

Razvoj ontologije za internet stvari

Internet of Things Ontology Developmet

¹Marija Jerbić, ²Darko Andročec

^{1,2} Fakultet organizacije i informatike, Pavlinska 2, 42000 Varaždin, Hrvatska

email: ¹marjerbic@foi.hr, ²dandrocec@foi.unizg.hr

Sažetak: *Složenost sustava interneta stvari zahtijeva razumijevanje strukture i semantike ugrađene u njegovu arhitekturu. Semantičko modeliranje pruža potencijalnu osnovu za međudjelovanje različitih sustava i aplikacija unutar interneta stvari (eng. „Internet of Things“, IoT). Cilj ovoga rada je objasniti pojam tehnologije interneta stvari te prikazati arhitekturu, tehnologije, ali i načine korištenja informacija koje generira stvar te tako predstaviti sveobuhvatni i lagani semantički opisni model za prikaz znanja u IoT domeni, tj. pripadajuću ontologiju. U radu su prikazana dva načina kreiranja i prikazivanja znanja u ontologiji. Prvi način je korištenje Protege alata, dok je drugi način bilo korištenje Apache Jena okvira uz Java programski jezik.*

Ključne riječi: *ontologija, semantičko modeliranje, Internet stvari, semantički opisni model*

Abstract: *The complexity of the Internet of Things system requires an understanding of the structure and semantics embedded in its architecture. Semantic modeling provides a potential basis for the interaction of different systems and applications within the Internet of Things (IoT). The aim of this paper is to explain the concept of Internet of Things technology and present its architecture, technologies, and ways of using information generated by the things to present a comprehensive and light semantic descriptive model for knowledge in the IoT domain, i.e. the corresponding ontology. The paper presents two ways of creating and presenting*

knowledge in ontology. The first way was to use the Protege tool, while the second way was to use the Apache Jena framework in addition to the Java programming language.

Keywords: *ontology, semantic modeling, Internet of Things, semantic descriptive model*

1. Uvod

Internet stvari, skraćeno IoT (prema eng. Internet of Things), privukao je ogromno zanimanje različitih istraživačkih zajednica i industrije kao jednoga od osnovnih sastavnica budućega interneta. Opseg istraživanja i razvoja značajno se proširio tijekom posljednjih nekoliko godina te sad obuhvaća IoT infrastrukturu i arhitekturu, komunikacijske protokole, senzore i senzorske mreže, softver, sigurnost i privatnost itd.

Kada se pogledaju složene mreže i performanse IoT sustava, dalo bi se zaključiti da se do potpunijega razumijevanja IoT sustava može doći samo uz pomoć šire IoT ontologije koja uključuje ne samo strukturne definicije uređaja, već i semantička razumijevanja tokova podataka, servisa i mjera kvalitete unutar i između entiteta u sustavu. Stoga, prema (Payam Barnaghi et al. 2012), primjena semantičkih tehnologija pokazuje svoj potencijal da se nosi s izazovnim problemima heterogenosti i interoperabilnosti te olakšava učinkovit pristup i integraciju podataka, otkrivanje resursa, semantičko rezoniranje i pregled znanja.

2. Semantički web

Napori W3C-a doveli su do široko prihvaćenih jezičnih standarda koji su pridonijeli razvoju semantičkoga weba. Osnovna ideja semantičkoga weba je opisati značenje (tj. semantiku) web sadržaja na način koji se može interpretirati pomoću računala. Cilj mu je znanje pretvoriti u strojno obradiv oblik koji se može izraziti semantikom koja omogućuje potpunu automatizaciju i pronalaženje informacija. Bilo je bitno zamijeniti sintaktičke i strukturalne metode obrade informacija sa semantičkim kako bi se proširila primjena weba. Krajnji opisi često se nazivaju ontologije, a strojno čitljivi formalizmi na kojima se temelje nazivaju se ontološki jezici. Cijela ideja semantičkog web-a temelji se na ideji da se podacima manipulira. W3C (eng. World Wide Web Consortium) zadužen je za razvoj weba te donošenje standarda. Sredinom devedesetih godina počela se naglašavati činjenica otežanoga pretraživanja podataka koji nisu prikazani tj. izraženi konkretnim semantičkim navodom. Tim Burners Lee je 1998. godine

semantički web predstavio kao plan za postizanje povezanih podatkovnih aplikacija na webu u obliku sposobnom oblikovati konzistentnu logičku mrežu podataka. Svrha semantičkog weba je povezati temeljna područja ljudskoga znanja te ta znanja strojno obraditi korištenjem stroju čitljive/razumljive (Krichel 2002). Osnovna ideja na kojoj je semantički web zasnovan je korištenje znanja, principa i tehnologija (Walton 2006), za web koji bi bio univerzalan medij za razmjenu podataka, znanja i informacija.

Može se reći kako ontologija definira zajednički rječnik za sve one koji trebaju dijeliti informacije u određenoj domeni. To uključuje strojno-interpretabilne definicije osnovnih pojmova u domeni kao i odnose među njima. Sve veća količina informacija te potreba za njenu obradu u kombinaciji s rastućim interesom unutar organizacija za povezivanjem informacija (eksternih i internih) glavni su i osnovni razlozi rastućega interesa za ontologiju (Rowley i Hartley 2017). U praktičnom smislu, razvoj ontologije uključuje:

- definiranje klasa u ontologiji
- uređivanje klasa u taksonomskoj hijerarhiji (podrazred-natklasa),
- definiranje uloga i opisivanje dopuštenih vrijednosti za uloge (eng. Roles),
- popunjavanje vrijednosti za uloge pojedinaca (eng. Individuals).

Tada se može stvoriti baza znanja definiranjem pojedinačnih primjeraka popunjavanja ovih klasa popunjavanjem specifičnih vrijednosti o ulogama i restrikcijama. Ontologija zajedno sa skupom individualnih pojedinaca klasa tvori bazu znanja. U stvarnosti, postoji tanka linija gdje ontologija prestaje a baza znanja počinje. Prema (Noy i McGuinness 2001), neki od razloga razvijanja ontologije su: dijeljenje zajedničkog razumijevanja strukture informacija među ljudima; omogućiti ponovnu uporabu znanja domene; izraditi pretpostavke domene; odvojiti znanje domene od operativnoga znanja; te analizirati znanje domene.

3. Internet stvari

Jedna od definicija interneta stvari (IoT) kaže kako je to mreža fizičkih objekata kojima se pristupa putem interneta. Ti objekti sadrže ugrađenu tehnologiju za interakciju s unutarnjim stanjima ili vanjskim okruženjem. Drugim riječima, kada objekti mogu osjetiti i komunicirati, to mijenja kako i gdje se donose odluke i tko ih stvara (Banafa 2014). Tehnologija je danas dio svakodnevice te dio svakodnevnih fizičkih objekata (uređaja). Ti objekti mogu biti naučeni da reagiraju na različite podražaje tj. aktivatore kao što su: pokret, prisutnost, glasovne naredbe te

čak i otkucaji srca. IoT kombinira povezanost sa sensorima, uređajima i ljudima, te uključuje interakciju između čovjeka i stroja, softvera i hardvera. S razvojem umjetne inteligencije i strojnoga učenja, ova vrsta interakcije može uključiti uređaje da anticipiraju, reagiraju, odgovaraju i poboljšavaju fizički svijet.

Prema (Vernesan et al. 2012), IoT koncept temelji se na jedinstveno identificiranim objektima. U internet strukturi IoT rješenja sastavljena su od komponenti kao što su:

- modul za interakciju s IoT uređajima (npr. mobitel s mogućnošću bežičnoga spajanja s drugim uređajem u neposrednoj blizini)
- modul za lokalnu analizu nalaza
- modul za komunikaciju s udaljenim IoT uređajem izravno (putem interneta) ili preko posrednika (eng. „proxy“). Ovaj modul je odgovoran za dobivanje informacija i slanje rezultata na udaljenim poslužiteljima gdje se ti rezultati onda analiziraju i skladište.
- modul za analizu i obradu podataka koji radi na aplikacijskom poslužitelju, uzima zahtjeve od web i mobilnih klijenata. Po primitku relevantnih IoT odgovora, pronalazi odgovarajuće algoritme za obradu podataka i generiranje rezultata, koji su tada predstavljeni korisniku.
- modul za povezivanje IoT informacija u poslovnim procesima - važni čimbenik u svakodnevnom poslovanju ili poslovnim strategijama.
- korisnička sučelja (web/mobilna). Koriste se za komunikaciju s korisnicima uz vizualni prikaz IoT mjerenih podataka u određenom kontekstu (npr. na karti).

4. Model ontologije za IoT

Semantičke tehnologije i principi programiranja orijentirani na usluge bili su temeljni u nedavnim istraživanjima IoT-a za promicanje interoperabilnosti među heterogenim stranama (npr. davateljima i potrošačima podataka IoT-a) i za omogućavanje učinkovitoga pristupa, integracije, otkrivanja i korištenja IoT resursa i podataka u velikoj mjeri. Tijekom proteklih nekoliko godina semantička zajednica razvila je ontologije za opisivanje koncepata i odnosa između različitih entiteta u različitim domenama. Domena interneta stvari (IoT) ima sličan pristup primjeni semantike. Prema (Bermúdez-Edo et al. 2015) ključni je problem što većina

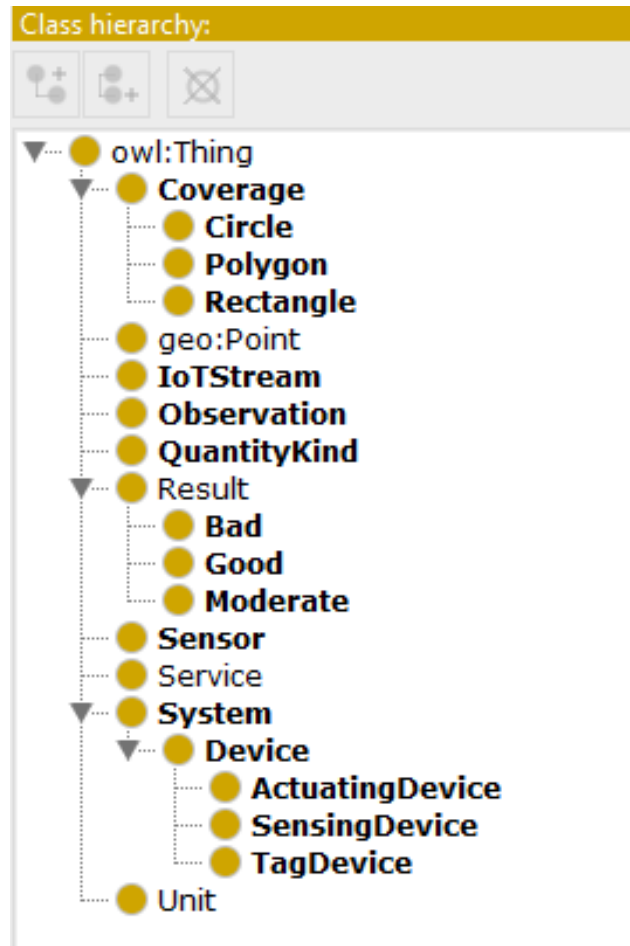
semantičkih opisa povezanih s IoT-om nije toliko usvojena kao što se očekivalo. Jedna od glavnih briga koje korisnici i razvojni inženjeri imaju jest to što semantika povećava složenost i vrijeme obrade, pa su stoga neprikladni za dinamična i brza okruženja kao što je IoT. Opsežni pregled korištenja ontologija i semantičkoga weba za postizanje interoperabilnosti interneta stvari dan je u radu (Androcec, Novak, Oreski 2018).

U nastavku ovoga poglavlja navest će se najvažnije postojeće ontologije za internet stvari. Gotovo je uvijek vrijedno razmotriti ono što je netko drugi već napravio te provjeriti može li se nešto poboljšati i proširiti za našu domenu i zadatak. Ponovno korištenje postojećih ontologija može biti uvjet ako naš sustav treba komunicirati s drugim aplikacijama koje su se već obvezale na određene ontologije. SSN ontologija (Compton et al. 2012) jedna je od najvažnijih i najčešće korištenih ontologija koja daje detaljne opise senzora, kao što su izlazi, vrijednost promatranja, značajka promatranja, vrijeme promatranja, točnost, preciznost, konfiguracija implementacije, struktura sustava, platforme i značajka od interesa. Međutim, SSN ontologija uvodi nepotrebne pojmove i odnose koji čine ontologiju vrlo teškom i složenom za upite ukoliko bi se koristila bez ikakvih promjena. Za razliku od originalnoga SSN-a, SOSA se usredotočuje na događaje, promatranja, uzimanja uzoraka (eng. *sampling*), pokretanja (eng. *actuation*) i procedura. SOSA ontologija ima tri perspektive oblikovanja. Svaka od aktivnosti promatranja, skupljanja uzoraka te pokretanja cilja neku značajku interesa mijenjanjem stanja ili otkrivanjem njegovih svojstava, svaka slijedi neku proceduru te je svaka izvođena objektom ili agentom. IoT-Lite je pojednostavljena ontologija koja predstavlja IoT resurse, entitete i servise. IoT-Lite je instancija (eng. „instantiation“) SSN ontologije. Omogućuju predstavljanje i upotrebu IoT platformi bez pretjeranoga vremena obrade prilikom postavljanja upita (eng. *Querying*). IoT-Lite se može proširiti kako bi se koncepti detaljnije predstavili u različitim domenama. Prateći najbolje prakse u ontološkom inženjerstvu IoT-Lite se koristi s taksonomijom količine, poput *qu-taxo* ili *m3-lite*, koja omogućava otkrivanje i interoperabilnost IoT resursa u heterogenim platformama pomoću zajedničkoga vokabulara. Nakon odabira ili definiranja nove ontologije, ista se može koristiti za postizanje interoperabilnosti, npr. kao u radu (Androcec i Vrcek 2016) gdje je opisan okvir za interoperabilnost interneta stvari.

5. Kreiranje nove ontologije za IoT

U ovom radu odabrana je IoT-Lite ontologija kao osnova modela za IoT koji bi se nadopunio SOSA ontologijom radi uvođenja praćenja tokova podataka. Obje ontologije predstavljaju lagane instancije SSN ontologije koje opisuju ključne IoT koncepte koji omogućuju

interoperabilnost i otkrivanje osjetilnih podataka u heterogenim IoT platformama. Također, navedene ontologije smanjuju složenost drugih IoT modela opisujući samo glavne koncepte IoT domene što se primjeru iz ovoga rada pokazalo kao najbolja kombinacija. Glavni koncepti ontologije za IoT prikazani su na Slici 1.



Slika 1. Pregled semantičkog modela (glavne klase i njihova hijerarhija)

Sama ontologija kreirana je u Protege 5 alatu. Osim toga, koristio se i Apache Jena okvir (“Apache Jena” n.d.). Apache Jena je besplatni open source Java okvir (eng. framework) za izgradnju semantičkoga weba i aplikacija povezanih podataka. Izvorni kod ontologije javno je dostupan na githubu na sljedećoj adresi: <https://github.com/mjeric1/IoTOntology>.

6. Primjer korištenja IoT modela

Jedno od najalarmantnijih pitanja u suvremenim gradovima je razina kvalitete zraka. Svjetska zdravstvena organizacija naglasila je da 97 % gradova u zemljama s niskim i srednjim dohotkom te s više od 100 000 stanovnika - ne ispunjava smjernice Svjetske zdravstvene

organizacije (eng. World Health Organisation - WHO) o kvaliteti zraka. Senzori za kvalitetu zraka ugrađuju se na ciljano područje (npr. na vrhu zgrada, industrijskih područja, prometa i stambenih područja). Ti su senzori povezani s mikrokontrolerom za upravljanje mrežom senzora. Podatci koje prikuplja mikrokontroler prenose se u oblak (eng. cloud) radi analize. Senzori, smješteni na strateškim mjestima, detektiraju razinu čestica prašine, ugljičnoga dioksida i drugih u zraku. Te se informacije prenose na pristupnik (eng. gateway) koji ih prosljeđuje u bazu podataka u oblaku putem mobilne ili WiFi komunikacije. U oblaku se podatci analiziraju kako bi se dobili podaci o kvaliteti zraka. Podatci o kvaliteti zraka tada se mogu dobiti API pozivom.

API pozivom servisa pokreće se tok podataka kojim upisujemo sve informacije u model. Potrebne su sve informacije prikupljene od senzora ali i informacije o samom senzoru, kao što je tip senzora, mjera i mjerna jedinica, naziv uređaja, područje koje pokrivaju (relativna i apsolutna lokacija). Uz zapis informacija, prati se i vrijeme početka i završetka prikupljanja podataka. Praćenjem dolazimo i do zaključka tj. jednostavnoga rezultata kvalitete zraka kojim prikazujemo je li kvaliteta zraka dobra, umjerena ili loša.

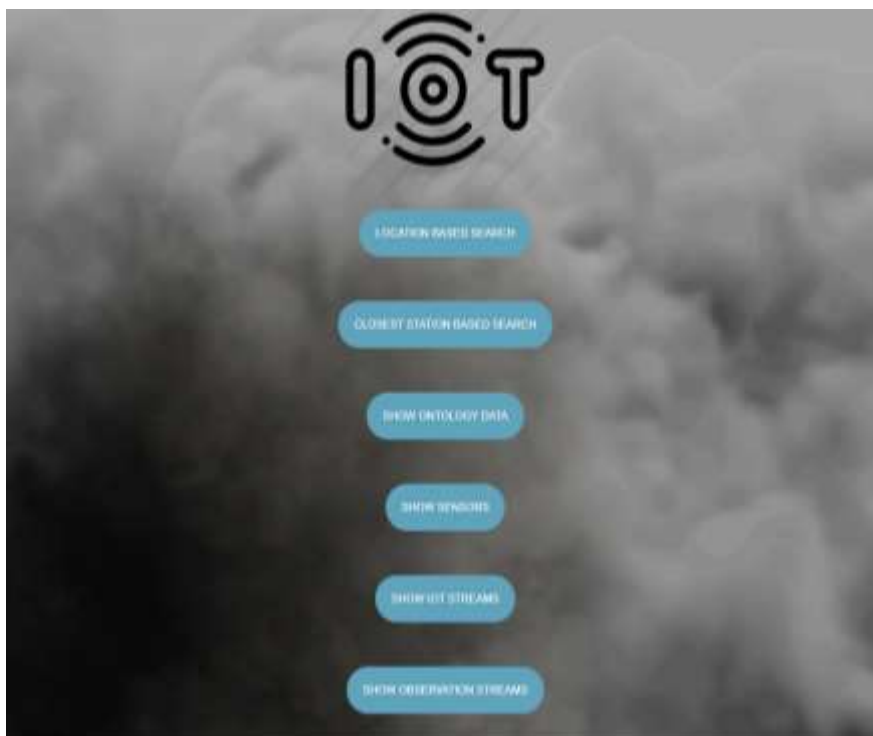
U nastavku rada opisat će se namjena i rad naše aplikacije za unos i prikaz podataka o kvaliteti zraka. Izvorni kod aplikacije javno je dostupan na githubu na sljedećoj adresi: <https://github.com/mjerbic1/IoTOntology>. Razvijena aplikacija ima sljedeće glavne funkcije: pretraživanje temeljeno na lokacijskim podacima, pretraživanje na temelju najbliže mjerne stanice, te prikaz općenitih podataka ontologije, podataka o sensorima, podataka o tokovima podataka i praćenje tokova podataka (Slika 2). Kod pretraživanja temeljenog na lokacijskim podacima, u aplikaciju se može unijeti naziv grada ili koordinate. Nakon što je lokacija unesena, dohvaćaju se podatci o vremenu te kvaliteti zraka pozivom API servisa na temelju lokacije. Kod pretraživanja na temelju najbliže mjerne stanice, postupak dodavanja podataka u ontologiju je isti dok je jedina razlika ta što se dohvaćaju samo podatci najbliže mjerne stanice prema IP adresi koja upućuje API poziv. Za prikaz općenitih podataka ontologije, potrebno je učitati model. Stoga se model čita na temelju izlazne datoteke unosa podataka u ontologiju. Za sve ove svrhe koristi se Apache Jena okvir u Java aplikaciji. Ostali spomenuti prikazi rade se pozivom odgovarajućega SPARQL upita. Detalji se mogu vidjeti na već spomenutom javnom repozitoriju izvornoga koda ovoga članka dostupnoga na <https://github.com/mjerbic1/IoTOntology>. Na primjer, prikaz svih objektnih svojstava i njihovih dosega prema odabranom senzoru radi se korištenjem sljedećeg SPARQL upita:

```

private List<List<String>> getSensorInfo() {
    String queryString = prefix
        + "SELECT DISTINCT ?x ?y "
        + "{"
        + "<" + selectedSensor2 + "> ?x ?y"
        + "}";

    return OwlReaderUtil.executeQueryOTwoColumn(getServletContext(),
        queryString);
}

```



Slika 2. Početni zaslon aplikacije za rad s IoT ontologijom

Zaključak

Neke definicije IoT-a usredotočuju se na stvari koje postaju povezane u IoT-u, druge se usredotočuju na internetske protokole i mrežne tehnologije, a treći se tip fokusira na semantičke izazove koji se odnose, primjerice, na pohranu, pretraživanje i organiziranje velikih količina podataka. Fokus ovoga rada bio je upravo izazov pohrane i pretraživanja velikih količina podataka koje IoT generira. Kao jedna od tehnologija koje nam omogućuje da na otvoren i smislen način odredimo koncepte i odnose koji kolektivno karakteriziraju neko područje

interesa, korištena je ontologija. Velika prednost ontologija je mogućnost njenoga ponovnoga korištenja nakon razvitka za jednu svrhu. SSN ontologija se pokazala kao bitna podloga modela predstavljenoga u ovom radu, no njena prevelika sveobuhvatnost je stvorila potrebu za uzimanjem u obzir njenih pojednostavljenih modela koji koriste samo najčešće elemente IoT-a.

Činjenica je da uz samo stvaranje sveobuhvatne ontologije, važno pitanje je i kako koristiti ontologiju koja će moći podržati različite zadatke u semantički orijentiranom IoT-u. Jedan od tih zadataka je i dohvat podataka koji je u radu ostvaren korištenjem SPARQL upita koji predstavljaju moćan alat ne samo dohvata, već i interpretacije podataka. Uz sve svoje prednosti, SPARQL i dalje ima prostora za napredak, a samo jedan od prijedloga je mogućnost ažuriranja, dodavanja te brisanje pojedinaca, veza i drugih svojstava u ontologiji.

Literatura

1. Androcec, Darko, Matija Novak, and Dijana Oreski. (2018). "Using Semantic Web for Internet of Things Interoperability: A Systematic Review." *International Journal on Semantic Web and Information Systems* 14 (October): 147–71. <https://doi.org/10.4018/IJSWIS.2018100108>.
2. Androcec, Darko, and Neven Vrcek. (2016). "Thing as a Service Interoperability: Review and Framework Proposal." In *2016 IEEE 4th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*, 309–16. <https://doi.org/10.1109/FiCloud.2016.51>.
3. "Apache Jena." n.d. Accessed April 27, (2021). <https://jena.apache.org/>.
4. Banafa, Ahmed. (2014). "The Internet of Everything," April. <https://doi.org/10.13140/2.1.3805.2487>.
5. Bermúdez-Edo, María, Tarek Elsaleh, Payam Barnaghi, and Kerry Taylor. (2015). "IoT-Lite Ontology." *W3C Member Submission* 26 (November).
6. Compton, Michael, Payam Barnaghi, Luis Bermudez, Raúl García-Castro, Oscar Corcho, Simon Cox, John Graybeal, et al. (2012). "The SSN Ontology of the W3C Semantic Sensor Network Incubator Group." *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web* 17 (December): 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.websem.2012.05.003>.
7. Krichel, Thomas. (2002). "The Semantic Web and an Introduction to RDF." Preprint. 2002. <http://eprints.rclis.org/4214/>.

8. Noy, N., and Deborah McGuinness. (2001). "Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology." *Knowledge Systems Laboratory* 32 (January).
9. Payam Barnaghi, Wei Wang, Cory Henson, and Kerry Taylor. (2012). "Semantics for the Internet of Things: Early Progress and Back to the Future." *International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS)* 8 (1): 1–21. <https://doi.org/10.4018/jswis.2012010101>.
10. Rowley, Jennifer, and Richard Hartley. (2017). *Organizing Knowledge: An Introduction to Managing Access to Information*. 4th edition. Routledge.
11. Vernesan, O., P. Friess, G. Woysch, Patrick Guillemin, Sergio Gusmeroli, Harald Sundmaeker, Alessandro Bassi, Markus Eisenhauer, and Klaus Moessner. (2012). "Europe's IoT Strategic Research Agenda 2012, The Internet of Things 2012: New Horizons." *IERC - Internet of Things European Research Cluster*, January, 22–23.
12. Walton, Christopher. (2006). *Agency and the Semantic Web*. 1st edition. Oxford: Oxford University Press.