

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

SEMINAR

**Metode aukcije za dodjelu zadataka
u više-robotskom sustavu s
ograničenom komunikacijom**

Filip Škoro

Voditelj: prof. dr. sc. Stjepan Bogdan

Zagreb, veljača 2022.

SADRŽAJ

1. Uvod	1
2. Metoda aukcije	2
2.1. Osnovna ideja metode aukcije	2
2.2. Primjeri metoda aukcije	3
3. Komunikacijski modeli	5
3.1. Bernoullijev model	5
3.2. Gilbert-Elliotov model	5
4. Analiza direktnih proširenja	7
4.1. Ponavljano slanje poruka	7
4.2. Obavješćavanje o prihvaćenim ponudama u svakom koraku	8
5. Pokusi i rezultati	9
5.1. Prvi scenarij	9
5.2. Drugi scenarij	11
6. Zaključak	13
7. Literatura	14

1. Uvod

U mnogim postrojenjima poput tvornica, skladišta, bolnica itd. posao se obavlja rješavanjem određenih zadataka. Česti su slučajevi u kojima takvi zadatci nisu prikladni tome da ih rješava čovjek odnosno zaposlenik postrojenja. Iz tog razloga, prateći razvoj i napredak tehnologije, takva postrojenja postupno se moderniziraju i sve više teže ka tome da određeni uređaji odnosno roboti obavljaju većinu tih zadataka.

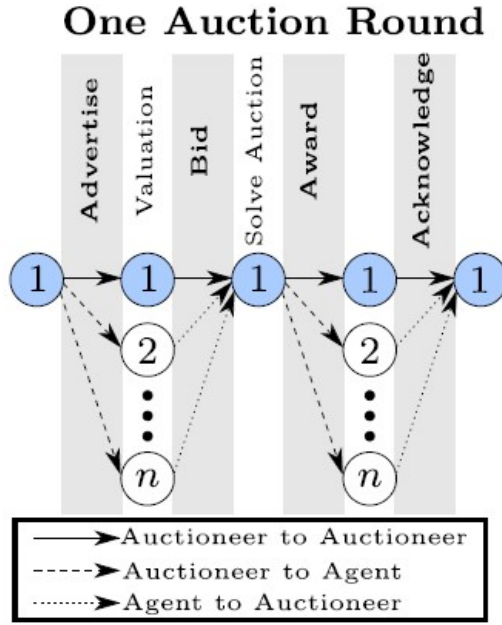
Kada se govori o poslovima koje rješavaju roboti, treba uzeti u obzir ciljeve i zahtjeve pojedinih zadataka, ali i mogućnosti robota koje postrojenje ima na raspolaganju. Osnovni je cilj više-robotskog sustava što veća efikasnost pri izvršavanju poslova dok zahtjeve pojedinih zadataka treba uskladiti s mogućnostima robota. Da bi se ostvarila što veća efikasnost potrebno je pravilno vremenski i prostorno raspodijeliti zadatke robotima uz prethodno usklađene zahtjeve zadataka i mogućnosti robota. Iz ovoga je očito da u takvom više-robotskom sustavu mora postojati dobra komunikacija između robota tj. agenata te objekta koji raspodjeljuje poslove. Svaka, pa čak i najmanja nepravilnost, šum ili smetnja u toj komunikaciji gotovo uvijek dovodi do smanjenja efikasnosti. Zbog nesavršenosti svijeta u kojem živimo, nepravilnosti su normalna pojava i uvijek ih je potrebno uzeti u obzir.

Ovaj seminarski rad bavi se usporedbom efikasnosti različitih metoda aukcije kada u više-robotskom sustavu postoji otežana komunikacija između aukcionara i agenata. Rad je strukturiran na sljedeći način: u poglavlju Metoda aukcije ukratko je opisana osnovna ideja takvih metoda te su predstavljene neke od postojećih metoda. U poglavlju Komunikacijski modeli predstavljena su dva komunikacijska modela koja se koriste u više-robotskim sustavima. Poglavlje Analiza direktnih proširenja nudi dva moguća rješenja za poteškoće u komunikaciji. Posljednje poglavlje Pokusi i rezultati predstavlja dva scenarija koja bi trebala poslužiti kao primjer rada određenih metoda u stvarnim situacijama.

2. Metoda aukcije

2.1. Osnovna ideja metode aukcije

Osnova ideja metode aukcije zasnovana je na jednostavnom principu agenata tj. u ovome slučaju robota koji šalju svoje ponude za poslove koje žele izvršiti i aukcionara tj. objekta koji dodjeljuje zadatke na temelju određenog parametra. Najčešće je taj parametar vrijeme izvršavanja cjelokupnog rasporeda zadataka nekog robota, ali naravno i drugi parametri mogu utjecati na to hoće li aukcionar prihvatiti neku ponudu ili ne. Prije nego što agenti krenu slati ponude za zadatke, aukcionar prvo mora ponuditi skup od n zadataka opisane svojim zahtjevima koji moraju biti ispunjeni da bi se mogli izvršiti i koji se potom stavljaju na aukciju Otte et al. (2019). Zatim svaki od m robota koji također imaju određene karakteristike pregledavaju sve zadatke na ponudi, pomoću validacijske funkcije provjere mogu li uopće izvršiti određeni zadatak, te nakon toga šalju odgovarajuću ponudu koju aukcionar prihvaća odnosno ne prihvaća. Validacijska funkcija je funkcija kojom agenti provjeravaju zahtjeve zadataka i uspoređuju ih sa svojim mogućnostima te sukladno tome šalju ponudu aukcionaru Otte et al. (2019). Nakon što su svi zadatci dodijeljeni, roboti počinju izvršavati poslove redoslijedom koji je zadan u njihovim rasporedima. Slika 2.1 prikazuje grafički model metode aukcije.



Slika 2.1: Grafički prikaz metode aukcije Otte et al. (2019)

2.2. Primjeri metoda aukcije

Sada slijedi kratko predstavljanje i opis nekih metoda aukcije kojima će se kasnije uspoređivati efikasnost kada ih se primjenjuje u sustavu s otežanom komunikacijom.

Paralelna metoda aukcije sastoji se od jednog koraka u kojem aukcionar ponudi zadatke, a agenti za svaki zadatak provjere mogu li ga riješiti, te sve zadatke koje mogu obaviti pošalju aukcionaru kao svoju ponudu Otte et al. (2019). Aukcionar prihvaća sve valjane ponude uzevši u obzir odlučujući parametar (npr. vrijeme potrebno robotu da obavi zadatak) i obavještava agente o tome jesu li im ponude prihvaćene ili ne. Aukcionar također preuzima odgovornost za zadatke koji nisu dodijeljeni Otte et al. (2019).

Uzastopna metoda aukcije funkcionira po principu da aukcionar u svakom koraku nudi jedan zadatak i to tako n koraka Otte et al. (2019). U svakom koraku dešava se isti proces u kojem svaki od m robota provjerava može li riješiti zadatak te potom šalje svoju ponudu.

G-Prim metoda aukcije slična je paralelnoj i uzastopnoj metodi aukcije po tome što se sastoji od n koraka aukcije, a u svakom se koraku ponavlja isti proces; svaki agent šalje ponudu za zadatak koji mu najviše odgovara, a aukcionar prihvaća najbolju ponudu Otte et al. (2019). Važno je napomenuti da se u svakom koraku prihvaća samo jedna ponuda.

Metoda ponavljane paralelne aukcije zasniva se na algoritmu paralelne aukcije uz određene promjene. Prvi zadatak dodjeljuje se agentu s najboljom ponudom dok se svaki idući zadatak dodjeljuje agentu iz skupa R gdje je skup R skup agenata tj. robota koji još nisu dobili niti jedan zadatak Otte et al. (2019). Aukcionar obavještava agente o tome jesu li im ponude prihvaćene ili ne, a agenti moraju dati povratnu informaciju. U protivnom aukcionar je odgovoran za poslove koji nisu dodijeljeni Otte et al. (2019). Ovo je vrlo "pohlepan" način dodjele zadataka kojim se pokušava pod svaku cijenu skratiti vrijeme izvedbe poslova u svrhu povećanja efikasnosti.

Ponavljana G-Prim metoda aukcije temelji se na G-Prim metodi. Razlika leži u tome što ovakva aukcija želi podijeliti što više zadataka u što manje koraka aukcije, slično kao i prethodno opisana metoda. Ponavljana G-Prim metoda aukcije u svakom koraku kao ponudu stavlja sve zadatke koji još nisu dodijeljeni te svaki agent šalje ponude za sve zadatke koji mu odgovaraju. Nakon što je aukcionar prihvatio ponudu, agent mora to potvrditi inače aukcionar preuzima odgovornost Otte et al. (2019).

Kombinatorička metoda aukcije jedna je od kompliciranijih metoda koja se bazira na kombinatorici. Svaki od m agenata šalje ponudu za svaki od n zadataka koji su na aukciji te onda aukcionar koristeći kombinatoričke izraze traži optimalan raspored zadataka kojeg potom raspodjeljuje među robotima Otte et al. (2019).

3. Komunikacijski modeli

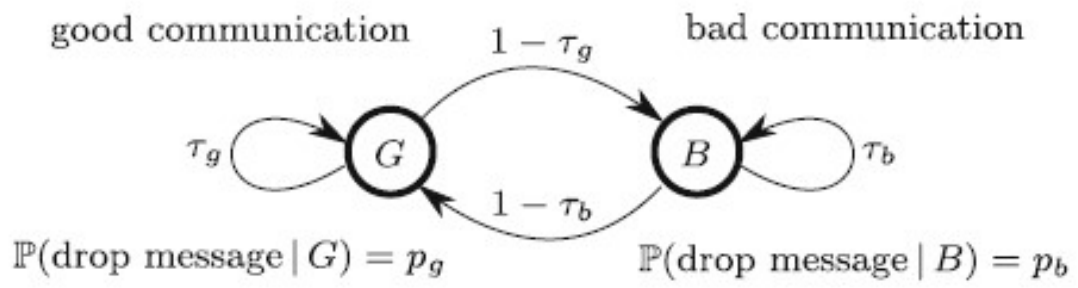
Kada se govori o problemima u komunikaciji između aukcionara i agenata, postoje najmanje dva načina kako se nositi s time; prvi način je da aukcionar čeka dok ne dobije odgovor od svakog agenta u svakoj rundi, dok je drugi način da se uvede određeno vrijeme u kojem aukcionar očekuje odgovore te u obzir uzima samo ponude pristigle u tom vremenskom periodu Otte et al. (2019). U poglavlju Pokusi i rezultati svi rezultati dobiveni su korištenjem dva komunikacijska modela: Bernoullijevog modela i Gilbert-Elliotovog modela.

3.1. Bernoullijev model

Bernoullijev model pretpostavlja postojanje vjerojatnosti p da će poruka uspješno stići od aukcionara do agenta i obrnuto. Također ovaj jednostavni model zanemaruje postojanje dosta stvarnih prilika koje potencijalno mogu negativno utjecati na prijenos poruke kao na primjer udaljenost koju poruka mora prijeći, šumove u komunikacijskom kanalu itd. Otte et al. (2019). Ovaj model je koristan u situacijama kada su agenti međusobno blizu i kada komunikacijski kanal nema veliku širinu pojasa Otte et al. (2019).

3.2. Gilbert-Elliotov model

Gilbert-Elliotov model pretpostavlja da postoje dva stanja; dobro stanje(G) i loše stanje(B) Otte et al. (2019). To podrazumijeva da postoji određena vjerojatnost da poruka stigne u dobro odnosno loše područje te također da postoji vjerojatnost da se poruka održi u dobrom tj. lošem području. U odnosu na Bernoullija, ovaj se model u praksi pokazao boljim kada sustav ima određene probleme u komunikaciji zato što može modelirati nestacionarne efekte koji nastaju zbog toga što su roboti trenutno u stanju dobre(G) ili loše(B) komunikacije Otte et al. (2019). Slika 3.1 grafički prikazuje Gilbert-Elliotov model.



Slika 3.1: Gilbert-Elliottov model Otte et al. (2019)

4. Analiza direktnih proširenja

Ovo poglavlje predstavlja dva načina koja mogu znatno unaprijediti komunikaciju između aukcionara i agenata i samim time u većini slučajeva poboljšati efikasnost svake od spomenutih metoda aukcije kako bi se izbjegla situacija prikazana na slici 4.1. Prvi je način ponavljano slanje poruka, na primjer u situacijama kada agent nije dužan obavijestiti aukcionara o primitku poruke dok drugi način podrazumijeva da aukcionar u svakom koraku aukcije šalje listu agenata čije su ponude prihvaćene u prethodnim koracima isto kao i da na kraju svakog koraka aukcije pošalje listu agenata čije su ponude prihvaćene u tom koraku Otte et al. (2019). U nastavku slijedi kratko pojašnjenje svake mogućnosti.

4.1. Ponavljano slanje poruka

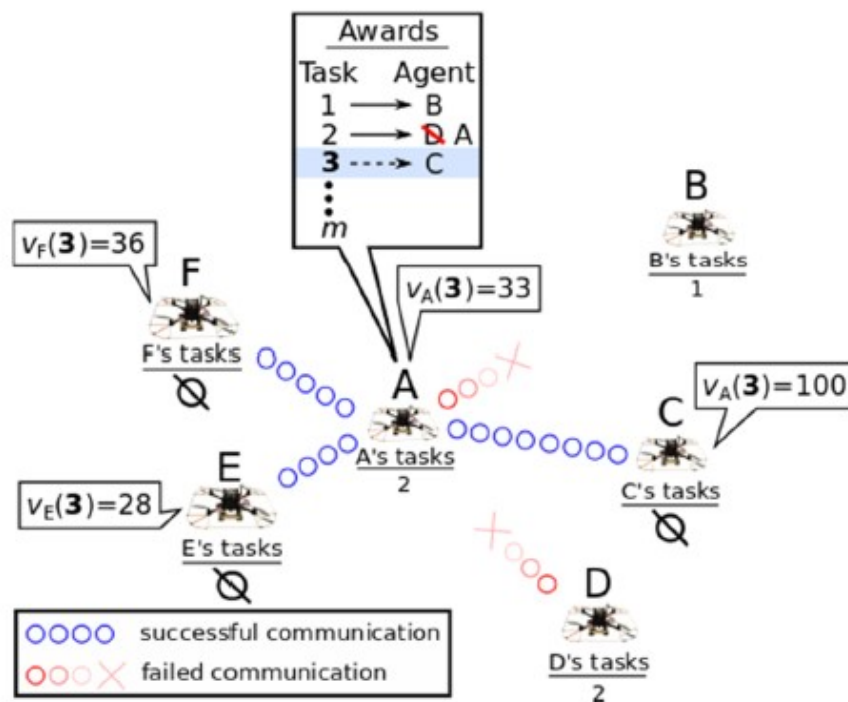
Prvi je način opetovano slanje poruka između aukcionara i agenata. To je jednostavna mogućnost koja se pokazuje uspješnom isključivo u situacijama u kojima su komunikacijski zahtjevi aukcije prihvatljivi za mogućnosti komunikacijskog kanala jer u suprotnom ponavljano slanje poruka će samo pogoršati komunikaciju Otte et al. (2019).

Ovaj način također dobro funkcionira u slučaju kada pošiljatelj očekuje potvrdu primitka poruke. To znači da se svaka poruka šalje onoliko puta dok pošiljatelj ne primi potvrdu o primitku poruke, a broj slanja iste poruke može biti ograničen na c puta Otte et al. (2019).

Još treba napomenuti da ova mogućnost neće riješiti probleme u komunikaciji i poboljšati efikasnost ako komunikacijski zahtjevi aukcije već sami po sebi dovoljno koriste resurse i mogućnosti komunikacijskog kanala. Stoga korištenje Bernoullijevog modela u takvom slučaju neće imati pozitivne efekte već suprotno - komunikacija će se dodatno narušiti Otte et al. (2019).

4.2. Obavješćavanje o prihvaćenim ponudama u svakom koraku

Ovaj način podrazumijeva obavješćavanje agenata u svakom koraku aukcije o tome koje su ponude dodijeljene kojem agentu u svim prethodnim koracima te tako ako dođe do pogreške u prijenosu informacija odnosno slanja poruke, agenti će uvijek biti informirani o tome čije su ponude prihvaćene Otte et al. (2019). Korištenje ove opcije kao način poboljšanja komunikacije ne povećava broj poruka koje se razmjenjuju u komunikacijskom kanalu već samo veličinu poruke što je svakako prihvatljivije uzevši u obzir karakteristike komunikacijskog kanala i komunikacijske zahtjeve aukcije. Ovaj način je osobito prigodan za G-Prim metodu aukcije jer ta metoda po osnovnoj definiciji podrazumijeva to da aukcionar u svakom koraku obavještava agente o tome koje su ponude prihvaćene Otte et al. (2019).



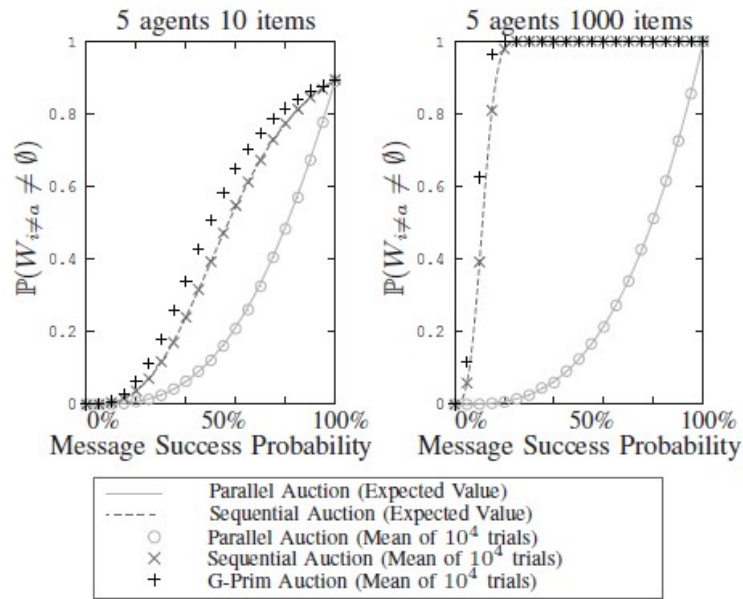
Slika 4.1: Više-robotski sustav s nepouzdanom komunikacijom Otte et al. (2019)

5. Pokusi i rezultati

Moguće je provesti veliki broj pokusa i simulirati veliki broj scenarija pritom uzevši u obzir različite faktore koji nas zanimaju prilikom simuliranja određenog događaja. Ovaj rad prikazat će samo jedan dio rezultata koji su dobiveni provedenim pokusima vjerujući da će to biti dovoljan pokazatelj realne situacije, ali važno je reći da se još više rezultata i pokusa može pronaći u radovima koji se detaljnije bave istom tematikom kao na primjer Otte et al. (2019) i Otte et al. (2017). Dalje u tekstu slijede prikazi i objašnjenja dva različita scenarija koja su simulirana zajedno s pripadajućim rezultatima.

5.1. Prvi scenarij

Prvi scenarij sastoji se od 5 agenata koji za svaki ponuđeni zadatak moraju odrediti koliko im je važan tj. moraju si sami odrediti prioritete među ponuđenim zadacima, a to rade tako da za svaki ponuđeni zadatak "izvlače" nasumični broj iz intervala $[0,1]$. Ovaj scenarij simulira se za dvije situacije u kojima postoji 10 odnosno 1000 ponuda Otte et al. (2017). Na slici 5.1 prikazana je usporedba događaja da svakom agentu bude prihvaćena barem jedna ponuda izračunata kao očekivanje prije provođenja simulacije i rezultata dobivenog simulacijom.



Slika 5.1: Očekivanje da svakom agentu bude prihvaćena barem jedna ponuda (lijevi graf) i rezultat dobiven simulacijom (desni graf) u prvom scenariju Otte et al. (2017)

Slika 5.3 prikazuje rezultate prvog i drugog scenarija za paralelnu metodu aukcije, uzastopnu metodu aukcije i G-Prim metodu aukcije. Moguće je primijetiti da uzastopna aukcija uključuje više agenata nego paralelna aukcija unatoč tome što obje metode očekuju jednaku podjelu zadataka svakom agentu Otte et al. (2017). To se dešava jer algoritam paralelne aukcije sprječava agenta da šalje nove ponude ako dođe to ispuštanja poruke tj. pogreške u komunikaciji.

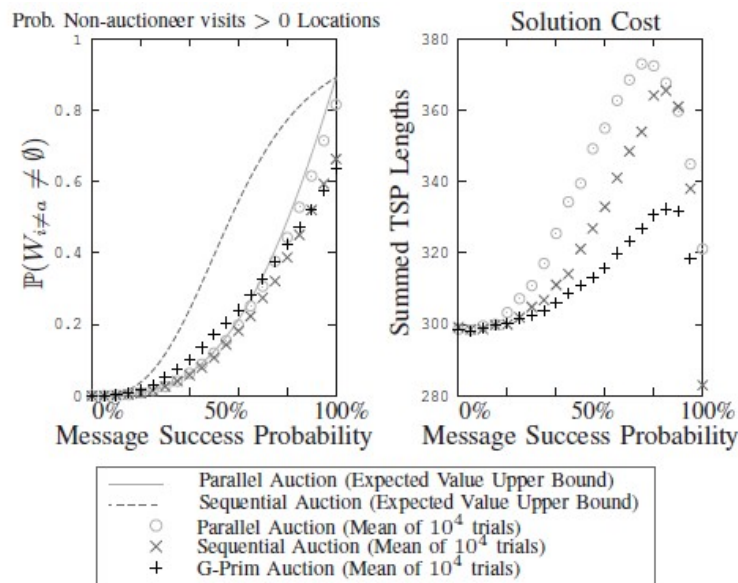
Također je vidljivo da G-Prim metoda aukcije, sveukupno gledano, daje bolje rezultate od druge dvije metode jer ta metoda daje mogućnost da svaki agent šalje ponudu za zadatak koji mu najviše odgovara i tako smanjuje vjerojatnost da će određeni zadatak biti dodijeljen nekom drugom agentu što bi potencijalno moglo izazvati situaciju u kojoj poruka ne bi nikada stigla na odredište Otte et al. (2017).

5.2. Drugi scenarij

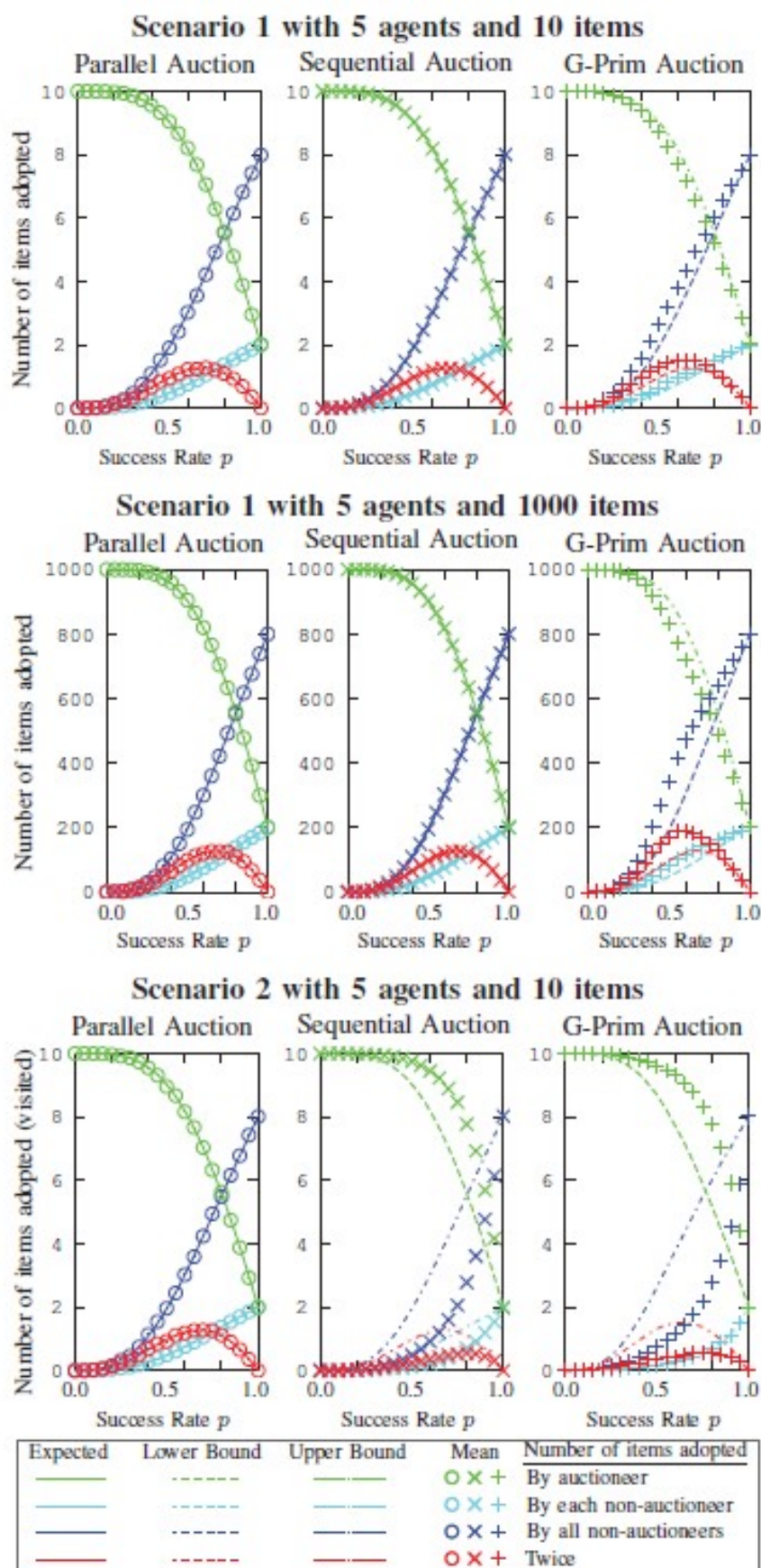
U drugom scenariju 5 agenata sudjeluje u aukcijama gdje se 10 zadataka nalazi na 10 različitih lokacija. Lokacija svakog zadatka isto kao i početna pozicija svakog agenta određuju se nasumično unutar kvadrata dimenzija 100x100 kilometara Otte et al. (2017). Na slici 5.2 prikazana je usporedba događaja da svakom agentu bude prihvaćena barem jedna ponuda izračunata kao očekivanje prije provođenja simulacije i rezultata dobivenog simulacijom.

Rezultati simulacije pokazuju da se algoritam paralelne metode aukcije jednako ponaša kao i u prvom scenariju dok je uzastopna aukcija omeđena svojom izvedbom iz prvog scenarija Otte et al. (2017). S obzirom na to da je u ovom scenariju situacija takva da prihvaćena ponuda nekog agenta povećava vjerojatnost da tom agentu budu prihvaćene i ponude u idućim koracima aukcije, može se zaključiti da u aukcijama koje se sastoje od više koraka, agenti imaju manju vjerojatnost da im ponude budu prihvaćene nego u prvom scenariju. Oba scenarija podrazumijevaju smanjenje vjerojatnosti da agentima ponude budu prihvaćene ako dođe do pogreške ili totalnog gubitka komunikacije između agenata i aukcionara što naravno povećava vjerojatnost da aukcionar bude odgovoran za veći broj zadataka Otte et al. (2017).

Generalno govoreći bolja komunikacija korelira s većim angažmanom agenata. Rezultati drugog scenarija za tri metode aukcije prikazani su slikom 5.3.



Slika 5.2: Očekivanje da svakom agentu bude prihvaćena barem jedna ponuda (lijevi graf) i rezultat dobiven simulacijom (desni graf) u drugom scenariju Otte et al. (2017)



Slika 5.3: Rezultati prvog i drugog scenarija za paralelnu, uzastopnu i G-Prim metodu aukcije Otte et al. (2017)

6. Zaključak

Ovaj rad bavi se proučavanjem i analizom šest različitih metoda aukcije. Tri metode; paralelna aukcija, uzastopna aukcija i kombinatorička aukcija naširoko se koriste već duži vremenski period. G-Prim metoda bazira se na generalizaciji Prim alokacije. Konačno, preostale dvije metode tj. ponavljana paralelna aukcija i ponavljana G-Prim metoda aukcije predstavljaju varijacije postojećih metoda i baziraju se na ideji da u svakom koraku aukcije svakom agentu bude prihvaćena barem jedna ponuda kako bi svaki robot odradio neki zadatak Otte et al. (2019).

Uzevši u obzir karakteristike svake od metoda i naravno prikazane rezultate vidljivo je da je G-Prim metoda aukcije efikasnija od ostalih kada djeluje u sustavu s otežanom komunikacijom što proizlazi iz cijene optimalnog rješenja na primjer vremena potrebnog da se odrade svi rasporedi. Također obavješćavanje svih agenata u svakom koraku aukcije od strane aukcionara o tome čije su ponude već prihvaćene, pokazalo se kao dobar način povećanja efikasnosti u slučaju loše komunikacije. Rezultati još pokazuju i da su aukcije s jednim korakom manje efikasne od aukcija koje podrazumijevaju više koraka aukcije kada se govori o sustavima s pogreškom u komunikaciji Otte et al. (2019).

Unatoč tome što su se neke metode pokazale manje efikasne, smatram da svaka metoda aukcije pruža određene benefite, ovisno o situaciji. Također smatram da bi bilo dobro nastaviti raditi na unaprjeđivanju postojećih metoda kako bi svaka od njih mogla pružiti optimalan raspored, neovisno o tome radi li se o više-robotskom sustavu s lošom komunikacijom ili ne. Osim toga vjerujem da bi bilo dobro istraživanja usmjeriti i na to kako da se pogreške u komunikaciji uklone ili barem maksimalno smanji njihov utjecaj što bi posljedično dovelo do veće efikasnosti svih metoda.

7. Literatura

Michael Otte, Michael Kuhlman, i Donald Sofge. Multi-robot task allocation with auctions in harsh communication environments. U *2017 International Symposium on Multi-Robot and Multi-Agent Systems (MRS)*. IEEE, Prosinac 2017. doi: 10.1109/mrs.2017.8250928. URL <https://doi.org/10.1109/mrs.2017.8250928>.

Michael Otte, Michael J. Kuhlman, i Donald Sofge. Auctions for multi-robot task allocation in communication limited environments. *Autonomous Robots*, 44(3-4):547–584, Siječanj 2019. doi: 10.1007/s10514-019-09828-5. URL <https://doi.org/10.1007/s10514-019-09828-5>.

Metode aukcije za dodjelu zadataka u više-robotskom sustavu s ograničenom komunikacijom

Sažetak

U današnje vrijeme velika postrojenja poput tvornica, skladišta, bolnica često koriste robote koji odrađuju većinu poslova. Kako bi što bolje i efikasnije organizirali posao takva postrojenja s velikim brojem robota nerijetko koriste različite metode aukcije za podjelu zadataka među robotima. No takve metode gotovo uvijek nailaze na probleme u komunikaciji što dodatno otežava podjelu zadataka. Ovaj seminarski rad proučava šest takvih metoda, uspoređuje ih te analizira njihove rezultate dobivene simulacijom u okruženjima gdje postoji otežana komunikacija. Rad ukratko objašnjava svaku od metoda, predstavlja načine komunikacije, načine za poboljšanje komunikacije te na kraju zaključuje efikasnost svake od predstavljenih metoda.

Ključne riječi: robot, više-robotski sustav, aukcija, metoda aukcije, loša komunikacija, organizacija, podjela poslova

Auctions for multi-robot task allocation in communication limited environments

Abstract

Nowadays, large plants such as factories, warehouses, hospitals often use robots that do most of the work. In order to better and more efficiently organize the work of such plants with a large number of robots, those plants often use different methods of auction to divide tasks among robots. But such methods almost always encounter problems in communication, which further complicates the division of tasks. This seminar paper studies six such methods, compares them and analyzes their results obtained by simulation in an environment where communication is difficult. The paper briefly explains each of the presented methods, presents ways of communication, ways to improve communication and finally concludes the effectiveness of each of the presented methods.

Keywords: robot, multi-robot system, auction, auction method, poor communication, organization, division of labor