

Agentsko elektroničko tržište telekomunikacijskih usluga u novoj generaciji mreže

Vedran Podobnik

Zavod za telekomunikacije, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu
vedran.podobnik@fer.hr

Sažetak — Sve izraženija konkurenčija na telekomunikacijskom tržištu te nova generacija mreže kao okolina budućnosti zahtijevaju od telekomunikacijskih tvrtki da redefiniraju svoju ulogu na tržištu i razviju nove poslovne modele. Moguće rješenje krije se u transformaciji telekomunikacijskih tvrtki u poslovne entitete koje karakteriziraju izražena usmjerenošć prema korisnicima i visoka razina inovativnosti. U takvom scenariju više neće biti najbitnije optimalno iskoristiti prijenosne kapacitete mreže, već efikasno automatizirati i koordinirati odnos između svakog pojedinog korisnika i mreže. Stoga ovaj članak predlaže koncept agentskog elektroničkog tržišta kao model na kojem bi se zasnivalo pružanje telekomunikacijskih usluga u novoj generaciji mreže.

Ključne riječi — Elektroničko tržište, inteligentni programski agenti, nova generacija mreže.

I. MOTIVACIJA

Velika zasićenost telekomunikacijskog tržišta uzrok je sve izraženijeg natjecanja među telekomunikacijskim tvrtkama (engl. *telcos*). U to natjecanje svaki se dan uključuje i sve više ostalih pružatelja usluga pristupa Internetu, poput operatera kabelskih i bežičnih mreža. Okolina u kojoj je prisutna velika konkurenčija među poslovnim entitetima nužno vodi do smanjivanja dobiti, tako da trenutna situacija na telekomunikacijskom tržištu predstavlja prijetnju razvoju čitavog ICT (engl. *Information and Communication Technologies*) sektora. Stoga, telekomunikacijske tvrtke moraju redefinirati svoju ulogu na tržištu i razviti nove poslovne modele, kako bi stvorile nove izvore prihoda, prebrodile trenutne probleme i stekle kompetitivnu prednost. Moguće rješenje krije se u transformaciji telekomunikacijskih tvrtki u poslovne entitete koje karakteriziraju izražena usmjerenošć prema korisnicima i visoka razina inovativnosti [1]. U takvom scenariju više neće biti najbitnije optimalno iskoristiti prijenosne kapacitete i infrastrukturu mreže, već efikasno automatizirati i koordinirati odnos između svakog pojedinog korisnika i mrežnog operatera s jedne, odnosno mrežnog operatera i dobavljača digitaliziranog sadržaja s druge strane lanca vrijednosti.

Ovaj članak analizirat će novu generaciju mreže (engl. *New Generation Network*, NGN) kao okolinu budućnosti za telekomunikacijske tvrtke [1, 2]. Analiza će biti napravljena ne samo iz tehničkog, već i iz sociološkog i ekonomskog aspekta. Na taj način neće biti predstavljena samo glavna infrastrukturna i konceptualna obilježja nove generacije mreže, već i zahtjevi koje će nove životne navike ljudi imati na takvu mrežu, te rezultirajući novi vrijednosni lanac (engl. *value chain*) ICT sektora. Na temelju analize nove generacije mreže, a s ciljem

dizajniranja efikasnog modela za automatizaciju i koordinaciju odnosa između entiteta u pripadajućem vrijednosnom lancu, ovaj članak će predložiti koncept agentskog elektroničkog tržišta (e-tržišta) kao model na kojem bi se zasnivalo pružanje telekomunikacijskih usluga u novoj generaciji mreže.

II. NOVA GENERACIJA MREŽE

Pojava nove generacije mreže posljedica je više faktora od kojih su neki tehnički, ali neki i netehnički (ekonomski i sociološki):

- Nove životne navike ljudi;
- Tehnološki razvoj ICT sektora;
- Potreba za redefiniranjem uloge telekomunikacijskih tvrtki na tržištu i stvaranjem novih poslovnih modela.

U nastavku poglavlja će svaki od ovih faktora biti detaljnije opisan.

A. Životni stil budućnosti

U budućnosti će postojati velika povezanost između stvarnosti i virtualnog *cyber-svjijeta*, te će čovjekove svakodnevne aktivnosti (poput kupovanja, školovanja, poslovanja, zabave ili zdravstvene zaštite) postati u velikoj mjeri digitalizirane, inherentno intelligentne, te samim time i puno jednostavnije [1]. Na tim temeljima izgraditi će se poboljšana razina životnog stila, stvarajući tako put prema stanju čovjekove okoline kojeg možemo nazvati *digitalnim humanizmom*. U toj viziji budućnosti ljudi će moći međusobno komunicirati i dijeliti informacije u svakom trenutku i na svakom mjestu, ali će im isto tako biti omogućeno razdoblje privatnosti i ograničene dostupnosti. Novi životni stil omogućit će čovjeku puno lakšu interakciju, kako s drugim ljudima, tako i s "intelligentnim" objektima iz okoline, ali što je najvažnije čovjeku će u svakom trenutku biti dostupna ne samo gomila općenitih sadržaja, već individualno prilagođene informacije i usluge.

Može se zaključiti kako će korisnici budućnosti od nove generacije mreže zahtijevati usluge koje su personalizirane, svjesne trenutnog konteksta, intelligentne, pokretne i uвijek dostupne.

B. Razvoj ICT sektora

Iz tehnološke perspektive smjer razvoja ICT sektora posljedica je spajanja trenda sveopće digitalizacije, koji je dodatno obogaćen konceptom semantičkog Weba, s idejom sveprisutnog računarstva (engl. *ubiquitous/pervasive computing*). Ova fuzija novih koncepata infrastrukturno se zasniva se na postojećoj internetskoj mreži i sve raširenijoj trećoj generaciji pokretnih mreža (engl. *3rd Generation*, 3G), te je

podržana mehanizmima umjetne inteligencije (engl. *Artificial Intelligence*, AI) koji omogućuju automatizaciju procesa, te njihovu personalizaciju i visoku razinu konkurentnosti (paralelizma izvođenja).

Inicijalna arhitektura Interneta bila je usmjerenja prema vizualnoj prezentaciji informacija ljudima, dok je početna svrha pokretnih telekomunikacijskih sustava bila omogućiti komunikaciju među ljudima dok su u pokretu. Trenutno svjedočimo konvergenciji telekomunikacijskih sustava i Interneta u jedinstven sustav čija je arhitektura usmjerenja prema omogućavanju proaktivnih aplikacija da se kontinuirano i neprestano prilagođavaju potrebama entiteta kojeg u tom sustavu zastupaju (čovjek ili poslovna organizacija). Aplikacije pritom moraju inteligentno koordinirati razmjenu informacija i svoje akcije [3]. Istovremeno, računala fizički "nestaju" jer postaju ugrađena u okolinu, te logički evoluiraju od izoliranih uređaja prema mjestima ulaza u globalni sustav razmjene informacija [4].

1) Sveopća digitalizacija i semantički Web: Veliki napretci u razvoju informacijske tehnologije uzrokovali su nezaustavljen trend digitalizacije svih oblika informacija, ne samo višemedijskih (govor, zvuk, slika, video), već i različitih vrsti običnih tekstova (vijesti, novine, knjige) ili bilo kojeg drugog tipa podataka (npr. zdravstveni karton, knjiga dioničara ili stanje na bankovnom računu) [5]. Digitalizirana informacija ima dvije glavne prednosti pred "tradicionalno" predstavljenom informacijom:

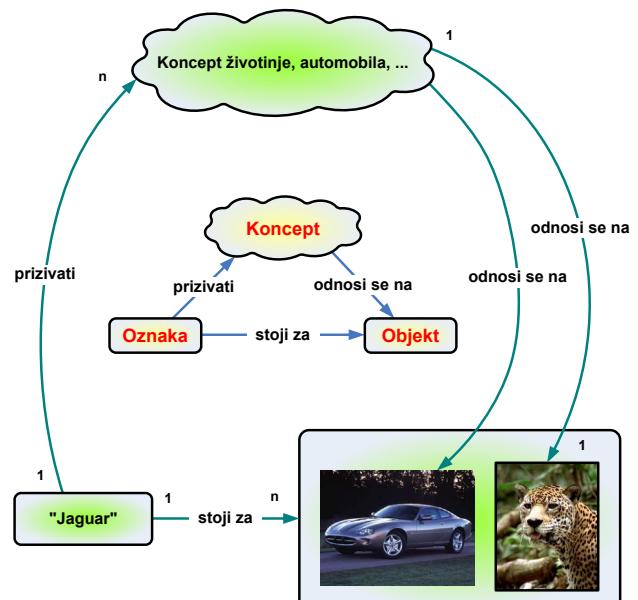
- Olakšana pohranja i rukovanje budući da se ogromna količina informacija može dugotrajno pohraniti na fizički malen medij (memorijske kartice, CD/DVD-i, tvrdi diskovi). Različite vrste informacija mogu se zajednički pohranjivati na isti medij jer su sve zapravo ništa drugo nego uređeni niz nula i jedinica.
- Jednostavan i brz način prijenosa s jednog medija na drugi (ili pak kopiranja i distribucije), budući da su komunikacijska tehnologija i računalne mreže optimizirane upravo za prijenos digitaliziranih informacija.

Trend sveopće digitalizacije u posljednjih petnaestak godina vremenski se poklopio s eksplozivnim rastom WWW-a (engl. *World Wide Web*, dalje u tekstu Web). To nije nimalo čudno jer je jedan trend zapravo bio katalizator za drugi, i obrnuto. Upravo je "glad" Weba za novim sadržajem popularizirala digitalizaciju informacija, a s druge strane upravo je zanimljivost dostupnog sadržaja bila glavni poticaj brzoj proliferaciji Weba. Iako današnji Web predstavlja izvanredan izvor informacija, problem s kojim se trenutno susrećemo je taj da je sadašnji oblik prikaza sadržaja prilagođen potrebama ljudi, tj. sadržaj je prezentiran uz pomoć HTML-a (engl. *Hyper Text Markup Language*, <http://www.w3.org/MarkUp>) tako da ga ljudi mogu čitati, gledati ili slušati uz pomoć Web preglednika (engl. *Web browser*). Međutim, iako HTML ljudima omogućava da pretražuju i koriste Web sadržaj, on ne opisuje taj sadržaj na način koji bi omogućio računalnim programima da ga sami automatizirano pretražuju i interpretiraju [6]. Budući da će Web doseći svoj puni potencijal u trenutku kada će biti omogućeno automatizirano dijeljene i procesiranje njegovog sadržaja od strane računalnih programa, Tim Berners-Lee, "otac" Weba, potaknuo je razvoj *semantičkog Weba*. "Semantički je Web proširenje sadašnjeg Weba, ali u kojem je informaciji pridjeljeno točno definirano značenje, te je na

taj način stvorena okolina u kojoj računala i ljudi mogu bolje suradivati", napisao je Tim Berners-Lee [7] kada je predstavljao koncept semantičkog Weba [4, 5, 8, 9].

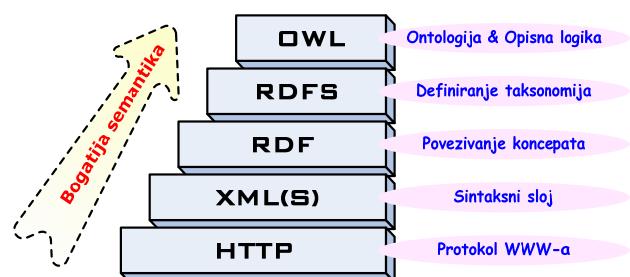
U kontekstu semantičkog Weba ontologija je formalni i eksplicitni AI alat koji omogućuje razmjenu i ponovno korištenje informacija (koje zbog toga zovemo znanjem) [4]. Ontologija zapravo predstavlja opis koncepata iz određene domene interesa, te opis odnosa među tim konceptima. To znači da ontologija definira terminologiju za određenu domenu interesa. Predefinirane ontologije omogućuju računalnim programima interpretiranje značenja određenog Web sadržaja. Ontologije se mogu referirati na druge ontologije, te tako stvarati domenski ovisne terminologije koje detaljnije opisuju određene koncepte i odnose među njima.

"Ljudi ne mogu dijeliti znanje ako ne razgovaraju istim jezikom" [10]. Razmjena znanja je moguća jedino ako sudionici govore istim jezikom, odnosno ako preslikavaju oznaku u objekt na isti način. To znači da prizivaju isti koncept kada koriste neki znak (Slika 1). Ontologije bi trebale omogućiti računalima da postignu takvo uzajamno razumijevanje.



Slika 1. Višestruka interpretacija oznake "jaguar"

U procesu stvaranja ontologije koja opisuje određenu digitaliziranu informaciju (npr. digitalni video ili uslugu mreže nove generacije) potrebno je koristiti više tehnologija, kao što je prikazano Slikom 2.



Slika 2. Elementi izgradnje semantičkog Weba

Protokol HTTP (engl. *Hypertext Transfer Protocol*, <http://www.w3.org/Protocols>), podržan URI mehanizmom (engl. *Uniform Resource Identifier*, <http://www.w3.org/Addressing>) koji omogućuje jednoznačnu identifikaciju na globalnoj razini, pruža podršku za dostupnost ontologija s bilo kojeg mesta. Jezik XML (engl. *eXtensible Markup Language*, <http://www.w3.org/xml>), podržan Unicode standardom (<http://www.unicode.org>), definira sintaksu za strukturiranje dokumenata, ali pritom informacijama navedenim u jednom takvom dokumentu ne dodjeljuje nikakvo semantičko značenje. Na XML se nadograđuje XML Schema (<http://www.w3.org/XML/Schema>) koja uvodi dodatne restrikcije u strukturu XML dokumenata, te proširuje XML s tipovima informacija. Koncept RDF-a (engl. *Resource Description Framework*, <http://www.w3.org/rdf>) omogućuje modeliranje informacija (koji se ovdje nazivaju resursi) i odnosa između njih. RDF dokument opisuje znanje u obliku trojki koje se temelje na SVO (engl. *subject-verb-object*, subjekt-predikat-objekt) formi. Trojke definiraju relacije među resursima i na taj način služe za uvođenje jednostavne semantike. Na RDF se nadograđuje RDF Schema (<http://www.w3.org/TR/rdf-schema>) koja služi za opisivanje klasa (vrsti) i karakteristika RDF resursa. RDF Schema to postiže pomoću mehanizma za izgrađivanje hijerarhije klasa i karakteristika resursa. Jezik OWL (engl. *Web Ontology Language*, <http://www.w3.org/TR/owl-features>) je puno napredniji semantički jezik koji raspolaže značajno većim rječnikom za opisivanje klasa i karakteristika, tako da može opisivati složenije odnose među resursima (npr. disjunktnost ili ekvivalentnost), kao i složenije karakteristike resursa (npr. kardinalnost). Jezik

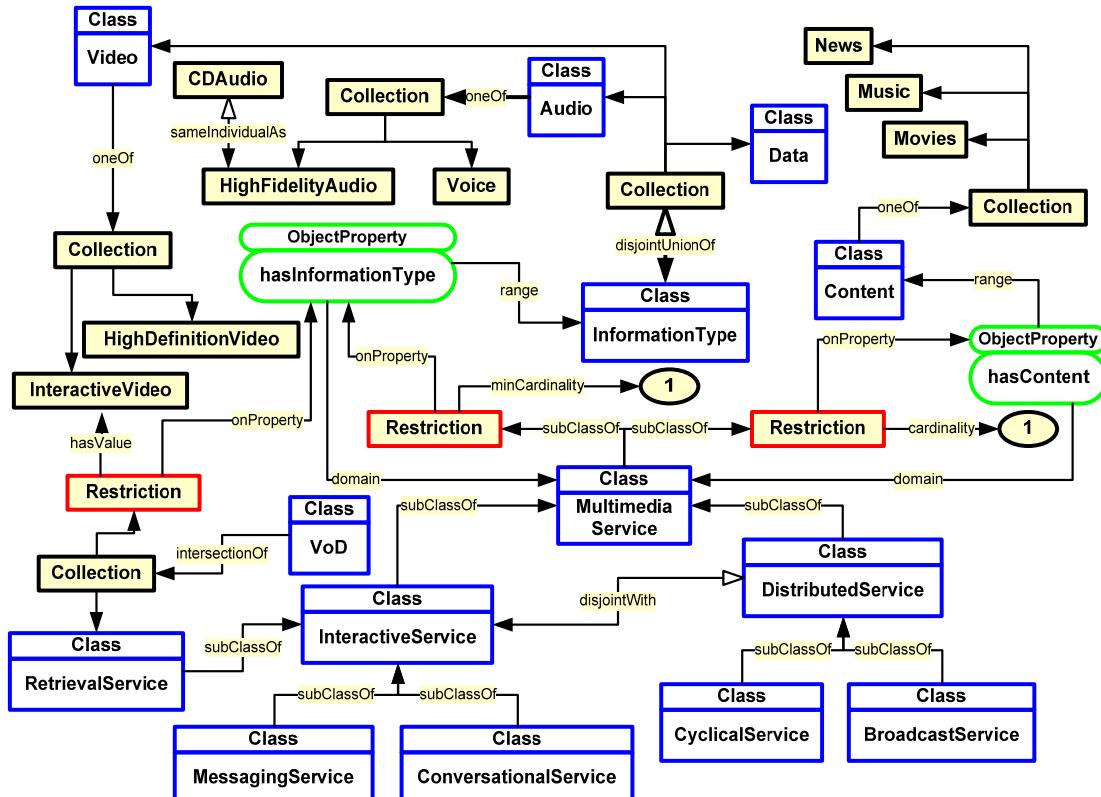
OWL se zasniva na opisnoj logici (engl. *Description Logic*, DL). Opisna logika je formalizam koji se koristi za reprezentaciju znanja i zaključivanje, te omogućuje razlučivanje implicitnih posljedica eksplicitno opisanog znanja. Na Slici 3 može se vidjeti grafički prikaz OWL ontologije koja opisuje *višemedijsku uslugu* (engl. *multimedia service*) u mreži nove generacije.

2) *Sveprisutno računarstvo*: Kada je krajem 1980-ih Mark Weiser "izmislio" koncept sveprisutnog računarstva tada je ta ideja bila ništa više nego vizija za 21. stoljeće. "Najpotpunije tehnologije su one koje iščezavaju", napisao je tada. "One se utkaju u strukturu svakodnevnog života tako da postanu nerazlučive od njega samoga" [11]. Ovim riječima Weiser predviđa da će računala postati naši nevidljivi "sluge" na koje ćemo brzo zaboraviti, ali koji će stalno biti uz nas dok ih, bez mnogo truda, koristimo prilikom obavljanja svakodnevnih zadataka [12]. Bitno je za naglasiti da računala u Weiserovoj viziji nisu fizički nevidljiva, već kao dio konteksta u kojem se koriste.

Otpriklike u isto vrijeme Weiser je identificirao tri ere računarstva [13]:

- Prva era je era *mainframe* računala, gdje svako računalo koristi mnogo ljudi;
- Druga era je era osobnih računala (engl. *personal computer*, PC), gdje svako računalo koristi točno jedna osoba;
- Treća era je era sveprisutnog računarstva, ili vrijeme *nенаметљиве технологије* (engl. *calm technology*), gdje tehnologija postaje sveprisutna u našim životima, ali istovremeno je postajemo nesvesni, te ona uzmiče u drugi plan.

Trenutno svjedočimo zalazu druge i početku treće ere.



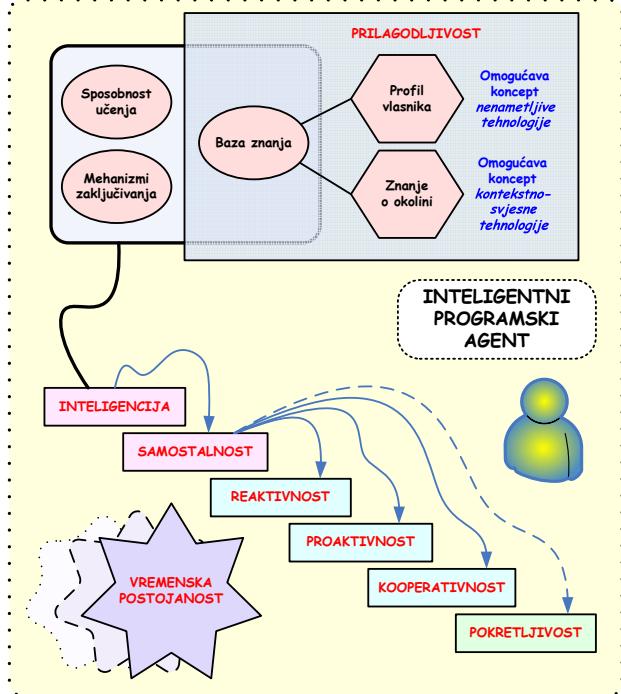
Slika 3. OWL ontologija za opis višemedijske usluge

Težnja sveprisutnog računarstva je stvoriti takvu okolinu koja će se (pro)aktivno prilagodavati korisnikovim potrebama i njegovom trenutnom kontekstu, te na taj način implicitno minimizirati privlačenje korisnikove pažnje [14]. U takvom scenariju različiti tipovi komunikacijski-sposobnih uređaja koriste se kao korisnikovi "tih i nevidljivi sluge", omogućitelji koncepta nemametljive tehnologije. Nemametljiva tehnologija je, dakle, ona koja nam služi i koja nas informira, ali koja pritom ne zahtijeva našu pažnju [13]. Iako je Weiser prije dvadesetak godina pokušao pretvoriti svoju viziju u stvarnost, tada je postojalo previše tehničkih ograničenja koja su ga sprječavala da uspije. U međuvremenu su napravljena ogromna postignuća na područjima bežičnih tehnologija i pokretnih telekomunikacijskih sustava, koja su zajedno s ubrzanom proliferacijom različitih prijenosnih uređaja omogućila napredak Weiserove vizije prema tehničkoj i ekonomskoj održivosti [15]. Danas Weiserove ideje postaju realnost u obliku nove generacije komunikacijskih sustava. Mreža nove generacije stvorit će računalno heterogenu, ali i računalno semantički svjesnu okolinu ispunjenu mnoštvom različitih uređaja koji će svi posjedovati sposobnost da međusobno komuniciraju.

Dvije računarske paradigme koje su omogućile razvoj sveprisutnog računarstva su *distribuirani sustavi* (engl. *distributed systems*) i *pokretno računarstvo* (engl. *mobile computing*). U trenutku kada je umrežavanje postalo tehnički moguće i ekonomski isplativo tada je osobno računarstvo evoluiralo u distribuirano računarstvo. Na taj način je osiguran stalni i transparentan pristup udaljenim resursima s bilo koje lokacije u mreži. Iako isprva Web nije bio zamišljen kao infrastruktura distribuiranih sustava, njegova fizička raširenost i logička sveprisutnost su od njega stvorili atraktivno okruženje za implementaciju koncepata sveprisutnog računarstva [15]. Pokretno se računarstvo, s druge strane, razvilo iz integracije 3G mreža s WWW infrastrukturom kao posljedicom trenda koji zahtijeva transformaciju pokretnih mreža u IP-zasnovane (engl. *Internet Protocol*) mreže. Prijenosni uređaji kojima gotovo svakodnevno padaju i cijena i dimenzije, te koncept koji razdvaja sam uređaj (npr. 3G mobilni telefon) od njegova vlasnika (npr. čovjek jednoznačno identificiran pomoću SIM (engl. *Subscriber Identity Module*) čipa), podupiru Weiserovu viziju o računalnim uređajima koji su veliki samo nekoliko centimetara, a u svakom su trenutku na raspolaganju korisnicima, ma gdje se oni nalazili [15].

3) *Inteligentni programski agenti*: Izražena dinamičnost i velika distribuiranost podataka i aplikacija u novoj generaciji mreže zahtijevaju od računalnih programa ne samo da odgovaraju na zahtjeve, nego da i inteligentno sudjeluju u aktivnostima u svojem okruženju, te se kontinuirano prilagođavaju trenutnom stanju svoje okoline i na taj način aktivno traže način kako da što bolje ostvare interes entiteta (čovjek ili poslovna organizacija) kojeg zastupaju [16]. Računalni program koji ima opisane karakteristike naziva se programskim agentom. Programski agent je, dakle, računalni program koji djeluje u ime svog vlasnika, obavljajući pritom složene informacijske i komunikacijske poslove u mreži [17]. Programski agenti omogućuju automatizirano izvršavanje i koordiniranje različitih procesa, te na taj način stvaraju dodanu vrijednost za svog vlasnika.

Na Slici 4 predstavljeni su odnosi između osnovnih obilježja inteligentnih programskih agenata [16, 18, 19, 20, 21]:



Slika 4. Model inteligentnog programskog agenta

- **Inteligencija:** Agent mora posjedovati nekakvu (barem primitivnu) inteligenciju [22] zasnovanu na vlastitoj *bazi znanja*, *mehanizmima zaključivanja* i *sposobnosti učenja*. Agentova inteligencija preduvjet je za sva druga njegova obilježja. Ovisno o namjeni agenta razlikuju se i informacije koje sadrži njegova baza znanja, ali generalno se te informacije mogu podijeliti na dva dijela – *profil vlasnika* agenta i agentovo *znanje o okolini*.
- **Prilagodljivost (adaptivnost):** Vrlo je važno za primijetiti kako agentova baza znanja ne sadrži statične informacije, nego agent neprestano osvježava svoje znanje. Na taj se način agent pokušava što je moguće bolje prilagoditi najnovijim potrebama svoga vlasnika, što mu omogućuje da ga efikasno predstavlja u okruženju nove generacije mreže i na taj način ostvari koncept nemametljive tehnologije. Agent također, na temelju aktualnih događanja u njegovom okruženju, kontinuirano osvježava znanje o svojoj okolini i na taj način ostvaruje koncept kontekstnosvesne tehnologije. Svjesnost o kontekstu (engl. *context-awareness*) je sposobnost agenta da prilagođava akcije trenutnom stanju u kojem se nalazi njegov vlasnik i trenutnoj situaciji u kojoj se nalazi njegovo okruženje [23]. U našem modelu razlikuju se *kontekst stanja* (npr. lokacija vlasnika ili temperatura okoline) i *kontekst mogućnosti* (npr. tehničke mogućnosti uređaja na kojemu se nalazi agent ili vrsta mreže preko koje agent ima pristup prema Internetu). Agent koji nema izraženo svojstvo adaptivnosti pretražuje unaprijed definirane uzorke ponašanja u svrhu pronalaska optimalnog odgovora na neki podrazaj iz okoline. Za razliku od toga adaptivni agenti, kroz svoje napredne mehanizme zaključivanja

i koristeći sposobnost učenja, imaju mogućnost kreiranja novih uzoraka ponašanja koji im osiguravaju da se bolje prilagode najnovijim dogadjajima u svom okruženju ili novim potrebama svoga vlasnika [24].

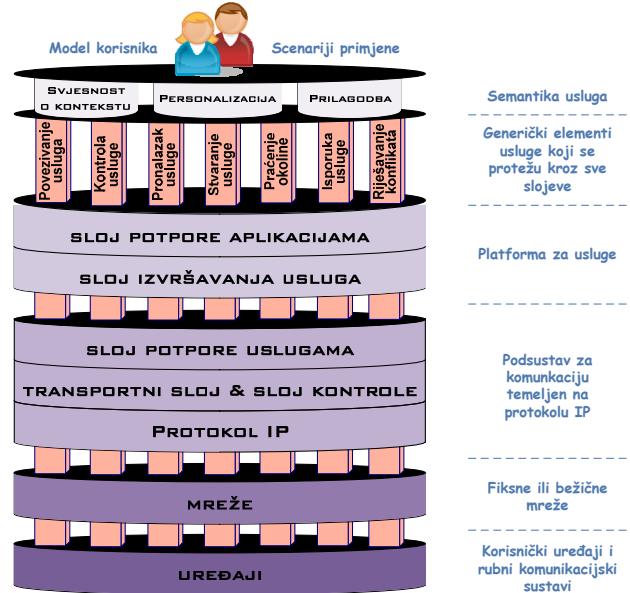
- **Samostalnost (autonomost):** Agent izvršava poslove u potpunosti samostalno, bez bilo kakvih intervencija svoga vlasnika, što ga čini "nevidljivim slugom", baš kako je Weiser u svojoj viziji i zamislio [13]. Autonomost agenta prepostavlja da on ima sposobnost kontrolirati svoje aktivnosti i osigurati resurse za njihovo izvođenje. Samostalnost agenta je omogućena njegovom inteligencijom, a najbolje se očituje kroz sljedeća tri svojstva – reaktivnost, proaktivnost i kooperativnost.
- **Reaktivnost:** Agent treba moći reagirati na utjecaje iz svoje okoline u kojoj djeluje. Agent zasniva svoje djelovanje na interakciji s okolinom, ili se umjesto toga oslanja na vlastiti model okoline u kojoj djeluje.
- **Proaktivnost:** Agent ne reagira samo na pobude iz svojeg okruženja, već poduzima inicijative sukladne preuzetim zadaćama, što je moguće uz dobro definirani cilj.
- **Kooperativnost:** Agent surađuje s ostalim agentima iz svoje okoline i na temelju te suradnje poduzima akcije koje omogućuju efikasnije rješavanje postavljenih mu zadaća [25, 26]. Upotreba koncepta semantičkog Weba za definiranje sadržaja u agentskoj komunikaciji omogućava ne samo da se agenti koji su razvijani potpuno neovisno jedan od drugoga međusobno razumiju, već i da komuniciraju na semantičkoj razini, slično kao i ljudi [27].
- **Pokretljivost:** Agent se može kretati između različitih korisničkih uređaja i drugih čvorova u mreži, te na taj način fizički migrirati unutar infrastrukture nove generacije mreže [28]. Da bi agent posjedovao svojstvo pokretljivosti moraju se osigurati dodatni sustavski uvjeti (postojanje agentske platforme na svakom čvoru domaćinu), jer konvencionalni programski sustavi ne dopuštaju kretanje programa. Svojstvo pokretljivosti najčešće nije nužno da bi agent mogao obavljati svoje zadaće, ali je često korisno i iz korisničkog gledišta i zbog činjenice da se na taj način rasterećuju mrežni resursi zbog smanjivanja komunikacije kroz mrežu. Ipak, ako je pokretljivost i implementirana u agentu, ona može biti više ili manje "inteligentna", ovisno o tome da li je agentu unaprijed zadano koje čvorove u mreži mora posjetiti ili on samostalno određuje kamo i kako će putovati kroz mrežu.
- **Vremenska postojanost:** Agent posjeduje svojstvo perzistentnosti identiteta i stanja kroz duže vremenske periode. Ako agent posjeduje i svojstvo pokretljivosti to znači da mora prilikom premještanja s jednog čvora na drugi imati sposobnost očuvati stanja svih svojih parametara i programske kodove, kao i točnu liniju koda od koje nastavlja s radom prilikom dolaska na novu mrežnu lokaciju.

U okruženju nove generacije mreže inteligentni programski agenti se mogu koristiti bilo za zastupanje krajnjih korisnika (ljudi) u mreži (personalizacija usluga i automatizacija interakcije između korisnika i mreže) ili za zastupanje interesa samog operatera u njegovoj vlastitoj mreži (automatizacija i koordinacija procesa unutar mreže). Pritom treba naglasiti da je agentski zasnovano

rješenje posebno efikasno prilikom modeliranja konkurentnih aktivnosti unutar mreže.

C. Novi poslovni model za telekomunikacijske tvrtke

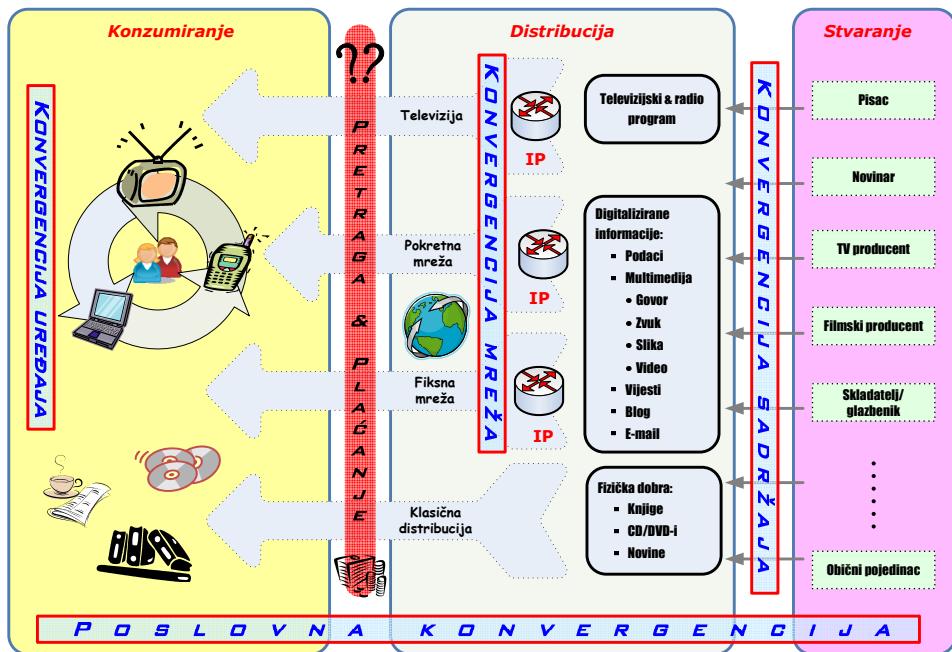
Slika 5 sažeto prikazuje sve zahtjeve koje opisani životni stil budućnosti i predstavljeni trend razvoja ICT sektora postavljaju pred pružatelje usluga u novoj generaciji mreže. Prilikom redefiniranja svoje ulogu na tržištu i razvijanja novih poslovnih modela telekomunikacijske tvrtke moraju paziti da omoguće pružanje usluga upravo na način opisan Slikom 5. Može se primijetiti kako je usmjereno prema korisnicima primarni zahtjev koji će telekomunikacijske tvrtke morati zadovoljiti. Gotovo je jednako važno da pritom budu inovativne.



Slika 5. Pružanje usluga u novoj generaciji mreže

Ključni pojam koji obilježava novu generaciju mreže je **konvergencija**, koja je višestruka jer se pojavljuje i na tehničkoj i na ekonomskoj razini, te na različitim entitetima unutar vrijednosnog lanca u ICT sektoru. Možemo identificirati sljedeće vrste konvergencije, a koje su prikazane na Slici 6:

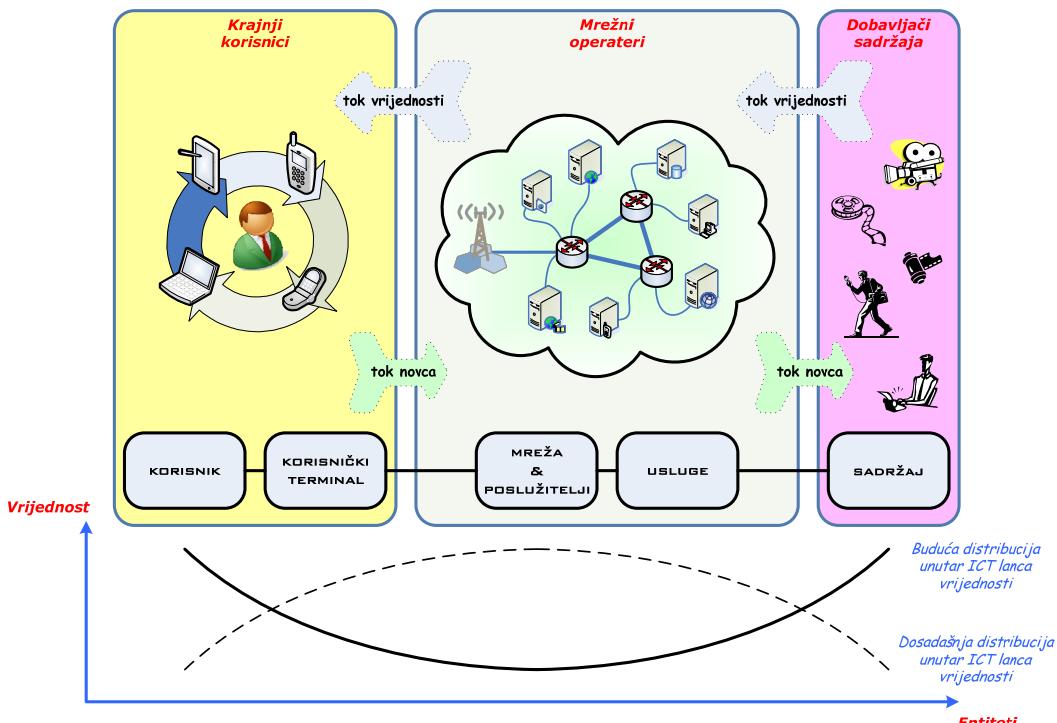
- **Konvergencija mreža:** Ovdje je riječ o tehničkoj konvergenciji (infrastrukturnoj konvergenciji koja se događa na razini mrežnog operatera), gdje se različite vrste fiksnih i bežičnih mreža, zajedno s digitaliziranim radio-televizijskim razašiljanjem (engl. *broadcasting*), stapaju u jedinstveni sustav.
- **Konvergencija uređaja:** Ovdje je riječ o tehničkoj konvergenciji (konceptualnoj konvergenciji koja se događa na razini krajnjeg korisnika) gdje korisniku postaje omogućeno da neovisno o uređaju i pristupnoj tehnologiji nesmetano koristi bilo koju mrežnu uslugu (tzv. *anywhere-anytime* koncept).
- **Konvergencija sadržaja:** Ovdje je riječ o tehničkoj konvergenciji (konceptualnoj konvergenciji koja se događa na razini dobavljača sadržaja) proizašloj iz ranije opisanog trenda sveopće digitalizacije. Jednom digitalizirana informacija se vrlo lako kopira, ili joj se prilagođava format, što omogućuje jednostavnu distribuciju različitim kanalima (posebice pomoću konvergirane mreže).



Slika 6. Konvergencije karakteristične za novu generaciju mreže

- Poslovna konvergencija:** Ovdje je riječ o ekonomskoj konvergenciji (i konceptualnoj i infrastrukturnoj konvergenciji koja se događa na svim razinama u vrijednosnom lancu) proizašloj iz povezivanja ICT sektora i medijske industrije. Telekomunikacijske tvrtke se povezuju s televizijskim operaterima i proizvođačima/dobavljačima sadržaja, redefinirajući tako distribuciju vrijednosti u ICT vrijednosnom lancu (Slika 7). U klasičnom ICT

vrijednosnom lancu najveća je vrijednost bila sadržana u samoj mreži – njenoj infrastrukturi i tehnologijama koje su omogućavale komunikaciju. Za razliku od toga novi vrijednosni lanac stavlja naglasak s jedne strane na potpuno zadovoljenje korisnikovih želja pružajući mu personalizirane usluge (i okolinu koju karakteriziraju nenametljive tehnologije), a s druge strane na efikasnu nabavu sadržaja i inovativno modeliranje usluga.



Slika 7. Novi vrijednosni lanac u ICT sektoru

III. ELEKTRONIČKA TRŽIŠTA

Elektroničko tržište (engl. *electronic marketplace*, *e-market*, e-tržište) je sustav temeljen na ICT tehnologijama, a podržava barem jednu od funkcija klasičnog tržišta (identifikacija potencijalnih kupaca, pretraživanje proizvoda, pregovaranje o cijeni istih, obavljanje poslovnih transakcija, plaćanje i isporuka proizvoda). Elektronička tržišta možemo podijeliti na različite načine, ovisno o perspektivi iz koje ih promatramo (Tablica I) [29].

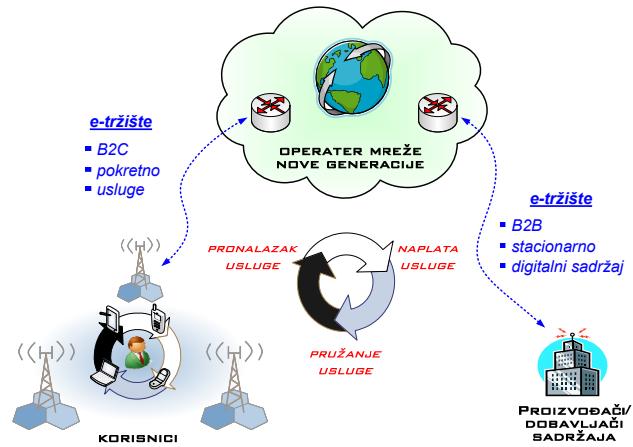
TABLICA I.
PODJELE ELEKTRONIČKIH TRŽIŠTA

Kriterij podjele	Vrste elektroničkih tržišta
Sudionici u trgovanju	B2C tržišta (engl. <i>Business-to-Consumer</i>), gdje tvrtke prodaju dobra krajnjim potrošačima
	B2B tržišta (engl. <i>Business-to-Business</i>), gdje se trgovina obavlja između dvije tvrtke
	C2C tržišta (engl. <i>Consumer-to-Consumer</i>), gdje se trgovina obavlja između dva krajnja potrošača
	G2X & X2G, gdje G označava državnu upravu (engl. <i>government</i>), a X stoji ili umjesto B što označava tvrtke (engl. <i>business</i>) ili umjesto C što označava građane koji su krajnji potrošači (engl. <i>citizen</i> , odnosno engl. <i>consumer</i>)
Pokretljivost sudionika	Stacionarna tržišta
	Pokretna tržišta (engl. <i>mobile markets</i> , <i>m-markets</i>)
Predmet trgovanja	Tržišta proizvoda (engl. <i>product markets</i>)
	Tržišta usluga (engl. <i>service markets</i>)
	Tržišta digitalnog sadržaja (engl. <i>digital content markets</i>)

Programski agenti su tehnologija koja se zbog svojih inherentnih svojstava upravo savršeno uklapa u okolinu e-tržišta [30]. U prošlosti, dok e-tržište nije postojalo još ni kao vizija, veličina tržišta i mogućnost izbora bili su puno manji, pa su i funkcije ponude i potražnje bile tromjese u svojoj promjeni. Tvrte (ili krajnji korisnici) nisu bile prisiljene svakodnevno donositi bitne odluke na takvima tržištima, nego su se poslovi sklapali na dulja razdoblja. Danas, kada je globalizacija na ekonomskom planu došla gotovo do te točke da za svako dobro postoji samo jedno tržište – ono globalno, funkcije ponude i potražnje postale su puno dinamičnije, a mogućnost izbora se povećala do nevjerojatnih razina. Zato je tvrtkama (ili krajnjim korisnicima) na takvom tržištu jako teško s mehanizmima koje trenutno upotrebljavaju povećati efikasnost svojih poslovnih procesa. One moraju u kratkom vremenskom roku donositi mnoge bitne odluke, odnosno dan za danom sklapati mnoštvo poslovnih ugovora, neprestano pokušavajući maksimizirati svoj profit. U uvjetima kada su parametri tržišta jedne minute jedni, a već sljedeće možda sasvim različiti, te dok su dostupne količine bitnih informacija ogromne, moguće rješenje za povećanje efikasnosti poslovnih procesa krije se u automatiziranju tih procesa i isključivanju čovjeka iz donošenja odluka (tamo gdje je to moguće). Čovjek, odnosno skupina ljudi, jednostavno nemaju kognitivnu sposobnost obraditi svu tu količinu informacija u tako kratkom roku da se neki od parametara ne promijeni, i pritom još donijeti najpovoljniju odluku. Vrlo logično rješenje ovoga

problema jesu programski agenti – programi sposobni u potpunosti samostalno riješiti zadatak koji postavljen pred njih.

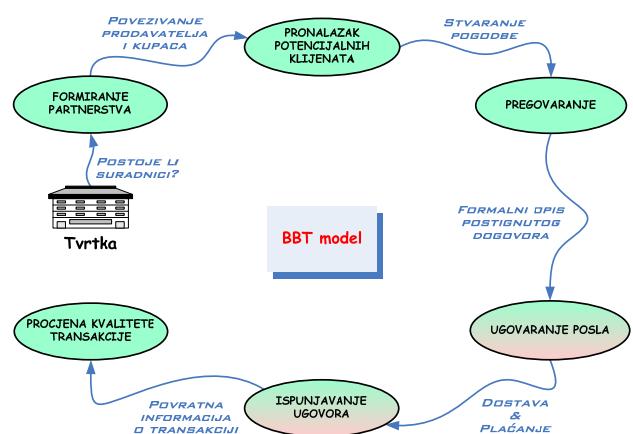
Na temelju analize nove generacije mreže koja je provedena u Poglavlju II, a s ciljem dizajniranja efikasnog modela za automatizaciju i koordinaciju odnosa između entiteta u pripadajućem vrijednosnom lancu, ovaj članak predlaže koncept agentskog e-tržišta (Slika 8) kao model na kojem bi se zasnilovalo pružanje telekomunikacijskih usluga u novoj generaciji mreže. Na Slici 8 može se primijetiti da predloženi koncept zapravo sadrži dva e-tržišta. Prvo e-tržište je stacionarno B2B tržište gdje operateri mreže nove generacije nabavljaju sadržaj od proizvođača/dobavljača digitalnog sadržaja. Operateri zatim kombiniraju kupljeni sadržaj i infrastrukturu svoje mreže kako bi dizajnirali usluge koje onda prodaju krajnjim korisnicima na drugom, pokretnom B2C e-tržištu.



Slika 8. Elektronička tržišta u mreži nove generacije

A. Elektroničko tržište za trgovinu digitalnim sadržajem

E-tržište za trgovinu digitalnim sadržajem je stacionarno B2B tržište gdje se operateri mreže nove generacije, predstavljeni svojim programskim agentima, pojavljuju kao kupci, dok se proizvođači/dobavljači digitalnog sadržaja, također predstavljeni svojim programskim agentima, pojavljuju kao prodavatelji.



Slika 9. BBT model aktivnosti na B2B e-tržištima

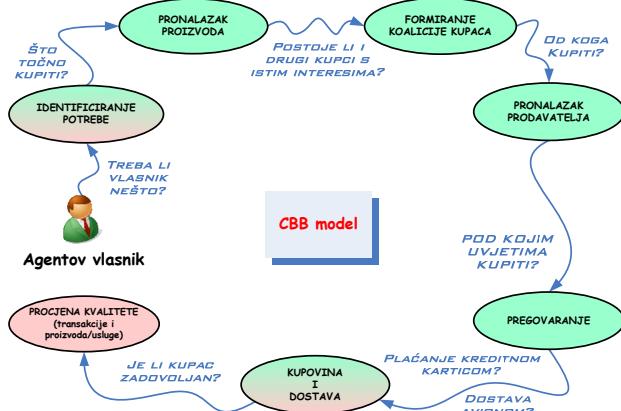
Na Slici 9 predstavljen je BBT (engl. *Business-to-Business Transaction*) model aktivnosti na B2B e-

tržištima [31, 32], koji identificira bitne korake tijekom izvođenja jedne transakcije na takvome tržištu. Važno je za naglasiti da se faze *formiranja partnerstva*, *pronalaska potencijalnih klijenata*, *pregovaranja* i *procjene kvalitete transakcije* mogu u potpunosti automatizirati upotrebom programskih agenata. Za razliku od toga u fazama *ugovaranja posla* i *ispunjavanja ugovora* agenti mogu sudjelovati, ali još uvijek postoje određene zakonske prepreke (programska agenta ne može sklopiti valjan ugovor) ili se pak mogu pojaviti tehničke nemogućnosti (programska agenta ne može dostaviti kupcu kupljena fizička dobra, npr. automobil), koji sprječavaju agente da navedene faze u potpunosti samostalno izvrše.

Prva tri koraka – faza *formiranja partnerstva*, faza *pronalaska potencijalnih klijenata* i faza *pregovaranja* su mesta gdje prednosti agentske tehnologije najviše dolaze do izražaja zbog činjenice da upravo ti koraci uključuju složene probleme poput pronalaska i procjenjivanja ogromnog broja mogućih rješenja i višeatributnih optimizacija.

B. Elektroničko tržište za trgovinu telekomunikacijskim uslugama

E-tržište za trgovinu telekomunikacijskim uslugama je pokretno B2C tržište gdje se operateri mreže nove generacije, predstavljeni svojim programskim agentima, pojavljuju kao prodavatelji, dok se pokretni krajnji korisnici, također predstavljeni svojim programskim agentima, pojavljuju kao kupci.



Slika 10. CBB model aktivnosti na B2C e-tržištima

Na Slici 10 predstavljen je CBB (engl. *Consumer Buying Behaviour*) model aktivnosti na B2C e-tržištima [2, 31], koji identificira bitne korake tijekom izvođenja jedne transakcije na takvome tržištu. Važno je za naglasiti da se faze *pronalaska proizvoda* [2, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41], *formiranja koalicije kupaca*, *pronalaska prodavatelja* [2, 40, 42, 43, 44, 45, 46] i *pregovaranja* [3, 47, 48, 49, 50, 51, 52] mogu u potpunosti automatizirati upotrebom programskih agenata. Za razliku od toga u fazi *kupovine i dostave* agenti mogu sudjelovati, ali još uvijek postoje zakonske prepreke (programska agenta ne može formalno izvršiti proces kupovine) ili se pak mogu pojaviti tehničke nemogućnosti (programska agenta ne može dostaviti kupcu kupljena fizička dobra, npr. automobil), koji sprječavaju agente da navedene faze u potpunosti samostalno izvrše. Također, u fazi *identificiranja potrebe* neki drugi entiteti iz vlasnikove okoline mogu napraviti dio agentovog posla (potreba

agentovog vlasnika za nekim proizvodom može biti stimulirana npr. preko reklame koju je vlasnik vidio ili pak preporukom prijatelja). Faza *procjene kvalitete* [2, 40] (kako samog tijeka transakcije, tako i kupljenog proizvoda/usluge) je jedina faza koja se zbog svojih inherentnih svojstava nikako ne može automatizirati upotrebom programskih agenata, budući da u potpunosti ovisi o subjektivnom osjećaju zadovoljstva koje ima agentov vlasnik zbog obavljene transakcije. Ista ova faza u BBT modelu aktivnosti na B2B e-tržištima može se automatizirati zato jer je funkcija zadovoljstva poslovnog entiteta poznata (najčešće ovisi o parametrima poput profita, ukupne vrijednosti transakcije ili zadržavanja starih, odnosno pridobivanja novih klijenata).

Središnje faze CBB modela – korak *pronalaska proizvoda*, korak *formiranja koalicije kupaca*, korak *pronalaska prodavatelja* i korak *pregovaranja* su mesta gdje prednosti agentske tehnologije najviše dolaze do izražaja zbog činjenice da upravo ti koraci uključuju složene probleme poput pronalaska i procjenjivanja ogromnog broja mogućih rješenja i višeatributnih optimizacija.

IV. ZAKLJUČAK

Ovaj članak predstavio je novu generaciju mreže (engl. *New Generation Network*, NGN) kao okolinu budućnosti za telekomunikacijske tvrtke. Analiza je napravljena ne samo iz tehničkog aspekta, već su razmatrani i sociološki i ekonomski faktori. Na taj način nisu opisana samo glavna infrastrukturna i konceptualna obilježja nove generacije mreže, već i zahtjevi koje će nove životne navike ljudi imati na takvu mrežu, te rezultirajući novi vrijednosni lanac ICT sektora. Na temelju analize nove generacije mreže, a s ciljem dizajniranja efikasnog modela za automatizaciju i koordinaciju odnosa između entiteta u pripadajućem vrijednosnom lancu, ovaj članak je predložio koncept agentskog e-tržišta kao model na kojem bi se zasnivalo pružanje telekomunikacijskih usluga u novoj generaciji mreže. Predloženi koncept sadrži dva e-tržišta – stacionarno B2B e-tržište za trgovinu sadržajem između operatera mreže nove generacije i proizvođača/dobavljača digitalnog sadržaja, te pokretno B2C e-tržište za trgovinu telekomunikacijskim uslugama između operatera mreže nove generacije i krajnjih korisnika. Zbog boljeg razumijevanja procesa na tim e-tržištima predstavljeni su generički modeli B2B (BBT model) i B2C (CBB model) e-tržišta, te je objašnjena moguća primjena programskih agenata u tim modelima. Sve to predstavlja temelj za istraživanje kako BBT i CBB model prilagoditi telekomunikacijskom sektoru, imajući pritom na umu da sve izraženja konkurenčija na telekomunikacijskom tržištu, te nova generacija mreže kao okolina budućnosti, zahtijevaju od telekomunikacijskih tvrtki da redefiniraju svoju ulogu na tržištu i razviju nove poslovne modele. U istraživanju pažnju treba obratiti i na životni stil budućnosti, budući da je distribucija vrijednosti u novom ICT lancu vrijednosti izraženo usmjerena prema korisnicima. Također, vrlo je važno u model agentskog e-tržišta telekomunikacijskih usluga uključiti sve nadolazeće koncepte, ideje i tehnologije, prije svega koncept sveprisutnog računarstva (engl. *ubiquitous/pervasive computing*) i njemu srodnu ideju nenametljive tehnologije (engl. *calm technology*), te tehnologiju semantičkog Weba koja trendu sveopće digitalizacije daje jednu potpuno novu dimenziju.

REFERENCE

- [1] J.-L. Yoon, "Telco 2.0: A new role and business model", *IEEE Communications Magazine*, vol. 45(1), pp. 10 -12, 2007.
- [2] V. Podobnik, G. Jezic & K. Trzec, "A multi-agent system for auction-based resource discovery in semantic-aware B2C mobile commerce", *Multiagent and Grid Systems*, u tisku.
- [3] V. Podobnik, A. Petric & G. Jezic, "The CrocodileAgent: research for efficient agent-based cross-enterprise processes", *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 4277, pp. 752-762, 2006.
- [4] D. Fensel, *Ontologies: A Silver Bullet for Knowledge Management and Electronic Commerce*. Berlin: Springer-Verlag, 2004.
- [5] B. Leuf, *The Semantic Web: Crafting Infrastructure for Agency*. New York: Wiley, 2006.
- [6] K. Sycara, M. Paolucci, A. Anolekar & N. Srinivasan, "Automated discovery, interaction and composition of Semantic Web services", *Journal of Web Semantics*, vol. 1(1), pp. 27-46, 2004.
- [7] T. Berners-Lee, J. Hendler & O. Lassila, "The Semantic Web", *Scientific American*, vol. 284(5), pp. 34-43, 2001.
- [8] J. Cardoso & A. P. Sheth, *Semantic Web Services, Processes and its Applications*. Berlin: Springer, 2006.
- [9] G. Antoniou & F. A. van Harmelen, *Semantic Web Primer*. MIT Press: Cambridge (USA), 2004.
- [10] T. H. Davenport & L. Prusak, *Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know*. Boston: Harvard Business School Press, 1997.
- [11] M. Weiser, "The computer for the 21st century," *Scientific American*, vol. 265(3), pp. 94-104, 1991.
- [12] M. Weiser, "The world is not a desktop", *ACM Interactions*, vol. 1(1), pp. 7-8, 1994.
- [13] M. Weiser & J. S. Brown, "The coming age of calm technology", u *Beyond Calculation: The Next Fifty Years of Computing*, P. J. Denning, R. M. Metcalfe & J. Burke (Eds.), New York: Springer-Verlag, 1997, pp. 75-86.
- [14] D. Garlan, D. Siewiorek, A. Smailagic & P. Steenkiste, "Project Aura: toward distraction-free pervasive computing", *IEEE Pervasive Computing*, vol. 1(2), pp. 22-31, 2002.
- [15] D. Saha & A. Mukherjee, "Pervasive computing: a paradigm for the 21st century," *IEEE Computer*, vol. 36(3), pp. 25-31, 2003.
- [16] J. M. Bradshaw, *Software Agents*. Cambridge (USA): MIT Press, 1997.
- [17] V. Čerić & M. Varga, *Informacijska tehnologija u poslovanju*. Zagreb: Element, 2004.
- [18] D. N. Chorafas, *Agent Technology Handbook*. New York: McGraw-Hill, 1998.
- [19] W. T. Cockayne & M. Zyda, *Mobile Agents*. Greenwich (USA): Manning Publications, 1998.
- [20] W. Brenner, R. Zarnekow & H. Wittig, *Intelligent Software Agents Foundations and Applications*. Berlin: Springer-Verlag, 1998.
- [21] H. S. Nwana, "Software agents: an overview", *Knowledge Engineering Review*, vol. 11(3), pp. 205-244, 1996.
- [22] N. Boudriga & M. S. Obaidat, "Intelligent agents on the Web: a review", *IEEE Computing in Science & Engineering*, vol. 6(4), pp. 35-42, 2004.
- [23] P. Bellavista, A. Corradi, R. Montanari & A. Toninelli, "Context-aware semantic discovery for next generation mobile systems", *IEEE Communications*, vol. 44(9), pp. 62-71, 2006.
- [24] M. Amin & D. Ballard, "Defining new markets for intelligent agents", *IEEE IT Professional*, vol. 2(4), pp. 29-35, 2000.
- [25] G. Jezic, M. Kusek & V. Sinkovic, "Teamwork coordination in large-scale mobile agent network," *Lecture Notes in Artificial Intelligence, Subseries of Lecture Notes in Computer Science*, vol. 4251, pp. 236-243, 2006.
- [26] M. Kusek, I. Lovrek & V. Sinkovic, "Agent team coordination in the mobile agent network," *Lecture Notes in Artificial Intelligence, Subseries of Lecture Notes in Computer Science*, vol. 3053, pp. 240-246, 2005.
- [27] J. Hendler, "Agents and the Semantic Web", *IEEE Intelligent Systems*, vol. 16(2), pp. 30-37, 2001.
- [28] D. B. Lange & M. Oshima, "Seven good reasons for mobile agents", *Communications of the ACM*, vol. 42(3), pp. 88-89, 1999.
- [29] V. Podobnik, *Programski agenti na elektroničkom tržištu*. Diplomski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu, Hrvatska, 2006.
- [30] C. Wagner & E. Turban, "Are intelligent e-commerce agents partners or predators?", *Communications of the ACM*, vol. 45(5), pp. 84-90, 2002.
- [31] M. He, *Designing Bidding Strategies for Autonomous Trading Agents*. Doktorska disertacija, School of Electronics and Computer Science, University of Southampton, UK, 2004.
- [32] S. S. Y. Shim, V. S. Pendyala, M. Sundaram & J. Z. Gao, "Business-to-business e-commerce frameworks. *IEEE Computer*, vol. 33(10), pp. 40-47, 2000.
- [33] S. Colucci, T. D. Noia, E. D. Sciascio, F. Donini & M. Mongiello, "Concept abduction and contraction for semantic-based discovery of matches and negotiation spaces in an e-marketplace", *Electronic Commerce Research and Applications*, vol. 4(3), pp. 345-361, 2005.
- [34] M. Klein & A. Bernstein, "Toward high-precision service retrieval", *IEEE Internet Computing*, vol. 8(1), pp. 30-36, 2004.
- [35] U. Keller, R. Lara, H. Lausen, A. Polleres & D. Fensel, "Automatic location of services", *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 3532, pp. 1-16, 2005.
- [36] M. Klusch, B. Fries & K. Sycara, "Automated Semantic Web service discovery with OWLS-MX", u *Proceedings of the 5th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems* (AAMAS '06), Hakodate (Japan), pp. 915-922, 2006.
- [37] T. Di Noia, E. Di Sciascio, F. M. Donini & M. Mongiello, "A system for principled matchmaking in an electronic marketplace", *International Journal of Electronic Commerce*, vol. 8(4), pp. 9-37, 2004.
- [38] V. Podobnik, "Semantic agents coordination", u *Proceedings of the 5th Summer Camp 2005* (Ericsson Nikola Tesla & Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu, Hrvatska), pp. 332-395, 2005.
- [39] V. Podobnik, G. Jezic & K. Trzec, "An agent-mediated electronic market of semantic Web services," u *Proceedings of the AAMAS Workshop on Business Agents and the Semantic Web* (BASeWEB '06), Hakodate (Japan), pp. 1-10, 2006.
- [40] V. Podobnik, K. Trzec & G. Jezic, "An auction-based semantic service discovery model for e-commerce applications," *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 4277, pp. 97-106, 2006.
- [41] J. Lindberg, W. Pasman, K. Kranenborg, J. Stegeman & M. A. Neerincx, "Improving service matching and selection in ubiquitous computing environments: a user study", *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 11(1), pp. 59-68, 2007.
- [42] W. S. Lim & C. S. Tang, "An auction model arising from an Internet search service provider," *European Journal of Operational Research*, vol. 172(3), pp. 956-970, 2006.
- [43] X. Luan, *Adaptive Middle Agent for Service Matching in the Semantic Web: A Quantitative Approach*. Doktorska disertacija, University of Maryland, Baltimore County, USA, 2004.
- [44] M. Fan, Y. Tan & A. B. Whinston, "Evaluation and design of online cooperative feedback mechanisms for reputation management", *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 17(2), pp. 244-254, 2005.
- [45] B. Padovan, S. Sackmann, T. Eymann & I. A. Pippow, "Prototype for an agent-based secure electronic marketplace including reputation-tracking mechanisms", *International Journal of Electronic Commerce*, vol. 6(4), pp. 93-113, 2002.
- [46] R. Wishart, R. Robinson, J. Indulska & A. Jøsang, "SuperstringRep: reputation-enhanced service discovery", u *Proceedings of the 28th Australasian Conference on Computer Science* (ACSC '05), Newcastle (Australia), pp. 49-57, 2005.
- [47] A. Petric, V. Podobnik & G. Jezic, "The CrocodileAgent analysis and comparison with other TAC SCM 2005 Agents", u *Proceedings of the AAMAS Workshop on Trading Agent Design and Analysis and Agent Mediated Electronic Commerce* (TADA/AMEC '06), Hakodate (Japan), pp. 202-205, 2006.

- [48] A. Petric, V. Podobnik & G. Jezic, "The CrocodileAgent 2005: an overview of TAC SCM agent", *Lecture Notes in Computer Science*, u tisku.
- [49] A. Petric, V. Podobnik & G. Jezic, "The CrocodileAgent: designing a robust trading agent for volatile e-market conditions", *Lecture Notes in Computer Science*
- [50] K. Trzec & I. Lovrek, "Modelling behaviour of trading agents in electronic market for communication resources", u *Proceedings of the 2nd Conference on Networking and Electronic Commerce Research* (NAEC '06), Riva Del Garda (Italy), 2006.
- [51] K. Trzec, I. Lovrek & B. Mikac, "Agent behaviour in double auction electronic market for communication resources," *Lecture Notes in Artificial Intelligence, Subseries of Lecture Notes in Computer Science*, vol. 4251, pp. 318-325, 2006.
- [52] K. Trzec, *Višeagentski sustav za upravljanje ugovorima o razini usluge na električkom tržištu telekomunikacijskih usluga*. Doktorska disertacija, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu, Hrvatska, 2005.