičkog weba

2. *Development of Semantic Web vision*

Tim Berners-Lee je idejni tvorac “vizije semantičkog weba” koja je opisana u članku objavljenom 2001. god. u časopisu Nature [8]. Pa ipak, unatoč preciznom opisu izložene ideje, on se suzdržao od eksplicitne definicije tehnologija i alata, što bi oni trebali raditi, niti je ulazio u bilo kakve detalje, već je na općenit način opisao što bi se trebalo napraviti u smislu kontinuiranog razvoja weba i unapređenja njegovih mogućnosti. Kako je naveo, razlozi definiranja koncepta semantičkog weba su uvođenje univerzalnog medija zasnovanog na logici za prijenos podataka, informacija i razmjenu znanja. Već tada, dakle prije 14 godina, Bernards-Lee je ustvrdio da su razvijene sve tehnologije bitne za razvoj web aplikacija te da je potrebno nastaviti daljnji razvoj prema drugačijim paradigmama [8].

U prvom redu radi se o intenzivnijem i opsežnijem korištenju XML-a za efikasni prijenos informacija između heterogenih sustava koji međusobno komuniciraju na webu. Na temelju XML-a definirao bi se univerzalni komunikacijski protokol za razmjenu informacija.

Postepeno tehnologija mora omogućiti korištenje *samoopisujućih dokumenata* [8], odnosno dokumenata koji osim svojih podataka (teksta, slike, videa, zvuka, ...) su opisani i sa pripadnim metapodacima te se mogu koristiti u univerzalnoj

razmjeni podataka između sustava (M2M, web servisi), pa čak i za renderiranje stranica (npr. pomoću CMS-a) bez potrebe za specijaliziranim formatima. Svi web servisi bi mogli koristiti isti API. Pomoću zajedničke platforme omogućuje se teorijski neograničena razmjena informacija između svih korisnika na webu, bez potrebe razvoja novog programskog koda, prilagođavanja aplikacija i aplikativnih sučelja, modifikacija baza podataka, odnosno pukom razmjenom informacija i dokumenata.

3. Ontologije

3. *Ontologies*

Ambicioznu viziju semantičkog weba nužno je implementirati, a put do realizacije nije posve banalan. Stoga, da bi se samoopisujući dokumenti mogli praktično izraditi bilo je potrebno posegnuti u svijet matematičkog i logičkog razmišljanja. Ontologije su krajnja realizacija vizije semantičkog weba i predstavljaju krajnji mehanizam za izradu samoopisujućih dokumenata i dohvaćanje informacija u bazama znanja. Ontologije su izvorno pojam iz filozofije i povezane su sa teorijom ili istraživanjem bitka, ali u računarstvu su puno više “opipljive” i razumljivije (barem programerima, ako već ne i filozofima). Ukratko, ontologije su opis koncepta, svojstava i odnosa u bazi znanja [9]. Koncept možemo donekle poistovjetiti sa razredom nekog objektno-orijentiranog jezika. Koncept ima svoju definiciju (npr. “ime=Automobil”) i neka svojstva (npr. “Boja”) koje imaju određena vrijednost (npr. “Boja=Crvena”). Koncept je u odnosu sa drugim konceptima, više (roditeljima) ili manje općenitim (djecom) – Automobil je Vozilo, a “VW Buba” je vrsta Automobila – pomoću relacije IS-A (“jest” ili “je”) ili drugih relacija s drugačijom semantikom [1]. Primjer taksonomije znanja izrađene isključivo pomoću koncepta iz WordNet semantičke mreže [10] i IS-A semantičkih relacija prikazan je na Slici 3.

Ontološki koncepti mogu imati neograničeno mnogo naziva, svojstava i relacija. Neka svojstva mogu biti jednostavna, npr. cjelobrojne vrijednosti i nizovi znakova, a druga se mogu odnositi na pojedince (instance) koncepta ili logičke izraze koncepta. Pomoću takvih i još složenijih tvrdnji utemeljenih na formalnoj opisnoj logici moguće je izrađivati taksonomije i mreže znanja koje mogu

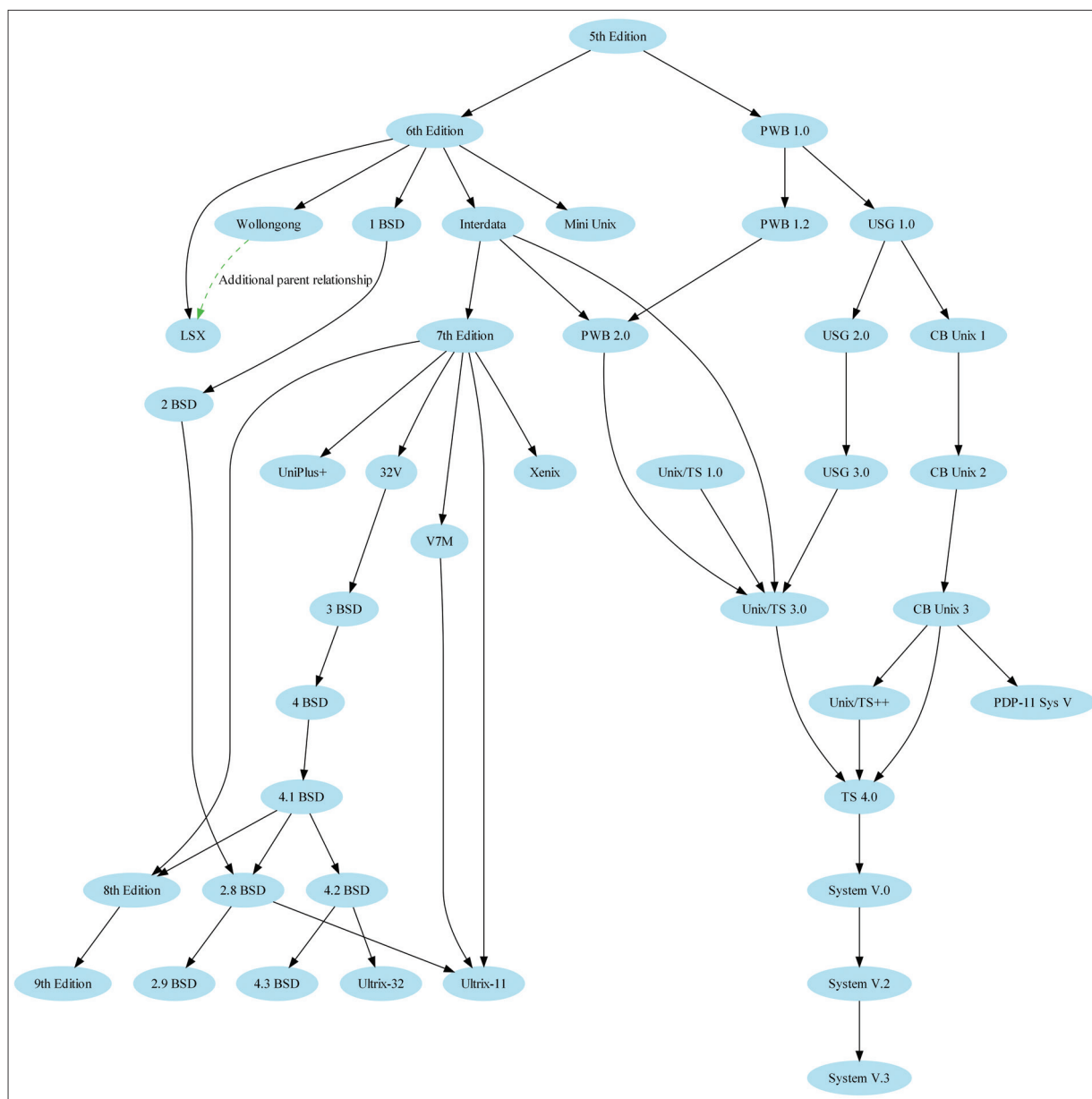
nadomjestiti baze podataka, a nude brojne prednosti. Pri tome moguće je odabrati matematičku složenost i odlučljivost logičkog formalizma koji se koristi u definiranju ontologije.

3.1 Opisna logika

3.1 Description logic

Opisna logika (eng. *description logic*) [9] je formalni temelj i logička osnova ontologija. Zbog oslanjanja na opisnu logiku ontološke baze znanja,

i posljedično semantički web kao utjelovljenje ontoloških tehnologija na webu, su fundamentalno drugačije od svih ostalih struktura znanja uključujući relacijske baze podatka ili objektno –orijentirane konstrukte. Ukratko, opisna logika omogućuje ontološkim bazama znanja ono što druge baze vrlo teško ili nikako ne mogu učiniti. Opisna logika je namijenjena terminološkom semantičkom opisu neke domene i zaključivanju i omogućuje lako obradivo rasuđivanje (eng. *tractable reasoning*) [11]. To je zapravo



Slika 2 Povijest razvoja operativnih sustava predstavljena kao hijerarhija koncepata u WordNet lingvističkoj ontologiji. Ovakve taksonomije koncepata su aciklični usmjereni grafovi.

Figure 2 Development history of operating system represented as a concept hierarchy in WordNet linguistic ontology. Concept taxonomies such as this are acyclic graphs.

zajednički naziv za obitelj formalizama za predstavljanje znanja u kojima se definiraju relevantni koncepti u domeni od interesa, njihova svojstva, relacije između koncepata, pojedinci u domeni od interesa i relacije između pojedinaca. Osnovna karakteristika, ujedno i prednost, opisne logike je semantika zasnovana na logici jer ona omogućava opis domene pomoću logičkih izraza. Zbog toga je uz pomoć usluga za automatizirano rasuđivanje (rasuđivača, eng. *reasoner*) moguće izvođenje novog (implicitnog) znanja iz postojećeg (eksplicitnog) znanja.

Dva važna svojstva svake opisne logike su:

1. Odlučljivost (odredivost, eng. *decidability*)
2. Složenost (eng. *complexity*)

Važna kvaliteta opisne logike jest da pri rasuđivanju posjeduje svojstvo terminacije (odlučljivosti ili odredivosti), odnosno da može dati odgovor na svaki mogući upit u konačnom vremenu. Dakako, svojstvo terminacije ne implicira postizanje odgovora u stvarnom (ili prihvatljivom) vremenu za praktične primjene kao što je dohvaćanje multimedijских pobuda, pa je stoga u opisnoj logici vrlo važna i složenost postupka rasuđivanja.

Važno je spomenuti razlike između opisnih logika i logike prvog reda (eng. *first-order logic*, FOPL). Opisna logika i FOPL razlikuju se u četiri bitna svojstva. Opisna logika djeluje nad konačnom domenom, dok FOPL ne. Opisna logika definira samo unarne i binarne predikate, dok FOPL ima n-arne predikate. FOPL ima varijable, dok ih opisna logika nema. Naposljetku, ovisno o semantici opisne logike ona može biti odlučljiva ili neodlučljiva, dok je FOPL poluodlučljiva. Također možemo reći da opisna logika ima svojstvo terminacije, dok FOPL nema. Kažemo da je neki formalni sustav poluodlučljiv ako u konačnom vremenu može za teoreme koji su istiniti dokazati da su istiniti, a za teoreme koji nisu istiniti ne nađe nužno odgovor u konačnom vremenu da su neistiniti. Prema tome, ako je opisna logika odlučljiva ona će uvijek u konačnom vremenu dokazati istinitost istinitih teorema i neistinitost neistinitih, dok neodlučljiva opisna logika u konačnom vremenu ne može nužno dokazati istinitost, odnosno neistinitost, niti istinitih niti neistinitih teorema.

Odlučljivost i složenost rasuđivanja uvelike ovise

o odabranoj izražajnosti formalizma u bazi znanja. Veoma ekspresivni (izražajni) oblici opisne logike mogu imati veoma veliku složenost izvođenja (čak i do razine neodlučljivosti), dok oblici sa slabijom izražajnom moći unatoč vrlo efikasnom izvođenju često nisu dovoljno ekspresivni da bi se određeni problem mogao opisati na zadovoljavajući način. Stoga je veoma važno pri dizajniranju baze znanja postići kompromis između odlučljivosti, složenosti i ekspresivnosti koji će biti optimalno prilagođen problemu u promatranom domeni.

3.2 Semantike otvorenog i zatvorenog svijeta

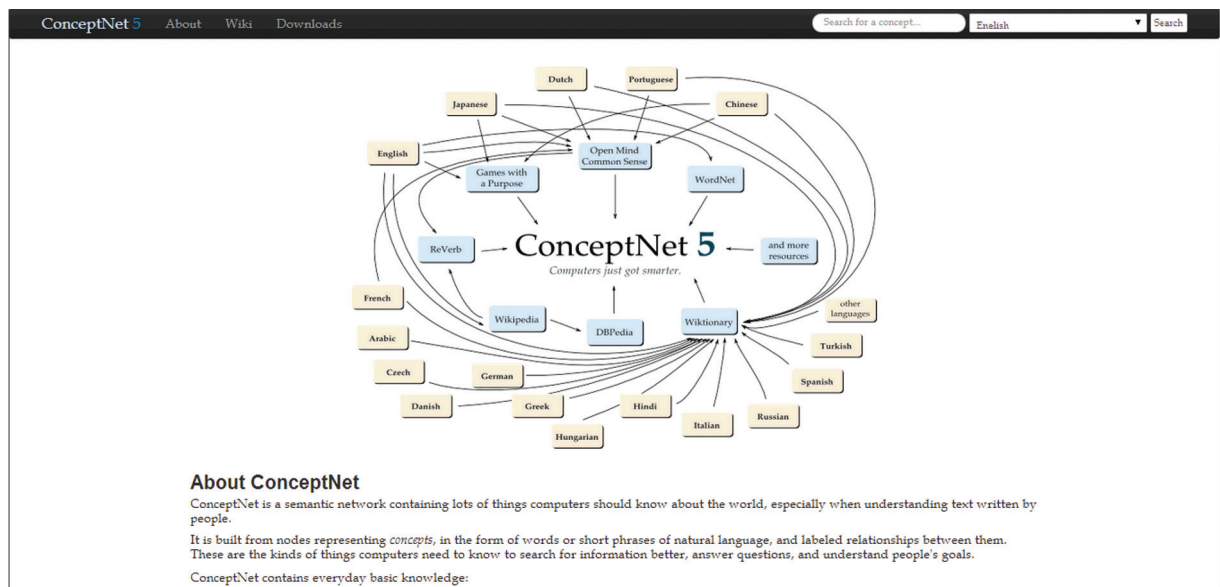
3.2 *Open and closed world semantics*

Opisna logika, pa time i semantički web, koristi pretpostavku otvorenog svijeta (eng. *open world assumption*) [9]. Pretpostavka otvorenog svijeta dozvoljava nesavršenost baze znanja, odnosno da određena informacija u bazi znanja potencijalno nedostaje. Drugim riječima, pretpostavka otvorenog svijeta podrazumijeva da svijet nije u potpunosti opisan tvrdnjama pohranjenim u bazi znanja. Takva semantika suprotna je pretpostavci zatvorenog svijeta (eng. *closed world assumption*) koja podrazumijeva da je informacija u bazi znanja potpuna i da je svijet u potpunosti opisan činjenicama koje se nalaze u bazi znanja [12]. Za razliku od pretpostavke otvorenog svijeta, kod zatvorenog svijeta se podrazumijeva da tvrdnje koje nisu navedene u bazi znanja (eksplicitno znanje) ili se do njih ne može doći rasuđivanjem (implicitno znanje) nisu istinite. Kod zatvorenog svijeta ne postoji neodlučljivost jer se na svako postavljeno pitanje može dobiti odgovor. S pretpostavkom zatvorenog svijeta je povezano pravilo rasuđivanja "negacija kao neuspjeh" (eng. *negation as failure*, NAF) [13]. Ovo pravilo tvrdi da ako neku tvrdnju p nije moguće dokazati onda je negacija te tvrdnje NOT p točna.

4. Tehnologije semantičkog weba

4. *Semantic Web technologies*

Ontologije u okviru semantičkog weba se danas obično opisuju u jezicima RDF (eng. *Resource Description Framework*), RDFS (eng. *Resource Description Framework Schema*) i OWL



Slika 3 Ontologija općeg znanja ConceptNet 5 je razvijena na MIT-u i omogućuje izvođenje upita kroz jednostavno web sučelje.

Figure 3 Commonsense ontology ConceptNet 5 was developed at MIT and enables building queries with a simple web user interface.

(eng. *Web Ontology Language*) koji se temelje na XML-u, a mogu se serijalizirati u JSON, N3 i Turtle formatima [1]. Naravno, postoje i drugi ontološki jezici, ali RDF, RDFS i OWL su najviše zastupljeni. RDF služi za prijenos podataka, RDFS za opis terminologije (rječnika) u bazi znanja, a OWL je napredni (ekspresivniji) jezik za prijenos informacija i znanja unazad kompatibilan sa RDF -om. Osim ovih jezika svakako treba spomenuti SWRL (eng. *Semantic Web Rule Language*) [14] za zapisivanje pravila ("IF-THEN") i SPARQL (eng. *Simple Protocol and RDF Query Language*) u za postavljenje upita nad bazom znanja [15]. SPARQL je po sintaksi dosta sličan SQL-u ali puno je ekspresivniji i radi nad podacima u RDF formatu. Svatko može izraditi svoju ontologiju (ekstenzija.rdf ili.owl) i staviti je na Internet. Trenutačno postoje tisuće raznoraznih ontologija za svakakvu upotrebu – od ontologija općeg znanja, preko medicine, psihologije, lingvistike, financija, računovodstva, strojarstva, fizike, astronomije do domenskih ili specijaliziranih ontologija za neki konkretni uređaj ili sustav poput automobila ili tvornice. Izrada baze znanja nije trivijalan posao – često se

moraju kontaktirati domenski stručnjaci, nekako izvući i zapisati njihovo znanje (tzv. inženjering znanja), stoga je korisno upotrijebiti već gotove ontologije. Kako bi korisnici mogli pronaći ontologiju koja im treba već su razvijene tražilice ontologija poput Sindice, Swoogle.com i Hakia. Ontologije mogu biti vrlo velike, pogotovo općeg znanja kao npr. WordNet [10], SUMO [16] i ConceptNet [17] od kojih svaka ima više od 100.000 činjenica.

Smisao ontologija jest da znanje jednom zapisano je vrlo vrijedno, do znanja se teško dolazi te se mora moći ponovno koristiti i spajati s drugim. Iz ovog razloga uvedeni su REST API semantički prospojnici semantičkog weba kao što je Watson [18]. Postoje i korisne transformacije *online* baza podataka iz "običnog" weba u semantički kao što su DBpedia [6], Wikidata [19], Linking Open Data [20] i Freebase [21] ili Sindice [22] koje su zapravo prijevodi Wikipedie i drugih baza podataka u ontološki utemeljene baze znanja koje podržavaju RDF, OWL i SWRL jezike. Uspješan praktični primjer takve transformacije i apstrakcije znanja je DBpedia *endpoint* (s primjerima) za unos upita u SPARQL-u [23].

5. Uređivači ontologija i usluge za rasuđivanje

5. *Ontology editors and reasoners*

Za razvoj RDF/OWL ontologija u praksi se najčešće koristi uređivač Protégé razvijen na Sveučilištu Stanford. Protégé je pisan u računalnom jeziku Java i ima proširivu arhitekturu. Potpuno je besplatan i nadogradiv kroz otvoreno sučelje za razvoj programske podrške (eng. *Application Programming Interface*, API). Za ovaj alat je razvijen velik broj otvorenih dodataka (eng. *plugins*). Možda najkorisniji alati su ekspertna ljuska Jess [24] za izvršavanje SPARQL upita i rezoniranje sa SWRL pravilima, OWL API [25] i Jena Java API [26] za interoperabilnost i razvoj vlastitih alata koji podatkovno komuniciraju s Protégé radnom okolinom (uključujući i integrirane rasuđivače), OntoViz [27] i Jambalaya [28] za vizualizaciju ontoloških struktura, FuzzyOWL2 [29] za rezoniranje u neizrazitoj logici i drugi. U instalaciji s Protégéom dostupan je i veliki repozitorij slobodnih dodataka i ontologija koje se mogu koristiti za edukativne i istraživačke namjene.

6. Zaključak

6. *Conclusion*

Razvoj semantičkog weba ne napreduje prvotno zamišljenom brzinom jer se u njemu isprepliću različiti interesi, iskustva i znanja znanstvenika, stručnjaka, programera i gospodarstvenika. Razvoj semantičkog weba od početka nadzire i vodi World Wide Web Consortium (W3C). Upravljanje razvojem na jednom jedinstvenom mjestu je svakako pozitivno i podupire standardizaciju, ali je istodobno sporo jer je vrlo teško efikasno uskladiti heterogene interese svih uključenih dionika. Primjetno je da razvoj teorije i implementacije nisu međusobno usklađeni. Razina složenosti korištenih logičkih teorija je daleko ispred dostupnosti funkcionalnih alata semantičkog weba.

Takav jaz se vremenom povećava umjesto da se smanjuje. Upravo ovdje leži najveći izazov i opasnost da semantički web, unatoč svojim jedinstvenim prednostima neće nadomjestiti starije tehnologije za skladištenje i obradu podataka. Pa ipak, nije sve negativno, dapače, za semantički web već postoji mnogo raznovrsnih baza znanja te vrlo sposobnih alata. Velike medijske kuće poput BBC-ja i drugih institucija već nekoliko godina rabe semantički web jer razmišljaju dalekovidno i mogu raspoznati nadolazeće globalne informatičke trendove. Pomoću BBC-ovog semantičkog servisa [30] moguće je automatski dohvaćati cjelokupni program te medijske kuće, inteligentno pretraživati emisije po desetcima dimenzija i složene podatke koji se neprestano osvježavaju trenutačno integrirati s drugim bazama podataka. Krajnji rezultat je veća vidljivost medijskih programa, veći utjecaj, veći značaj, veći interes, veća prodaja i u konačnici veći profit. Dioničari su time sretni, šefovi zadovoljni, a programeri su zasigurno bili u pravu kad zakoračili u svijet semantičkog weba i naučili nove tehnologije predstavljanja znanja i automatiziranog rasuđivanja. Na kraju, važno je naglasiti da su brojne visokoškolske ustanove svjesne inherentnih i dalekosežnih prednosti tehnologija semantičkog weba te su u svoje nastavne programe uvele kolegije povezane sa otkrivanjem znanja iz skupova podataka, dubinskom analizom podataka, strojnim učenjem, obradom formalnih jezika, tehnikom ekspertnih sustava, odnosno relevantnim područjima računalne inteligencije koje studenti, i budući mladi stručnjaci, moraju biti svjesni ako žele biti kvalitetni inženjeri koji se sa svojim vještinama uspješno nadmeću na suvremenom tržištu rada. Možemo opravdano očekivati da će ovi nastavni trendovi u budućnosti biti još više dominantni. Naše visokoškolske ustanove trebale bi se vrlo brzo prilagoditi te uvrstiti ove napredne i neminovno nadolazeće tehnologije u vlastite nastavne planove i programe.

7. Reference

7. References

- [1] Allemang, D., Hendler, J., "Semantic Web for the Working Ontologist, Second Edition: Effective Modeling in RDFS and OWL", Morgan Kaufmann, 2011.
- [2] Yu, L., "A Developer's Guide to the Semantic Web", Springer, 2015.
- [3] Horvat, M., "Semantički web", VID I, No. 224, 2014.
- [4] Horvat, M., "Generiranje multimedijских pobuda temeljeno na ontološkom afektivnom i semantičkom označavanju", Doktorska disertacija, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu, 2013.
- [5] Stumme, G., Ehrig, M., Handschuh, S., Hotho, A., Maedche, A., Motik, B., Zacharias, V., "The Karlsruhe view on ontologies", University of Karlsruhe, Institute AIFB, 2003.
- [6] Bizer, C., Lehmann, J., Kobilarov, G., Auer, S., Becker, C., Cyganiak, R., Hellmann, S., "DBpedia-A crystallization point for the Web of Data", Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web, Vol. 7, No. 3, 2009, str. 154–165.
- [7] Moreau, L., "The foundations for provenance on the web", Foundations and Trends in Web Science, Vol. 2, No.2–3, pp. 99–241, 2010.
- [8] Berners-Lee, T., Hendler, J., "Publishing on the Semantic Web", Nature, pp. 1023–1025, 2001.
- [9] Baader, F., "The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, and Applications", Cambridge University Press, Cambridge, 2003.
- [10] Fellbaum, C., "WordNet", Springer, Nizozemska, 2010.
- [11] Obitko, M., "Translations between ontologies in multi-agent systems", doktorski rad, Czech Technical University, Prag, Češka Republika, 2007.
- [12] Grimm, S., Motik, B., "Closed World Reasoning in the Semantic Web through Epistemic Operators", Workshop on OWL: Experiences and Directions (OWLED 2005), Galway, Irska, 2006.
- [13] Clark, K. L., "Negation as Failure", in Logic and Data Bases, Gallaire, H., Minker, J. (ur.), Springer, New York, pp. 293–322, 1978.
- [14] Horrocks, I., Patel-Schneider, P. F., Boley, H., Tabet, S., Grosof, B., Dean, M., "SWRL: A semantic web rule language combining OWL and RuleML", W3C Member submission, <http://www.w3.org/Submission/SWRL/>
- [15] Prud'Hommeaux, E., Seaborne, A., "SPARQL query language for RDF", W3C recommendation, <http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>
- [16] Pease, A., Niles, I., Li, J., "The suggested upper merged ontology: A large ontology for the semantic web and its applications", in Working notes of the AAAI-2002 workshop on ontologies and the Semantic Web, Vol. 28, 2002.
- [17] Liu, H., Singh, P., "ConceptNet—a practical commonsense reasoning tool-kit", BT Technology Journal, Vol. 22, No. 4, pp. 211–226, 2004.
- [18] <http://watson.kmi.open.ac.uk>
- [19] Vrandečić, D., "Wikidata: A new platform for collaborative data collection", Proceedings of the 21st international conference companion on World Wide Web, Lyon, Francuska, str. 1063–1064, 2012.
- [20] Bizer, C., Heath, T., Berners-Lee, T., "Linked data-the story so far", International Journal on Semantic Web and Information Systems, Vol. 5, No. 3, str. 1–22, 2009.
- [21] Bollacker, K., Evans, C., Paritosh, P., Sturge, T., Taylor, J., "Freebase: A collaboratively created graph database for structuring human knowledge", Proceedings of the 2008 ACM SIGMOD international conference on management of data, Vancouver, Kanada, pp. 1247–1250, 2008.
- [22] Oren, E., Delbru, R., Catasta, M., Cyganiak, R., Stenzhorn, H., Tummarello, G., "Sindice.com: A document-oriented lookup index for open linked data", International Journal of Metadata, Semantics and Ontologies, Vol. 3, No. 1, pp. 37–52, 2008.

- [23] <http://live.dbpedia.org/sparql>
- [24] Friedman-Hill, E., "Jess in Action", Manning Publications, Greenwich, 2003.
- [25] <http://owlapi.sourceforge.net/>
- [26] <http://jena.apache.org/>
- [27] <http://protegewiki.stanford.edu/wiki/OntoViz>
- [28] <http://protegewiki.stanford.edu/wiki/Jambalaya>
- [29] <http://gaia.isti.cnr.it/straccia/software/FuzzyOWL/index.html>
- [30] <http://www.bbc.co.uk/ontologies/po>

AUTOR · AUTHOR



Marko Horvat

Dr. sc. Marko Horvat, dipl. ing. je predavač i znanstveni suradnik na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu za znanstveno područje tehničkih znanosti, polje Računarstvo.

Diplomirao je, magistrirao i doktorirao iz navedenog područja i polja na Sveučilištu u Zagrebu Fakultetu elektrotehnike i računarstva, 1999., 2007. odnosno 2013. godine. Prije dolaska na Tehničko veleučilište u Zagrebu radio je 10 godina u gospodarstvu na poslovima razvoja složenih informacijskih sustava i 6 godina na Fakultetu elektrotehnike i računarstva kao doktorant i postdoktorant. Objavio je više od 50 znanstvenih i stručnih radova, sažetaka, udžbenika i drugih publikacija. Sudjelovao je na brojnim domaćim i stranim istraživačkim projektima. Održao je niz pozvanih predavanja. Područja od osobitog profesionalnog interesa uključuju formalno predstavljanje znanja i automatizirano rasuđivanje, dohvaćanje informacija, semantički web, afektivno računarstvo, te interakciju čovjeka i računala. Bavi se popularizacijom znanosti.

Ivan Dunder – nepromjenjena biografija nalazi se u časopisu Polytechnic & Design Vol. 2, No. 2, 2014.

Sergej Lugović – nepromjenjena biografija nalazi se u časopisu Polytechnic & Design Vol. 3, No. 1, 2015.