

Modeliranje rječnika prirodnih jezika

Marina Rauker Koch

Željeznička tehnička škola Moravice, Vrbovsko, Hrvatska

marina.rauker@skole.hr

Sažetak – Ovaj rad spada u područje umjetne inteligencije (Artificial Intelligence, AI) i dane su neke njegove definicije. Opisan je i Turingov test koji predstavlja operativnu definiciju umjetne inteligencije. Prikazano je i predstavljanje znanja (Knowledge Representation, KR) i pregled grafičkih metoda koje se koriste za njegovo rješavanje od kojih je detaljnije prikazana metoda NOK (Nodes of Knowledge).

Značajan problem u istraživanju umjetne inteligencije predstavlja obrada prirodnog ljudskog jezika u računalu kod koje važnu ulogu imaju rječnici koji su strojno razumljivi i sadrže opisanu sintaksu i semantiku pojmova.

Ključne riječi: umjetna inteligencija, predstavljanje znanja, obrada prirodnog jezika, rječnik

I. UVOD

Strojevi s ljudskim sposobnostima bili su i ostali predmet interesa, ne samo u znanstvenim krugovima, već i u umjetnosti. Umjetna inteligencija (engl. Artificial Intelligence, AI) je disciplina koja se bavi oblikovanjem inteligentnih sustava koji implementiraju ona svojstva ljudskog ponašanja koja se smatraju inteligentnima.

AI trenutno obuhvaća veliku raznolikost podpolja, od područja opće namjene kao što su percepcija i logično zaključivanje, do određenih zadataka, kao što su igranje šaha, dokazivanje matematičkih teorema, pisanje poezije, ali i dijagnosticiranje bolesti. U tom smislu, AI je doista univerzalno polje.

Pretvaranje informacija u tekstualnom obliku u oblik koji i u računalu čuva njegovu semantiku zahtjeva različite vještine koje posjeduju lingvist, logičar, informatičar i ekspert u području o kojem se govori u tekstualnom predlošku, a sve zajedno nemoguće je pronaći u jednoj osobi. Težnja je razviti sustav jednostavan za uporabu koji od korisnika neće zahtijevati sve ove vještine.

II. UMJETNA INTELIGENCIJA

Pojam **umjetna inteligencija** (engl. Artificial Intelligence) prvi je upotrijebio J. McCarthy kako bi prikupio sredstva za organizaciju konferencije u Dartmouthu 1956. [1] i od tada AI postaje istraživačka disciplina.

Ima mnogo definicija umjetne inteligencije i niti jedna nije opće prihvaćena. One se mogu razvrstati u 4 skupine [2]:

1. razmišljati ljudski:

- „Automatizacija aktivnosti koje asociramo s ljudskim razmišljanjem, poput donošenja odluka, rješavanja problema, učenja...” (Bellmann, 1978.)
- „Uzbudljivi novi pokušaj da se omogući razmišljanje računalima...strojevi s umovima, u punom i doslovnom smislu.” (Haugeland, 1985.)

2. razmišljati racionalno

- „Proučavanje mentalnih svojstava kroz uporabu računalnih modela” (Charniak and McDermott, 1985.)
- „Proučavanje postupaka koji mogućim čine percipiranje, rasuđivanje i reagiranje” (Winston, 1992.)

3. ponašati se ljudski

- „Proces stvaranja strojeva koji obavljaju funkcije koje zahtijevaju inteligenciju koju imaju ljudi” (Kurzweil, 1990.)
- „Proučavanje kako učiniti da računala rade stvari u kojima su, trenutno, ljudi bolji” (Rich and Knight, 1991.)

4. ponašati se racionalno

- „Polje rada koje želi objasniti i emulirati inteligentno ponašanje u smislu računalnih procesa” (Schalkoff, 1990.)
- „Grana računalnih znanosti koja se bavi automatizacijom inteligentnog ponašanja” (Luger and Stubblefield, 1993.)

Umjetna inteligencija se bavi problemom „inteligentnog” ponašanja stroja [3], a može ju se klasificirati prema vrsti problema koji rješava [3], [4]:

- sustavi za rješavanje uobičajenih ljudskih zadataka (prevođenje prirodnih jezika, prepoznavanje slika i govora, itd.)

- sustavi za rješavanje formalnih zadataka (logičke igre, matematička logika, geometrija, itd.)
- sustavi za rješavanje ekspertnih zadataka (znanstvena i financijska analiza, planiranje proizvodnje, itd.)

Sustavi koji se smatraju inteligentnim imaju sljedeća svojstva [3], [5], [6]:

- Pokazuje prilagodljivo ciljno usmjereno ponašanje
- Uči na temelju iskustva
- Koristi velike količine znanja
- Pokazuje svojstva svjesnosti
- Komunicira s čovjekom prirodnim jezikom i govorom
- Sustav mora komunicirati s čovjekom i drugim inteligentnim sustavima na prijateljski način
- Tolerira pogreške i nejasnoće u komunikaciji
- Odgovara u stvarnom vremenu

A. Turingov test

Turingov test [7], kojeg je predložio Alan Turing, bio je osmišljen na način da pruži zadovoljavajuću operativnu definiciju inteligencije. Turing je definirao inteligentno ponašanje kao sposobnost računala da postigne čovjekovu razinu performansi u kognitivnim zadacima (poznavanje, shvaćanje, primjena, analiza, sinteza i vrednovanje), dovoljno da zavarava ispitivača koji je imao cilj otkriti u kojoj situaciji razgovara s čovjekom, a u kojoj s računalom. Ukoliko ih ne uspije razlikovati za računalno bi se smatralo da je „prošlo“ Turingov test. Da bi računalno prošlo test trebao bi imati sljedeće sposobnosti [8]:

- sposobnost prirodnog govora kako bi se omogućila komunikacija na određenom jeziku
- prikaz ili reprezentaciju znanja u svrhu pohrane informacija do kojih se došlo prije ili tijekom ispitivanja
- automatizirano zaključivanje, sposobnost da koristi pohranjene informacije kako bi odgovorio na pitanja i donosio zaključke i
- sposobnost učenja da se prilagodi novim okolnostima i sposobnost djelovanja izvan nametnutih okvira.

III. PREDSTAVLJANJE ZNANJA

Predstavljanje znanja (engl. Knowledge Representation, KR) jedno je od važnih potpodručja umjetne inteligencije [9], a bavi se metodama formalnog zapisivanja znanja u računalu. Mnoga istraživanja bave se pronalaženjem metode za prikaz znanja. Računalni sustav

temeljen na metodi formalizacije tekstualnog znanja treba imati sljedeće mogućnosti [10]:

- Na temelju postojećeg formaliziranog znanja, sustav je sposoban za postavljanje pitanja za odgovore koji će se koristiti za obogaćivanje postojećeg znanja
- Na temelju riječi koje stvaraju postojeće formalizirano znanje ili se nalaze u rječniku, sustav je u mogućnosti da samostalno zaključiti prijedlog novih izjava. Ako su te izjave potvrđene, postojeće znanje se povećava.
- Na temelju izjava koje predstavljaju postojeće formalizirano znanje, sustav je u mogućnosti samostalno predložiti nove izjave (donositi zaključke) i ako su te izjave provjerene, postojeće znanje se povećava (primjerice, kroz dedukciju, indukciju i analogiju).
- Korištenje metodu analogije, sustav je u stanju predložiti zaključak na temelju formaliziranog znanja iz drugog sustava, neovisno o njegovom području primjene.

Za predstavljanje znanja razvijeni su različiti pristupi, formalizmi, metode i jezici koji variraju po složenosti i semantici [27].

Jedan oblik predstavljanja znanja čine grafičke metode koje u svom prikazu, koriste čvorove i veze među njima. Neke od tih metoda su [6]:

- Basic Conceptual Graphs (BG) – sastoji se od čvorova (konceptualnih i relacijskih) koji su međusobno povezani vezama [11], [12]
- Multi-layered extended semantic networks (MULTINET) - veoma složena metoda u kojoj su čvorovi klasificirani metodom konceptualnih ontologija [12], [13],
- Hierarchical Semantic Form (HSF) — sastoji se od grupe i veze. Koncept grupa se koristi u označavanju pojedinoga znaka, grupe znakova, riječi, semantičkih kategorija i složenih uzoraka. [12], [14],
- Resource Description Framework (RDF) – metoda koja prikazuje odnos među web resursima (podaci, dokumenti, slike i sl.) primjenjujući imenovano svojstvo i njegovu vrijednost. [12], [15]
- Nodes of Knowledge (NOK) [12], [16], [17], [18].

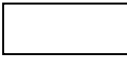
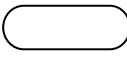
A. Metoda Nodes of Knowledge (NOK)

Metoda Nodes of Knowledge (NOK) pripada grupi semantičkih mreža kojima se znanje prikazuje kao graf [18]. Njezin cilj je prikazati znanje u tekstualnom obliku kao mrežu znanja [12].

NOK je metoda za modeliranje čvorova znanja kojom se znanje prikazuje grafički u obliku dijagrama DNOK (Diagram Nodes Of Knowledge) [17]. Rečenice zapisane u ljudskom jeziku pretvaraju se u grafički model iz kojeg je moguće interpretirati značenje jer ga ovaj model čuva. Sastoji se od čvorova i veza između njih, a zajedno čine mrežu znanja.

Čvor je najmanji element znanja koji se ne može dijeliti, a svaki novi pojam ili novo značenje je novi čvor i on je nedjeljiv [12]. Prema tome čvorovi mogu sadržavati imenovane osobe, stvari, događaje, akcije, ideje. Grafički prikaz čvorova i koncepata u metodi NOK dan je u Tablici I. Ime čvora je atribut čvora koji mu daje semantičko značenje. Ime se može sastojati i od više riječi koje imaju neko značenje.

TABLICA I. SIMBOLI NOK-A PRIMIJENJENI NA MODELIRANJE

Simbol	Značenje
	ČVOR – dio znanja u stvarnosti ili mislima
	PROCESNI ČVOR – radnja, događaj, zbivanje
	VEZNIK
	VEZA – povezivanje čvorova

Tekstualno znanje u prirodnom jeziku NOK metodom organizira se u mrežu znanja (knowledge network, KN) koja se sastoji od tri različite razina znanja [17] (Slika 1.) To su jezično znanje (LK, language knowledge) koje je na najvišoj razini, zatim opće znanje (GK, general knowledge) na sljedećoj razini i radno znanje (WK, working knowledge) koje je složeno od gornjih razina i predstavlja konkretno znanje.

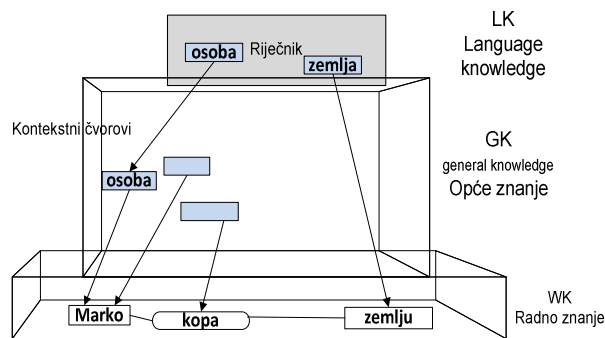
Za svaku riječ potrebno je izraditi model znanja koji će se nalaziti u rječniku koji je dio LK.

IV. OBRADA PRIRODNOG JEZIKA

Složenost stjecanja znanja povećava se sa složenosti semantike, količine specifičnih detalja, kao i međuovisnosti različitih aspekata u bazi znanja. Semantika specificira kako konstruirani izrazi trebaju biti interpretirani, odnosno kako izvesti značenje iz forme [6].

Za uspoređivanje različitih metoda Sowa koristi tri različita stupnja semantike [19]:

- teška semantika (heavyweight) - semantika je prikazana formalnom logikom s detaljnim aksiomima koji mogu podržati prošireno zaključivanje;



Slika 1. Odnos LK, GK i WK u mreži znanja

- srednje teška semantika (middleweight) - temelji se na formalnim ili neformalnim zapisima koji podržavaju malu količinu zaključivanja;
- lagana semantika (lightweight) - koristi oznake za klasifikaciju podataka, kako bi provjerila jednostavna ograničenja tipova i veza, ali ne i za izvođenje proširenog zaključivanja.

Mnogi sustavi koriste varijacije ove tri vrste semantike.

Ljudska komunikacija rijetko kad je precizna i logična, ali svejedno ju je moguće razumjeti. Umjetna inteligencija nastoji dostići tu razinu razumijevanja znanja.

Neki od najuspješnijih NLP (Natural Language Processing) sustava koriste laganu semantiku [19]. Jedan od prvih takvih sustava bio je Georgetown Automatski Prevoditelj (GAT), za kojeg je istraživanje ukinuto 1963. Pod imenom Systran [20], postao je najkorišteniji sustav za strojni prijevod u 20. stoljeću. Na web-u je još uvijek dostupna njegova verzija babelfish [21]. Za svaki par jezika koje treba prevesti Systran koristi veliki rječnik ekvivalentnih riječi i fraza. Računalna obrada se sastoji od ograničenog broja izmjena i prilagodbi kako bi se zadovoljile sintaktičke razlike između svakog jezičnog para [22]. Izrada takvog rječnika pojednostavljena je uporabom statističkih metoda kojima se traže ekvivalenti među velikom količinom dostupnih dokumenata na web-u.

Najsofisticiraniji NLP sustavi koriste tešku semantiku temeljenu na nekoj vrsti logike. Takvi sustavi omogućuju postavljanje pitanja i dobivanje odgovora na njih. Cilj je dobiti sustav koji će biti učinkovit i korisnicima jednostavan za uporabu. Za takav sustav potrebni su ontologija entiteta, veza i ograničenja, rječnik u kojem se nalaze sve riječi i fraze, specijalna sintaksa za uzorke koji su rijetki u svakodnevnom govoru i preslikavanje ontologije u računalni format i sučelje [19].

Od 50-tih godina prošlog stoljeća u području AI se istraživalo mnogo različitih tehnika, od neuralnih mreža do formalne logike. Klasična AI paradigma kombinira

predstavljanje jezičnog znanja s nekim formalnim i neformalnim metodama zaključivanja.

Semantički web svoj začetak ima u predavanju na prvoj www konferenciji u kojem je rečeno [23]: „Dodavanje semantike web-u uključuje dvije stvari: omogućavanje dokumenata koji sadrže informacije u strojno čitljivim oblicima, i dopuštanje kreiranja linkova povezanih s vrijednostima.“ Ali ovime nisu opisani strojno čitljivi formati, vrste vrijednosti koji se povezuju i logičke operacije nad njima ili neki drugi utjecaj 40-godišnjih istraživanja o semantici u umjetnoj inteligenciji, računalnoj lingvistici i softverskom inženjeringu.

Za dizajn semantičkog web-a bio je zadužen W3 konzorcij [24] koji je 2001. specificirao preporuke za arhitekturu semantičkog weba objavivši tzv. „layer cake“ [19],[25] (Slika 2.a). Nova „layer cake“ [19], [26] (Slika 2.b) razvijena je 2007. i donijela je značajne promjene [19]: slojevi više nisu jedni iznad drugih već se isprepliću, oni koji su bili jedni iznad drugih sada se nalaze na istom sloju (npr. XML i RDF-Resource Description Framework), sloj ontologijskog rječnika zamijenjen je s četiri susjedna pravokutnika (OWL - Web Ontology Language, SPARQL - SPARQL Protocol and RDF Query Language, RDFS - Resource Description Framework Schema i RIF - Rule Interchange Format)

Problem koji još uvijek nije riješen u području AI je dizajnirati računalni sustav koji može pročitati udžbenik i logički ga mapirati. Richard Montague je 1970. tvrdio [27] da nije važna teoretska razlika između prirodnih i umjetnih jezika koje su stvorili logičari već je moguće razumjeti sintaksu i semantiku obje vrste jezika unutar jednom prirodnom i matematički preciznom teorijom. To je opovrgnuo Kamp kada je pokušao prevesti članak na engleskom u logički jezik i zaključio da je to mnogo teže nego što se mislilo. Neke temeljne tvrdnje bile su prilično jednostavne, no većina rečenica zahtijeva nove ontološke pretpostavke i nova pravila prevođenja. To iskustvo

dovelo ga je do razvoja teorije prikaza govora (discourse representation theory, DRT) [28]. Ali do početka 21. stoljeća većina ih se složila s Kampom da osnovna načela "moraju biti promišljena iznova." [28]

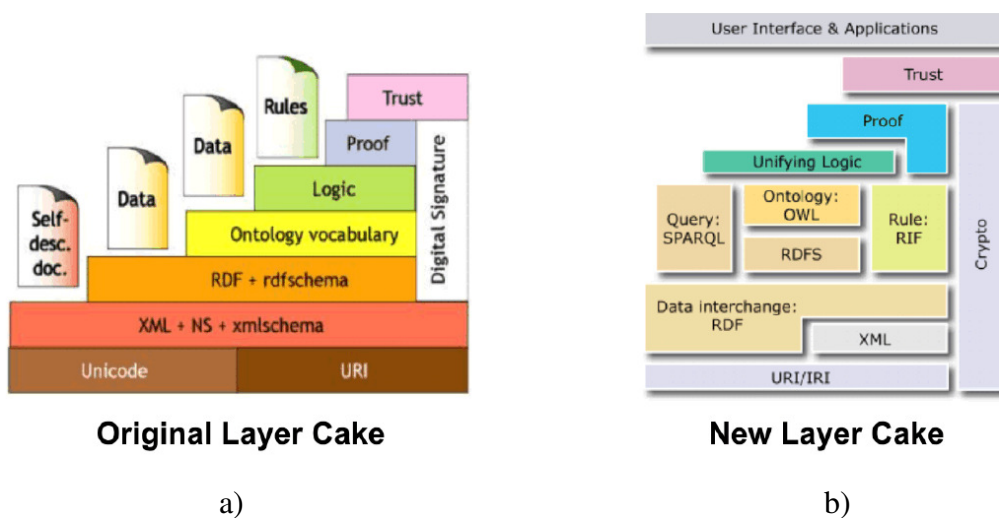
Semantički sustavi imaju različita sučelja za ljude s različitim zahtjevima i vještinama. Ljudi bez osposobljavanja u programiranju ili umjetnoj inteligenciji, bilo povremeni korisnici ili sadržajni stručnjaci, trebali bi imati sučelja koja koriste prednosti njihovog poznavanja teme i njihovog poznavanja svog materinjeg jezika. Primjeri semantičkih sustava *Systran* (sustav za prevođenje) [20], [21], *TQA* (Transformational Question Answering system) [29], *Tesco* (Internet trgovina) [30], [31], *Cyc* (opća baza znanja) [32] i *VLP* (VivoMind Language Processor) [33] ilustriraju neke sljedećih problema [19]:

- potreba za visoko educiranima lingvističarima za dizajniranje rječnika i administratorima baza podataka (*Systran*, *TQA*)
- visoki troškovi nadogradnji sustava
- sustavi u radu koriste kontrolirani engleski jezik (npr. *Tesco English*)

Konvencionalni programski alati i AI jezici zahtijevaju različite vještine. Automatizirani i polu-automatizirani alati trebali bi pomagati razvojnim programerima u fazama projektiranja, implementacije, testiranja i integracije s drugim sustavima.

V. RJEČNICI PRIRODNIH JEZIKA

U sustavima za obradu prirodnih jezika važnu ulogu imaju rječnici koji su strojno razumljivi i sadrže opisanu sintaksu i semantiku pojmova. Rječnici u kontekstu informatičkih znanosti uglavnom su knjige pojmova ili informacija o nekom području ljudskoga djelovanja s karakterističnim sustavom unakrsnoga referenciranja



Slika 2. Struktura slojeva u "Layer Cake" semantičkog web-a [19], [25], [26]

među pojmovima koji se rabe za organiziranje kolekcije pojmova da bi se oni objasnili i ponovno upotrijebili [34].

Dok su danas izvori informacija na Webu uglavnom namijenjeni ljudskom korisniku koji njima upravlja posredstvom jednostavnih veza (linkova), u budućnosti će podatke obrađivati programi kreirani neovisno od podataka. Za te će programe biti neophodni strojno čitljivi navodi o izvorima informacija i njihovim međusobnim odnosima koji će se temeljiti na: postojanju jednog standardiziranog modela, na vezi između pojmova u rječniku i njihovih jedinstvenih definicija i na dostupnosti tih definicija programima [35]. Ideja semantičkog Web-a podrazumijeva da će se Internet moći pretraživati ne samo korištenjem riječi, već i kroz upotrebu značenja. To očigledno zahtijeva i semantičku i sintaktičku interoperabilnost predmetnog rječnika, budući da je dobro poznato da su za temeljit i sveobuhvatan opis predmeta potrebni ne samo izolirani pojmovi već i propozicijska logika [35], [36].

Ontologija, pojam poznat u filozofiji, u području AI dobiva novo značenje. Neches i dr. dali su jednu od prvih njenih definicija u području AI [37]: „Ontologija definira osnovne termine i relacije kreirajući rječnik područja te pravila kombiniranja pojmova i relacija, definirajući tako proširenje rječnika“. Prema ovoj definiciji ontologija nije samo popis pojmova već sadrži i znanja koja se iz njih mogu zaključiti iz definiranih relacija.

Ontologija se izgrađuje slijedom temeljne logičke procedure, a rezultat toga je određena klasifikacijska struktura s jasno određenim k-ategorijama i pojmovnim odnosima koje se može prikazati putem konceptualnih grafova i formatizirati na strojno obradiv način [38].

Za utvrđivanje semantičkih odnosa i hijerarhije u skupu riječi koje se nalaze u jednojezičnom rječniku može se koristiti pristup temeljen na formalnoj konceptualnoj analizi (FCA – Formal Concept Analysis) [39], [40], [41]. Rezultat ovog postupka je koncept rešetke (Galois Lattice) koji omogućuje hijerarhijsku organizaciju podataka, uspostavljanje veze između objekata, vizualizaciju veza između podataka i navigaciju do objekta u hijerarhijskoj strukturi [42].

Croatian wordnet (CroWN) [43] je semantička mreža hrvatskog jezika. Izrađen je na temelju Princeton WordNet-a [44] razvijenog na Sveučilištu u Princetonu u koje se imenice, glagoli, pridjevi i prilozi grupiraju u skupove kognitivnih sinonima (synsets), svaki izražavajući drugačiji koncept. Rezultat je mreža smisleno povezanih riječi i pojmova kojima se može kretati uporabom preglednika [44].

Rječnik hrvatskih jezika autora Igalya [45] je rječnik koji ima za cilj obuhvatiti sve riječi koje se javljaju u tekstovima pisanim na hrvatskom jeziku od stručnih izraza do izraza u žargonu, regionalnih izraza i sl. Autor predviđa mnogobrojne primjene ovog rječnika: izrada jezičnih resursa potrebnih za računalnu provjeru pravopisa, prevođenje s hrvatskog na neki drugi jezik,

testiranje algoritama iz teorije grafova, u kriptografiji, u sastavljanju križaljki, itd.

VI. ZAKLJUČAK

Ne postoji opće prihvaćena definicija AI, no postoje četiri osnovna tipa definicija, ovisno o tome stavlja li se naglasak na misaone procese (razmišljanje) ili na ponašanje, te operacionaliziraju li inteligenciju u terminima ljudske izvedbe ili racionalnosti. Turingov test, kojeg je predložio Alan Turing (1950.), bio je osmišljen na način da pruži zadovoljavajuću operativnu definiciju umjetne inteligencije. Turing je definirao inteligentno ponašanje kao sposobnost da se postigne čovjekova razina performansi u svim kognitivnim zadacima, dovoljno da zavarava ispitivača.

Računala danas mogu uspješno, čak i bolje od ljudi rješavati specifične probleme. Iako je zabilježen velik napredak u razvoju inteligentnih sustava od samih početaka do danas, ni jedan stroj još uvijek nije u mogućnosti replicirati sva svojstva ljudske inteligencije.

Važnu ulogu u predstavljanju znanja imaju rječnici koji ne predstavljaju samo popis pojmova s objašnjenjima, kao što je to slučaj s „analognim“ rječnicima, već trebaju biti strojno razumljivi i sadržavati sintaksu i semantiku tih pojmova.

U daljnjim istraživanjima cilj je izraditi model i aplikativno rješenje koje će pojmove iz jednojezičnog rječnika direktno prenositi u računalni rječnik koji će osim pojmova čuvati i veze među njima, njihovu sintaksu i semantiku.

REFERENCE

- [1] <http://www.dartmouth.edu/~ai50/homepage.html>, 21. rujna 2014.
- [2] Russell, S. J., Novig, P. (1995.), „Artificial Intelligence – A Modern Approach“, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, USA
- [3] R. Lujčić, T. Šarić i G. Šimunović, (2007.) „Primjena ekspertnog sustava pri određivanju klase prioriteta“ TEHNIČKI VJESNIK 14, svez.1, br. 2, pp. 65-75,
- [4] Majdandžić, N., Lujčić, R., Matičević, G., Šimunović, G., & Majdandžić, I. (2001.) Upravljanje proizvodnjom.
- [5] R. Reddy, (1996.) „The challenge of artificial intelligence“ Computer, svez. 10, br. 10, pp. 86 - 98,
- [6] M. Ašenbrener Katić, (2013.) „Predstavljanje znanja: pregled područja“, Odjel za informatiku, Sveučilište u Rijeci, kvalifikacijski rad,
- [7] Turing, A. (1950.) "Computing Machinery and Intelligence", Mind, 59, 433-460
- [8] Shieber, S. M. (1994). Lessons from a restricted Turing test. arXiv preprint cmp-lg/9404002.
- [9] L. Morgenstern i R. H. Thomason, (2000.) „Teaching Knowledge representation: Challenges and Proposals“ u KR
- [10] Jakupović, A., Pavlić, M., & Han, Z. D. (2014). Formalisation method for the text expressed knowledge. Expert Systems with Applications, 41(11), 5308-5322.

- [11] Mugnier, M. L., and M. Chein. "Graph-based Knowledge Representation." Advanced Information and Knowledge Processing. Springer, London (2009).
- [12] A. Jakupović, M. Pavlič, A. Meštrović i V. Jovanović, „Comparison of the Nodes of Knowledge method with other graphical methods for knowledge representation“ u Proceedings of the 36th international convention /CIS/, MIPRO 2013, Rijeka, 2013.
- [13] H. Helbig, Knowledge Representation and the Semantics of Natural Language, Springer, 2006.
- [14] M. Stanojević i S. Vraneš, „Knowledge representation with SOUL“ Expert Systems with Applications, svez. 33, pp. 122-134, 2007.
- [15] K. Tolle, „Introduction to RDF“ 2000., <http://www.dbis.informatik.uni-frankfurt.de/~tolle/RDF/DBISResources/RDFIntro.html>, 8. ožujka 2014.
- [16] M. Pavlič, M. Ašenbrener, A. Jakupović, A. Meštrović, S. Čandrić i M. Ivašić-Kos, „Inteligentni informacijski sustavi“ u Razvoj poslovnih i informatičkih sustava CASE 25, Rijeka, 2013.
- [17] M. Pavlič, Development of a method for knowledge modeling 2013., Rijeka: Odjel za informatiku Sveučilišta u Rijeci, 2013.
- [18] M. Pavlič, A. Jakupović, A. Meštrović: (2013.), „Nodes of knowledge method for knowledge representation“, Informatol. 46, 3, 206-214]
- [19] Sowa, J. F. (2011). Future directions for semantic systems. In Intelligence-based systems engineering (pp. 23-47). Springer Berlin Heidelberg.
- [20] <http://www.systransoft.com/>, 23. rujna 2014.
- [21] <http://www.babelfish.com/>, 21. rujna 2014.
- [22] Hutchins, W. John (1995) Machine translation: a brief history, in E. F. K. Koerner & R. E. Asher, eds., Concise History of the Language Sciences: from the Sumerians to the Cognitivists, Oxford: Pergamon Press, pp. 431-445.
- [23] Berners-Lee, Tim (1994) W3 future directions, Keynote speech, First International Conference on the World-Wide Web, May 25-27, Geneva: CERN. <http://www.w3.org/Talks/WWW94Tim/>, 21. rujna 2014.
- [24] <http://www.w3.org/>, 21. rujna 2013.
- [25] <http://www.w3.org/2004/Talks/0412-RDF-functions/slide4-0.html>, 21. rujna 2014.
- [26] <http://www.w3.org/2007/03/layerCake.svg>, 21. rujna 2014.
- [27] Montague, R. (1970) Universal grammar, reprinted in R. Montague, Formal Philosophy, New Haven: Yale University Press, pp. 222-246.
- [28] Kamp, Hans, & Uwe Reyle (1993) From Discourse to Logic, Kluwer, Dordrecht.
- [29] Petrick, Stanley R. (1981) Field testing the TQA System, Proc. 19th Annual Meeting of the ACL, pp. 35-36.
- [30] Sarraf, Qusai, & Gerard Ellis (2006) Business rules in retail: the Tesco.com story, Business Rules Journal 7:6.
- [31] <http://www.tesco.com/>, 27. rujna 2014.
- [32] <http://www.cyc.com/>, 27. rujna 2014.
- [33] <http://www.vivomind.net/>, 27. rujna 2014.
- [34] Štorga, M. (2005). "Model rječnika za računalnu razmjenu informacija u distribuiranom razvoju proizvoda." Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb
- [35] Slavić, A. (2004). Semantički Web, sustavi za organizaciju znanja i mrežni standardi. School of Library, Archives and Information Studies, University College London.
- [36] Veltman, K. H. (2001) "Syntactic and semantic interoperability: new approaches to knowledge and the semantic web", The New Review of Information Networking, 7 2001, 159-183.
- [37] Neches, R., Fikes, R.E., Finn, T., Gruber, T.R., Senator, T., Swartout, W.R.: "Enabling technology for knowledge sharing"; AI Magazine 12 (3); pp. 35-56; 1991.
- [38] Sowa, J. F. (2000.) Knowledge representation: logical, philosophical and computational foundations. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole
- [39] Meštrović, A., and Čubrilo, M. (2011.) "Monolingual dictionary semantic capturing using concept lattice." International Review on Computers and Software (IRECOS) 6.2: 173-184.
- [40] Meštrović, Ana (2012.) "Semantic Matching Using Concept Lattice." in proceedings of Concept Discovery in Unstructured Data, CDUD 2012, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium, pp. 49-58.
- [41] Meštrović, A. (2009). F-logika kao mehanizam za modeliranje rešetki za manipuliranje polustrukturiranim podacima i analizu koncepata, doktorska disertacija, Fakultet organizacije i informatike, Varaždin
- [42] B. Ganter, R. Wille, (1999.), Formal Concept Analysis — Mathematical Foundations, Springer
- [43] <http://langtech1.ilc.cnr.it:8000/repository/browse/croatian-wordnet/32d93d48703d11e28a985ef2e4e6c59e166ec06132a740cbb36e515b093096b2/>, 21. rujna 2014.
- [44] <http://wordnet.princeton.edu/>, 21. rujna 2014.
- [45] G. Igaly, Rječnik hrvatskih jezika, <http://www.igaly.org/rjecnik-hrvatskih-jezika/pages.php?lang=HR>, 21. rujna 2014.