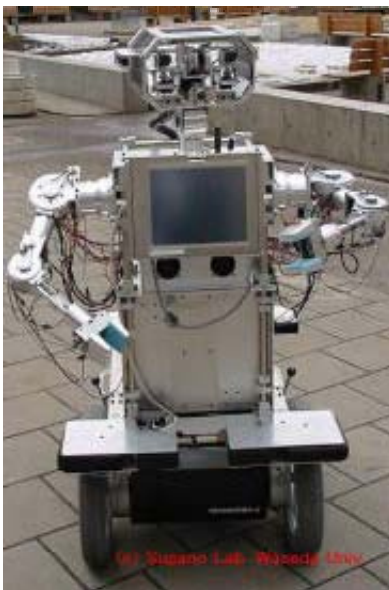


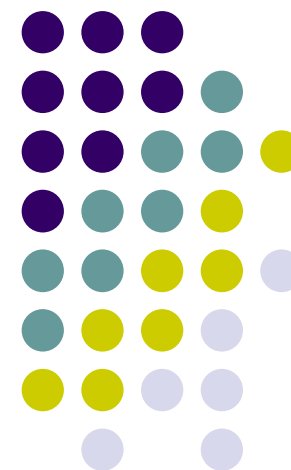
Lekcija 6: *Navigacija mobilnog robota*



Prof.dr.sc. Jasmin Velagić
Elektrotehnički fakultet Sarajevo

Kolegij: Mobilna robotika

2012/2013





6.1. Uvod

- Problem navigacije mobilnog robota može se podijeliti u dva potproblema: ***kretanje prema cilju*** i ***izbjegavanje prepreka***.
- Problem izbjegavanja prepreka može se riješiti korištenjem **lokalnih informacija**.
- U slučaju neprediktabilnog okruženja ovaj problem se ne može unaprijed riješiti budući da robot treba **osjetiti** (locirati) prepreke prije njihovog obilaženja.
- Problem kretanja prema cilju je **globalni problem** i ne može se riješiti samo na temelju lokalnih informacija, to jest ne mogu se odrediti kratke putanje do cilja na temelju tih informacija.

Uvod

- Proces zaobilazanja prepreka može se tretirati kao problem planiranja i rješava se na **višoj upravljačkoj razini** (engl. high-level control) robotskog sistema.
- Algoritmi planiranja imaju za cilj omogućiti upravljanje **niske razine** (engl. low-level control) sa putanjom koja osigurava kretanje robota bez rizika od sudara sa okolnim objektima.
- Prema tome, neophodan zahtjev za navigaciju autonomnih mobilnih robota je **sposobnost izbjegavanja prepreka, koja pomaže robotu da se kreće bez sudara sa okolnim predmetima unutar radne sredine i postigne željene ciljeve, uprkos njenim nepredviđenim promjenama.**



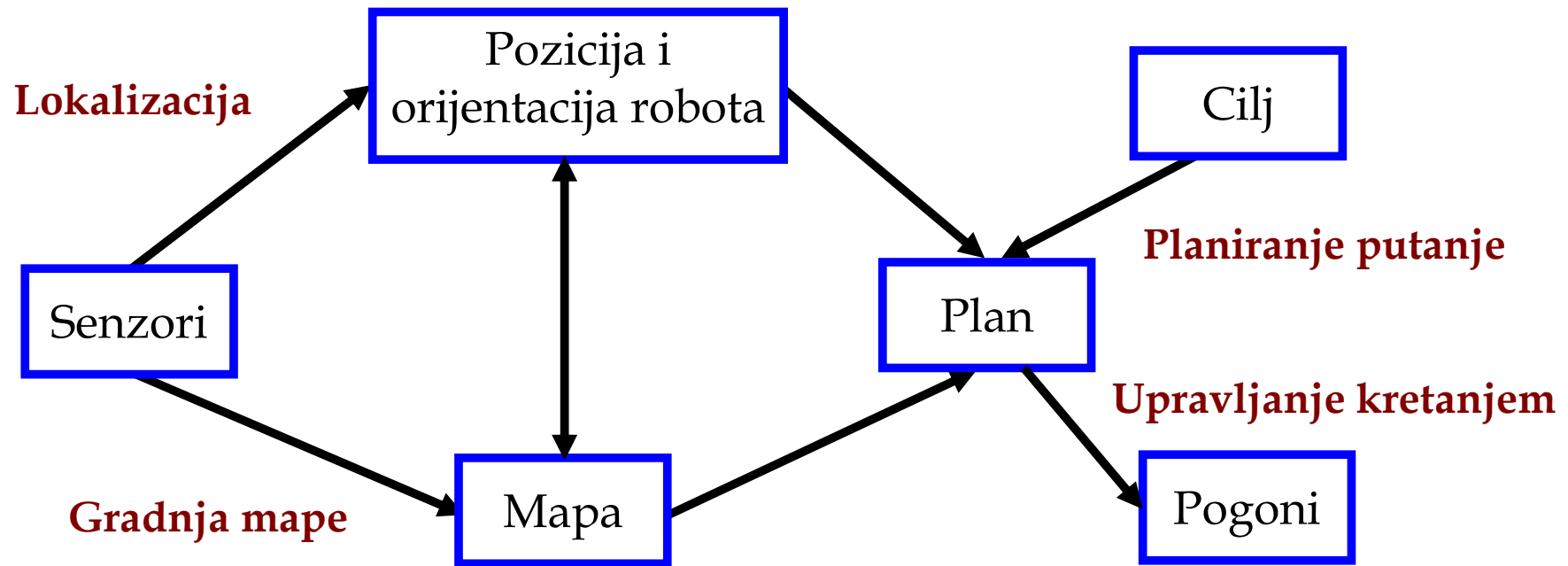
Uvod

- Postoje dva glavna pristupa u navigaciji mobilnih robota s obzirom na mogućnost izbjegavanja prepreka:
 - Navigacija temeljena na metodama **globalnog planiranja**. U ovim metodama planer putanje u off-line režimu određuje putanje, najčešće optimalne, od trenutne do ciljne konfiguracije, a upravljački algoritam osigurava njeno izvršavanje.
 - Navigacija temeljena na metodama **lokalnog planiranja** (reaktivno upravljanje), koja koristi isključivo mjerenja senzora. Senzorski podaci se koriste direktno za generiranje akcija, pri čemu se ne koristi interni model okoline.



Uvod

- Da bi uspješno izvršio zadatak navigacije robot mora biti sposoban u svakom trenutku izvesti četiri fundamentalne navigacijske radnje.



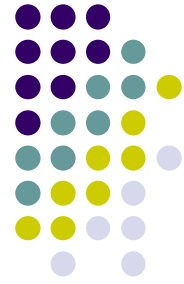
Uvod

- **Navigacijske radnje**
 - **Gradnja mape** je proces konstrukcije mape na temelju mjerenja, odnosno očitavanja senzora prikupljenih sa različitih lokacija robota. Ispravan tretman senzorskih informacija i pouzdana lokalizacija robota su ključne tačke u procesu gradnje mape.
 - **Lokalizacija** predstavlja proces dobivanja informacije o stvarnoj robotskoj lokaciji na temelju očitavanja senzora i trenutne mape. Tačna mapa i pouzdani senzori su ključni u postizanju tačne lokalizacije.



Uvod

- **Navigacijske radnje**
 - ***Planiranje putanje*** je proces generiranja izvodive i sigurne trajektorije temeljene na trenutnoj mapi, od trenutne lokacije robota do ciljne pozicije.
 - ***Upravljanje kretanjem*** je proces generiranja upravljačkih signala na pogone mobilnog robota kojim se ostvaruje željeno kretanje na temelju korištenog postupka planiranja kretanja.



Uvod

- Navedene radnje su usko povezane.
- Ako jedna od njih zakaže, robotske performanse se jako degradiraju ili reduciraju.
- Tipičan primjer je kada senzorski sistem ne detektira vrata i planer putanje ne može formirati putanju kretanja kroz odgovarajući zid.
- **Mobilni robotski sistemi se sastoje od skupa složenih računarskih postupaka, mehaničkih sistema, senzora i komunikacijskih uređaja.**



Uvod

- Integracija navedenih komponenti u robotski sistem predstavlja veliki izazov za istraživače.
- U vezi s tim javljaju se dva glavna problema, jedan je **konstrukcijske**, a drugi **programske** prirode.
- Uzrok prvom problemu je nestandardna robotska oprema. Komponente su od različitih proizvođača, proizvedene različitim tehnologijama, podržavaju različite razine signala, itd.
- Drugi problem predstavlja integracija programa pisanih za visoke i niske razine robotskog sistema. Naprimjer, visoka razina, kao što je planiranje ili učenje, zahtijeva simboličko programiranje, a niske razine upravljanja sadrže programski kod kojim se direktno djeluje na pogone.



Uvod

- Upravljanje mobilnim robotom odvija se u odvojenim jedinicama, ili modulima, pri čemu svaki od njih rezultate svoje obrade šalje preko izlaza na ulaz sljedećeg modula.
- Opis gornje razine programskog kretanja mobilnog robota može se dati sljedećom sekvencom operacija:
 1. Uzimanje nekoliko uzoraka okoline dobivenih pomoću kamere ugrađene na mobilnom robotu. Identifikacija interesantnih tačaka u jednoj slici i određivanje njihovih lokacija u preostalim slikama s ciljem dobivanja bolje (dublje) estimacije scene.



Uvod

2. Integracija ovih informacija u globalni prikaz sredine.
3. Korelacija trenutnog skupa slika sa prethodnim skupom za estimaciju robotskog kretanja.
4. Planiranje kretanja robota i određivanje smjera kretanja na temelju tekuće mape.
5. Realizacija kretanja.



Uvod

- Na ovaj način formirano kretanje robota je dosta sporo, naprimjer, za kretanje od nekoliko metara sa sadašnjim stupnjem dostupnog hardvera potrebno je nekoliko minuta.
- Iako su performanse cjelokupnog sistema osrednje, ovakva upravljačka struktura je trenutno zastupljena u mnogim mobilnim robotskim sistemima.
- Ovaj način se naziva **horizontalna** ili **funkcionalna dekompozicija** robotskog obavljanja određenog zadatka.
- Dobivena upravljačka struktura se naziva **osnovna** (underlying), **modelska** ili **planska** (deliberate) struktura.



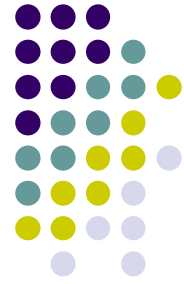
Uvod

- Pored horizontalne postoji i takozvana **vertikalna dekompozicija** upravljačkog sistema mobilnog robota.
- Što se tiče vertikalne dekompozicije tu postoje dvije strategije poznate pod imenima **reaktivna** i **bihevioristička (ponašajna)** (behavior-based).
- U vertikalnoj dekompoziciji postoji direktna veza između senzora i pogonskih motora.
- Reaktivno upravljanje se temelji na dekompoziciji ponašanja ili funkcija, a ne na dekompoziciji procesa zaključivanja.



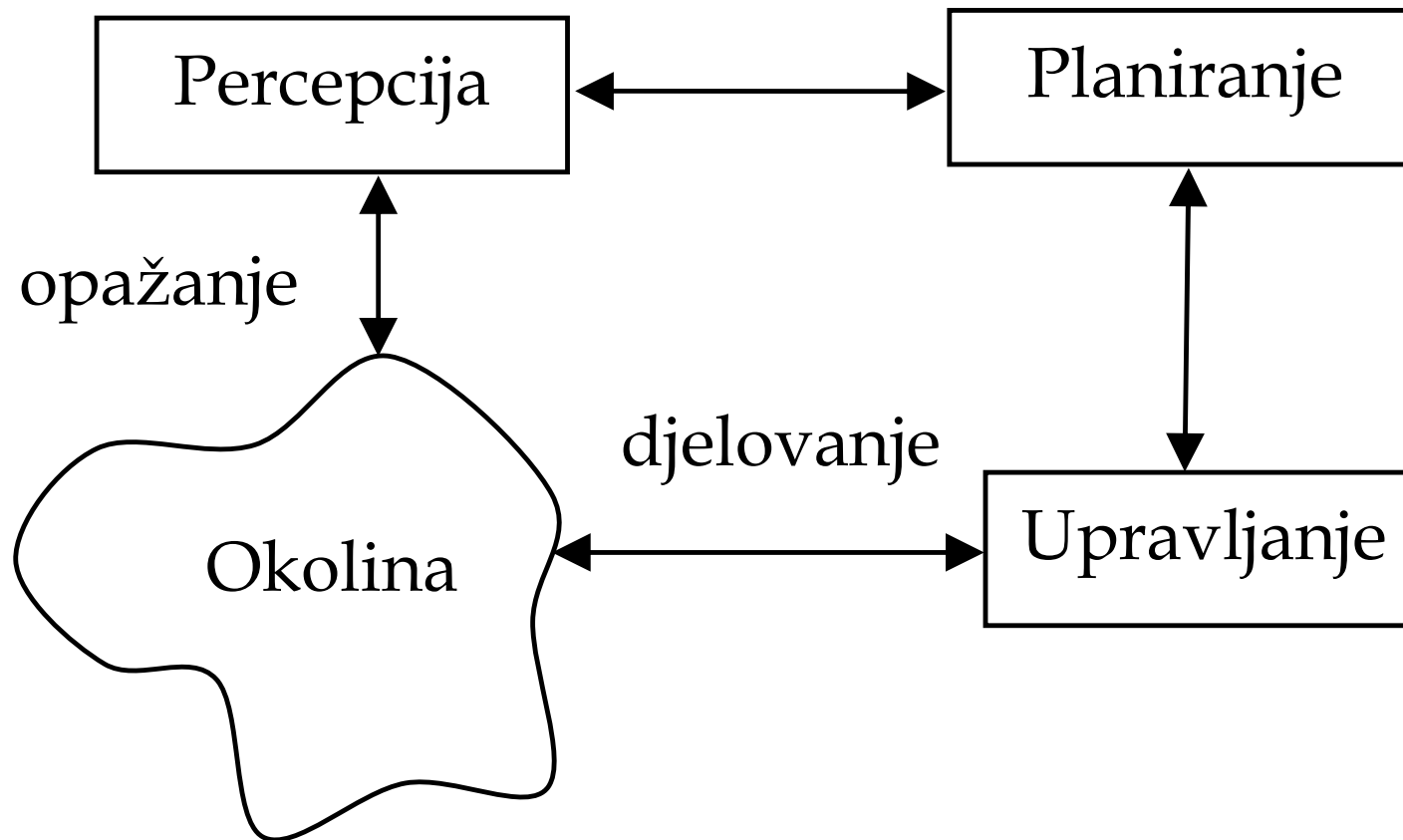
6.2. Planske strukture upravljanja

- Tradicionalna planska (modelska) arhitektura temelji se na planiranju kretanja korištenjem rezultata mjerenja senzora.
- Ovo je poznato pod imenom **percepcija-plan-djelovanje** (sense-plan-action, SPA) ili **percepcija-model-plan-djelovanje** (sense-model-plan-action, SMPA) strukture, ili takozvane strukture **odozgo prema dole** (top-down).



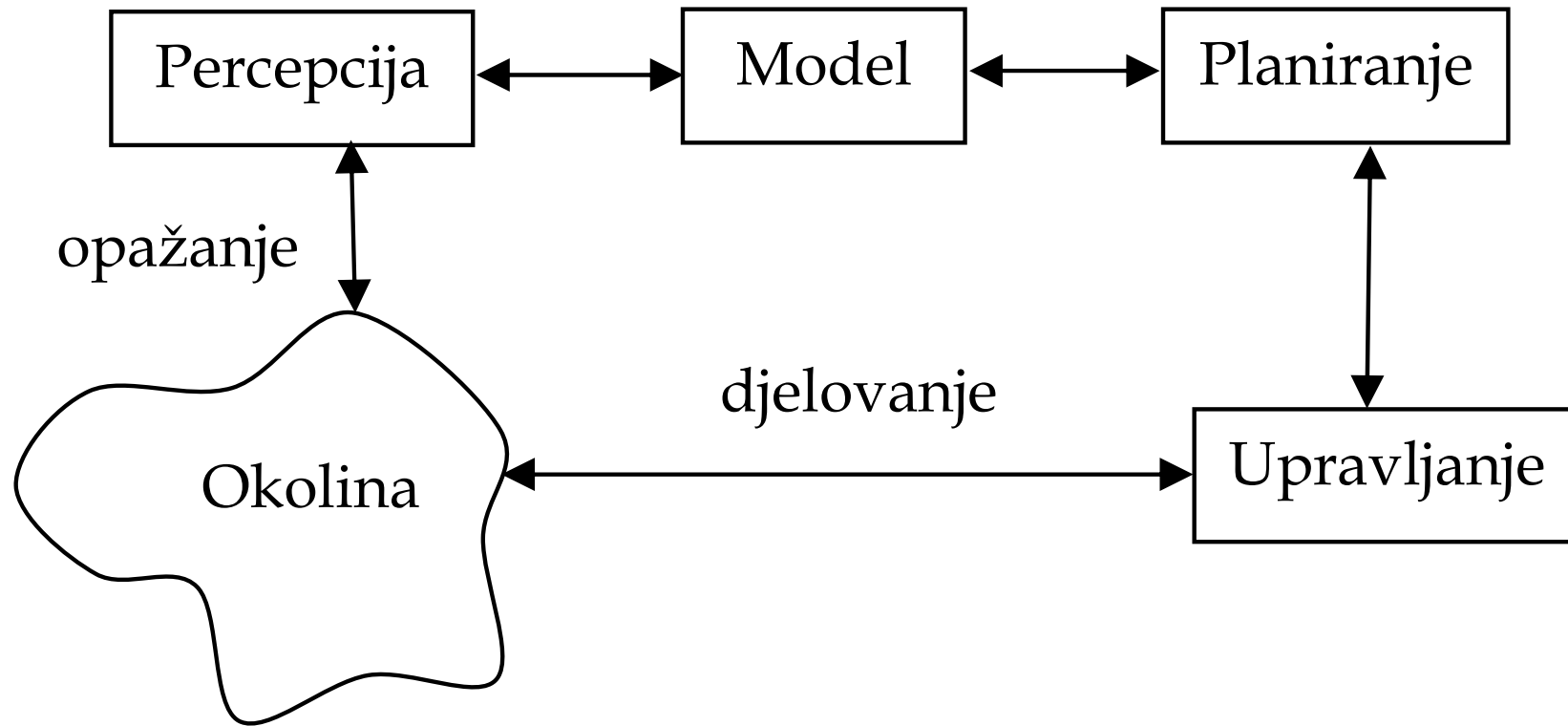
Planske strukture upravljanja

Percepcija-plan-djelovanje struktura



Planske strukture upravljanja

Percepcija-model-plan-djelovanje struktura



Planske strukture upravljanja

- Pojedini elementi planske strukture su horizontalno dekomponirani, što se može nazvati i **funkcionalna dekompozicija**.
- U ovoj strukturi se vrši kombiniranje senzorskih podataka u modelu sredine, zatim koristi planer za pronalaženje staze modela i naposljetku se šalje svaki od koraka plana kao komande pogonskim kotačima mobilnog robota.
- Planirano zaključivanje zahtijeva **relativno kompletno znanje o okolini**, na temelju koga robot predviđa svoje buduće akcije i optimira svoje performanse na osnovu modela okoline.



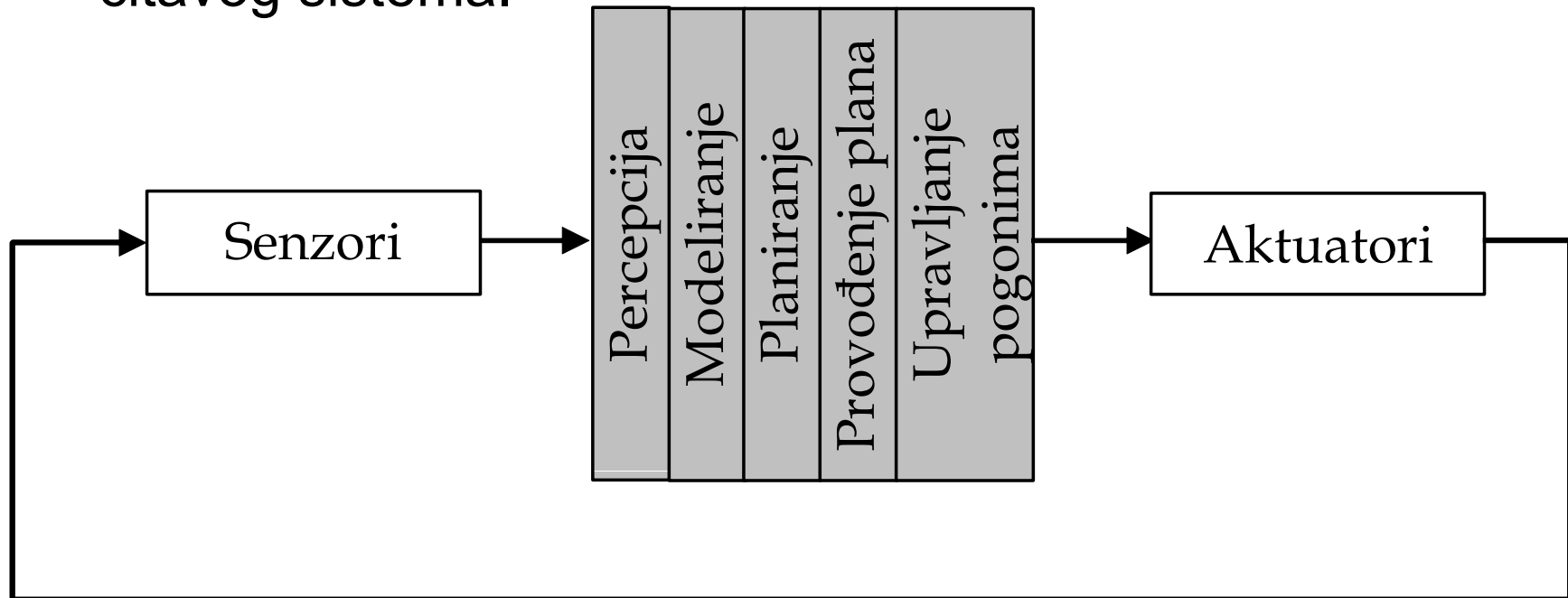
Planske strukture upravljanja

- **Ova vrsta zaključivanja često traži tačne pretpostavke o modelu okoline.**
- Posebno se traži da znanje na osnovu koga se vrši zaključivanje bude konzistentno, pouzdano, izvjesno.
- Ako su informacije netačne ili su se promijenile tokom obrade, rezultat zaključivanja može prouzročiti ozbiljne greške u sistemu.
- U okolini, gdje se objekti mogu kretati, postoji potencijalna opasnost da informacije mogu zastarjeti.
- Zato se model okoline pravi općenito iz ranijeg znanja o okolini i nadolazećih senzorskih podataka.



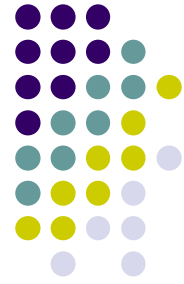
Planske strukture upravljanja

- Podaci se razlažu u serijski niz funkcionalnih slojeva (horizontalno razlaganje sistema upravljanja), koji se sekvencijalno obrađuju, slično klasičnom pristupu umjetne inteligencije.
- Glavni nedostatak ove strukture je u tome što kvar u jednom funkcionalnom sloju dovodi do kvara čitavog sistema.



Planske strukture upravljanja

- **Karakteristike planskih sistema zaključivanja:**
- Posjeduju hijerarhijsku strukturu sa jasno definiranom podjelom funkcija, sličnu organizaciji komercijalnih poslovnih tvrtki.
- Komunikacija i upravljanje se odvijaju na prethodno određen način, slijedeći hijerarhiju *odozgo* prema *dole*, sa eventualnim malim lateralnim pomacima.
- Više razine unutar hijerarhije daju potciljeve za niže razine.
- Obim i karakter prostornog i vremenskog planiranja mijenja se tokom silaženja duž hijerarhije. Vremenski zahtjevi se skraćuju, a prostorni postaju lokalni.
- Potreban je prikladan simbolički prikaz modela okoline.



6.3. Reaktivno i ponašajno upravljanje

- Kod mobilnih robota postoji trend prema **paralelnoj upotrebi različitih slojeva**, od kojih je svaki odgovoran za specifičan zadatak.
- Naprimjer, jedan sloj može biti odgovoran za preživljavanje.
- Taj sloj je zadužen da spriječi da robot ne udari u objekte unutar okoline.
- Drugi sloj može biti odgovoran za konstrukciju mapa kako bi se olakšala navigacija ili lokalizacija ciljnih objekata.
- Korištenje različitih slojeva za različite zadatke.

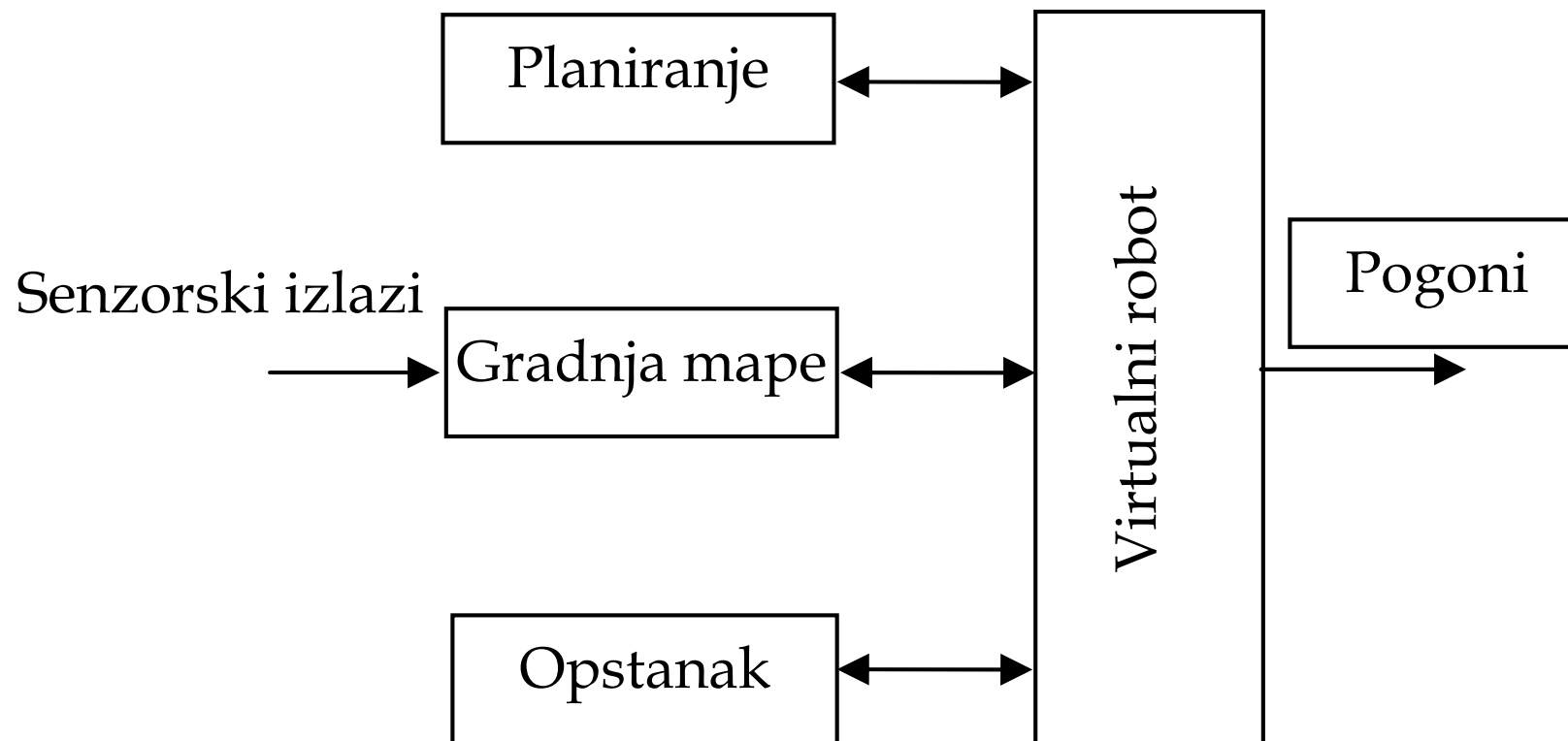


Reaktivno i ponašajno upravljanje

Slojevita upravljačka struktura



22/65



Reaktivno i ponašajno upravljanje

- Brooks [1986; 1991] sugerira korištenje robotskog sistema sa slojevitom strukturom gdje su **različite kompetencije distribuirane unutar nekoliko različitih slojeva.**
- Najniži upravljački slojevi imaju zadatak održavanja, odnosno izbjegavanja (zaobilaženja) prepreka.
- Slojevima više razine pridružene su znatno složenije ciljno-usmjerene aktivnosti.
- Brooks tvrdi da takvi robotski sistemi mogu biti izgrađeni korištenjem minimalnih prikaza mapa.



Reaktivno i ponašajno upravljanje

- Ova tvrdnja tek treba da se provjeri na sistemima velikih razmjera (large scale systems), ali je ideja pobudila interesovanje i brojne grupe naučnika u robotskim istraživanjima koriste takvu arhitekturu.
- **Reaktivne tehnike upravljanja** direktno povezuju percepciju i akciju (djelovanje).
- One osiguravaju brz odziv u promjenjivim, nestrukturiranim okruženjima.
- Također, kod većine reaktivnih sistema ciljevi nisu predstavljeni eksplicitno, već su predstavljeni sa pojedinačnim ponašanjima koji operiraju unutar regulatora.



Reaktivno i ponašajno upravljanje

- Ukupno ponašanje sistema proizilazi iz pojedinačnih ponašanja, očitavanja senzora i okoline.
- Prednost ovih tehnika je da one reagiraju veoma brzo, gotovo trenutačno, što je inspirirano činjenicom da reaktivno reagiraju životinje (uglavnom).
- Reaktivno upravljanje ima ograničenu upotrebu zbog toga što oni **ne pamte prošla stanja** (memoriranje informacija o okolini), **ne modeliraju prostor**, **nemaju mogućnost planiranja unaprijed** i **ne posjeduju sposobnost učenja**.



Reaktivno i ponašajno upravljanje

- Organizacija **behaviorističkih sistema** (BB) razlikuje se od drugih upravljačkih postupaka u načinu na kojem je sistem organiziran i podjeli u zadatke po modulima.
- Behavioristička filozofija tvrdi da su ponašanja **relativno jednostavna**, dodaju se sistemu (povećavajući ukupan broj ponašanja) i **ne izvršavaju se na serijski način**.
- Podskupovi ponašanja obavljaju se **konkurentno** (paralelizam), kako u brzini računanja tako i u rezultatnoj dinamici koja proizlazi iz unutarnje strukture sistema (međudjelovanja između ponašanja) i okoline (međudjelovanje ponašanja sa vanjskim svijetom).



Reaktivno i ponašajno upravljanje

- Ponašanja se mogu dizajnirati na različitim razinama apstrakcije.
- Općenito, ona su više razine nego što su robotske atomske akcije (npr. “idi naprijed sa malim pomakom”, “skreni pod malim uglom”).
- Neka od implementiranih ponašanja uključuju: 'idi kući', 'pronađi objekat', 'izbjegni svjetlost', 'podigni objekat', 'pronađi orijentir', itd..
- Budući da se ponašanja mogu definirati na različitim razinama apstrakcije i mogu biti predstavljeni na razne načine, teška su za precizno definiranje.



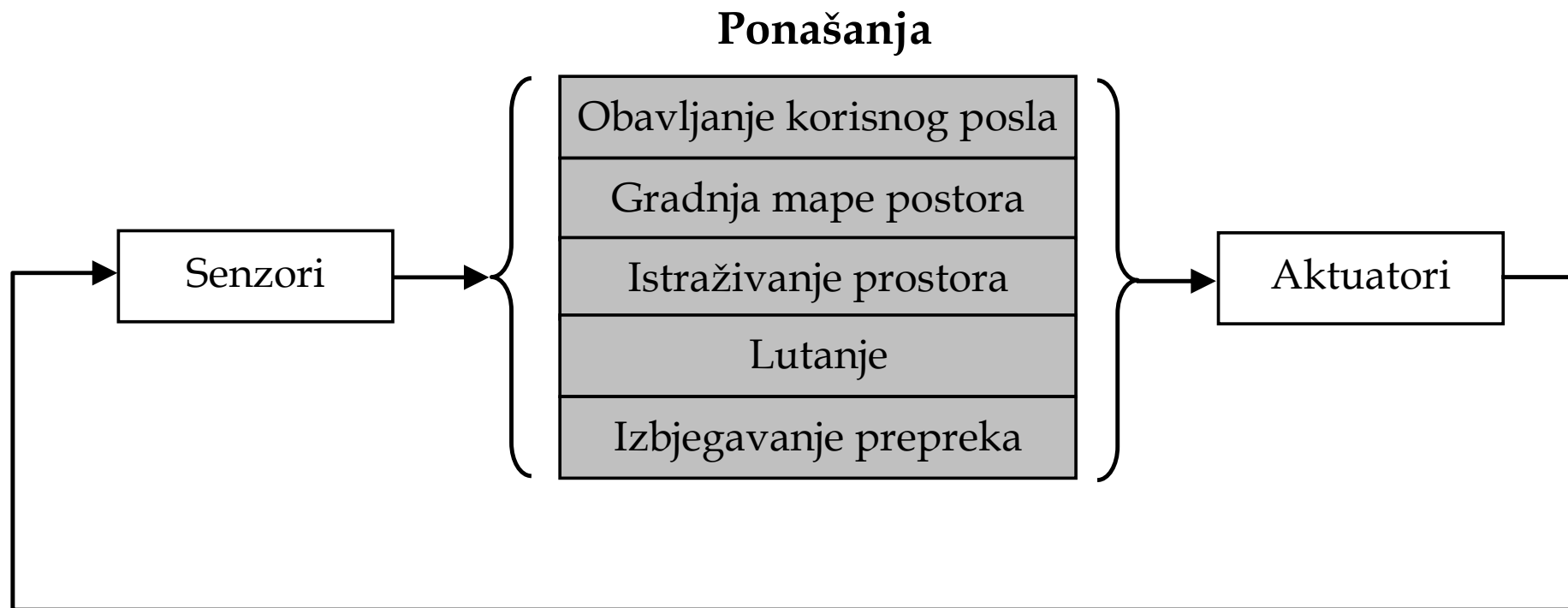
Reaktivno i ponašajno upravljanje

- BB sistemi su organizirani u takozvanu **odozdo prema gore strukturu** (bottom-up), koja omogućuje postizanje odziva u realnom vremenu pomoću regulatora koji koristi skupinu preprogramiranih pravila tipa uvjet-akcija sa minimalnim prikazom unutarnjih stanja.
- Na sljedećem slajdu prikazan je ponašajni sistem upravljanja koji se razlaže u vodoravne “module ponašanja”, koji se izvode paralelno.
- Svaki sloj ima direktan pristup senzorima i mogućnost direktnog prosljeđivanja komandi pogonima robota. Svaki sloj je odgovoran za specifičan zadatak robota.



Reaktivno i ponašajno upravljanje

Ponašajna struktura upravljanja



Reaktivno i ponašajno upravljanje

- Postoje različite ponašajne arhitekture robotskih sistema, ali su najpoznatije i najviše korištene dvije arhitekture, ***subsumption*** (SS) i ***motor-shema*** (MS).
- U nastavku se objašnjavaju navedene arhitekture, načini njihove realizacije i primjeri primjene, pri čemu se posebno razmatraju generiranje **ponašanja** (kodiranje ponašanja), **koordinacija ponašanja**, **dizajn ponašajne arhitekture** i **evaluacija dizajna**.



6.4. SS ponašajna arhitektura

- Rodney Brooks je razvio SS arhitekturu sredinom 1980-tih godina na MIT-u (Massachusetts Institute of Technology).
- Radi se o reaktivnom ponašajnom pristupu koji koristi slojevitu upravljačku strukturu s vertikalno (paralelno) dekomponiranim ponašajnim modulima.
- Primjer SS ponašajne arhitekture za navigaciju mobilnog robota sa **pobuda-odziv dijagramom** (SR (stimulus-response) dijagram) predočen je slikom na sljedećem slajdu.

SS ponašajna arhitektura

- **Prikaz SS arhitektura sa SR dijagramom**

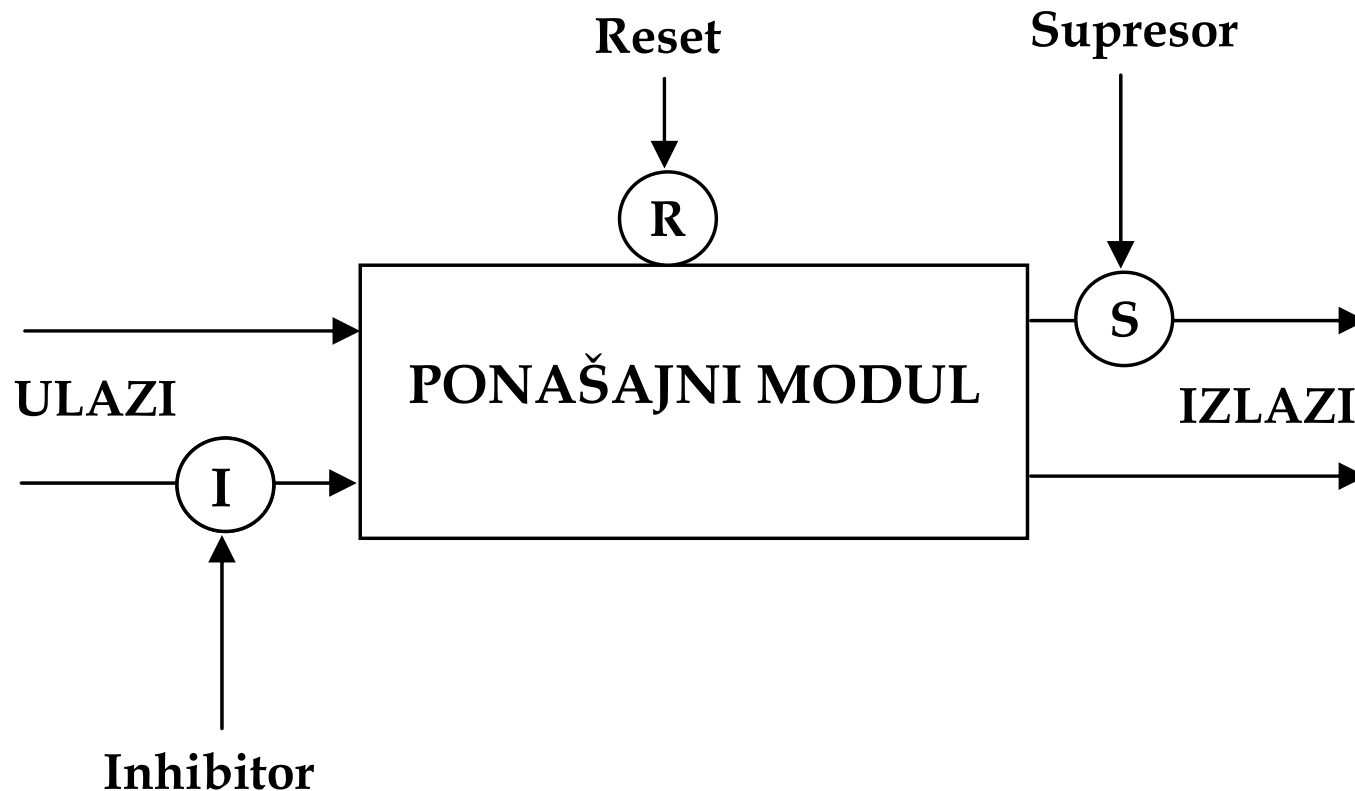


- Ponašajni moduli su zadaćno orijentirani i predstavljaju se odvojenim slojevima.
- Pojedinačni slojevi ostvaruju pojedinačne ciljeve na paralelan (konkurentan) i asinhron način.



SS ponašajna arhitektura

- Na najnižoj razini, svako ponašanje je predstavljeno pomoću **proširenog modela strojeva konačnog stanja** (AFSM – Augmented Finit State Machine)

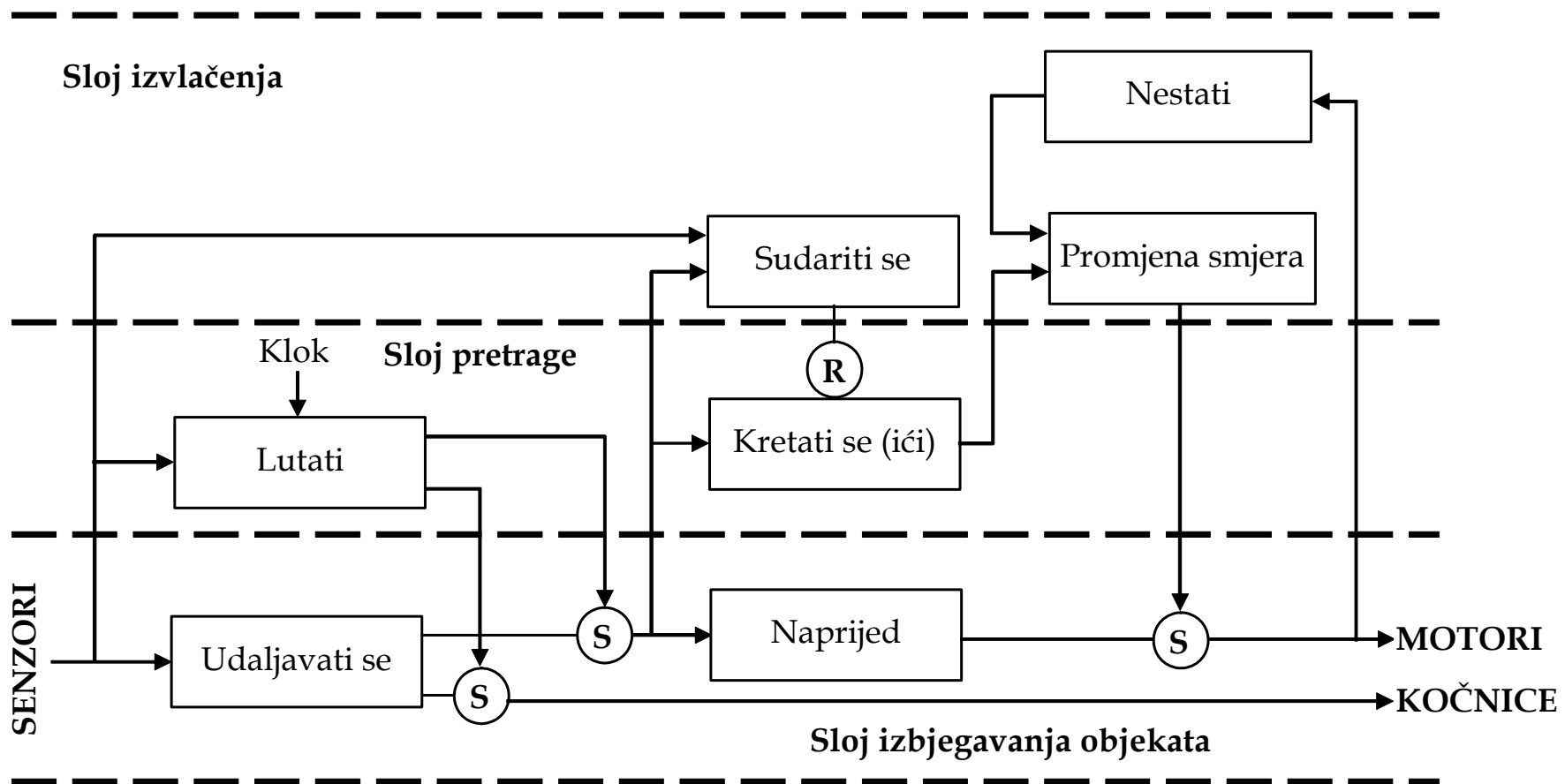


SS ponašajna arhitektura

- Pobudni ili odzivni signali mogu se **potisnuti** (supresor) ili **onemogućiti** (inhibitor) pomoću drugih aktivnih ponašanja.
- Ulaz za **resetiranje** (reset) koristi se za ponovno vraćanje ponašanja na njegove početne uvjete.
- Svaki AFSM obavlja akciju i odgovoran je za vlastiti prikaz okruženja.
- U strukturi nema globalne memorije, sabirnice i kloka.
- Korištenjem ovakvog dizajna, svaki ponašajni sloj može se preslikati u svoj vlastiti procesor.
- Također, ne postoji centralni model okruženja ili njegov globalni senzorski prikaz.
- Zahtijevani senzorski ulazi se kanaliraju u korisničko ponašanje.

SS ponašajna arhitektura

- Primjer. **AFSM prikaz troslojne navigacijske sheme jednostavnog mobilnog robota**



SS ponašajna arhitektura

- Sistem je implementiran na robotu upravljanoj radio vezom.
- Najniži ponašajni sloj, **izbjegavanje objekata**, zaustavlja ili udaljava robota od prepreke, što ovisi o ulazu dobivenom sa infracrvenih senzora pozicije.
- Sloj **pretrage** dozvoljava robotu kretanje u slobodnom prostoru (prostor bez prepreka) i prelaženje velikih prostora.
- Najviši sloj omogućuje robotu promjenu smjera kretanja, posebno u malim kvadratno ograđenim prostorijama, gdje zakazuju ponašanja slojeva izbjegavanja objekata i pretrage prostora.



SS ponašajna arhitektura

- **Koordinacija** u SS strukturi temelji se na koordinacijskim procesima između slojeva ponašanja unutar arhitekture.
- Složene akcije se razlažu u jednostavna ponašanja.
- Koordinacija ima dva primarna mehanizma, **inhibiciju**, koja se koristi za zaštitu signala na njegovom putu kroz AFSM do aktuatora, i **supresiju**, koja štiti trenutni signal koji se prenosi i zamjenjuje ga potiskujućom porukom (engl. suppressing message).
- Kod oba mehanizma koristi se **arbitraža zasnovana na prioritetu**.



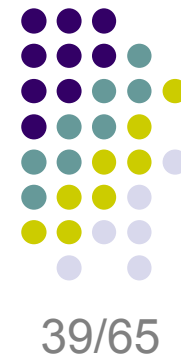
SS ponašajna arhitektura

- SS mehanizam dozvoljava komunikaciju između slojeva, ali je teško može ograničiti.
- Ovaj mehanizam ima sljedeće karakteristike: malu brzinu prijenosa bez sinhronizacije, prijenos poruka preko registara, izlaz nižeg sloja je dostupan za čitanje od strane višeg sloja, inhibicija štiti prijenos, supresija zamjenjuje originalnu poruku sa potiskujućom porukom i signal za resetiranje obnavlja originalno stanje.



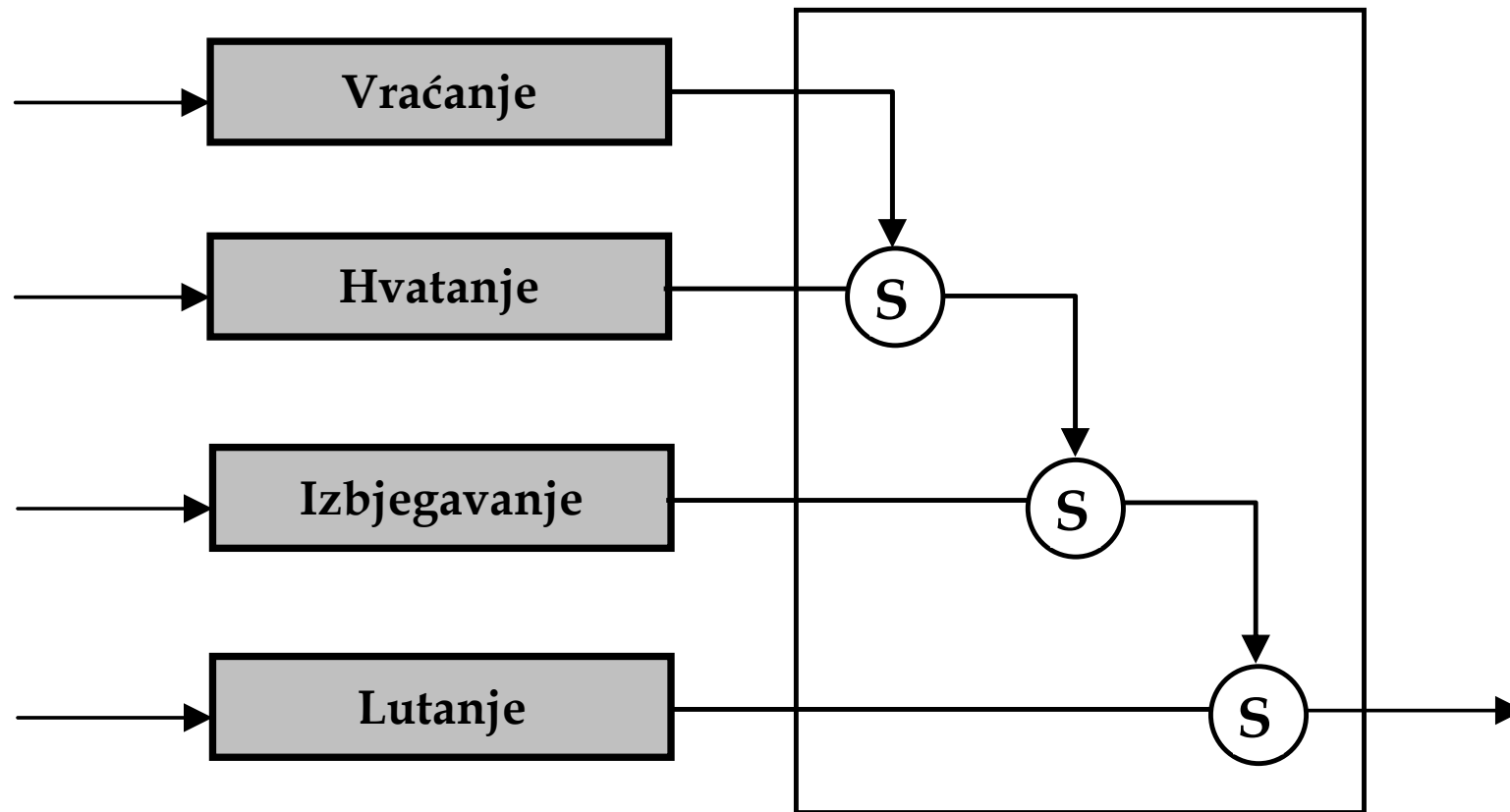
SS ponašajna arhitektura

- Maja Matarić [Matarić, 1992] je predložila **heuristike** za dizajn i razvoj ovih robota za obavljanje specifičnog zadatka.
- Procedura ovog dizajna se obavlja na sljedeći način:
 - Kvalitativna specifikacija ponašanja potrebnog za zadatak, koji opisuje način na koji robot reagira na pobude iz okruženja.
 - Dekompozicija i specificiranje neovisnih robotskih ponašanja kao skupa obzervabilnih akcija.
 - Određivanje granulanosti ponašanja, odnosno granice procesa dekompozicije, i implementacije rezultatnih ponašanja niske razine u sensorima i aktuatorima.



SS ponašajna arhitektura

- SR dijagram SS arhitekture R1 robota za obavljanje zadatka "traganje"



SS ponašajna arhitektura

- Na prioritetu zasnovana arbitraža predstavlja koordinacijski mehanizam koji omogućuje robotu obavljanje samo jednog ponašajnog pravila u jednom trenutku.
- Kada robot opazi objekat kojeg treba uzeti (privlačni objekat), ponašanje **lutanje** se potiskuje i kada se uhvati objekat, tada ponašanje **vraćanje** ka bazi potiskuje ponašanje **hvatanje** objekta, omogućujući robotu ignoriranje potencijalnih distrakcija od drugih objekata u okruženju.



SS ponašajna arhitektura

- Kod ***evaluacije*** SS arhitekture mogu se koristiti sljedeći kriteriji: dostupnost hardvera i njegova programibilnost, podrška paralelnom izvršavanju akcija (neovisno i asinhrono aktiviranje bilo kojeg ponašajnog sloja), mogućnost kreiranja korisničkih ponašanja za specifične zadatak-okolina parove, robusnost, vrijeme razvoja robotskog sistema, podrška modularnosti,...
- Primjeri SS robota: Allen, Tom i Jerryja, Genghis i Attila, Toto, ...

6.5. MS ponašajna arhitektura

- MS pristup je motiviran biologijskim znanostima i koristi teoriju motorskih shema.
- Ova teorija omogućuje dizajniranje ponašajnih robotskih sistema i osigurava sljedeće sposobnosti:
 - Teorija shema objašnjava motoričko ponašanje u obliku konkurentnog upravljanja velikim brojem različitih aktivnosti.
 - Shema pamti kako reagirati i na koji način se reakcija može realizirati.
 - Teorija shema predstavlja distribuirani model računanja.



MS ponašajna arhitektura

- Teorija shema omogućuje jezik za povezivanje akcije i percepcije (opažanja).
- Aktivacijske razine su pridružene shemama koje određuju njihovu primjenjivost za određenu akciju.
- Teorija shema predstavlja teoriju učenja kroz akviziciju i podešavanje shema.
- Teorija shema je korisna za objašnjavanje funkcionalnosti moždanih funkcija, jednako kao i distribuiranih aplikacija umjetne inteligencije, što je slučaj s robotikom zasnovanoj na ponašanjima (BB robotika).



MS ponašajna arhitektura

- Arkin je iskoristio teoriju shema i razvio pristup razvoja robota zasnovanih na ponašanju, kojeg je nazvao MS (engl. Motor-Schema) pristup.
- Ova metoda omogućuje razvoj ponašanja, na temelju teorija shema, koja mogu djelovati na distribuiran i paralelan način, omogućujući inteligentne robotske akcije kao odziv na pobude iz okoline (mjerjenja senzora).



MS ponašajna arhitektura

- Arkinova MS metoda se razlikuje od ostalih ponašajnih metoda u sljedećem:
 - Ponašajni odzivi su predstavljeni u pojedinačnom, uniformnom formatu. Vektori ponašajnih odziva su generirani korištenjem metode **potencijalnih polja**.
 - Koordinacija se postiže na kooperativan način, odnosno zbrajanjem vektora.
 - Ne postoji prethodno definirana hijerarhija koordinacije. Umjesto toga, ponašanja se konfiguriraju u stvarnom vremenu na temelju robotskih intencija, sposobnosti i ograničenja okoline.



MS ponašajna arhitektura

- Ne koristi se čista arbitraža, odnosno svako ponašanje može imati različite utjecaje na ukupni odziv robota. Relativna moć ponašanja određuje ukupno ponašanje robota.
- Perceptualna neizvjesnost može se reflektirati na odziv ponašanja.



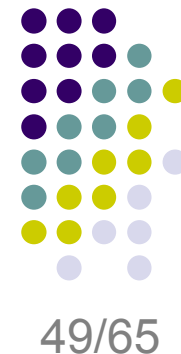
MS ponašajna arhitektura

- Osim motorskih shema, Arkin koristi i **perceptualne sheme**.
- Perceptualna shema je ugrađena, odnosno uključena, unutar svake motorske sheme.
- Ona sadrži procese za prepoznavanje zadane domene interakcije korištenjem različitih parametara, kao što su: veličina, lokacija i kretanje.
- Drugim riječima, perceptualne sheme osiguravaju informacije iz okoline specifične za određeno ponašanje.



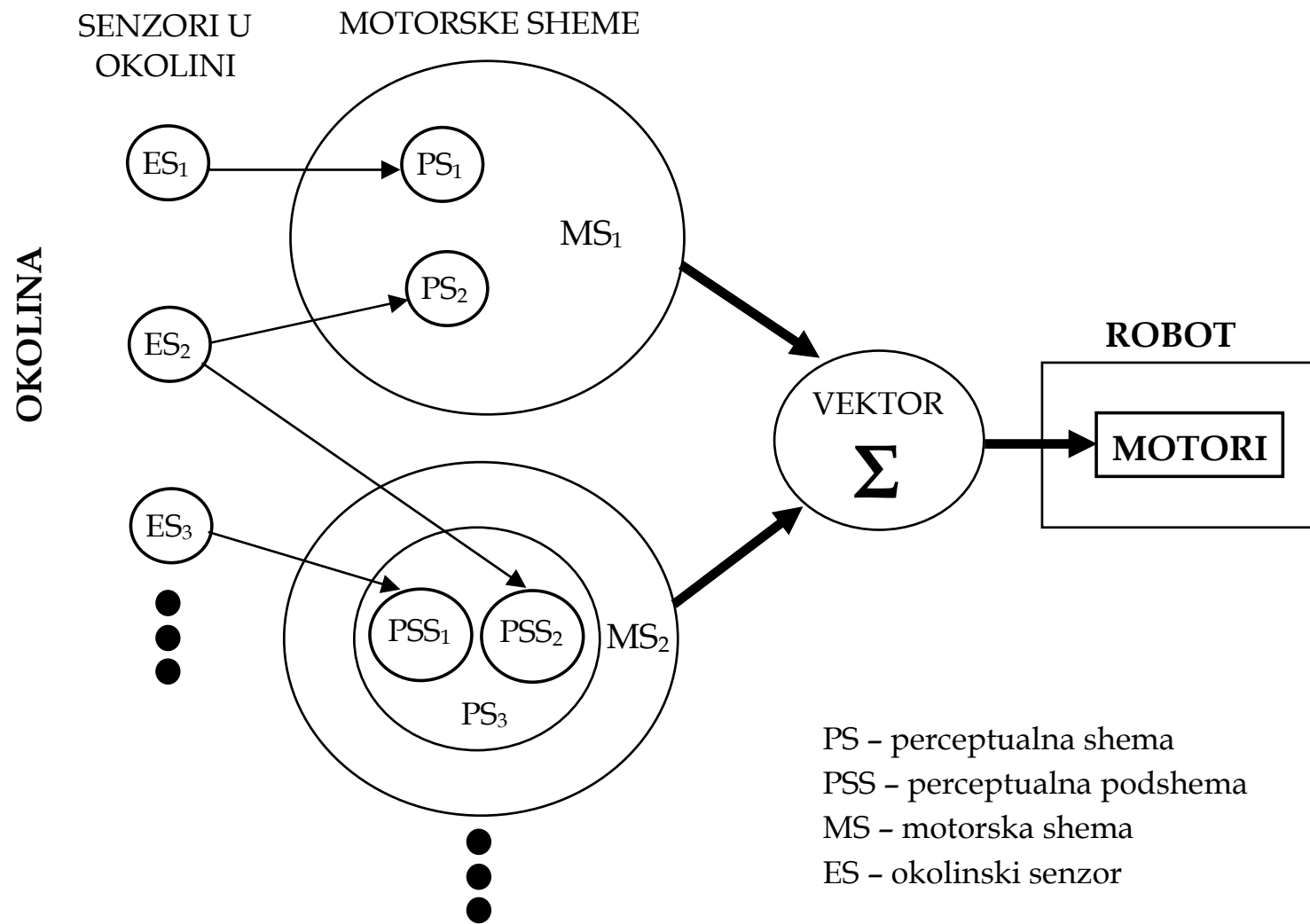
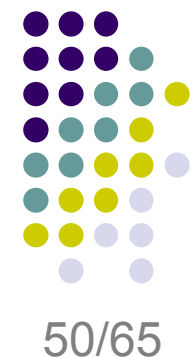
MS ponašajna arhitektura

- Perceptualni moduli i motorska ponašanja mogu se kombinirati na različite načine.
- U vezi s tim razvijene su različite percepcijske strategije, među kojima je najpoznatija **akcijsko orijentirana percepcija** (engl. action-oriented perception).
- U ovoj strategiji svakoj motorskoj shemi se pridružuje perceptualni proces, koji je omogućuje dovođenje odgovarajućih pobuda iz okoline.
- Perceptualne sheme su rekurzivno definirane, to jest perceptualne podsheme mogu ekstrahirati dijelove informacija koje su podsekventno obrađene od strane druge perceptualne sheme.



MS ponašajna arhitektura

- MS ponašajna arhitektura zasnovana na akcijsko-orijentiranoj percepciji.



MS ponašajna arhitektura

- Svaka motorska shema ima kao izlaz **vektor akcije** (sadrži komponente amplitude i orijentacije) koji definira način na koji se robot treba kretati, kao odziv na primljenu pobudu.
- Ovaj pristup se može koristiti za zemljanu navigaciju (svaki vektor je dvodimenzionalan), generiranje trodimenzionalnih vektora za navigaciju u zraku i pod vodom i upravljanje robotskim manipulatorima sa mnogo stupnjeva slobode.



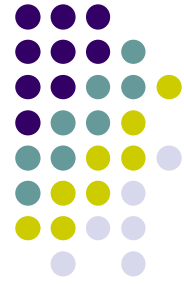
MS ponašajna arhitektura

- **Koordinacija** u MS arhitekturi zasniva se na **vektorskoj sumaciji**.
- Sva aktivna ponašanja imaju određenog udjela, s različitim stupnjevima, na globalno kretanje robota.
- **Vektor pojačanja G** određuje relativnu kompoziciju svakog ponašanja.
- Kod sistema koji ne uključuju učenje ili adaptaciju, vektor pojačanja je konstantan tokom cijelog procesa navigacije.
- Vektor izlaza svake sheme se množi sa pridruženim mu pojačanjem i rezultat se zbraja sa svim ostalim vektorima.



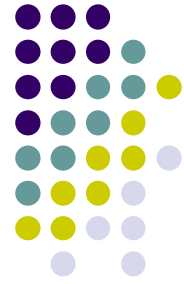
MS ponašajna arhitektura

- Rezultat je jedan globalni vektor.
- Nakon toga se dobiveni vektor mora normirati kako bi se osiguralo izvršavanje na robotu.
- Rezultantni normalizirani globalni vektor se prosljeđuje robotu na izvršavanje.
- Ovaj proces opažanje-reakcija se obavlja i ponavlja što je moguće brže, gdje sheme mogu operirati asinhrono.



MS ponašajna arhitektura

- ***Proces dizajna***, za gradnju robotskih sistema zasnovanih na shemama, obavlja se kako slijedi [Arkin, 1998]:
 - Karakterizirati problemsku domenu u obliku motorskih ponašanja potrebnih za obavljanje zadatka.
 - Dekomponirati motorska ponašanja korištenjem biologijskih studija.
 - Razviti formule koje izražavaju robotsku reakciju na primljene događaje iz okoline.
 - Provesti jednostavne simulacijske studije procjenjujući aproksimativno performanse željenih ponašanja u predloženom okruženju.



MS ponašajna arhitektura

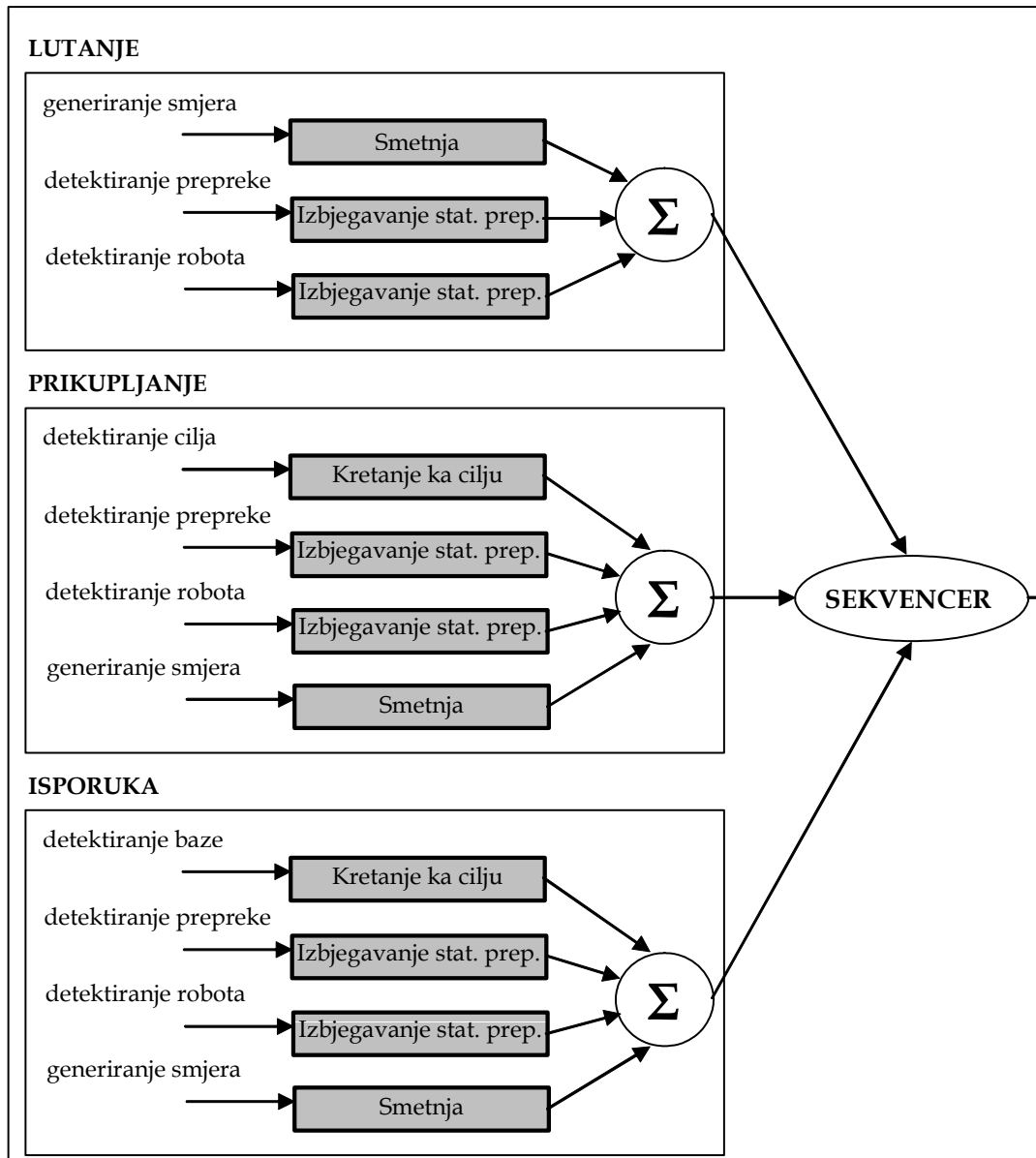
- Odrediti perceptualne zahtjeve potrebne za zadovoljavanje ulaza svake motorske sheme.
- Dizajnirati specifične perceptualne algoritme koji ekstrahiraju zahtijevane podatke za svako ponašanje, korištenjem akcijsko orijentirane percepcije, očekivanja i tehnika fokusiranih na namjerama kako bi se osigurala računarska efikasnost.
- Integrirati rezultatni upravljački sistem u ciljnog robota.
- Testirati i evaluirati systemske performanse.
- Iterirati i proširiti ponašanja, ako je to potrebno.



55/65

MS ponašajna arhitektura

TRAGANJE



- **Primjer MS arhitekture za rješavanja problema traganja**

MS ponašajna arhitektura

- Za *evaluaciju* dizajna robotskog sistema zasnovanog na MS arhitekturi koriste se identični kriteriji kao kod SS zasnovanih robota.
- U praksi su dizajnirani i implementirani veliki broj robota zasnovanih na MS arhitekturi.
- prvi razvijeni robot sa MS arhitekturom je HARV. Nakon njega su razvijeni George, Ren i Stimpny, Buzz, Io, Castilo, Ganymede, mobilni manipulator MRV-2s s CRS+ robotskom rukom,...



6.6. Hibridne strukture upravljanja

- Za kompletno izvršavanje određenih zadataka niti jedna od ovih struktura, sama za sebe, nije dovoljna.
- Zbog toga, mnogi robotski sistemi koriste kombinaciju planskih i reaktivnih podсистema.
- Niska razina upravljanja zahtijeva odzive u realnom vremenu vanjske događaje (pobude) i koristi kontinuirani proces zaključivanja, dok visoka razina procesiranja izražena diskretnim skupom operacija ili zadataka koji se moraju obaviti.



Hibridne strukture upravljanja

- Da bi se iskoristila najbolja svojstva oba pristupa, upravljanje cjelokupnim robotskim sistemom je hibridno.
- Koriste se diskretni algoritmi upravljanja za visoke razine i kontinuirani algoritmi upravljanja za niske razine.
- Budući da diskretni i kontinuirani sistemi bolje rade zajedno kada su relativno neovisni nego kada djeluju u kombinaciji, većina hibridnih sistema ima jasnu demarkaciju između funkcionalnih i ponašajnih modula upravljanja.



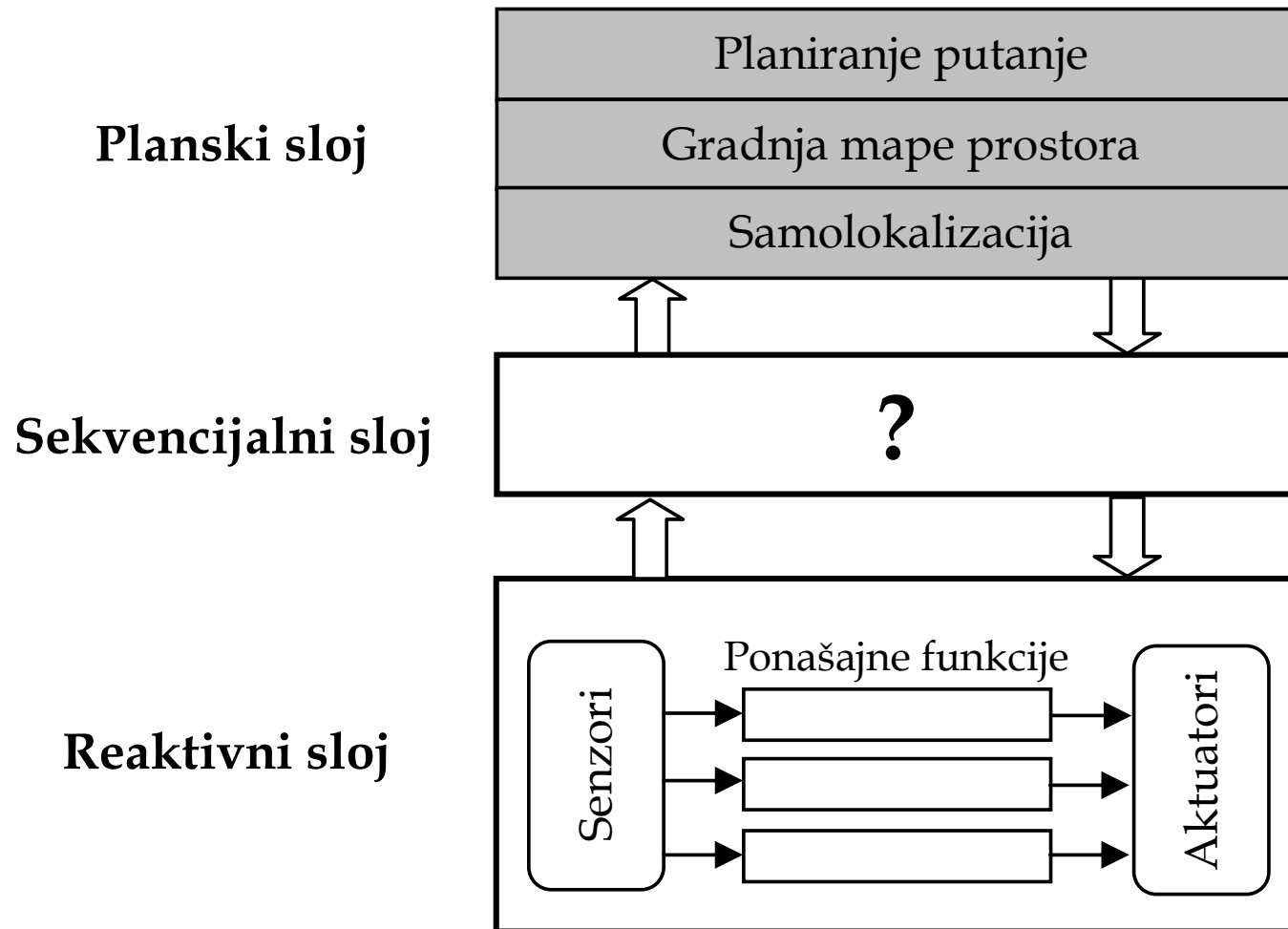
Hibridne strukture upravljanja

- Prema tome, hibridne strukture kombiniraju reaktivno i modelsko ponašanje.
- Reaktivni sloj u hibridnoj strukturi predstavlja najniži sloj i reagira brzo u nepredviđenim situacijama.
- Modelski sloj generira planove i predstavlja najviši sloj hibridnog sistema.
- Srednji sloj povezuje i koordinira rad prethodna dva sloja (srednji sloj).
- **Najveći problem je gradnja srednjeg sloja, budući da modelski i reaktivni slojevi rade različitim brzinama i različitim opisima prostora (modelski – simboli, reaktivni – signali).**



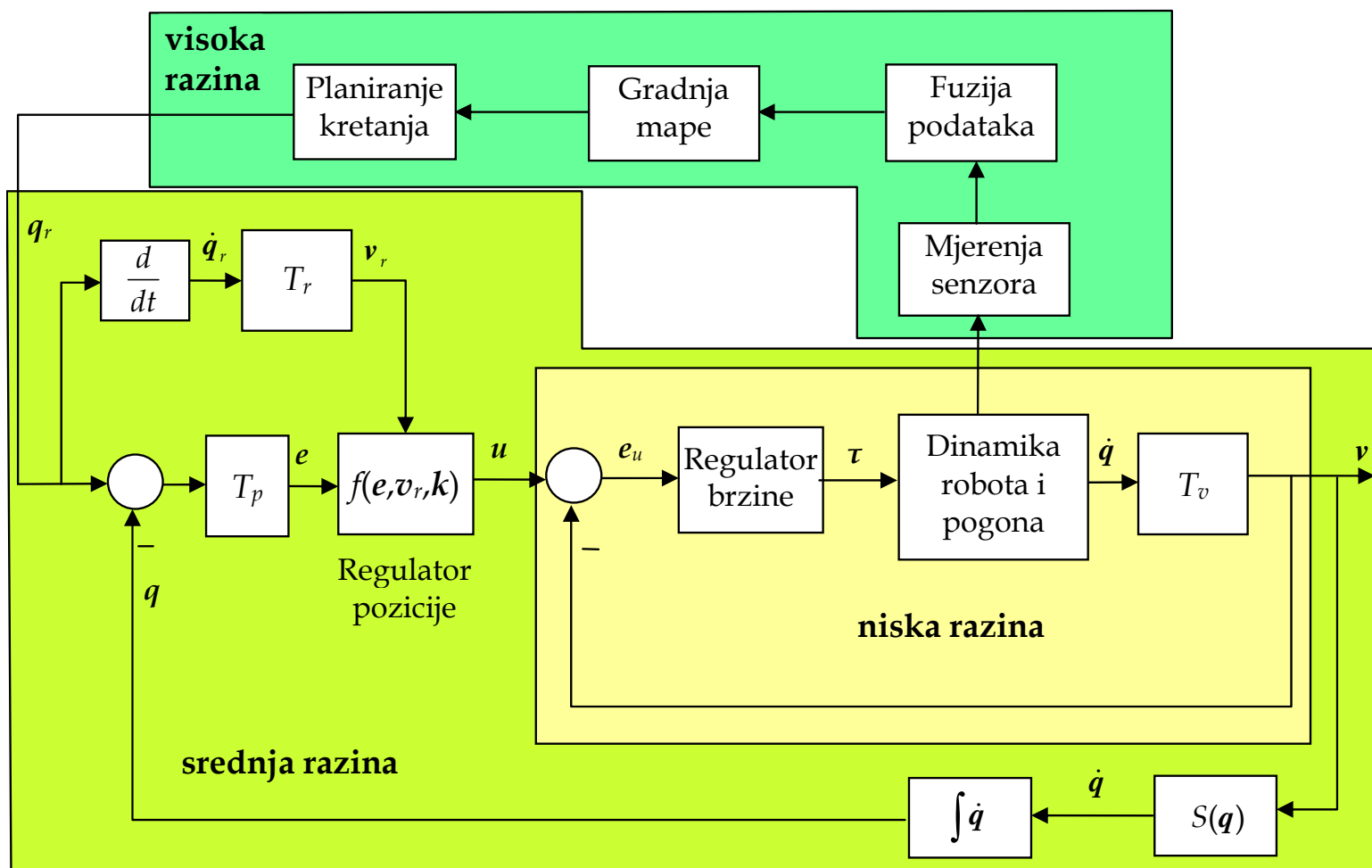
Hibridne strukture upravljanja

Hibridna struktura upravljanja



6.5. Predloženi navigacijski sistem

- Za opis i rješavanje problema navigacije mobilnog robota koristit ćemo troslojni navigacijski sistem [Velagić, 2005].



Predloženi navigacijski sistem

- Proces mapiranja određuje koja područja okoline su prazna, a koja zauzeta.
- Na temelju njih se primjenom algoritma planiranja kretanja određuje koja je sljedeća tačka prema kojoj se treba kretati, odnosno koje prepreke na putu ka njoj treba izbjeći.
- Kada se odredi koja je sljedeća međuciljna tačka u kretanju primjenjuje se sistem upravljanja koji omogućuje pristizanje u tu tačku.



Predloženi navigacijski sistem

- Upravljački sistem niske razine sastoji se od multivarijabilnog regulatora brzine i enkodera brzine obrtaja kotača.
- Kvalitet ovog upravljačkog kruga testira se preko slijeđenja zadanih linijskih i ugaonih brzina robota.
- Srednja razina upravljanja obuhvaća upravljanje pozicijom i orijentacijom mobilnog robota.
- Ovo upravljanje je nelinearnog karaktera i u tu svrhu se koristi nelinearni backstepping regulator čiji se parametri dobivaju uz pomoć genetskog algoritma.



Predloženi navigacijski sistem

- Efikasnost predloženog regulatora provjerava se preko kvaliteta slijeđenja unaprijed zadane složene putanje u slobodnom prostoru.
- Da bi se robot mogao kretati u složenoj, nestrukturiranoj sredini, ispunjenoj preprekama uvodi se treći regulacijski krug visoke razine koji daje neophodne informacije o daljnjem kretanju robota na osnovu mjerenja vanjskih senzora, u našem slučaju sonara.
- Moduli više razine su interpretacija mjerenja sonara i njihovo kombiniranje s ciljem dobivanja lokalne mape zauzetosti prostora, planiranje kretanja i upravljanje kretanjem.

