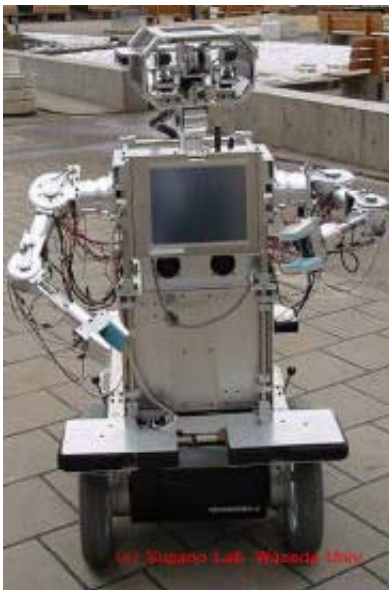


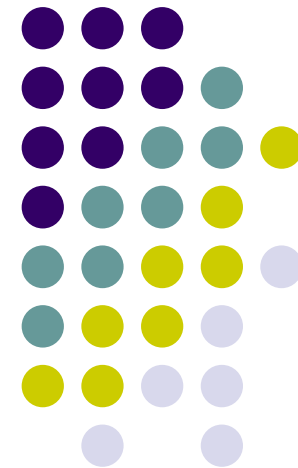
Lekcija 14: *Multirobotски timovi*



Prof.dr.sc. Jasmin Velagić
Elektrotehnički fakultet Sarajevo

Kolegij: Mobilna robotika

2012/2013





14. Multirobotski timovi

- **Višerobotski tim** predstavlja skupinu dvaju ili više mobilnih robota koji zajednički obavljaju posao s namjerom postizanja željenog cilja.
- Prednosti u odnosu na pojedinačnog robota:
 - **Poboljšanje performansi sistema** (dekomponiranje zadataka i paralelno izvršavanje).
 - **Izvršavanje zadataka koje pojedinačni robot ne može ostvariti.**
 - **Poboljšanje efektivnosti** (brže obavljanje zadatka).
 - **Distribuirano opažanje** – dostupnost senzorskih podataka - senzorske mreže.
 - **Distribuirano djelovanje** – djelovanje na većem broju lokacija koordinacija, komunikacija i kooperacija.
 - **Tolerancija na kvarove** (robusnost, redundancija).
 - **Istraživanja u opasnim sredinama.**
 - **Troškovna efikasnost** (veći broj jeftinijih robota).

Multirobotski timovi

- Nedostaciji i poteškoće u korištenju više robota:
 - **Dizajniranje tima robota je teško.**
 - **Interferencija među robotima.**
 - **Komunikacija.**
 - **Neizvjesnost proistekla iz nemjere drugih robota.**
- Dizajn višerobotskog tima je predominantno uvjetovan vrstom **kooperacije**, **razinom neovisnosti** i **tipom komunikacije**.
- **Vrsta kooperacije** - da li roboti dijele ili ne zajednički cilj?
- **Razina neovisnosti** odnosi se na vrstu upravljanja, koje može biti **centralizirano**, **decentralizirano** i **kombinirano**.



Multirobotski timovi

- **Komunikacija u višerobotskom timu** može biti ***eksplicitna***, u kojoj signal zajednički koriste dva ili više robota, i ***implicitna***, kod koje se informacije dobivaju i dijele na temelju obzervacije akcija drugih robota.
- Parametri bitni za dizajn robotskog tima:
 - **Veličina tima** (jedan, par, skupina).
 - **Područje komunikacije** (*bez komunikacije, bliska komunikacija, i neograničena komunikacija*).
 - **Komunikacijska topologija** (*širokopojasne, adresirane, stablaste i u obliku grafa*).
 - **Propusni opseg komunikacije** (*visok, kretanjem određen, nizak, nulti*).



Multirobotski timovi

- **Timska rekonfigurabilnost** (*statička, komunikacijski koordinirana i dinamička*).
- **Sposobnost jedinice za timsku obradu** (ovisno o računarskom modelu).
- **Timska kompozicija** (*homogena i heterogena*).
- Zadaci tima mobilnih robota:
 - **Traganje** (engl. foraging).
 - **Korištenje**, koje zahtijeva da robot obavlja zadatak na željenom objektu, radije nego prenositi ga do željene lokacije.
 - **Raspršivanje**.
 - **Kreiranje formacije ili gomilanje** (engl. formations, flocking).
 - **Prenošenje objekata**.



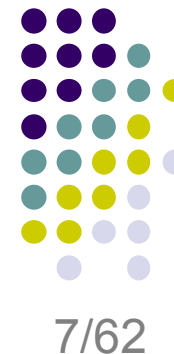
Multirobotski timovi

- Kod pretrage i gradnje mape tima mobilnih robota mora se voditi računa o:
 - **Lokacijama drugih robota.**
 - **Podjeli posla.**
 - **Višerobotskom planiranju.**
 - **Fuziji podataka od drugih članova tima.**
- Važni koncepti kod višerobotskih timova:
 - **Karakteristike robotskih timova.**
 - **Višerobotske arhitekture.**
 - **Dizajn višerobotskih sistema.**
 - **Višerobotska koordinacija i komunikacija.**



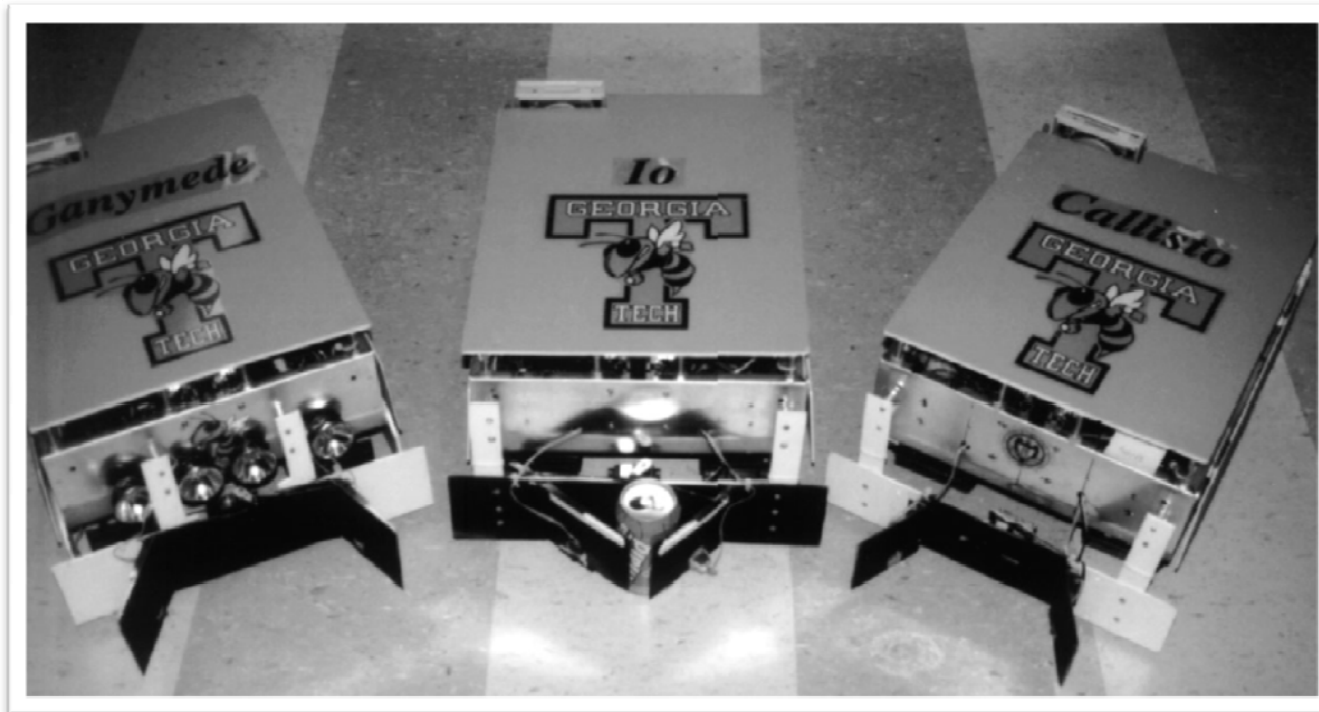
14.1. Karakteristike robotskih timova

- Neophodno razumijevanje bioloških sistema na temelju kojih je inspiriran razvoj i ponašanje skupine mobilnih robota.
- Osnovne karakteristike višerobotskih timova: ***heterogenost, upravljanje, kooperacija i ciljevi.***
- **Heterogenost** iskazuje stupanj sličnosti između pojedinačnih robota da budu dio tima.
- Skupine robota se mogu karakterizirati kao ***heterogene*** ili ***homogene***.
- **Heterogeni timovi** imaju najmanje dva člana sa različitim hardverskim ili softverskim sposobnostima, dok su kod ***homogenih timova*** članovi tima identični.



Karakteristike robotskih timova

- Primjer tima robota za skupljanje limenki.
- Osnovna ponašanja: **lutanje ka cilju** (tumaranje), **kretanje ka cilju**, **izbjegavanje drugih robota**, **hvatanje limenki**, **otpuštanje limenki**.
- Motor-shema ponašajna arhitektura.



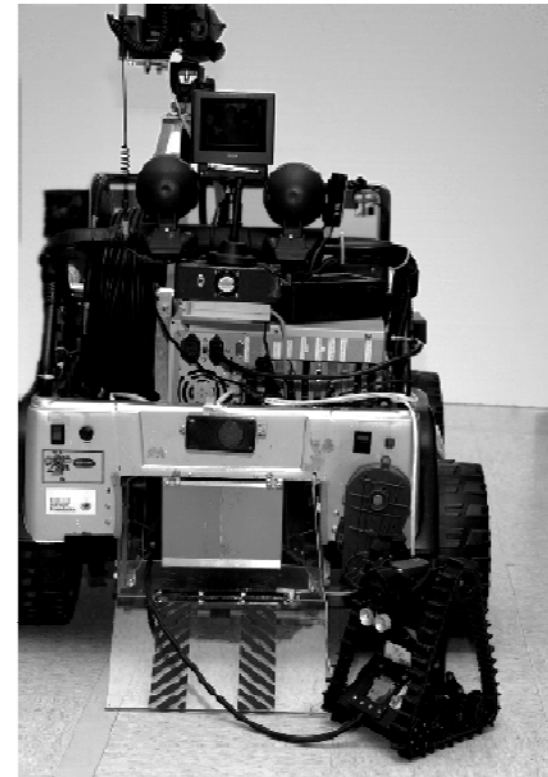
Karakteristike robotskih timova

- Kod **heterogenih timova** postoji jedan član tima opremljen skupim računarom koji omogućuje složenu obradu.
- Ovaj robot predstavlja **lidera tima** i pruža usluge ostalim robotima u timu, koji predstavljaju manje inteligentne robote.

Specijalan slučaj kooperativnog i heterogenog tima robota su takozvani **roboti tobolčari**.

Metrika - stupanj heterogenosti tima robota (entropija):

$$Het(\mathcal{R}) = -\sum_{i=1}^c p_i \log_2(p_i)$$



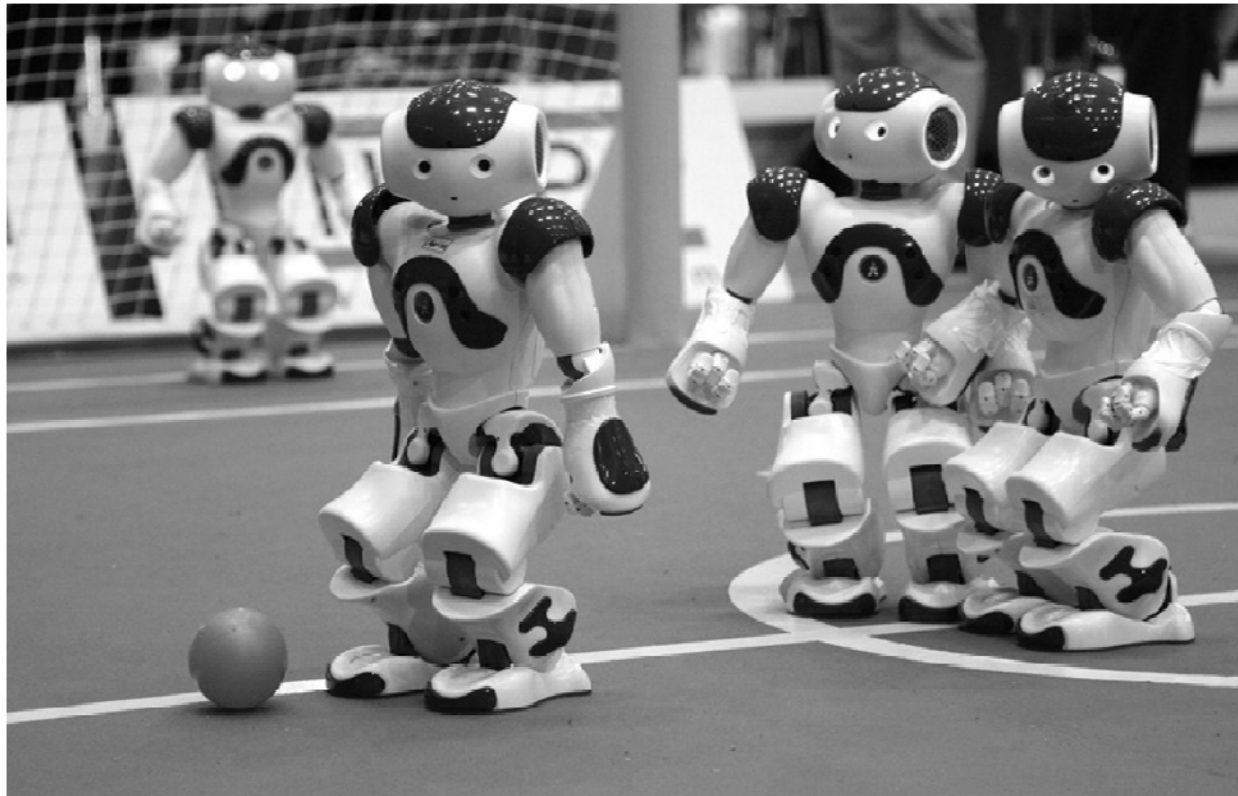
Karakteristike robotskih timova

- **Upravljanje višerobotskim timovima** može biti **centralizirano** i **decentralizirano**.
- Kod **centraliziranog** upravljanja roboti komuniciraju s centralnim računarom.
- Centralni računar distribuira zaduženja, ciljeve, itd., udaljenim robotima.
- Roboti su uglavnom poluautonomni, pri čemu centralizirani računar ima ulogu teleoperatora u teleoperacijskom sistemu.
- U **distribuiranom** upravljanju svaki robot može samostalno donositi odluke i djelovati neovisno.
- Postoji područje režima između u cijelosti centraliziranih i u cijelosti distribuiranih; roboti mogu međudjelovati s centralnim regulatorom kako bi dobili nove ciljeve i nakon toga djelovali na distribuiran način u toku izvršavanja zadane misije.



Karakteristike robotskih timova

- Robotski timovi:
 - Male dimenzije terena – centralizirano
 - Srednje i velike dimenzije – distribuirano upravljanje.



Karakteristike robotskih timova

- **Kooperacija mobilnih robota**
- Opisuje kako roboti međudjeluju jedan sa drugim u postizanju aktivnog kooperacijskog cilja.
- Roboti mogu iskazivati **aktivnu kooperaciju** poznavajući druge robote i radeći zajedno s njima.
- Kooperacija ne zahtijeva komunikaciju; ako robot posjeduje loptu, on ne mora vidjeti gol i može vidjeti timske suigrače. Zatim može doći do svojih suigrača a da ih i ne opazi.
- Veoma često su roboti programirani za postizanje **neaktivne (pasivne) kooperacije**, gdje pojedinačni roboti postižu cilj bez poznavanja drugih robota, ali uz postojanje izvjesne kooperacije. Izbor kooperacijskih shema je često uvjetovano senzorskim sposobnostima robota.



Karakteristike robotskih timova

▪ Ciljevi

- Temeljno svojstvo koje karakterizira skupinu robota je kako robot radi na postizanju cilja.
- Ako svi roboti u skupini rade na postizanju istog, eksplicitnog cilja, tada se za njih kaže da dijele jedan cilj, nasuprot postojanja pojedinačnih ciljeva.
- Kooperacija se razlikuje u slučajevima pojedinačnih i zajedničkih ciljeva.



14.2. Arhitekture višerobotskih sistema

- Pojedinačni članovi višerobotskih timova obično su programirani sa ponašanjima, koji se oslanjaju na reaktivne, delibrativne ili hibridne paradigme.
- Kod reaktivnog pristupa višestruka ponašanja djeluju konkurentno, pri čemu robot iskazuje pojavno (engl. emergent), odnosno iznenadno ponašanje.
- Također, u višerobotskim sistemima, konkurentne, ali neovisne akcije pojedinačnog robota vode ka pojavnom društvenom ponašanju.
- Skupno ponašanje može se razlikovati od pojedinačnog ponašanja, zbog postojanja takozvane "grupne dinamike" grupe robota.



Arhitekture višerobotskih sistema

- Prilično složene timske akcije, kao što je gomilanje ili kreiranje linijske formacije na putu kroz vrata prirodno se ostvaruju reaktivnim robotima s malom, ili gotovo nikakvom međusobnom komunikacijom.
- Međutim, sa pojavnim ponašanjem pojedinačnih robota, pojavno društveno ponašanje tima robota je često teško predvidjeti.
- Problem komunikacije, odnosno nekomunikacije, između robota je također važan segment arhitekture višerobotskih sistema.
- Komunikacijski protokoli između članova tima i organizacijska struktura robota (homogeni ili heterogeni) su izuzetno važni u dizajnu arhitektura robotskih timova.



Arhitekture višerobotskih sistema

- Najpoznatije arhitekture:
- **Nerd Herd** [Matarić, 1994] i **ALLIANCE** [Parker 1994; 1998].
- Kod prve arhitekture se kreiraju pravila kako robot treba da obavlja zadatak slijeđenja, dok druga arhitektura posjeduje unutarnju motivaciju koja omogućuje robotima adaptaciju vlastitih ponašanja specifičnostima problema.
- ALLIANCE arhitektura je po svemu sudeći, do danas, najvjerojatnije najsveobuhvatniji višerobotski sistem.



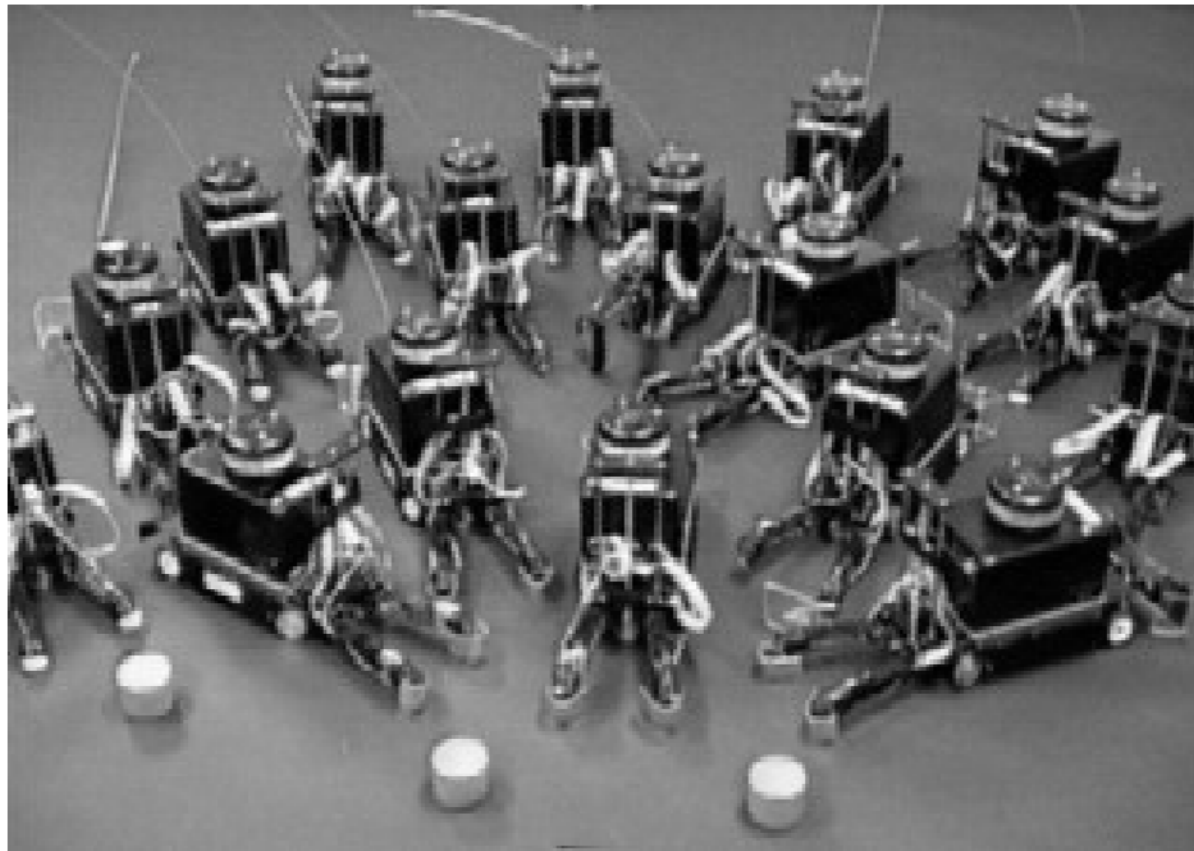
Arhitekture višerobotskih sistema

- **Nerd Herd arhitektura**
- Maja Matarić je svoje istraživanje fokusirala na to kako grupna dinamika može nastati u čoporu višestrukih agenata koji operiraju unutar distribuiranog upravljanja.
- Ona je istražila utjecaj gustoće i društvenih pravila na performanse cjelokupnog tima.
- Koristi se SS ponašajna arhitektura.



Arhitekture višerobotskih sistema

- **Nerd Herd arhitektura**
- Osnovna ponašanja: vraćanje, agregacija, disperzija, slijeđenje, sigurno tumaranje,



Arhitekture višerobotskih sistema

- **Nerd Herd arhitektura**
- Za generiranje navedenih ponašanja koristi se kodiranje zasnovano na pravilima.
- U Nerd Herd arhitekturi koriste se dva koordinacijska mehanizma: **direktna kombinacija**, koja predstavlja proces vektorskog zbrajanja, i **vremenska kombinacija**, što sekvencira nizove ponašajnih stanja.
- Perceptualne informacije se kodiraju kao nizovi predikata koji se koriste za kodiranje senzorskih podataka potrebnih za aktiviranje relevantnih ponašanja.



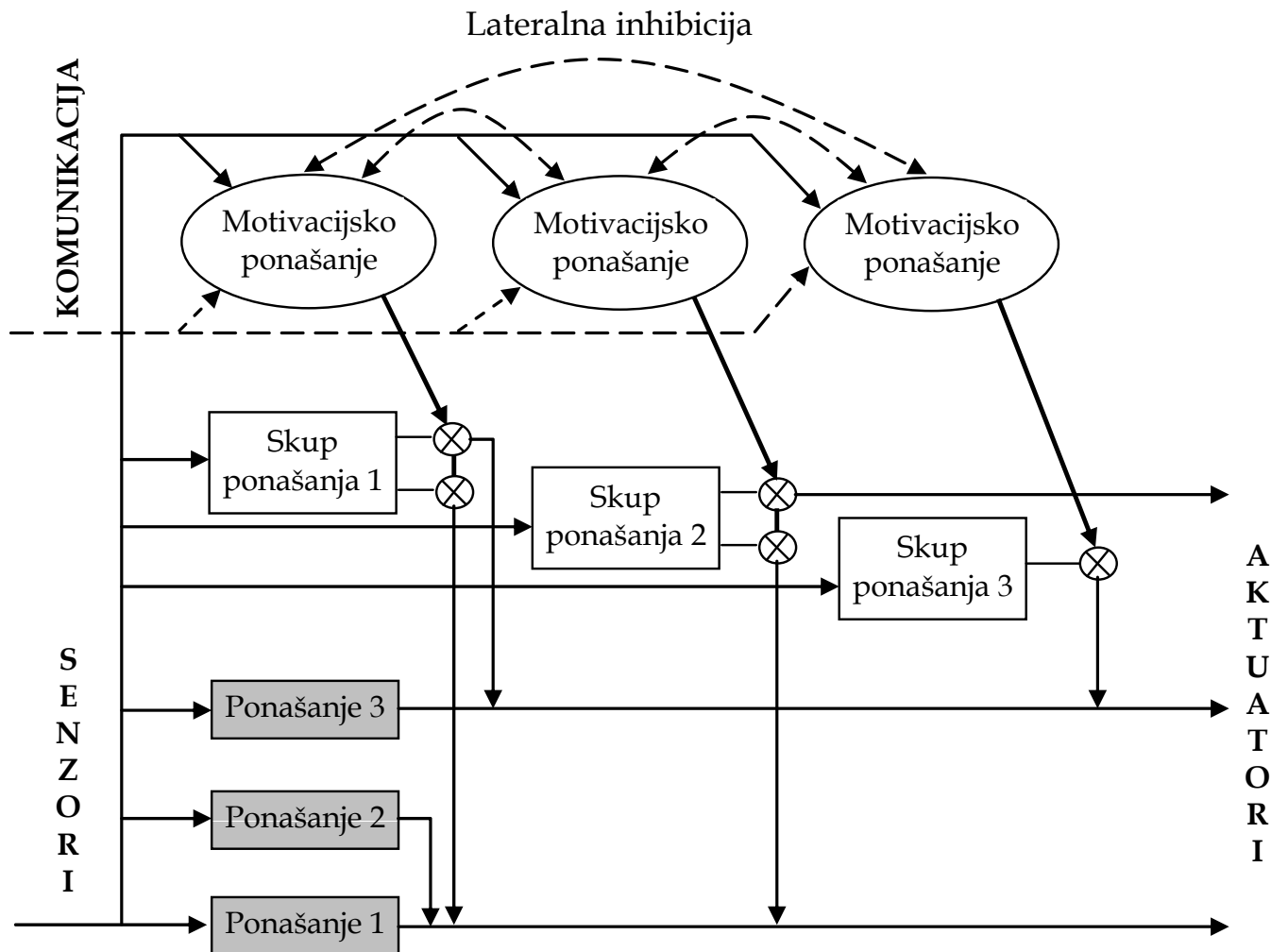
Arhitekture višerobotskih sistema

- **Alliance arhitektura**
- Alliance arhitektura višerobotskog sistema zasnovana je na SS pristupu i uključuje posebna razmatranja koja se odnose na heterogene skupine robota.
- Ova arhitektura proširuje standardnu ponašajnu SS arhitekturu sa dvije nove komponente, ***skupovi ponašanja*** i ***motivacijski sistem***.
- Skupovi ponašanja omogućuju da različite skupine niskorazinskih ponašanja djeluju zajedno u obavljanju određenog zadatka.
- Motivacijska ponašanja dozvoljavaju ili zabranjuju aktiviranje ovih skupova ponašanja.



Arhitekture višerobotskih sistema

- Alliance arhitektura
- Alliance arhitektura višerobotskog sistema



Arhitekture višerobotskih sistema

- **Alliance arhitektura**
- Direktni ulazni komunikacijski signali iz drugih robota u aktivna ponašanja promatranog robota oslikavaju međurobotsku komunikaciju.
- Eksplicitni modeli međurobotske komunikacije omogućuju dobivanje prediktivnih informacija o prijenosu informacija između dva robota, u skladu sa specifičnim zadatkom, tokom zadanog vremenskog perioda.
- Alliance arhitektura omogućuje jednako upravljanje svim robotima u timu, dozvoljavajući im izbor zadataka bez bilo kakve centralne komande.
- Svaka jedinica emitira informacije periodički do drugih jedinica o tome šta se trenutno radi.



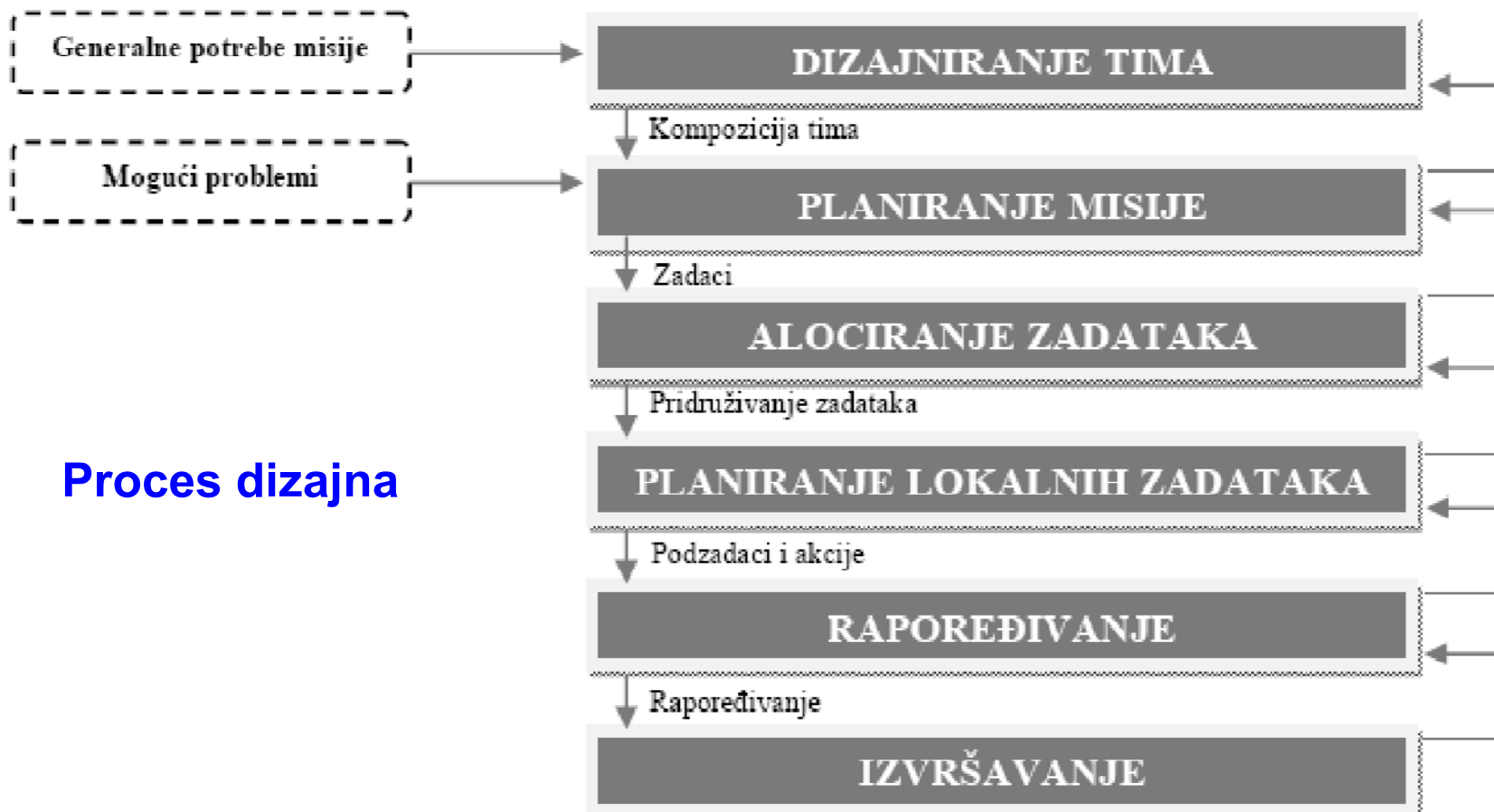
Arhitekture višerobotskih sistema

- **Alliance arhitektura**
- Kooperativno slijeđenje objekta unutar Alliance arhitekture.



14.3. Dizajn višerobotskih sistema

- Zahtjevi na dizajn: **robustnost, optimizacija, brz odziv na promjene, mogućnost funkcioniranja sa nesavršenom komunikacijom, sposobnost raspoređivanja ograničenih resursa, heterogenost i sposobnost unaprijeđenja korištenja vještina različitih robota.**



Dizajn višerobotskih sistema

- **Dizajniranje tima:** Ovaj problem sastoji se od određivanja tipa i broja robota i ostalih resursa koji će sačinjavati tim.
- Ulazi u problem dizajniranja tima su skup potencijalnih potreba misije i nekih dodatnih nepredvidivih razmatranja, dok je izlaz opis tima koji optimalno zadovoljava željeni dizajn i postavljene uvjete.
- **Planiranje misije:** Osoba koja planira vrši dekomponiranje zadanog problema, koji je inače prestavljen kao skup zahtjeva visoke razine, na efikasni plan rješavanja jednostavnijih podzadataka kako bi se na kraju zadovoljila misija u cjelini.



Dizajn višerobotskih sistema

- **Alociranje zadataka:** dodjeljivanje, tj. pridruživanje zadataka robotu koji će optimirati globalnu cijenu. Ulaz je skup pojedinačno dodjeljivih zadataka, a izlaz pridruživanje zadataka.
- **Planiranje lokalnih zadataka:** Planiranje lokalnih zadataka se razlikuje od planiranja misije, jer je planiranje lokalnih misija adresirano na pojedinačne robote ili podgrupe robota.
- **Raspoređivanje:** robot određuje najefikasnije raspoređivanje unutar kojeg će se izvršavati zadaci, osiguravajući da svaki interni zadatak i robot budu uzeti u obzir.
- **Izvršavanje:** zahtijeva korištenje efikasnog planiranja upravljačkih algoritama u potencijalnim dinamičkim i nesigurnim područjima.



14.4. Pridruživanje zadataka (alokacija)

- Problem višerobotske koordinacije najčešće se rješava **alokacijom**, odnosno **pridruživanjem** ili **dodjeljivanjem** složenih zadataka.
- Ona se razlikuje u odnosu na tradicionalnu alokaciju u tome što ne uzima u obzir samo način na koji se zadaci distribuiraju unutar tima, nego istovremeno uspostavlja i mehanizam njenog rješavanja, to jest izvršavanja.
- Pristup rješavanja ovog problema je inspiriran slobodnim **ekonomskim tržišnim sistemom** (engl. Market Based Approach).
- Mehanizam se može promatrati kao skup entiteta koji rješavaju distribuirani optimizacijski problem, specificiran od strane svakog agenta pojedinačno i svaki sa svojim izlaznim podacima.



Pridruživanje zadataka (alokacija)

- Problem višerobotske koordinacije može se predstaviti kao mehanizam koji uzima u obzir stanje i mogućnosti robota, te kao izlaz daje željeno ponašanje tima robota.
- Svaki robot u timu nastoji postići maksimalni individualni profit, pri čemu roboti mogu međusobno pregovarati i nadmetati se za zadatke.
- Kod koordinacije robota u višerobotskom timu zasnovanog na MBA pristupu razmatra se:
 - **Tim robota osposobljenih za obavljanje pojedinačnog skupa zadataka.**
 - **Svaki robot je samozainteresiran za obavljanje zadatka.**
 - **Tim robota je ekonomičan.**
 - **Cilj je kompletirati zadatke uz istovremeno minimiziranje ukupnih troškova.**



Pridruživanje zadataka (alokacija)

- **Definicija 1. (Alokacija zadataka).** Neka je dan skup robota R , gdje je $R_p = 2^R$ skup svih podtimova robota (R_p je paritativni skup skupa R). Alokacija skupa zadatka T za R je funkcija $A: T \rightarrow R_p$ koja preslikava svaki zadatak za pojedinačnog robota ili za podtim robota koji su sposobni izvršiti postavljeni zadatak. Ekvivalentno, skup R_p^T je skup svih alokacija zadataka T za tim robota R . Neka je $T_r(A)$, $r \in R_p$ skup zadataka pridruženih podtimu r u alokaciji A .
- **Definicija 2. (Poblem pridruživanja zadataka višerobotskom timu).** Neka je dan skup zadataka T , skup robota R i funkcija cijena za svaki podskup robota koja specificira cijenu izvršavanja svakog podskupa zadataka, $c_r: 2^T \rightarrow \mathbb{R}^+ \cup \{\infty\}$, tada je potrebno pronaći funkciju pridruživanja $A^* \in R_p^T$ koja minimizira ciljnu globalnu funkciju $C: R_p^T \rightarrow \mathbb{R}^+ \cup \{\infty\}$.





Pridruživanje zadataka (alokacija)

- Algoritam koji rješava ovaj problem mora uzeti u obzir prostor svih mogućih funkcija pridruživanja zadataka R_p^T koji je eksponencijalan sa stajališta broja zadataka i robota:

$$\left| R_p^T \right| = \sum_{k=1}^{|R_p|} S_2(|T|, k) = \sum_{k=0}^{2|R_p|} \frac{1}{k!} \sum_{i=0}^{k-1} (-1)^i \binom{k}{i} (k-i)^{|T|}$$

gdje je $S_2(n, k)$ Stirlingov broj druge vrste koji specificira broj načina na koje je moguće razdvojiti skup veličine n u k nepraznih podskupova.

- Globalna funkcija cilja C može se razlikovati ovisno o zahtjevima sistema ili postavki dizajnera.
- Najčešći globalni ciljevi su **minimiziranje sume troškova tima**, ili **ukupnog vremena** utrošenog od strane tima.



Pridruživanje zadataka (alokacija)

- Prvi cilj (ponekad zvan MINISUM) odgovara i slučajevima u kojima je ukupna udaljenost ili efikasnost važna, a može se izraziti matematički kao:

$$C(A) = \sum_{r \in \mathcal{R}} c_r(T_r(A))$$

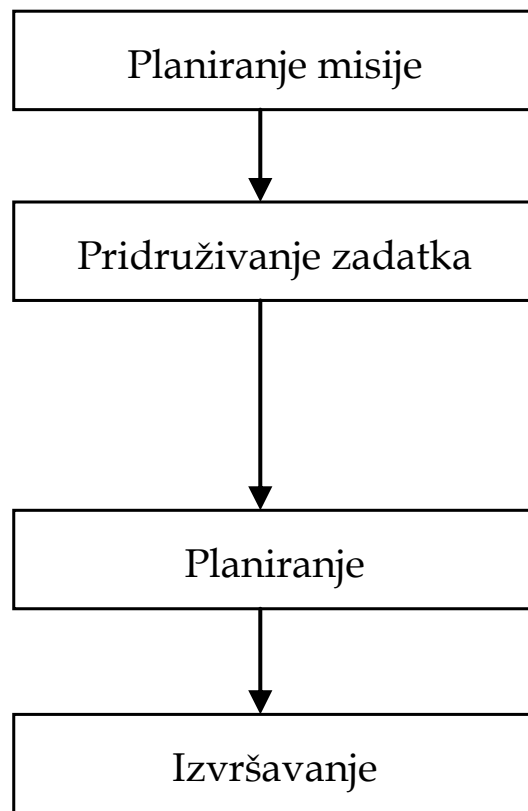
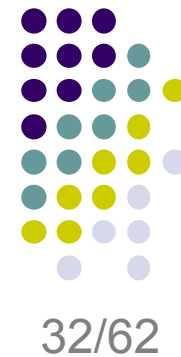
- Minimiziranje najvećih troškova nastalih od strane bilo kojeg robota (odražava ukupno vrijeme utrošeno od strane tima za kompletiranje zadatka):

$$C(A) = \max_{r \in \mathcal{R}} c_r(T_r(A))$$

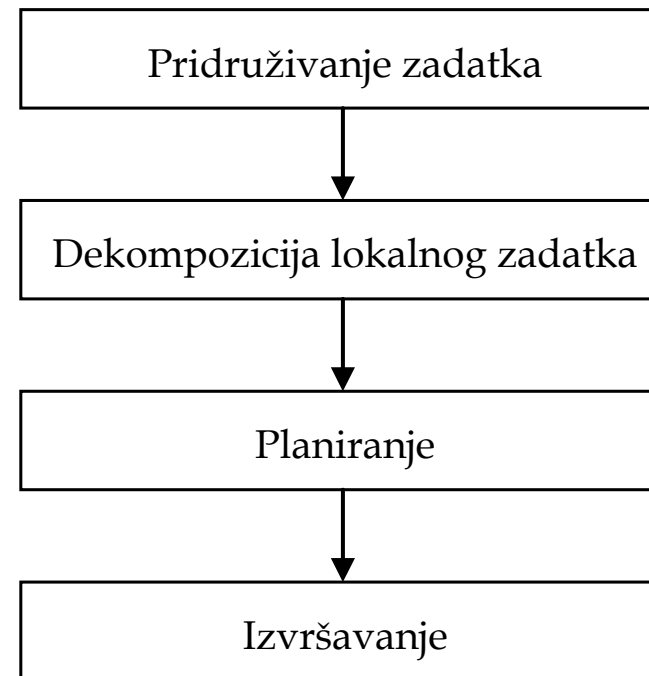
- Ostali ciljevi tima (naprimjer, najkraći put) i kombinacije više ciljeva su također mogući.

Pridruživanje zadataka (alokacija)

- Postoje dva opća pristupa pridruživanja složenih zadataka u pogledu optimizacije problema, pri čemu su oba dvostupanjska: **dekomponiraj-pa-pridruži** i **pridruži-pa-dekomponiraj**.



a) Dekompozicija-pa-pridruživanje



b) Pridruživanje-pa-dekompozicija

Pridruživanje zadataka (alokacija)

- ***Dekompozicija-pa-pridruživanje* arhitektura dekomponira zadatke u podzadatke prije njihove dodjele.**
- U ovom pristupu tradicionalni planeri ili domene algoritama dekomponiranja se koriste za dobivanje skupa jednostavnih zadataka iz složenog opisa misije, nakon čega se jednostavniji podzadaci dodjeljuju timu.
- ***Pridruživanje-pa-dekomponiranje* arhitektura lokalno dekomponira zadatke nakon što su pridruženi.**
- Složeni zadaci se dodjeljuju robotima putem aukcije, a zatim svaki robot dekomponira svoje dobivene zadatke lokalno.



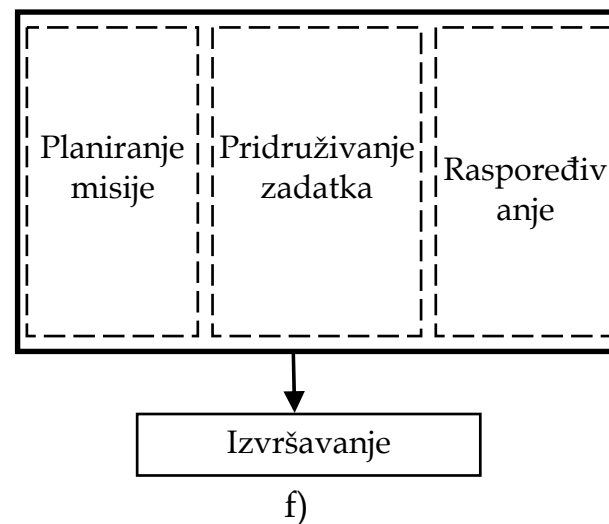
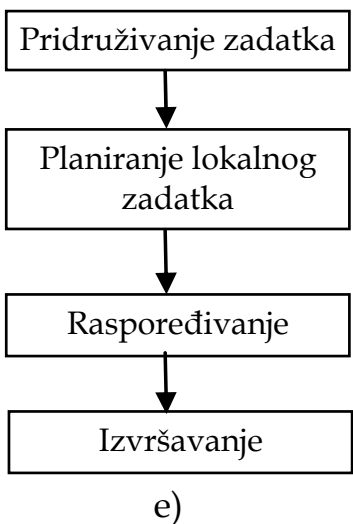
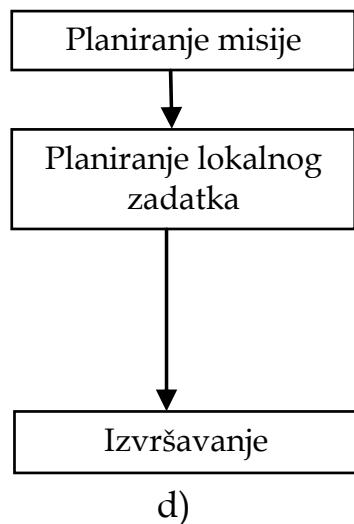
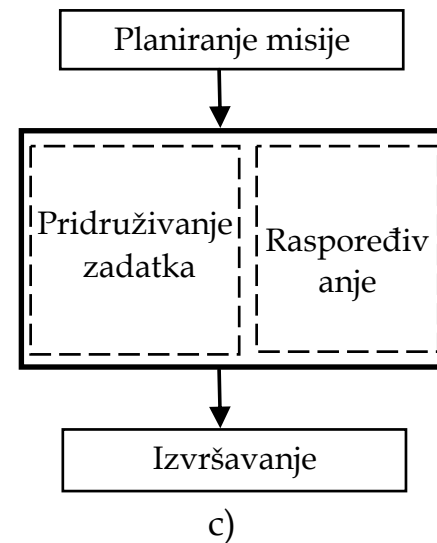
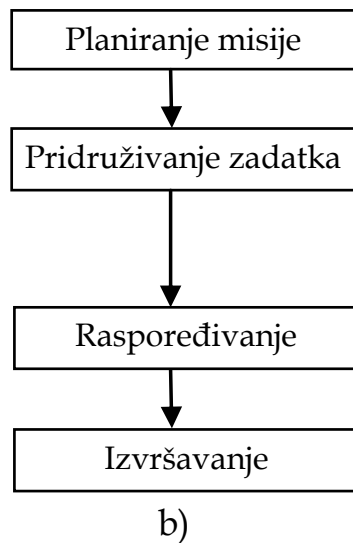
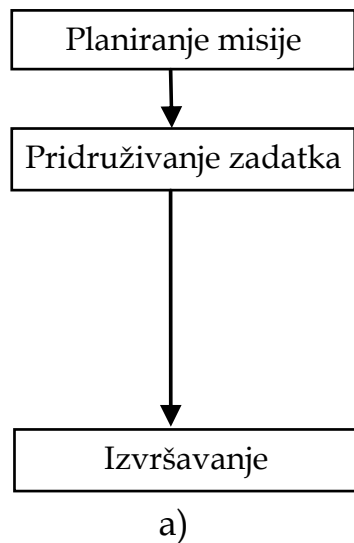
Pridruživanje zadataka (alokacija)

- Iako oba pristupa mogu pronaći izvedive planove, postoje nedostaci u oba pristupa u pogledu efikasnosti rezultatnog plana.
- Prije svega, zadaci su dekomponirani u jednostavne podzadatke bez obzira na to koji roboti će ih izvršavati, što može biti neefikasno jer dekomponiranje navedenim metodama ne može razmotriti robotske troškove bez znanja o pridruživanju zadataka.
- Prema tome, niti jedan od postojećih pristupa ne rješava problem optimiranja prisutan u pridruživanju složenih zadataka, bez razdvajanja problema u **više stadija potproblema** koji zanemaruju ovisnosti između istih.



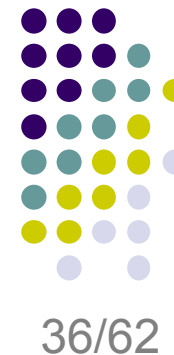
Pridruživanje zadataka (alokacija)

- Sumarno - načini pridruživanja složenih zadataka



14.5. Tržišno zasnovana višerobotska koordinacija

- Problem raspoređivanja složenih zadataka u višerobotskom sistemu može se riješiti postupkom ***aukcije zadatkovnih stabala*** [Zlot, 2006].
- U takvom sistemu, roboti i drugi agenti su dizajnirani kao samozainteresirani sudionici u virtualnoj ekonomiji u kojoj mogu razmjenjivati ugovorne zadatke i sredstva za plaćanje.
- Općenito, plaćanje može ovisiti o kvalitetu urađenog posla.
- Razmjene su omogućene preko tržišnih mehanizama, kao što su protokoli aukcije, u kojima je aukcioner u stanju odrediti najbolje robote sposobne za obavljanje ponuđenih zadataka.
- Agenti u tržišno zasnovanim višerobotskim sistemima projektirani su tako da kompetitivno maksimiziraju svoje individualne nagrade i minimiziraju svoje individualne troškove.

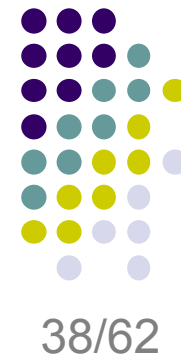


Tržišno zasnovana višerobotska koordinacija



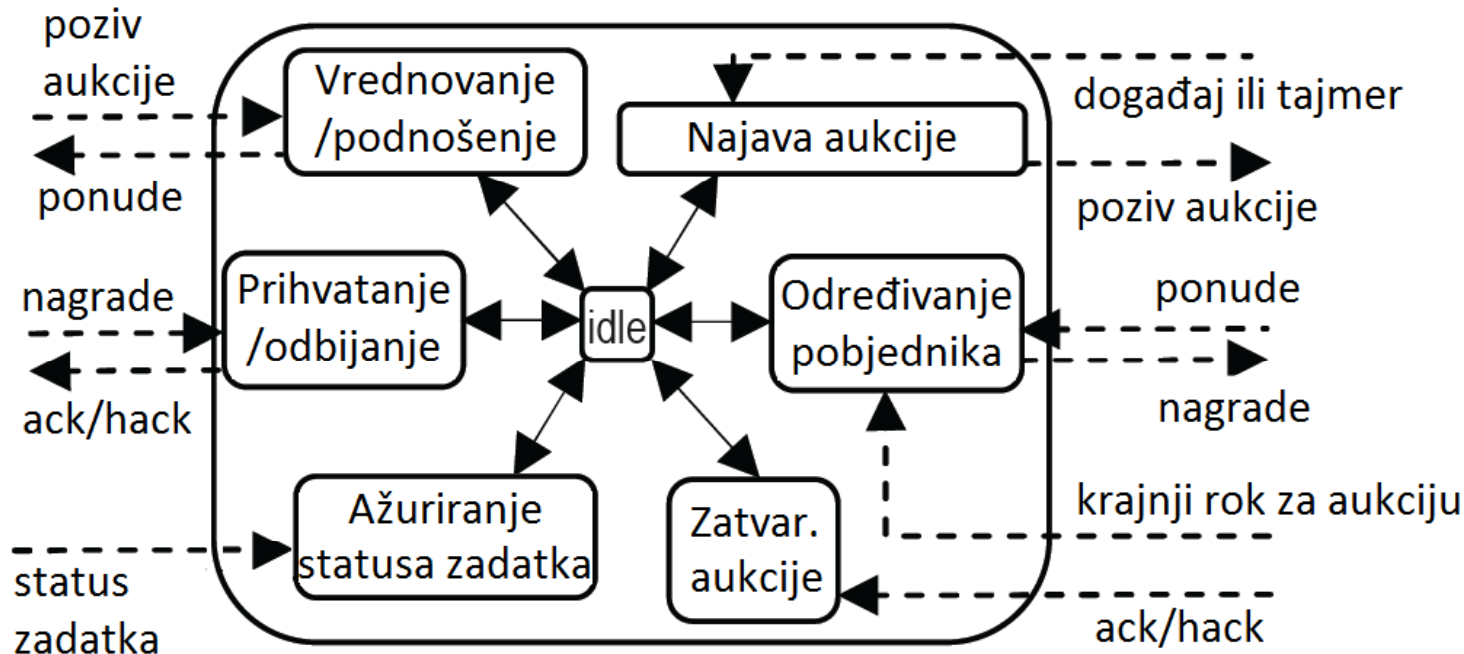
- Jedan od pristupa aukcijsko zasnovanog raspoređivanja zadataka je **TraderBots** [Dias, 2006].
- Posjeduje mogućnost suočavanja sa problemom raspoređivanja zadataka u dinamičkim i neizvjesnim uvjetima.
- U TraderBotsu aukcije se održavaju po principu jedan-na-jedan (engl. peer-to-peer) i bilo koji agent prozvan trgovcem (engl. trader) je sposoban preuzeti ulogu aukcionera ili ponuđača, kad je to potrebno.
- Trgovci mogu predstavljati različite tipove entiteta u sistemu, naprimjer, trgovac koji predstavlja robota naziva se *RoboTrader*, dok je trgovac koji djeluju u ime ljudskog operatera *OpTrader*.

Tržišno zasnovana višerobotska koordinacija



38/62

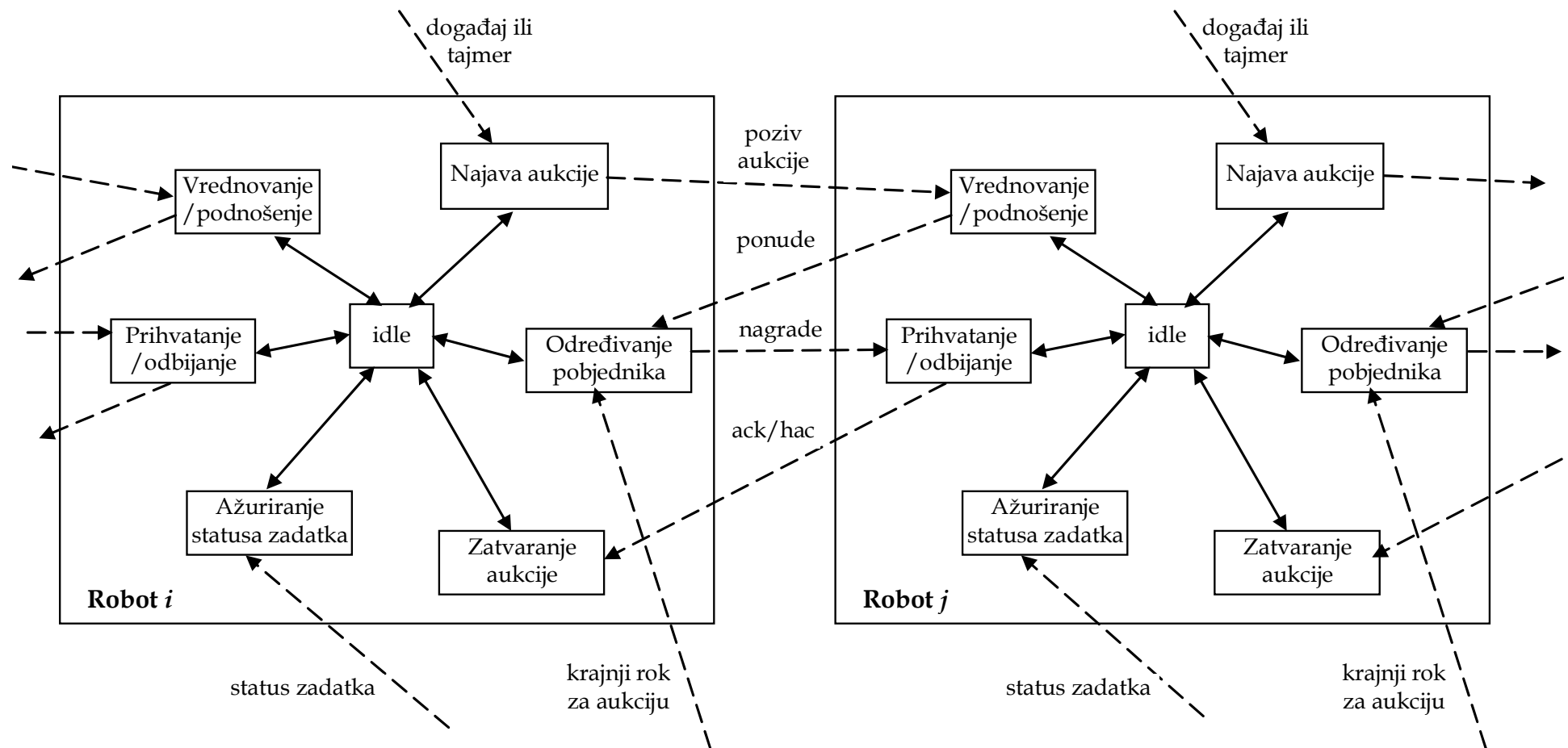
- Dijagram stanja TraderBots aukcijskog protokola.
- Stanja TraderBots aukcijskog protokola su: **neaktivan**, **najava aukcije**, **vrednovanje i podnošenje ponuda**, **odlučivanje pobjednika**, **prihvatanje/odbijanje nagrade**, **zatvaranje aukcije**, **ažuriranje statusa zadatka**.



Tržišno zasnovana višerobotska koordinacija



- Komunikacija između robota zasnovana na TraderBots protokolu, gdje isprekidane linije predstavljaju poruke, a tačkaste druge događaje koji pokreću prijelaze u nova stanja.

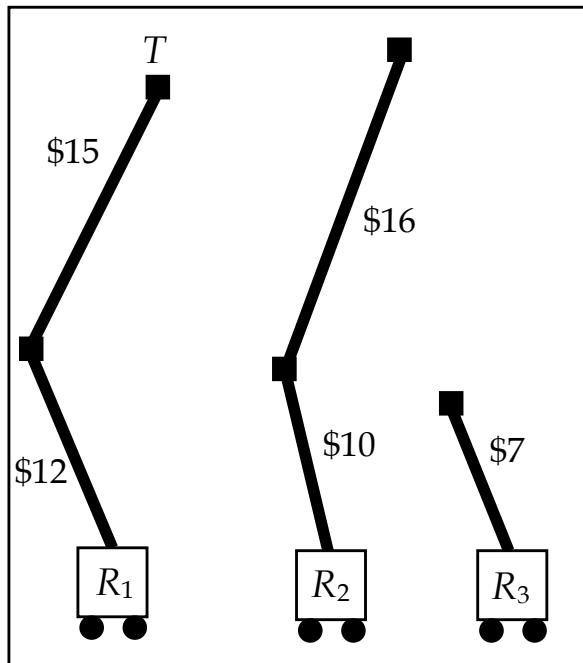


Tržišno zasnovana višerobotska koordinacija



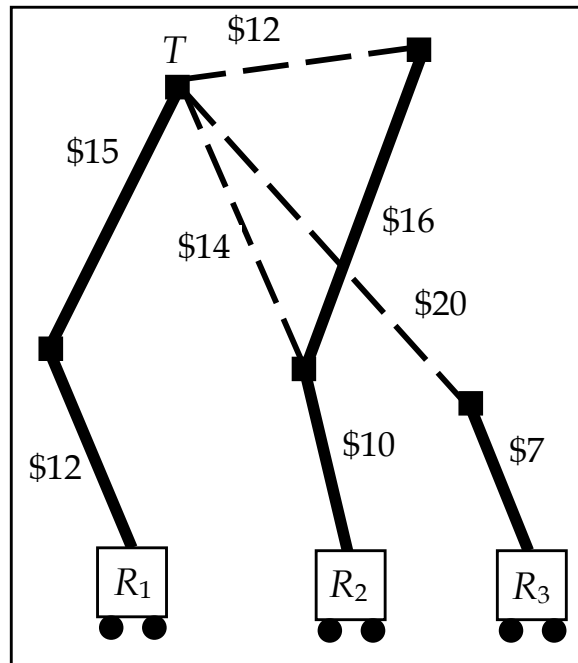
40/62

- **Primjer 1.** Kao primjer kako TraderBots aukcijski protokol funkcionira razmatra se višerobotski zadatak usmjeravanja, kao što je prikazano na slici. Za ovaj zadatak roboti zadužuje trošak od \$1 za svaki pređeni metar, a cilj je smanjivanje ukupne pređene udaljenosti.

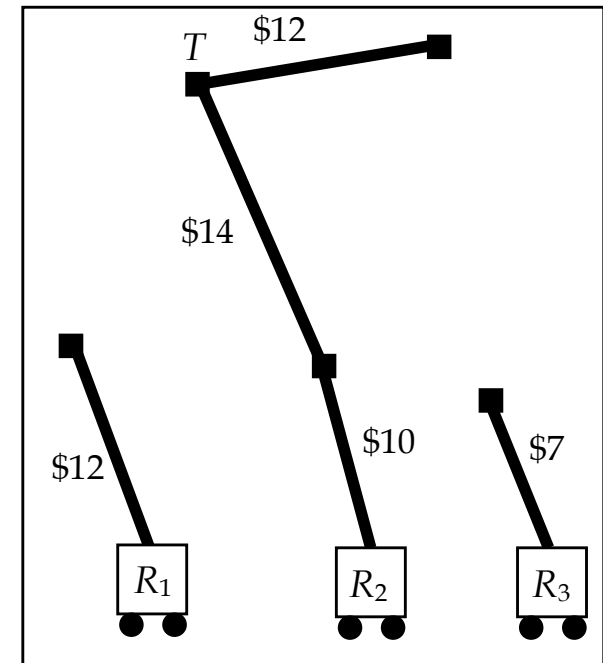


Ukupni trošak (cijena) \$60

(a)



(b)



Ukupni trošak (cijena) \$55

(c)

Tržišno zasnovana višerobotska koordinacija

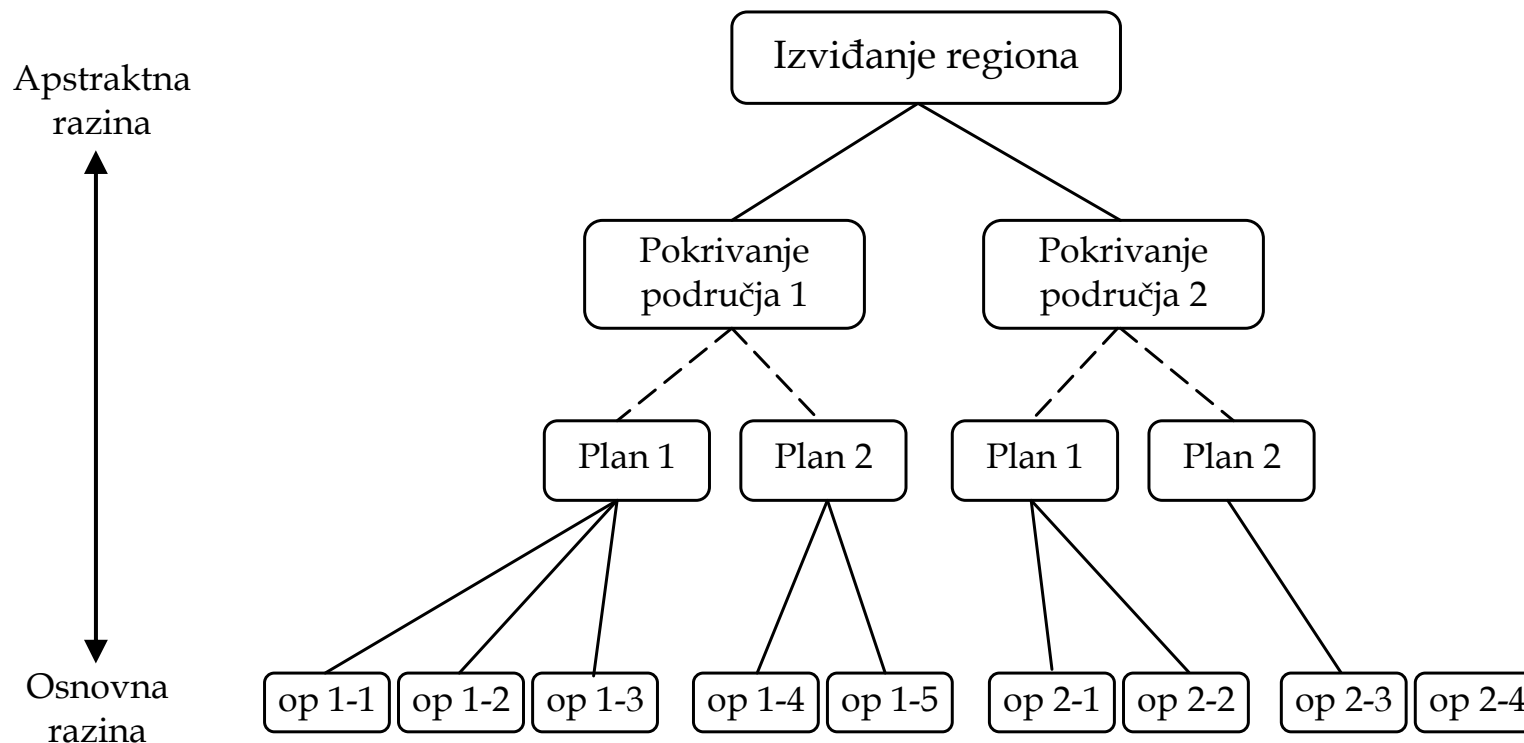


- Razmjena (trgovina) pojedinačnog zadatka:
- (a) početna raspodjela i raspored, Robot 1 može izvesti zadatak T za marginalni trošak od \$15, dok je globalni trošak \$60;
- (b) Roboti 2 i 3 ocjenjuju (estimiraju) svoje marginalne troškove za zadatak T , pri čemu je utvrđeno da se T može umetnuti u raspored robota 2 za dodatni trošak od \$10 ($\$14 + \$12 - \16), ili u raspored robota 3 za dodatni trošak od \$20;
- (c) Robotu 2 dodjeljuje se zadatak T , što uzrokuje pad troška za \$5, tako da globalni trošak sada iznosi \$55.

Tržišno zasnovana višerobotska koordinacija



- Složeni zadaci se modeliraju kao **zadatkovna stabla**.
- Zadatkovno stablo se definira kao skup zadatkovnih čvorova povezanih tako da se vidi odnos roditelj-potomak između zadataka.
- Primjer *///L* zadatkovnog stabla za scenario izviđanja regiona sa dva područja koje treba pokriti, čvrste veze predstavljaju */* operatore, a isprekidane linije predstavljaju *//* operatore, pri čemu se različiti oblici čvorova koriste kako bi se označili različiti tipovi zadataka



14.6. Međurobotska timska komunikacija

- **Komunikacija zajedno s koordinacijom** predstavlja veoma važan mehanizam uspješnog izvršavanje bilo kojeg zadatka pomoću tima robota.
- Komunikacija između kooperirajućih robota može se ostvariti korištenjem odgovarajućih protokola.
- **Najčešće se koriste slojeviti protokoli, odnosno dijelovi OSI referentnog modela, prije svih fizički, podatkovni i prijenosni slojevi, u kombinaciji sa zadaćno ovisnim i zadaćno neovisnim slojevima.**
- Jedno od dobrih rješenja za višerobotske timove je centralizirana komunikacijska arhitektura sa ad-hoc ili senzorskom mobilnom mrežom.
- Komunikacija u višerobotskom timu ima dva glavna aspekta, **informacijski sadržaj** i **način komunikacije**.



Međurobotska timska komunikacija

- Sa stajališta komunikacije robota važno je razmatrati sljedeće aspekte:
 - **Potreba za komunikacijom.**
 - **Područje preko kojeg komunikacija treba biti ostvariva.**
 - **Tipovi komunikacije.**
 - **Komunikacijski sadržaj.**
 - **Mehanizmi koji osiguravaju kvalitet komunikacije (zadovoljavanje postavljenih performansi).**



Međurobotska timska komunikacija

- **Postoje slučajevi kada se zahtijeva komunikacija između robota:**
 - Koordiniranje akcija između različitih robota tako da se zadatak može izvršiti bez bilo kakvih konflikata (sudara).
 - Podjela znanja robota sa drugim robotima u timu, naprimjer, mapu određene sobe može izgraditi jedan robot, dok drugi roboti to ne moraju.
 - Dijeljenje senzorskih informacija među robotima na temelju kojih oni zaključuju o radnoj okolini unutar koje se kreću.
 - Kreiranju grupnih ciljeva (robotska nogometna utakmica).
- **Ključni aspekt efikasnog kooperativnog ponašanja tima robota je posjedovanje određene razine međurobotske komunikacije.**



Međurobotska timska komunikacija

- **Komunikacija tima robota uključuje:**
- ***Sinhronizaciju akcija***. Određeni zadaci zahtijevaju izvođenje određenih akcija u pojedinačnoj sekvenci ili istovremeno. Komunikacija između robota osigurava sposobnost koordinacije ovih aktivnosti.
- ***Razmjenu informacija***. Različiti roboti moraju mijenjati perspektive na temelju njihovih prostornih pozicija ili njihovog ranijeg znanja.
- ***Pregovaranje***. Donošenje odluka treba biti u skladu s tim šta tko treba uraditi kako bi se izbjeglo dupliciranje napora u izvršavanju zadataka. Komunikacija i dijeljenje ciljeva mogu voditi ka produktivnim promjenama u ponašanju zasnovanim na akcijama drugih agenata.



Međurobotska timska komunikacija

- **Tipovi komunikacije:**
- **Implicitna komunikacija.** Ova vrsta komunikacije podrazumijeva komuniciranje robota kroz promjene u okolini. Roboti mogu ostavljati oznake i tragove koji prenose informacije drugim robotima koji će moći prepoznati ove promjene u okolini (naprimjer, miris koji ostavljaju mravi).
- **EksPLICITNA komunikacija.** Slanje i primanje informacija kod ovog tipa komunikacije odvija se korištenjem određene vrste protokola ili jezika. Eksplicitna komunikacija je uvijek unaprijed osmišljena i roboti su u cjelosti svjesni njenog postojanja. Primjeri ove vrste komunikacije su alarmni pozivi ili razgovor između ljudi.



Međurobotska timska komunikacija

- **Komunikacija stanjima.** U ovoj vrsti komunikacije roboti trebaju biti sposobni procijeniti ponašanja drugih robota. Primjer ovoga je komunikacija pokretima tijela. Ova vrsta komunikacije je posebno izražena kod zadataka slijeđenja robota, gdje svaki robot mora biti u stanju prepoznati druge robote i šta njihove akcije, odnosno pokreti znače.
- **Ciljno usmjerena komunikacija.** Korištenjem ove komunikacije omogućuje se slanje i primanje specifičnih ciljno usmjerenih informacija. Njihova implementacija na mobilnom robotu zahtijeva da podaci budu kodirani, preneseni, primljeni i dekodirani. Ciljno usmjerena komunikacija je zastupljena kod pčela radilica.



Međurobotska timska komunikacija

- **Primarni faktori koji direktno utječu na komunikaciju u višerobotskim sistemima su:**
- **Količina informacija.** Razmjena informacija između dva robota mora biti reducirana na propusni opseg kojeg podržava mrežni kanal.
- **Propusni opseg komunikacijskog kanala** (određuje ukupni protok informacija koji se može postići u određenoj vrsti komunikacijskog medija).
- **Sigurnost komunikacijskog kanala i detekcija.** Sigurnost znači izbjegavanje ometanja procesa razmjene informacija (može se dodati u sistem korištenjem enkripcijskih algoritama).
- **Pouzdanost komunikacijskog kanala.** Ona se izražava kao omjer broja ispravno primljenih i ukupnog broja poslanih bita.



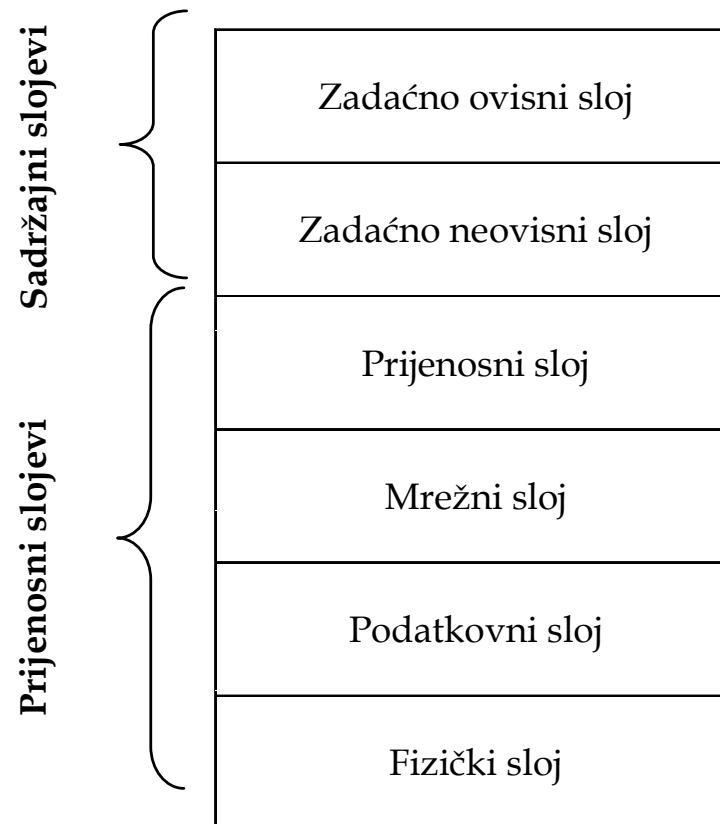
Međurobotska timska komunikacija

- **Efikasnost komunikacijskog kanala.** Ova efikasnost se računa kao omjer ukupnog broja razmijenjenih bita u komunikaciji i ukupne potrebne energije kojom bi se osigurao uspješan prijem poruke.
- **Channel Traffic.** Broj robota koji se natječu za pristup kanalu, kako bi poslali informacije, utječe na raspoloživi propusni opseg komunikacijskog kanala. Mehanizam upravljanja protokom je smješten u prijenosni sloj komunikacijskog protokola.



Međurobotska timska komunikacija

- **Komunikacijski protokol**
- Jedan od najčešće korištenih protokola u višerobotskoj komunikaciji sadrži dva skupa slojeva, prijenosne slojeve i slojeve sa sadržajem poruka.



Međurobotska timska komunikacija

- **Komunikacijski protokol**
- Prijenosni slojevi omogućuju prienosni medij preko kojeg predajnik i prijemnik razmjenjuju poruke.
- Sadržajni slojevi formatiraju informacije koje se razmjenjuju.
- Prijenosni slojevi su u cjelosti neovisni o informacijama prdstavljenih sadržajnim slojevima.
- Oni se sastoji od tri sloja: podatkovnog, mrežnog i prienosnog, u skladu sa OSI referentnim modelom.
- Ovi slojevi osiguravaju manje-više iste funkcionalnosti kao i u računarskim mrežama, tako da se komunikacija između robota može tretirati kao međuračunarska komunikacija.



Međurobotska timska komunikacija

- **Komunikacijski protokol**
- Porukama sadržajni slojevi robotskog komunikacijskog protokola sadrže sloj koji je neovisan o domeni specifičnog robotskog zadatka i druge slojeve koji su zadaćno jako ovisni.
- **Zadaćno neovisan sloj je striktno strukturiran i prenosi parametre koji predstavljaju izvjesne aspekte komunikacijskih informacija neovisnih o specifičnom zadatku u robotskoj okolini.**
- Zadaćno neovisni sloj je izgrađen od tri komponente: adresnog, sadržajnog i stanja poruke.
- **Zadaćno ovisni slojevi osiguravaju informacije povezane sa opisom zadatka.**



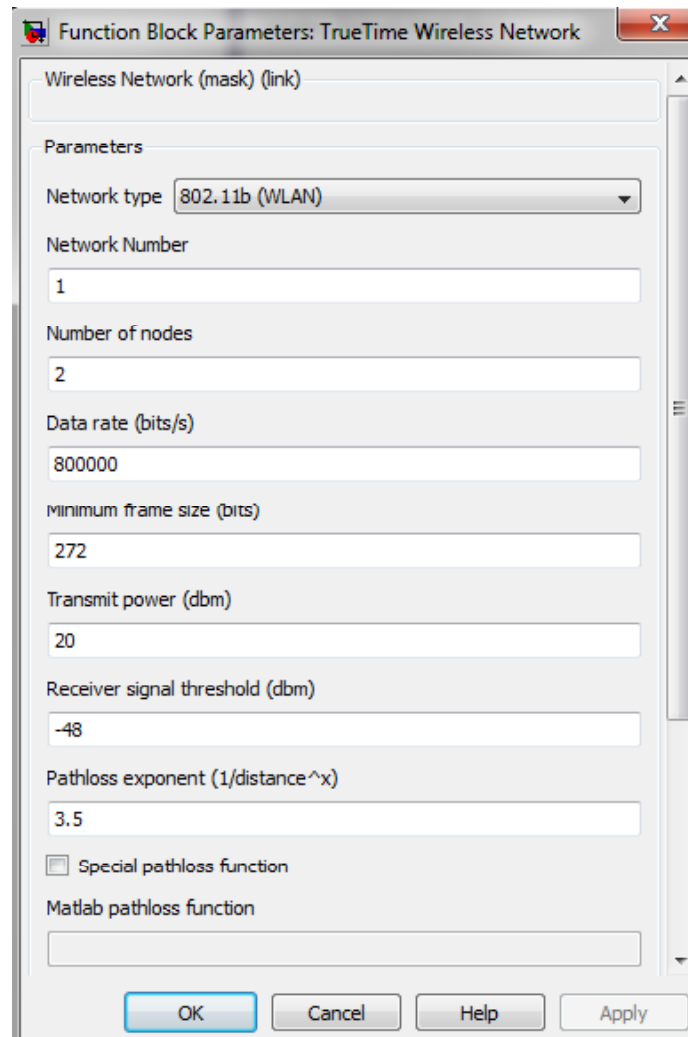
14.7. Bežična komunikacijska mreža

- Bežična komunikacijska mreža je fleksibilni podatkovni komunikacijski sistem koji koristi bežični medij, kao što je tehnologija radio frekvencija, za slanje i primanje podataka zračnim putem, minimizirajući potrebu za žičanim vezama.
- U nastavku se opisuje mehanizam bežične komunikacije višerobotskog sistema i koordinacije robota zasnovane na MBA pristupu.
- Za komunikaciju između robota koristi se TrueTime Toolbox, razvijen na Lund univerzitetu u Švedskoj, koji se može direktno integrirati u Matlab/Simulink razvojno okruženje.
- Unutar njega postoji modul za bežične mreže, gdje će se za potrebe simulacija u sljedećem potpoglavlju koristiti IEEE 802.11b protokol.



Bežična komunikacijska mreža

- Parametri navedenog modula zadaju se u dijaloškom okviru predočenom na slici. IEEE 802.11b protokol zasnovan je na CSMA/CA metodi, uz određene modifikacije.



Function Block Parameters: TrueTime Wireless Network

Wireless Network (mask) (link)

Parameters

Network type: 802.11b (WLAN)

Network Number: 1

Number of nodes: 2

Data rate (bits/s): 800000

Minimum frame size (bits): 272

Transmit power (dbm): 20

Receiver signal threshold (dbm): -48

Pathloss exponent (1/distance^x): 3.5

Special pathloss function

Matlab pathloss function

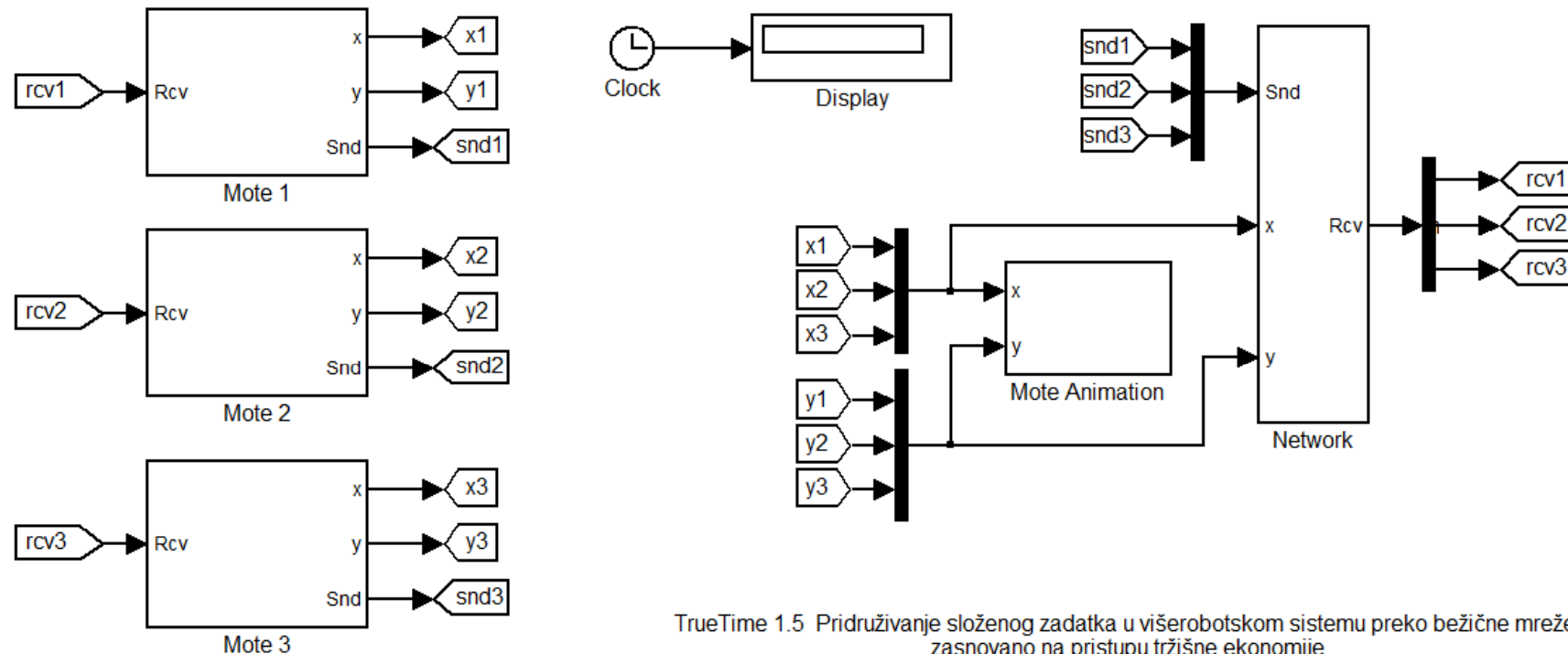
OK Cancel Help Apply

Bežična komunikacijska mreža

- **Implementacija MBA koordinacije unutar bežičnom vezom povezanih robota**
- Koriste se tri robota čiji zadatak se sastoji u posjeti svake od pojedinačnih lokacija. Algoritam na temelju slučajnog odabira generira lokacije koje treba posjetiti. Ukoliko je neka od lokacija ranije posjećivana, tada robot, koji ju je posjetio, obavještava ostale robote, tako je oni ne posjećuju.



56/62



Bežična komunikacijska mreža

- **Originalni algoritam unutar CCMM (TrueTime Toolbox) odvija su u nekoliko koraka:**
- Čitanje novih mrežnih poruka koje sadrže informacije o posjećenim ciljnim lokacijama i lokacije robota koji šalje podatke.
- *Ako* (neki robot dođe u lokaciju nekog cilja & on ima najniži prioritet) *onda* promijeni cilj.
- *Ako* (robot se usmjerava prema mjestu koje je već ranije posjećivano) *onda* promijeni cilj.
- *Ako* (robot je stigao u cilj) *onda* označiti cilj zelenom bojom i promijeniti cilj.
- Poslati nove poruke preko mreže do ostalih robota.



Bežična komunikacijska mreža

- **Modifikacije sa MBA u odnosu na CCMM su načinjene u pogledu odabira lokacija koje trebaju biti posjećene i čiji prioritet treba odrediti su:**
 - Svaki robot računa vlastite udaljenosti do lokacija i koristi najkraću od njih kako bi odabrao sljedeću lokaciju za posjetu.
 - Prioritet se računa prema izrazu:

$$\text{prioritet} = \frac{1}{\text{najkraća udaljenost}}$$

Bežična komunikacijska mreža

- **MBA zasnovani algoritam za rješavanje problema pridruživanja zadataka u višerobotskoj koordinaciji i komunikaciji:**
 - Prvo se uzme matrica lokacija koje treba posjetiti, izračunaju udaljenosti do svake lokacije, odabere minimalna udaljenost, postavi prioritet, koji je povezan sa minimalnom udaljenošću, te informaciju o ovome pošalje ostalim robotima.
 - Zatim se provjerava da li postoji robot koji ide u istom pravcu. Ukoliko ih ima više tada se odabire onaj koji ima veći prioritet (veći prioritet predstavlja manju vrijednost, to jest robot koji ima kraću udaljenost do određene lokacije ima pravo da ide na tu lokaciju).



Bežična komunikacijska mreža

- **MBA zasnovani algoritam za rješavanje problema pridruživanja zadataka u višerobotskoj koordinaciji i komunikaciji:**
 - Nakon dolaska na tu lokaciju robot obavještava ostale robote, ažurira matricu lokacija i ponovo provodi opisanu proceduru.
 - Ukoliko se nema dovoljno velik opseg unutar kojeg roboti mogu komunicirati može doći do posjećivanja neke lokacije više puta, međutim implementirani algoritam je i dalje brži jer ne može doći do situacije da robot odabere udaljeniju lokaciju, a na raspolaganju ima bliže.



Bežična komunikacijska mreža

- Prije pokretanja simulacije unutar Simulinka potrebno je definirati matricu lokacija koje je potrebno posjetiti i matricu startnih pozicija robota.
- U našem primjeru one iznose:

$$Matrica_lokacija = \begin{bmatrix} -18 & -15 & 15 & 0 & 0 & 15 & 15 & 18 \\ 0 & -15 & 15 & -18 & 18 & -15 & 15 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Robot_pozicije = \begin{bmatrix} -18 & 18 & 0 \\ -18 & -18 & 15 \end{bmatrix}$$

gdje prvi redak predstavlja x koordinate, a drugi redak y koordinate.



Bežična komunikacijska mreža

- Rezultati usporedbe CCMM i modificiranog MBA

Doseg mreže [m]	MBA (vrijeme izvršavanja [s])	CCMM (vrijeme izvršavanja [s])
5.31	25.3	41.3
11.18	19.4	30.5
22.52	15.4	25.4
44.41	13.7	24.8
86.67	13.6	22.6

