Pregled aukcijskih mehanizama za tarifiranje i alokaciju resursa cloud provajdera

BRANKA D. MIKAVICA, Univerzitet u Beogradu

Saobraćajni fakultet, Beograd

ALEKSANDRA M. KOSTIĆ-LJUBISAVLJEVIĆ, Univerzitet u Beogradu DOI: 10.5937/tehnika1706879M

Saobraćajni fakultet, Beograd

VESNA M. RADONJIĆ ĐOGATOVIĆ, Univerzitet u Beogradu

Saobraćajni fakultet, Beograd

Pregledni rad

UDC: 004.722

Intenzivan razvoj cloud computing-a uslovljava unapređivanje odgovarajućih mehanizama za tarifiranje i alokaciju resursa cloud provajdera. Imajući u vidu karakteristike cloud resursa i činjenicu da tražnja za pristup cloud resursima nije uniformna, neophodno je primenjivati dinamičke mehanizme za alokaciju i tarifiranje resursa. Ciljevi dinamičkih mehanizama su optimizacija iskorišćenja resursa i maksimiziranje prihoda cloud provajdera, kao i minimiziranje cena koju plaćaju korisnici cloud resursa. Pokazalo se da neki modeli aukcija mogu biti vrlo efikasni s obzirom da se na taj način resursi dodeljuju korisnicima koji ih najviše vrednuju a cene se određuju u skladu sa uslovima ponude i tražnje. Najveću primenu u alokaciji i tarifiranju resursa cloud provajdera imaju kombinatorne aukcije, dvostruke aukcije i njihova kombinacija. U ovom radu je dat pregled nekih predloženih modela ovih vrsta aukcija.

Ključne reči: cloud computing, tarifiranje, alokacija resursa, aukcije

1. UVOD

Pojava cloud computing-a predstavlja fundamentalnu promenu u načinu na koji se informacione tehnologije razvijaju, implementiraju, održavaju i tarifiraju. Prema ITU (International Telecommunication Union), cloud computing predstavlja paradigmu za omogućavanje pristupa skalabilnim, elastičnim i deljivim fizičkim ili virtuelnim resursima uz obezbeđivanje i administiranje servisa na zahtev [1]. Resursi cloud provajdera obezbeđuju se u obliku instanci. Svaka instanca predstavlja virtuelnu mašinu (VM) koja se odlikuje određenom hardverskom konfiguracijom i operativnim sistemom. Generalno, postoje tri vrste cloud instanci: rezervisane, on-demand i spot instance. Rezervisane instance su pogodne za organizacije koje imaju fiksnu tražnju za pristup računarskim resursima u dužim vremenskim intervalima. On-demand instance obezbeđuju elastičnost i fleksibilnost u pogledu pristupa. Korisnik može zahtevati pristup velikom broju on-

demand instanci u periodu velikog opterećenja i terminirati njihovo korišćenje nakon završetka opsluživanja svojih zahteva. Ove instance su pogodne za opsluživanje zahteva čija tražnja značajno varira u vremenu. Slično on-demand instancama, spot instance obezbeđuju skalabilnost na zahtev. Za razliku od on-demand instanci, spot instance ne garantuju kontinuitet u obezbeđivanju resursa (u svakom trenutku može doći do terminiranja instanci); korisnicima se ove instance iznajmljuju putem aukcije a jedinična cena iznajmljivanja spot instanci, spot cena, varira tokom vremena. On-demand instance se putem aukcija nude u vidu spot instanci u periodu niskog opterećenja. Spot instance ponovo postaju on-demand instance u periodu rasta tražnje za on-demand resursima. Stoga, on-demand instance i spot instance su komplementarne, čime se obezbeđuje maksimiziranje iskorišćenosti računarskih resursa.

U zavisnosti od tipa instance i primenjenog tarifnog mehanizma, razlikovaće se cena koju korisnici plaćaju za pristup resursima. On-demand tarifni mehanizam podrazumeva da se pristup resursima cloud provajdera obezbeđuje na zahtev a korisnici plaćaju fiksni iznos po obračunskom intervalu bez obaveze sklapanja dugoročnih ugovora sa provajderom. Mehanizam rezervacije odlikuje se naplaćivanjem određenog iznosa

Adresa autora: Branka Mikavica, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305

e-mail: b.mikavica@sf.bg.ac.rs

Rad primljen: 17.07.2017.

Rad prihvaćen: 21.11.2017.

unapred za rezervaciju resursa cloud provajdera u određenom vremenskom intervalu, najčešće na jednu godinu ili tri godine. U tom slučaju, korisnici imaju značajno niže cene po obračunskom intervalu u odnosu na on-demand mehanizam. On-demand mehanizam i mehanizam rezervacije mogu se smatrati statičkim, s obzirom da ne postoji mogućnost povećanja ili smanjenja cena u slučajevima nedovoljnog ili potpunog iskorišćenja resursa. Spot pricing je dinamički tarifni mehanizam uveden od strane cloud provajdera Amazona u decembru 2009. godine. Cloud provajder dinamički određuje spot cene u zavisnosti od raspoloživosti neiskorišćenih resursa, kao i ponude i tražnje za spot instancama. Ovaj tarifni mehanizam zasniva se na aukciji sa uniformnim određivanjem cena [2]. Korisnici cloud resursa formiraju svoje ponude koje su definisane pomoću četiri parametra: vrednošću ponude (maksimalne cene koje su spremni da plate po obračunskom intervalu za datu spot instancu), tipom instance, trajanjem opsluživanja i geografskim područjem koje se opslužuje. Cloud provajder dodeljuje resurse svojim korisnicima u opadajućem poretку njihovih ponuda sve dok se ne alociraju svi raspoloživi resursi, ili dok se ne zadovolje svi zahtevi korisnika. U ovom slučaju, spot cena je jednaka najnižoj ponudi koja dobija u aukciji. Pristup cloud resursima je moguć sve dok je vrednost ponude korisnika veća od trenutne spot cene. Korisnici mogu formirati svoje ponude u bilo kom trenutku neograničen broj puta. Iznos koji korisnici plaćaju za korišćenje cloud resursa zavisi od spot cene, ne i od vrednosti ponude.

Imajući u vidu karakteristike cloud resursa, kao i činjenicu da tražnja za pristup cloud resursima nije uniformna tokom vremena, sve više se teži dinamičkim oblicima tarifiranja u cilju optimizacije prihoda. Podešavanjem cena na osnovu realnih uslova (ili prognozirane) ponude i tražnje, korisnicima se mogu obezbediti neiskorišćeni resursi ili se može vršiti izmeštanje perioda vršnog opterećenja. Rezultat toga je povećanje profita i dobiti korisnika. Tržišno orijentisani tarifni mehanizmi koji se zasnivaju na prikupljanju ponuda od korisnika a zatim na alokaciji resursa i tarifiranju, pogodni su za realizaciju dinamičkih oblika tarifiranja. Ovakvi tarifni mehanizmi dobijaju sve veći značaj pri iznajmljivanju neiskorišćenih kapaciteta infrastrukture cloud provajdera. Dobro postavljeni modeli aukcija mogu biti vrlo efikasni s obzirom da podstiču korisnike da njihove vrednosti ponuda budu u skladu sa realnim vrednostima zahtevanih resursa. Takođe, obezbeđuju da se resursi alociraju onim korisnicima koji ih najviše vrednuju, i adekvatno postavljaju cene resursa u skladu sa uslovima ponude i tražnje podsticanjem konkurencije između korisnika [3].

Rad je koncipiran na sledeći način. Nakon uvodnih razmatranja, osnovne karakteristike aukcija prikazane

se u drugom poglavlju. Treće poglavlje predstavlja pregled primena kombinatornih i dvostrukih aukcija, kao i njihove kombinacije, tj. kombinatorno dvostrukih aukcija. Zaključna razmatranja data su u četvrtom poglavlju.

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE AUKCIJA

Aukcija predstavlja vrstu prodaje u kojoj se cena nekog objekta određuje licitacijom. U kontekstu tarifiranja u telekomunikacionim mrežama, aukcija se može definisati kao tržišna institucija sa eksplicitnim skupom pravila prema kojima se utvrđuje alokacija resursa i cene servisa koje zavise od ponuda učesnika na telekomunikacionom tržištu [4]. Elementi aukcijskog poslovanja su: aukcionar, aukcijski objekat (objekti), aukcijska pravila i proces izvršenja transakcije. Aukcionar je dužan da obezbedi institucionalne okvire za nesmetano odvijanje aukcije i da osigura da se faze aukcije (razmena informacija, definisanje cena, izvršenje trgovine i plaćanje) sprovode po definisanim pravilima. U slučaju cloud computing-a, aukcionar je cloud provajder a aukcijski objekti su cloud instance. Aukcijska pravila moraju biti unapred poznata i u potpunosti definisana. Proces izvršenja transakcije obuhvata obezbeđivanje cloud servisa i proces naplate.

U pogledu maksimiziranja društvene korisnosti, aukcija je ekonomski efikasna ako se objekti dodeljuju onim korisnicima koji ih najviše vrednuju. Postoje tri modela na osnovu kojih učesnici vrednuju objekte na aukciji: model tajnog vrednovanja, model javnog vrednovanja i mešoviti model vrednovanja. Model tajnog vrednovanja podrazumeva da su učesnicima poznate samo vrednosti koje sami dodeljuju objektima, ali ne i ponude drugih učesnika u aukciji. U slučaju javnog vrednovanja, svi učesnici procenjuju vrednosti objekta u aukciji na isti način, ali apriori imaju različite informacije o toj vrednosti. Mešoviti model vrednovanja je kombinacija tajnog i javnog vrednovanja. Procena učesnika je funkcija informacije o vrednosti objekta koja je samo njemu poznata pre početka aukcije i informacija koje otkriju tokom aukcije. U slučaju aukcija koje se koriste za tarifiranje i alokaciju resursa u cloud computing-u primenjuje se model tajnog vrednovanja.

Prema broju objekata koji učestvuju u aukciji, razlikuju se aukcije sa jednim objektom i aukcije sa više objekata. U zavisnosti od toga da li su objekti koji učestvuju u aukciji identični ili ne, aukcije sa više objekata mogu se podeliti na homogene i heterogene. Homogene aukcije mogu biti uniformne i diskriminatorske, u zavisnosti od toga da li se isti objekti prodaju po istoj ili različitim cenama.

U zavisnosti od cene koju pobednik plaća za aukcijski objekat, razlikuju se: first-price aukcije, second-price aukcije i k-price aukcije. U slučaju primene

first-price aukcije, pobednik plaća aukcijski objekat po ceni koju je sam ponudio, odnosno po najvećoj ponuđenoj ceni. Second-price aukcije se nazivaju i Vickrey aukcijama [4] odlikuju se time da pobednik plaća aukcijski objekat po pretposlednjoj najvećoj licitiranoj ceni. Kada se primenjuju k-price aukcije, pobednik plaća aukcijski objekat po k-toj najvećoj licitiranoj ceni.

Mehanizam aukcije je mehanizam sa realnim vrednovanjima ako za svakog učesnika i koji kreira ponudu i za svaki izbor vrednosti ponuda svih ostalih učesnika u aukciji, dominantna strategija učesnika i je realno prikazivanje informacija. Strategija je dominantna ako učesnik ne može uvećati korisnost ostvarenu učestvovanjem u aukciji u odnosu na korisnost koju bi ostvario izlaskom iz aukcije. Takav mehanizam može se formirati pod uslovom da su dostupne sve informacije o vrednostima ponuda. Međutim, to često nije slučaj, pa stoga tarifiranje u mnogome zavisi od preciznosti analize tržišta [3].

MOGUĆNOSTI PRIMENE NEKIH MODELA AUKCIJA U CLOUD COMPUTING-U

Modeli kombinatornih i dvostrukih aukcija često se primenjuju za alokaciju i tarifiranje resursa *cloud* provajdera. Pregled nekih predloženih modela ovih aukcija dat je u ovoj sekciji.

3.1. *Primena kombinatornih aukcija*

Postoje različita proširenja mehanizama aukcije od kojih su kombinatorne aukcije vrlo pogodne za primenu u cloud computing-u. Kombinatorne aukcije omogućavaju istovremenu prodaju više objekata. Učesnici u aukciji mogu podnositi ponude kako za pojedinačne, tako i za grupe resursa cloud provajdera. U slučaju primene kombinatornih aukcija nije moguće parcijalno ispunjavanje zahteva iz ponude. Njihova osnovna sastoji se u omogućavanju korisnicima da zahtevaju resurse koji su međusobno zavisni i komplementarni. U kontekstu cloud computing-a, korisnici mogu mnogo pogodnije izraziti svoje ponude. Na primer, jedan cloud provajder može obezbeđivati dva tipa VM instanci: small i large. Za korisnika koji zahteva dve instance tipa small i dve instance tipa large, daleko značajnije je da formira ponudu za celu grupu instanci umesto pojedinačnih ponuda za svaku VM. Kreiranje ponuda za svaku pojedinačnu VM dovodi do rizika da se omogući pristup samo podskupu iz skupa zahtevanih instanci.

Najpoznatiji model kombinatorne aukcije je VCG (Vickrey-Clarke-Groves) model [4]. Primenom ovog modela aukcije, učesnici ne mogu povećati svoju dobit ukoliko je vrednost ponude različita od realnog vrednovanja pristupa virtuelnim mašinama. Time se maksimizira društvena korisnost a virtuelne mašine se

dodeljuju onima koji ih najviše vrednuju. Međutim, pokazalo se da problem određivanja optimalne alokacije, tj. maksimiziranje sume objavljenih vrednovanja u mnogim slučajevima predstavlja NP-težak problem [5]. Kako bi se postigla efikasnost u određivanju optimalnog rešenja, teži se pronalaženju aproksimativnih algoritama koji problem mehanizma aukcije sa realnim vrednovanjem rešavaju u polinomijalnom vremenu. Ipak, ostvarivanje realnih vrednovanja u aukciji i efikasnost u određivanju optimalnog rešenja često su međusobno suprotstavljeni ciljevi [6].

Kako bi se to prevazišlo, predloženi su brojni algoritmi, na primer greedy heuristike u kombinaciji sa tarifiranjem na osnovu kritične vrednosti [6-7] i LP-relaksacija slučajnim zaokruživanjem [8-9]. U [10] predlaže se efikasan mehanizam aukcije sa realnim vrednovanjem za alokaciju cloud resursa koji predstavlja kombinatornu aukciju sa više objekata pri čemu se dozvoljava da pojedine instance imaju višestruke identične kopije. Rezultati pokazuju da mehanizam predložen u [10] može povećati prihod cloud provajdera kada se alocira relativno mali broj instanci potencijalno velikom broju korisnika cloud resursa. Takođe, taj mehanizam prevazilazi problem međusobnog dogovaranja učesnika u aukciji.

Uvođenje heterogenih vrsta virtuelnih mašina u model aukcija pruža mogućnost dinamičkog obezbeđivanja resursa koje rezultira postizanjem veće efikasnosti u iskorišćavanju resursa, većim prihodima cloud provajdera, kao i unapređenjem društvene korisnosti za ceo cloud sistem [11]. Kombinatorna aukcija u kojoj se heterogeni tipovi virtuelnih mašina alociraju u višestrukim uzastopnim vremenskim slotovima analizirana je u [11]. Pokazano je da ova aukcija obezbeđuje realno vrednovanje i dinamičko alociranje resursa. Korisnici su motivisani da otkriju realna vrednovanja pristupa virtuelnim mašinama čime se proces aukcije pojednostavljuje u teoriji a povećava se predvidivost rezultata aukcije u praksi. Pored heterogenosti u pogledu tipova virtuelnih mašina, različite geografske područja opsluživanja ukazuju na ispravnost primene kombinatorne aukcije. U ovom modelu aukcije broj instanci svakog tipa virtuelnih mašina nije unapred definisan već se dinamički određuje kao deo mehanizma aukcije, što bolje oslikava realne uslove tražnje za pristup cloud resursima. U komercijalnim cloud platformama aukcije se izvršavaju u više iteracija, cene se periodično menjaju, a svaki korisnik ima praktična ograničenja u budžetu za određeni vremenski period. U modelu predloženom u [11], aukcija se vrši u više krugova koji su u sprezi sa korisničkim budžetom i sastoji se od tri osnovna segmenta: raščlanjivanja optimizacije u seriju optimizacionih problema koji se rešavaju u jednom krugu, translacije algoritama za optimizaciju u jednom krugu u mehanizam aukcije sa realnim

vrednovanjem i definisanje algoritma za optimizaciju u jednom krugu.

Dva modela kombinatornih aukcija kojima se postiže efikasna alokacija nekoliko različitih VM instanci cloud provajdera različitim korisnicima koji zahtevaju skup VM instanci različitih tipova, predložena su u [12]. Prvi predloženi model kombinatorne aukcije omogućava postojanje više tipova VM instanci, pri čemu svaki tip VM instanci može imati više VM instanci. Drugi predloženi model kombinatorne aukcije rešava alokaciju zasnovanu na vrednovanjima korisnika i ukupnom broju VM instanci uz razmatranje kapaciteta VM instanci. Oba predložena mehanizma poređena su sa mehanizmom alokacije zasnovanom na fiksnim cenama. Rezultati u [12] pokazuju da mehanizmi zasnovani na kombinatornim aukcijama značajno nadmašuju mehanizam zasnovan na fiksnim cenama kako u pogledu iskorišćenosti resursa i ostvarenih prihoda, tako i u pogledu efikasnosti alokacije.

3.2. Primena dvostrukih aukcija

Dvostruka aukcija je model u kojem učestvuje više prodavaca i kupaca. Učesnici učestvuju u aukciji na osnovu cena koje nude i po kojima su spremni da prodaju odnosno kupe određeni aukcijski objekat. U zavisnosti od uloga, te cene predstavljaju ponudu, odnosno tražnju. Njihovim usklađivanjem dobijaju se tzv. „čiste tržišne cene“ [4].

Za alokaciju resursa i određivanje odgovarajućeg tarifnog mehanizma može se primeniti dvostruka kontinualna aukcija sa više objekata [13]. Takav mehanizam dvostruke aukcije sastoji se od tri agenta: korisnika, cloud provajdera i aukcionara, kao što je prikazano na slici 1.

Slika 1 - Relacije između učesnika u dvostrukoj kontinualnoj aukciji

Korisnički agent ima za cilj pristup cloud resursima sa minimalnim troškovima uz poštovanje vremena opsluživanja. Cilj agenta cloud provajdera je ostvarivanje što većeg profita na osnovu obezbeđivanja resursa. Agenti korisnika i cloud provajdera dostavljaju vrednosti ponuda i vrednosti zahteva agentu aukcionara, respektivno. Agent aukcionar ažurira vrednosti ponuda i vrednosti zahteva i uklapa dve ponude u

slučaju da je najveća vrednost ponude veća ili jednaka od vrednosti zahteva. Određivanje vrednosti ponude od strane agenta korisnika i vrednosti zahteva od strane cloud provajdera od velikog su značaja. U [13] predlaže se odgovarajuća strategija tarifiranja za vrednosti ponuda korisnika i vrednosti zahteva cloud provajdera, kao i strategija njihovog povezivanja. U svakoj jedinici vremena agenti korisnika mogu odrediti vrednosti ponuda za određenu vrstu resursa na osnovu dva parametra: raspoloživih resursa i preostalog vremena za opsluživanje. Agent cloud provajdera ima za cilj ostvarivanje što većeg profita, te stoga iznajmljuje svoje resurse po što većoj ceni. U modelu predloženom u [13], pretpostavlja se da je inicijalno iskorišćenje resursa jednaku nuli a da je vrednost zahteva cloud provajdera jednaka ceni rezervacije resursa. Vrednost zahteva raste kako raste iskorišćenost resursa, što je korisno za opterećenje cloud sistema. U ovom modelu, iskorišćenost resursa može se primeniti ne samo za određivanje vrednosti zahteva već i za balansiranje opterećenja cloud sistema. U svakoj jedinici vremena, agent aukcionar prikuplja vrednosti ponuda od agenata korisnika i vrednosti zahteva od agenata cloud provajdera a zatim sortira vrednosti ponuda u rastućem poretku a vrednosti zahteva u opadajućem poretku. Ako je vrednost najveće ponude veća ili jednaka vrednosti najnižeg zahteva, vrši se alokacija resursa po ceni koja je jednaka srednjoj vrednosti najveće ponude i najmanjeg zahteva.

Alokacija i tarifiranje resursa cloud provajdera primenom dvostruke aukcije predložena je i u [14]. Učesnici u tom modelu su cloud provajder, korisnici i aukcionar. Cloud provajder obezbeđuje cloud resurse koje korisnici iznajmljuju u procesu aukcije. Uloga aukcionara je da prikuplja informacije od cloud provajdera i od korisnika, i da na osnovu toga definiše aukcijska pravila i strategiju tarifiranja. Postoji N korisnika koji zahtevaju pristup cloud resursima i kreiraju svoje ponude, i M cloud provajdera koji treba da opsluže zahteve korisnika, kao što je prikazano na slici 2.

Slika 2 - Učesnici i njihove relacije u dvostrukoj aukciji

Za svakog korisnika, aukcionar bira cloud provajdera koji zadovoljava zahteve korisnika u pogledu kvaliteta servisa. Na početku aukcije, korisnici aukcionaru predaju svoje ponude za pristup resursima dok cloud provajderi aukcionaru dostavljaju informacije o dostupnosti resursa i cenama. Zatim, aukcionar povezuje odgovarajuće korisnike i cloud provajdere. Ako je aukcija uspešla, tržišna cena je definisana. Nakon ovog kruga aukcije, ukoliko neki korisnici nisu opsluženi, prelazi se u sledeći krug. Kada se aukcija završi, korisnici šalju zahteve za opsluživanje cloud provajderu, koji ih zatim izvršava. U modelu dvostruke aukcije koji je predložen u [14] i cloud provajderi i korisnici su motivisani da ponude realne cene čime se povećava efikasnost aukcije. U modelu je takođe razmatran mehanizam pouzdanosti, pa se tako cene koje definiše cloud provajder određuju između ostalog i na osnovu indeksa pouzdanosti. Pored toga, predložen je i algoritam alokacije resursa. Rezultati pokazuju da se njegovom primenom može smanjiti broj krugova u kojima se realizuje aukcija.

Mogućnost primene kontinualne dvostruke aukcije za tarifiranje heterogenih cloud resursa analizirana je u [15]. Učesnici u tom modelu su cloud provajderi, korisnici cloud resursa i uniformna platforma. Kreiranje uniformne aukcijske platforme je od velikog značaja za cloud tržišta sa milionima korisnika cloud resursa i velikim brojem cloud provajdera. U [15], predlaže se platforma za e-aukciju, odnosno platforma u kojoj cloud provajderi i korisnici cloud resursa učestvuju u online aukciji. U takvom sistemu, ova platforma ima ulogu aukcionara. Kada cloud provajder definiše svoju vrednost zahteva, odnosno kada korisnik cloud resursa definiše vrednost svoje ponude, neophodno je uzeti u obzir poteze drugih učesnika u aukciji, uključujući poteze drugih cloud provajdera i poteze svih korisnika cloud resursa. Izbor odgovarajuće strategije pri definisanju vrednosti ponuda i zahteva je od velikog značaja za maksimiziranje profita.

U [15], predložena je strategija definisanja ponuda na osnovu funkcije „poverenja“, koja se određuje dinamički. Svi korisnici cloud resursa i cloud provajderi pokušavaju maksimizirati svoju dobit na cloud tržištu. Međutim, ta dobit će biti ostvarena samo u slučaju da su ponude i zahtevi usaglašeni i da je transakcija izvršena. Stoga, učesnici u aukciji moraju odrediti verovatnoću da će njihova vrednost ponude ili zahteva biti prihvaćena od strane drugih učesnika. Tako se formira „poverenje“ na osnovu poznavanja istorije licitiranja. Najpre se određuje procena ekvilibrijumske cene metodom pokretnih sredina na osnovu poznavanja cena u prethodnom periodu, a zatim se formira poverenje cloud provajdera i korisnika cloud resursa na osnovu te procene. Licitacija se odvija u dve faze: agresivnoj i neagresivnoj fazi. U

agresivnoj fazi cloud provajderi mogu birati najveće vrednosti za zahteve na osnovu poverenja. U neagresivnoj fazi cloud provajderi mogu birati najveće vrednosti za zahteve bez razmatranja poverenja na osnovu prethodnih transakcija. Na osnovu ove funkcije poverenja, cloud provajderi i korisnici cloud resursa mogu povlačiti različite poteze u različitim fazama aukcije. Rezultati u [15] pokazuju da predložena strategija pokazuje dobre performanse u pogledu broja uspešnih transakcija, ostvarenih dobiti i dnevnih varijacija cena.

3.3. *Primena kombinatorno dvostrukih aukcija*

Za efikasnu alokaciju resursa cloud provajdera može se primeniti i kombinatorno dvostruka aukcija. U modelu kombinatorne dvostruke aukcije predloženom u [16] razlikuju se četiri entiteta: cloud provajder, korisnik cloud resursa, broker i cloud tržište. Cloud provajderi obezbeđuju cloud resurse, definišu ponude za svoje zahteve i opslužuju korisničke ponude koje su pobedile u procesu aukcije. Svaki korisnik cloud resursa ima svog brokera.

Broker ima ulogu u pronalaženju raspoloživih resursa, generisanju vrednosti ponude i prosleđivanju zahteva za opsluživanje cloud provajderu. Cloud tržište čini cloud informacioni sistem i aukcionar. Cloud informacioni sistem omogućava cloud provajderima objavljivanje karakteristika njihovih resursa a korisnicima olakšava odabir resursa koji odgovaraju njihovim potrebama. Aukcionar prikuplja zahteve za pristup resursima i odgovarajuće ponude korisnika i cloud provajdera. Aukcionar zatim vrši alokaciju resursa na osnovu informacija o vrednostima ponuda i određuje sistem naplate. Nakon toga, te informacije šalje brokerima i provajderima koji su pobedili u procesu aukcije.

Predloženi model izvršava se u sedam faza: oglašavanje i pronalaženje raspoloživih resursa; definisanje vrednosti ponuda za zahtevane skupove resursa; završetak procesa aukcije; određivanje pobednika u procesu aukcije; alokacija resursa; određivanje cena; opsluživanje zahteva i naplata. Kriterijumi korišćeni za evaluaciju predloženog modela su ekonomska efikasnost i mogućnost definisanja aukcije sa realnim vrednovanjem. Pokazalo se da je predloženi model ekonomski efikasan, ostvaruje veće dobiti i podstiče realno definisanje vrednosti ponuda pod jednakim uslovima kako za cloud provajdera tako i za korisnika cloud resursa.

Primena kombinatorno dvostruke aukcije za alokaciju cloud resursa takođe je predložena u [17]. Slično prethodno opisanim modelima, učesnici u ovoj aukciji su cloud provajderi, korisnici cloud resursa, njihovi brokeri i aukcionar koji vrši alokaciju resursa i određuje mehanizam tarifiranja. Za razliku od prethodno opisanih modela, uvode se penali za neispunjavanje ugovornih obaveza u pogledu kvaliteta servisa. Nakon

početka aukcije, korisnik cloud resursa i cloud provajder definišu svoje ponude. Aukcionar prikuplja te ponude i proširuje ih odgovarajućim karakteristikama kao što su pravičnost, reputacija i iskustvo. U takvoj aukciji, nekoliko kombinacija za vrednosti karakteristika učestvuju u definisanju najviše ponude koja pobeđuje u aukciji, čime se povećava složenost procesa. Aukcionar sortira ponude korisnika u opadajućem poretku a zahteve provajdera u rastućem poretku. Nakon toga vrši se poređenje zahteva prvog korisnika u sortiranoj listi sa ponuđenim resursima prvog provajdera iz sortirane liste provajdera. Ukoliko prvi provajder ne zadovoljava zahteve, prelazi se na sledećeg provajdera. Proces se nastavlja sve dok se ne izvrši analiza svih zahteva svih korisnika ili dok se ne zauzmu svi resursi svih cloud provajdera. Sledi definisanje tarifnog mehanizma uz analizu parametara kvaliteta servisa. Cloud resursi se alociraju pobednicima u aukciji. Nakon završetka opsluživanja, brokeri prikupljaju informacije o tome da li je ispoštovana ugovorna obaveza u pogledu kvaliteta servisa i te informacije prosleđuje aukcionaru. U slučaju neispunjavanja ugovornih obaveza, provajderi plaćaju penale. Rezultati pokazuju da model predložen u [17] obezbeđuje sledeća svojstva aukcije: optimalno licitiranje, robustnost i pravičnost.

Još jedan model koji analizira mogućnost primene kombinatorno dvostruke aukcije uz analizu pravičnosti predložen je u [18]. U aukciji učestvuje više provajdera i više korisnika. Aukcija se izvršava u nekoliko krugova. U svakom krugu provajderi i korisnici pojedinačno dostavljaju svoje ponude aukcionaru u cilju pristupa, odnosno, iznajmljivanja resursa. Osnovni zadaci aukcionara, kao i u prethodno opisanim modelima, jesu prikupljanje i analiza pristiglih ponuda, određivanje pobednika u aukciji, alociranje resursa pobednicima i određivanje cena. U posmatranom sistemu postoji baza podataka u kojoj se čuvaju informacije kao što su broj pobeda u aukciji, broj poraza, sveukupni kvalitet ponuda datog učesnika u aukciji, kao i drugi faktori koji ukazuju na karakteristike prethodnog kruga aukcije. Na taj način, aukcionar proširuje ponude i donosi odluke o pobednicima u aukciji. Po pretpostavci u predloženom modelu, resursi neće biti oslobođeni sve do kraja kruga aukcije i završetka opsluživanja zahteva korisnika. Uvođenje pravičnosti omogućava smanjivanje broja učesnika koji nisu na sličnim pozicijama na tržištu i stoga napuštaju aukciju. U [18], uvodi se faktor pravičnosti. Što je veća vrednost faktora, veća je verovatnoća pobeđe u aukciji. Ovaj faktor objedinjuje tri pristupa, kvalitativni, kvantitativni i stohastički u jednu vrednost. U slučaju kada dva učesnika u aukciji imaju slične uslove u pogledu broja pobeda i poraza u aukciji, kvalitativni pristup favorizuje učesnika koji ima veću vrednost ponude. Na ovaj način se faktor

pravičnosti izračunava na osnovu kvalitativnog i kvantitativnog pristupa, a zatim se podešava u skladu sa stohastičkim pristupom. Pravilo je da: učesnici koji imaju više poraza u aukciji imaju veće šanse da budu pobednici u sledećoj, i obratno, učesnici sa više pobeda imaju manje šanse za pobeđu.

Učesniku koji pripada skupu učesnika koji su izgubili u prethodnom krugu aukcije a koji ima ponudu većeg kvaliteta (ima veću vrednost ponude, manje vreme opsluživanja itd.) dodeljuje se veća verovatnoća pobeđe u sledećem krugu. Takođe, učesniku koji pripada skupu učesnika koji su pobedili u prethodnom krugu aukcije a koji ima ponudu nižeg kvaliteta dodeljuje se manja verovatnoća pobeđe u sledećem krugu. Što je veći broj poraza nekog učesnika u uzastopnim krugovima aukcije, to će mu biti dodeljena veća vrednost faktora pravičnosti.

Rezultati iz [18] pokazuju da je predloženi model sa faktorom pravičnosti nadmašuje performanse osnovnog modela bez razmatranja faktora pravičnosti. Predloženi model efikasno rešava problem odustajanja učesnika i ostvaruje bolju iskorišćenost resursa. Takođe, u većini slučajeva postiže se više pobednika u aukciji.

4. ZAKLJUČAK

Dinamički mehanizmi tarifiranja i alokacije resursa predstavljaju unapređenje postojećih poslovnih modela cloud provajdera. Primenom dinamičkih mehanizama moguće je postići da cene cloud resursa realno oslikavaju uslove ponude i tražnje, podstiče se rast tražnje za neiskorišćenim resursima i izmeštanje perioda vršnog opterećenja.

Kao rezultat toga, dobit korisnika i provajdera raste. Imajući u vidu svojstva aukcija, pokazalo se da ti modeli mogu biti vrlo efikasni dinamički mehanizmi za tarifiranje i alokaciju cloud resursa. Najveću primenu imaju kombinatorne aukcije, dvostruke aukcije i njihova kombinacija. Iz tog razloga, u ovom radu prikazan je pregled nekih od prethodno pomenutih predloženih modela aukcija.

5. ZAHVALNICA

Ovaj rad je deo istraživanja u okviru projekta TR32025 Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] ITU-T Recommendation Y.3500, „Information technology – Cloud computing – Overview and vocabulary“, 2014.
- [2] Zhang Q, Gurses E, Boutaba R, Dynamic resource allocation for spot markets in clouds, in Proc. 4th IEEE International Conference on Utility and Cloud

- Computing UCC*, Victoria, Australia, pp. 178-185, 5-7 December 2011.
- [3] Toosi A. N, Vanmechelen K, Khodadadi F, Buyya R, An auction mechanism for cloud spot markets, *ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems*, Vol. 11, No. 1, pp. 25-57, 2016.
 - [4] Radonjić Đogatović V, Kostić-Ljubisavljević A, *Osnovi tarifiranja u telekomunikacijama*, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd, 2015.
 - [5] Rothkopf M, Pakec A, Harstad R, Computationally manageable combinatorial auctions, *Management Science*, Vol. 44, No. 8, pp. 1131-1147, 1998.
 - [6] Mu'alem A, Nisan N, Truthful approximation mechanisms for restricted combinatorial auctions: extended abstract, in Proc. *18th National Conference on Artificial Intelligence*, AAAI-02, Edmonton, Canada, pp. 379-384, July-August 2002.
 - [7] Lehmann D, O'callaghan L, Shoham Y, Truth revelation in approximately efficient combinatorial auctions, *Journal of the ACM*, Vol. 49, No. 5, pp. 577-602, 2002.
 - [8] Archer A, Papadimitriou C, Talwar K, Tardos E, An approximate truthful mechanism for combinatorial auctions with single parameter, in Proc. *14th annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms SODA '03*, Baltimore, Maryland, USA, pp. 205-214, January 2003.
 - [9] Lavi R, Swamy C, Truthful and near-optimal mechanism design via linear programming, *Journal of ACM*, Vol. 58, No. 6, Article 25, 2011.
 - [10] Wang Q, Ren K, Meng X, When cloud meets ebay: towards effective pricing for cloud computing, in Proc. *31st Annual IEEE International Conference on Computer Communications, IEEE INFOCOM 2012*, Orlando, Florida, USA, pp. 936-944, March 2012.
 - [11] Shi W, Zhang L, Wu C, Li Z, Lau F. C. M, An online auction framework for dynamic resource provisioning in cloud computing, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 24, No. 4, pp. 2060-2073, 2016.
 - [12] Zaman S, Grosu D, Combinatorial auction-based allocation of virtual machine instances in clouds, in Proc. *2nd IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science CloudCom*, Indianapolis, Indiana, USA, pp. 127-134, November-December 2010.
 - [13] Lan Y, Tong W, Liu Z, Hou Y, Multi-unit continuous double auction based resource allocation method, in Proc. *3rd International Conference on Intelligent Control and Information Processing*, Dalian, China, pp. 773-777, July 2012.
 - [14] Xu L, Wang J, Nallanathan A, Li Y, Resource allocation based on double auction for cloud computing system, in Proc. *IEEE 2nd International Conference on Data Science and Systems HPCC*, Sidney, Australia, pp. 1538-1543, December 2016.
 - [15] Zhang Y, Xu K, Shi X, Wang H, Liu J, Wang Y, Continuous double auction for cloud market: pricing and bidding analysis, in Proc. *IEEE Wireless Communications and Networking Conference WCNC 2016*, Doha, Qatar, pp. 1-6, April 2016.
 - [16] Samimi P, Teimouri Y, Mukhtar M, A combinatorial double auction resource allocation model in cloud computing, *Information Sciences*, Vol. 357, pp. 201-216, 2016.
 - [17] Baranwal G, Vidyarthi D. P, A fair multi-attribute combinatorial double auction model for resource allocation in cloud computing, *The Journal of Systems and Software*, Vol. 108, pp. 60-76, 2015.
 - [18] Hassanzadeh R, Movaghar A, Hassanzadeh H. R, A multi-dimensional fairness combinatorial double-sided auction model in cloud environment, in Proc. *8th International Symposium on Telecommunications IST'2016*, Tehran, Iran, pp. 672-677, September 2016.

SUMMARY

OVERVIEW OF THE AUCTION MECHANISMS FOR PRICING AND ALLOCATION OF THE CLOUD PROVIDER'S RESOURCES

Comprehensive development of cloud computing requires improvement of appropriate mechanisms for cloud provider's resource allocation and pricing. Considering the characteristics of cloud resources and the fact that demand for cloud resources is not uniform, dynamic mechanisms for resource allocation and pricing are needed. The aims of dynamic mechanisms are optimization of resources' utilization and revenue maximization of cloud providers, as well as prices minimization for cloud customers. It appears that some auction model can be very efficient since resources are allocated to the customers that value them the most, and prices are determined depending on the supply and demand conditions. Combinatorial auctions, double auctions and their combination are most often used for cloud resources' allocation and pricing. In this paper, the overview of some proposed auction models is provided.

Key words: cloud computing, pricing, allocation of resources, auctions