

# Porazdeljene inteligentne programske tehnologije

## Večagentni sistemi

Danijel Skočaj  
Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za računalništvo in informatiko

Literatura: MAS, G. Weiss, Poglavje 2

Porazdeljene inteligentne programske tehnologije

## Večagentni sistemi

- Več agentov
- Analizirati, opisati in načrtovati okolja, v katerih v katerih lahko agenti produktivno sodelujejo
- Večagentni sistemi
- Združbe agentov (society of agents)
  
- **Komunikacijski protokol** določi kakšni tipi sporočil se lahko komunicirajo.
- **Interakcijski protokol** določi na kakšen način (v kakšnem zaporedju, po kakšnem protokolu) se bodo prenašala sporočila.

Porazdeljene inteligentne programske tehnologije, Večagentni sistemi

2

## Komunikacijski in interakcijski protokol

- Primer komunikacijskega protokola (možni tipi sporočil):
  - Predlagaj potek akcije
  - Sprejmi potek akcije
  - Zavrni potek akcije
  - Opusti potek akcije
  - Ne strinjaj se s predlogom poteka akcije
  - Podaj svoj predlog poteka akcije
- Primer interakcijskega protokola (ki temelji na zgornjem)
  - Agent1 predlaga potek akcije Agentu2.
  - Agent2 oceni predlog in
    - Pošlje sprejem predloga Agentu1
    - Ali pošlje svoj predlog Agentu1
    - Ali pošlje nestrinjanje s predlogom Agentu1
    - Ali pošlje zavrnitev predloga Agentu1.

## Motivacija

- Zakaj porazdeljen sistem
  - Včasih je problem sam porazdeljen
  - Včasih je problem lažje razumljiv/rešljiv
  - Včasih je problem rešljiv samo na porazdeljen način (se podatki ne smejo deliti/odkrivati)
  - Včasih je problem samo tako obvladljiv
- Podatki so porazdeljeni po ločenih informacijskih sistemih, ki so lahko
  - Geografsko porazdeljeni
  - Imajo lahko veliko komponent
  - Vsebujejo ogromno količino informacij
  - Pokrivajo širok spekter informacij
  - Komponente so lahko porazdeljene in nehomogene
  - Topologija sistemov se lahko dinamično spreminja

## Porazdeljena umetna inteligenca - DAI

- Štiri tehnike:
  - Modularnost
  - Porazdeljenost
  - Abstrakcija
  - Inteligenca-> Porazdeljena umetna inteligenca (Distributed AI)
- Posamezni agenti so lahko:
  - Inteligentne aplikacije
  - Aktivni viri informacij
  - "wrapperji" okrog klasičnih komponent
  - On-line mrežni servisi
  - Inteligentni roboti
- Posamezni agenti
  - Delujejo avtonomno
  - Upravljajo z lokalno informacijo
  - Sodelujejo z drugimi agenti

## Prednosti MAS

- Povezovanje individualnih agentov omogoča:
  - Sodelovanje pri reševanju problemov
  - Deljenje ekspertize
  - Vzporedno delo na skupnih problemih
  - Modularen razvoj in implementacijo
  - Robustnost skozi redundanco
  - Predstavitev različnih pogledov in različnih znanj o problemu
  - Ponovno uporabo

## Uporaba MAS

- Računalniki, procesiranje informacije, so vsepovsod prisotni => ogromno potencialnih agentov, ki bi lahko komunicirali med sabo
- Primer: pametna kuhinja
  - Opekač ve, kdaj je kruh opečen.
  - Avtomat za kavo ve, kdaj je kava kuhana.
  - Z medsebojno interakcijo bo kruh opečen istočasno kot bo kava kuhana.
- Od kupa nepovezanih inteligentnih agentov k inteligentnemu večagentnemu sistemu

## Značilnosti večagentnega okolja

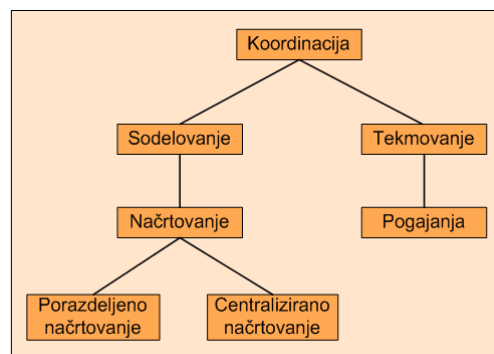
- Večagentna okolja
  - nudijo infrastrukturo za delovanje večagentnih sistemov (komunikacijske in interaktivne protokole)
  - So tipično odprta in nimajo centralnega načrtovalca
  - Vsebujejo agente, ki so avtonomni in porazdeljeni in so lahko sebični ali kooperativni
- Ključne lastnosti večagentnega okolja:
  - Poznavanje (okolja)
  - Predvidevanje (okolja)
  - Kontrolabilnost (okolja)
  - Uporaba zgodovine (ali temelji prihodnost na zgodovini ali samo na sedanjosti)
  - Teološkost (smisel okolja, so še drugi agenti?)
  - Spremenljivost (se lahko okolje spremeni med preišljanjem)

## Komunikacija

- Agenti lahko komunicirajo med sabo:
  - Agent lahko zaznava, sklepa in deluje
  - Ima eksplicitno shranjeno znanje, ki ga zna uporabljati za sklepanje
  - Ima sposobnost komuniciranja
    - Zaznavanje (sprejemanje sporočil)
    - Akcija (pošiljanje sporočil)

## Koordinacija

- Komunikacija omogoča koordinacijo agentov za lažjo/boljšo doseg skupnih ciljev



## Koherenca

---

- Koherenca pove kako enotno se sistem obnaša
- Problem: kako zagotoviti globalno koherenco brez eksplicitnega globalnega nadzora
- Agenti morajo:
  - Sami določiti skupne cilje
  - Določiti skupne naloge
  - Izogibati se nepotrebnim konfliktom
  - Si deliti znanje
- Agenti morajo biti organizirani

## Pomen

---

- Tri formalni aspekti komunikacije:
  - Sintaksa (struktura komunikacije)
  - Semantika (kaj simboli označujejo)
  - Pragmatika (kako se simboli interpretirajo)
- Pomen=Semantika+Pragmatika
- Agent komunicira, da bi razumel in da bi bil razumljen

## Dimenzije pomena

- Opisovalni ali predpisovalni pomen
  - Opis pojava (lažje za razumevanje)
  - Predpisovanje obnašanja (lažje za oponašanje)
- Osebni ali dogovorjeni pomen
  - Osebni – odvisen od agenta
  - Dogovorjeni – v skladu z neko konvencijo, skupnim dogovorom, skupen za vse
- Subjektivni ali objektivni pomen
  - Subjektivno razumevanje učinka akcije
  - Objektivno razumevanje učinka akcije
- Pomen z različnih perspektiv (zornih kotov)
  - Govorca
  - Poslušalca
  - Združbe
- Semantika in pragmatika pomena
  - Pragmatika upošteva stanje udeležencev in okolja (in nista del sintakse in semantike komunikacijskega sporočila)

## Dimenzije pomena

- Kontekst
  - Interpretacija sporočila je odvisna od
    - Stanja agenta
    - Trenutnega stanja okolja
    - Zgodovine okolja
- Pokritost
  - Jezik mora biti dovolj velik, da pokrije vse pomene
- Identiteta
  - Identiteta pošiljatelja, naslovnikov (eden ali več)
- Kardinalnost
  - Kolikim agentom se pošilja sporočilo (enemu, nekaterim, vsem)?

## Tipi sporočil

- Različni agenti -> različni nivoji komunikacije
- Dialog
  - Agent začenja komunikacijo (glavni; master)
  - Agent odgovarja (podrejeni; slave)
  - Obojestranski pogovor (vrstni; peer)
- Dva glavna tipa sporočil
  - Trditve
  - Vprašanja
- Pasivni agent
  - Sprejme vprašanje
  - Pošlje trditev (odgovor)
- Aktivni agent
  - Lahko postavlja vprašanja in pošilja trditve (tudi zahteve)
- Vrstni (peer) agent
  - Lahko igra obe vlogi

## Tipi agentov

- Komunikacijske zmogljivosti različnih tipov agentov:

	Osnovni agent	Pasivni agent	Aktivni agent	Vrstni agent
Sprejema trditve	✓	✓	✓	✓
Sprejema vprašanja		✓		✓
Pošilja trditve		✓	✓	✓
Pošilja vprašanja			✓	✓



## Tipi sporočil

Tip sporočila	Namen sporočila
Trditev	Inform.
Vprašanje	Vprašanje
Odgovor	Inform.
Zahteva	Zahteva
Razlaga	Inform.
Ukaz	Zahteva
Dovoljenje	Inform.
Zavrnitev	Inform.
Ponudba	Inform
Sprejem	Inform.
Strinjanje	Inform.
Predlog	Inform.
Potrditev	Inform.
Umik	Inform.
Zavrnitev	Inform.

## Komunikacijski nivoji

- Tri nivoji komunikacijskih protokolov:
  - Spodnji nivo: metoda za medsebojno povezavo
  - Srednji nivo: format (sintaksa)
  - Zgornji nivo: pomen (semantika)
- Kardinalnost protokolov
  - Binarni
    - en pošiljatelj in en sprejemnik
  - N-narni (broadcast, multicast)
    - en pošiljatelj in več sprejemnikov
- Specifikacija protokola:
  1. Pošiljatelj
  2. Sprejemnik(i)
  3. Jezik v protokolu
  4. Kodirne in dekodirne funkcije
  5. Akcije, ki naj jih izvede sprejemnik

## Govorna dejanja

- Teorija govornih dejanj (speech act theory)
  - Človeški pogovorni jezik je dejanje, povzroča dejanja
- Tri aspekti govornega dejanja:
  - Izraz (locution): fizično izreče izraz govorca
  - Pomen (illocution): namenjen pomen izraza
  - Dejanje (perlocution): dejanje, ki izhaja iz pomena
- Interpretacija pomena je včasih težavna ("Zebe me.")
- Določitveni glagoli, nameni izrazov (performative verbs)
  - povedati, vprašati, zahtevati ("Povem, da...", "Zahtevam, da...")
  - Odpravijo vsak dvom o pomenu izraza
- Komunikacijski protokol poskrbi za nedvoumnost tipa in namena komunikacije
  - Še vedno pa je sporočilo samo lahko dvoumno

## Komunikacijski protokol

- V komunikacijskem protokolu je temeljna ločitev
  - sintakse (ki mora biti neodvisna od domene) in
  - semantike (ki je lahko odvisna od domene)
- Komunikacijski protokol
  - Morajo uporabljati vsi agenti udeleženi v komunikaciji
  - Mora biti jedrnat

## KQML

- Jezik za povpraševanje in manipulacijo
- KQML – Knowledge Query and Manipulation Language
- Protokol za izmenjavo informacij in znanja med agenti in aplikacijami
- Vsa informacija potrebna za razumevanje sporočila je zajeta v sami komunikaciji
- Osnovna struktura:

```
(KQML_performative
      :sender      <word>
      :receiver    <word>
      :language    <word>
      :ontology    <word>
      :content     <expression>
      . . .)
```

## KQML

- Semantika stavka (strukture) je neodvisna od domene
- Semantika sporočila je definirana s polji
  - `:content` (sporočilo)
  - `:language` (jezik v katerem je zapisano sporočilo)
  - `:ontology` (ontologija, besednjak)
- Sporočilo samo je zaobjeto v strukturo, ki vsebuje vse informacije, ki so potrebne za njegovo razumevanje
- Polja s parametri za posredovanje sporočil
  - `:sender` (pošiljatelj)
  - `:receiver` (sprejemnik)
  - `:reply-with` (odgovori)
  - `:in-reply-to` (v odgovor)
- Komunikacija je lahko asinhrona (`reply-with` in `in-reply-to` poskrbita za povezave med sporočili)

## KQML

- Primer : "Kocka A je na kocki B."
  - Uporablja se jezik KIF (Knowledge Interchange format)
  - Domena je svet lesenih kock zaobjet v ontologiji Blocks-World

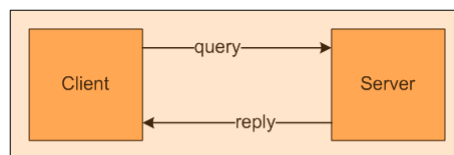
```
(tell
  :sender      Agent1
  :receiver   Agent2
  :language   KIF
  :ontology   Blocks-World
  :content    (AND(Block A)(Block B)(On A B))
```

- Namesto KIF-a bi lahko uporabljali kakšen drugi jezik (PROLOG, LISP, SQL, ipd.)
- Ontologija je odvisna od domene

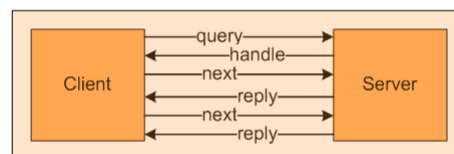
## KQML - Model odjemalec strežnik

- Agenti med seboj delujejo kot strežniki in odjemalci

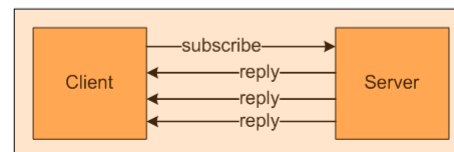
- Sinhrona komunikacija
  - Čaka na odgovor



- Strežnik vzdržuje stanje
  - Odgovori se pošiljajo po potrebi na zahtevo



- Asinhrona komunikacija
  - Odgovori se pošiljajo med delovanjem strežnika



## KQML

- Gnezdenje sporočil

```
(forward
  :from      Agent1
  :to        Agent2
  :sender     Agent1
  :receiver   Agent3
  :language   KQML
  :ontology   kqml-ontology
  :content    (tell
               :sender     Agent1
               :receiver   Agent2
               :language   KIF
               :ontology   Blocks-World
               :content     (AND(Block A)
                             (Block B)(On A B))))
```

## KQML

- Kategorije KQML struktur (nameni izrazov) – performatives
  - Osnovni (*evaluate, ask-one, ask-all,...*)
  - Povpraševanja po večjem številu odgovorov (*stream-in, stream-all,...*)
  - Odgovori (*reply, sorry,...*)
  - Splošni informacijski (*tell, achieve, cancel, untell, unachieve,...*)
  - Generatorji (*standby, ready, next, rest,...*)
  - Določevalci sposobnosti (*advertise, subscribe, monitor,...*)
  - Mrežni (*register, unregister, forward, broadcast,...*)

## KQML primer

- `advertise` – za obveščanje o svojih sposobnostih
- Agen2 sporoči Agentu1

```
(advertise
  :sender      Agent2
  :receiver    Agent1
  :language    KQML
  :ontology    kqml-ontology
  :content     (ask-all
                :sender      Agent1
                :receiver    Agent2
                :in-reply-to id1
                :language    Prolog
                :ontology    Blocks-World
                :content     "on(X,Y)"))
```

## KQML primer

- Agent1 vpraša:

```
(ask-all
  :sender      Agent1
  :receiver    Agent2
  :in-reply-to id1
  :reply-with  id2
  :language    Prolog
  :ontology    Blocks-World
  :content     "on(X,Y)"))
```

- Agent2 odgovori:

```
(tell
  :sender      Agent2
  :receiver    Agent1
  :in-reply-to id2
  :language    Prolog
  :ontology    Blocks-World
  :content     "[on(a,b),on(c,d)]")
```

## Format za izmenjavo znanja

- Naravni jezik je zelo ekspresiven, vendar velikokrat so izjave dvoumne
- KIF – Knowledge Interchange Format
- Jezik, ki temelji na logiki (predikatih prvega reda)
- Z njim opišemo vse kar nas zanima (v realnem svetu)
- Prefiksen zapis logičnih predikatov prvega reda

## KIF - primeri

- Podatki o plači za tri osebe

```
(salary 0394-232 finance 72000)
(salary 0847-475 management 92000)
(salary 0233-756 production 9000)
```

- Prvi čip je večji od drugega

```
(> (* (width chip1) (length chip1))
   (* (width chip2) (length chip2)))
```

- Če je  $x$  realno,  $n$  pa celo število, potem je  $x^n > 0$

```
(=> (and (real-number ?x)
        (even-number ?n))
    (> (expt ?x ?n) 0))
```

## Ontologije

- Ontologija je specifikacija objektov, konceptov in relacij na nekem področju zanimanja
- Koncepti: unarni predikati logike prvega reda
- Relacije: več-arni predikati logike prvega reda
- Primer: kocka je fizični objekt

```
∀x (Block x) ⇒ (PhysicalObject x)
```

- Primer: pravilo, ki definira hierarhijo tipov

```
(class Block)
(Class PhysicalObject)
(subclassOf Block PhysicalObject)
∀x,y,z (instanceOf x y) ∧ (subclassOf y z)
⇒ (instanceOf x z)
```

## Ontologije

- Ontologija opisuje tudi relacije
- Vsebuje razrede – primerke razredov pa ne nujno
- Analogija s shemo podatkovne baze, ne s podatki v njej
- Agent mora predstavljati svoje znanje z uporabo besednjaka izbrane ontologije
- Vsi agenti, ki uporabljajo isto ontologijo razumejo besede, ki se uporabljajo pri komunikaciji
- Bolj podrobna definicija relacij:

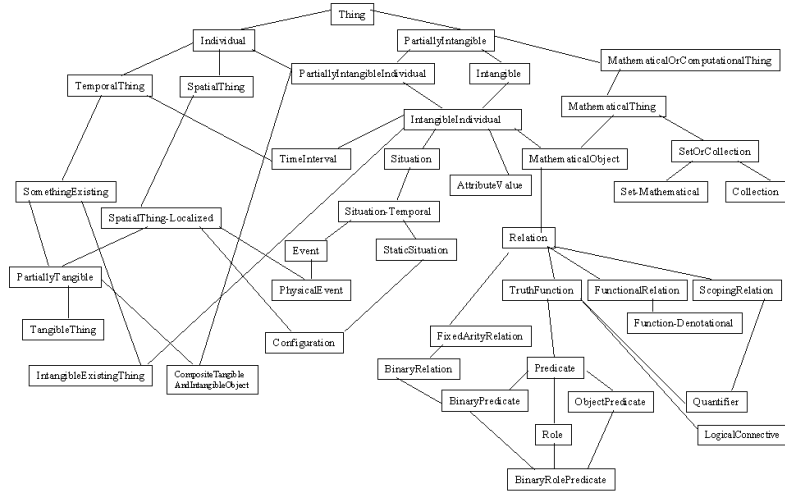
```
(domain On PhysicalObject)
(range On PhysicalObject)
```

▪ OK: (On A B)

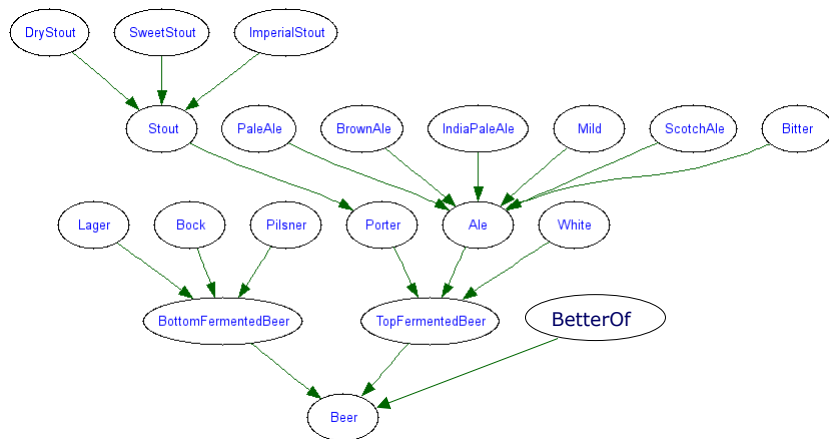
▪ NOK: (On A Dream1)



## Primer ontologije



## Primer ontologije



## Interakcijski protokoli

- **Komunikacijski** protokol opiše mehanizme za interakcijo **posameznih** sporočil (vrste, namen, ipd.)
- **Interakcijski** protokol opiše/predpiše potek izmenjave **zaporedja** sporočil – pogovor
- V primeru agentov, ki sodelujejo med sabo je cilj interakcijskega protokola:
  - Zagotoviti koherentnost delovanja sistema kot celote
  - Brez eksplicitnega globalnega nadzora
  - (ob upoštevanju avtonomije posameznega agenta)
- Pomembni aspekti:
  - Določiti skupne cilje
  - Določiti skupne naloge
  - Izogibati se nepotrebnim konfliktom
  - Združiti znanje in zasnave

## Interakcijski protokoli

- Različni protokoli in mehanizmi
  - Koordinacijski protokoli
  - Protokoli za sodelovanje
  - Pogodbene mreže (Contract nets)
  - Sistemi s tablo (Blackboard systems)
  - Pogajanja (Negotiations)
  - Ohranjanje prepričanja večagentnega sistema (Multiagent Belief Maintenance)
  - Trži mehanizmi (Market mechanisms)
- Združbe agentov

## Koordinacijski protokoli

- V omejenem okolju morajo agentje koordinirati aktivnosti:
  - Akcije agentov so soodvisne
  - Skupaj morajo težiti k skupnemu cilju
  - Upoštevati morajo globalne omejitve
  - Nobeden izmed agentov nima vse potrebne
    - Kompetence
    - Virov
    - Informacije
- Agenti morajo
  - Posredovati informacijo drugim
  - Sinhronizirati akcije
  - Se izogibati redundantnemu reševanju problemov

## Porazdeljen nadzor

- Porazdeljen koordiniran sistem -> Porazdeljenost podatkov in nadzora
  - Vsak agent je avtonomen
    - V generiranju novih akcij
    - V odločanju h katerim ciljem težiti
  - Znanje je razpršeno po sistemu
- > težje zagotoviti koherentnost globalnega delovanja

## Graf ciljev

- Akcije agentov -> iskanje po AND/OR grafu ciljev
  - Predstavitev odvisnosti med cilji in sredstvi potrebnimi za doseganje preprostih ciljev (listi v grafu)
  - Posredne odvisnosti med akcijami
- Aktivnosti ki zahtevajo koordinacijo:
  - Definirati graf ciljev
  - Določiti dele grafa posameznim agentom
  - Nadzorovati odločitve o tem katere dele grafa raziskovati
  - Prečkati graf
  - Poročati o uspešnem sprehodu

## Zaveze in konvencije

- Vsak agent mora vedeti kaj nameravajo drugi
  - Kakšne zaveze so dali (obljube)
  - Kakšne konvencije uporabljajo (kako spreminjajoče okolje lahko vpliva na te obljuje)
- **Zaveze** zagotavljajo visok nivo predvidljivosti
  - Ostali agenti lahko načrtujejo njihove akcije glede na to
- **Konvencije** zagotavljajo prilagodljivost zavez
  - Omejujejo pogoje v katerih se lahko zaveze ne izpolnijo, oz. se ponovno pretehtajo
  - Predpisujejo kaj se v takih situacijah zgodi
    - Zaveza se obdrži in se mora izpolniti
    - Zaveza se lahko popravi glede na trenutno situacijo
    - Zaveza se opusti

## Zaveze in konvencije

- Če se situacija ne spremeni, agent teži k izpolnitvi zavez  
⇒ njegove zaveze morajo biti med seboj konsistentne ter konsistentne z njegovim prepričanjem
- Konvencije pomagajo urejati zaveze
- Ko se spremeni cilj (zaveza), ki vpliva tudi na druge agente, mora agent to spremembo sporočiti ostalim (zainteresiranim) agentom -> **socialna konvencija**

## Socialna konvencija

- Primer socialne konvencije v primeru omejenih komunikacijskih zmogljivosti:

```
LIMITED_BANDWIDTH SOCIAL CONVENTION

INVOKE WHEN
    Local commitment dropped
    Local commitment satisfied

ACTIONS
Rule1: IF Local commitment satisfied
    THEN inform all related commitments

Rule2: If local commitments dropped because
    unattainable or motivation not present
    THEN inform all strongly related commitments

Rule2: If local commitments dropped because
    unattainable or motivation not present
    AND communication resources not overburned
    THEN inform all weakly related commitments
```

## Skupne zaveze

- Skupna akcija => skupni cilj
- Izmenjavati si morajo vsaj informacije o:
  - Status njihove obveze k skupnemu cilju
  - Status njihove obveze do ekipe
- Če se ta status spremeni, morajo biti obveščeni vsi člani ekipe
- Če agent spozna, da se je zaveza nekega drugega agenta s katerim sta skupaj v akciji, spremenila, mora premisliti tudi svoje zaveze

## Konvencija za skupne zaveze

### BASIC JOINT-ACTION CONVENTION

#### INVOKE WHEN

Status of commitment to joint action changes  
Status of commitment to attaining action in  
present team context changes

#### ACTIONS

Rule1: IF Status of commitment to joint action changes  
OR  
IF Status of commitment to present team context  
changes  
THEN inform all other team members of these  
changes

Rule2: If Status of joint commitment of a team member  
changes  
THEN Determine whether joint commitment still  
viable

## Zaveze in konvencije

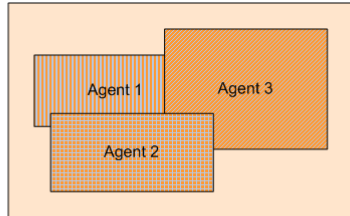
- Zaveze in konvencije so glavni gradniki **koordinacije**
  - **Zaveze** zagotavljajo strukturo predvidljive interakcije
  - **Socialne konvencije** zagotavljajo medsebojno podporo

## Protokoli za sodelovanje

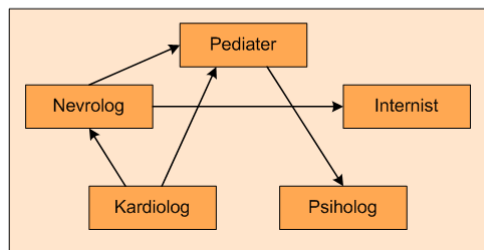
- Osnovna strategija je ponavadi razčleniti in porazdeliti naloge
  - Alternativne dekompozicije
  - Upoštevati je potrebno
    - zmogljivosti agentov
    - Interakcije med podnalogami
    - Konflikte med agenti
- Naloge lahko razdeli
  - Načrtovalec sistema (jih vprogramira)
  - Agenti s hierarhičnim načrtovanjem
  - Razdelitev je že zajeta v predstavitvi problema (AND-OR graf)
- Naloge so lahko razdeljene
  - Prostorsko (glede na položaj vira informacije ali odločitve)
  - Funkcionalno (glede na ekspertizo)

## Dekompozicija nalog

- Prostorska dekompozicija:



- Funkcionalna dekompozicija:



## Razdelitev nalog

- Kriteriji za razdelitev nalog:
  - Izogibati se preobremenitvi kritičnih virov
  - Dodeliti naloge agentom s primernimi zmogljivostmi
  - Agenti s širšim pogledom naj dodeljujejo naloge ostalim agentom
  - Naj bo del odgovornosti deljen za zagotovitev koherentnosti
  - Zelo medsebojno odvisne naloge dodeliti sosednim agentom (prostorsko, semantično)
  - Ponovno je potrebno razdeliti naloge, če je potrebno izvršiti nujno nalogo.



## Mehanizmi za razdelitev nalog

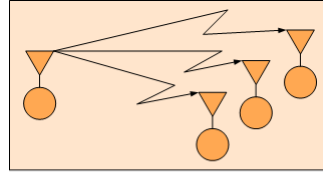
- Pogosti mehanizmi za razdelitev nalog:
  - Mehanizmi trga (Market mechanisms)
    - Naloge so porazdeljene s skupnim dogovorom ali vzajemnim izborom
  - Pogodbene mreže (Contract net)
    - Cikli naznanilo, ponudba, nagrada
  - Večagentno načrtovanje (Multiagent planning)
    - Načrtovalni agenti imajo odgovornost za razdelitev nalog
  - Organizacijske strukture
    - Agenti imajo stalne obveznosti za določene naloge

## Pogodbene mreže

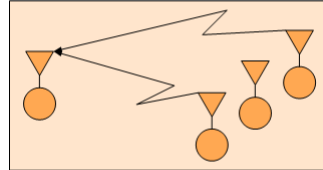
- Interaktivni protokol za sodelovanje med agenti pri reševanju skupnega problema
- Modelira dogovore v poslovanju pri menjavi blaga in storitev
- Rešitev za problem povezave (connection problem): najti primerne agenta za delo na določeni nalogi
- *Manager* – agent, ki ima problem, ki ga je potrebno rešiti
- *Pogodbeniki* – agenti, ki (mogoče) lahko rešijo problem

## Pogodbene mreže - proces

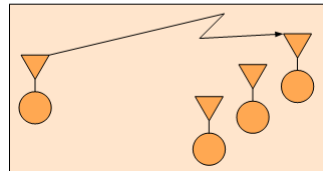
- Manager objavi svoj problem vsem potencialno zainteresiranim agentom.



- Agenti ocenijo sporočil. Nekateri agenti pošljejo ponudbe.



- Manager sklene pogodbo z najustreznejšim ponudnikom. Komunikacijo nato po potrebi nadaljujeta neposredno.



## Pogodbene mreže - proces

- Proces pri managerju:
  - Objavi sporočilo o nalogi
  - Sprejmi in oceni ponudbe
  - Skleni pogodbo z najugodnejšim ponudnikom
  - Sprejmi in sestavi rezultate
- Proces pri pogodbeniku
  - Sprejmi objavo o nalogi
  - Oceni svojo zmožnost za odgovor
  - Odgovori (zavrni ali ponudi)
  - Opravi nalogo, če je njegova ponudba sprejeta
  - Sporoči rezultate

## Pogodbene mreže - proces

- Vloge managerja in pogodbenika niso v naprej določene
- Lahko so pri določenih nalogah obrnjene
- Struktura za objavo naloge:
  - Naslovljenec
  - Specifikacija primernosti za izvedbo
  - Kratek opis naloge
  - Specifikacija ponudbe (kaj le-ta mora vsebovati)
  - Rok za ponudbe
- Potencialni pogodbeniki ovrednotijo objavo naloge in se zanjo lahko potegujejo
- Manager potem sprejme zanj najugodnejšo ponudbo (lahko tudi pred iztekom roka)
- Pogodbenika obvesti z ustreznim sporočilom
  - Ni mu pa potrebno obvestiti ostalih zainteresiranih

## Pogodbene mreže

- Manager lahko tudi ne dobi nobene ponudbe
  - če so vsi potencialni pogodbeniki zasedeni
  - Če je potencialni ponudnik prost, a oceni nalogo kot manj pomembno od ostalih
  - Nobeden izmen ponudnikov ni sposoben opraviti zadane naloge
- Z tem primeru lahko manager zahteva takojšen odgovor:
  - Sposoben vendar zaseden
  - Nesposoben
  - Nezainteresiran
- Manager nato ustrezno prilagodi svojo zahtevo
- V pogodbenih mrežah je pogodba sklenjena takoj, brez pogajanj
  - sprejet pogodbenik lahko pogodbo samo sprejme ali zavrže
  - Enostaven mehanizem, ki lahko poveča učinkovitost

## Sistemi s tablo

- Blackboard systems
- Skupina agentov (specialistov) skupaj rešuje problem
- Problem in začetni podatki se zapišejo na tablo
- Specialisti spremljajo delne rezultate in gledajo kdaj lahko uporabijo svojo ekspertizo
- Če uspejo rešiti del naloge rezultate napišejo na tablo
- Ostali udeleženci sprejmejo te rezultate in nandalje poizkušajo rešiti nalogo
- Ta proces se nadaljuje dokler naloga ni rešena
- Specialist = vir znanja (Knowledge Source)

## Sistemi s tablo

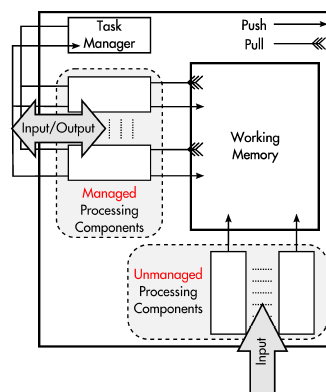
- Značilnosti sistemov s tablo:
  - Neodvisnost ekspertiz
    - Vsak specialist je neodvisen in nepovezan z otalimi specialisti.
  - Različnost tehnik za reševanje problemov
    - Vsak specialist lahko uporablja svoje metode in predstavitve, ki so ostalim skrite.
  - Fleksibilna predstavitev informacije na tabli
    - Ni predpisana narava informacije, ki se predstavlja na tabli.
  - Skupni interakcijski jezik
    - Specialisti se morajo sporazumevati v vsem razumljivem jeziku.
  - Aktivacije sprožajo dogodki
    - Dodajanje, sprememba ali brisanje informacije
    - Tabla obvešča specialiste o zanimivih spremembah
  - Postopna gradnja rešitve
    - Specialisti lahko izboljšujejo/popravljajo že obstoječe podrešitve ali začnejo nov način reševanja
  - Nadzorni mehanizem

## Sistemi s tablo

- Nadzorni mehanizem
  - Nadzoruje potek reševanja problema
  - Specialist za usmerjanje reševanja problema
  - Izbira specialiste, ki bodo reševali (pod)problem
  - Vsak specialist obvesti nadzornega specialista o kvaliteti in ceni njegovega opravila
  - Nadzorni specialist se odloči, ali mu bo nato naloga zaupana ali ne

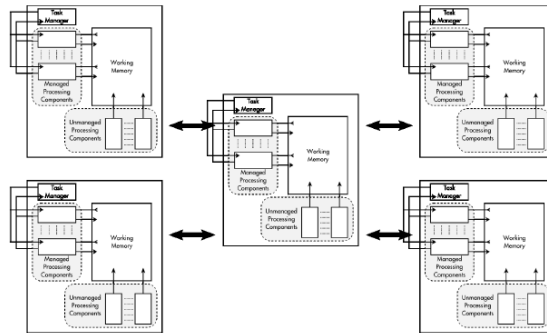
## Primer - Arhitektura CAS

- Ena podarhitektura:
  - Agenti = Komponente
  - Tabla = delovni pomnilnik (WM)
  - Komponente komunicirajo preko delovnega pomnilnika
  - Nadzorni specialist = upravitelj (task manager) - upravlja s procesiranjem



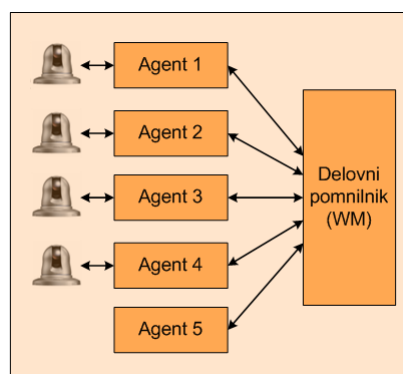
## Primer - Arhitektura CAS

- CoSy architecture schema
- Zbirka rahlo povezanih podarhitektur
- Zelo različne komponente – zelo nehomogen sistem
- Podarhitekture komunicirajo z drugimi podarhitekturami preko delovnega pomnilnika



## Primer PIPT CAS arhitektura

- CAS za komunikacijo med agenti
- Delovni pomnilnik kot tabla



## Pogajanja

- Pogajanje je proces v katerem se doseže skupna odločitev med dvema ali več agenti od katerih vsak teži k izpolnitvi svojega cilja.
- Agenti najprej komunicirajo svoje predloge (ki so lahko nasprotujoči)
- Nato delajo kompromise ali iščejo alternativne rešitve, da se zblížajo v stališčih
- Glavne značilnosti:
  - Jezik, ki ga uporabljajo udeleženci
  - Protokol za pogajanja
  - Odločitveni proces vsakega udeleženca
- Tehnike sistemov za pogajanja se osredotočajo
  - Na okolje
  - Na agenta

## Mehanizem za pogajanja

- Tehnike, ki se osredotočajo na **okolje**:
  - Kako naj bodo pravila, ki veljajo v okolju, oblikovana, tako da bodo agenti v tem okolju medsebojno delovali produktivno in pošteno?
- Tak mehanizem za pogajanja naj bi izpolnjeval kriterije:
  - Učinkovitost
    - Agenti naj ne bi zapravljali virov pri doseganju sporazuma
  - Stabilnost
    - Vsi agenti naj bi upoštevali dogovorjene strategije
  - Enostavnost
    - Pogajalski mehanizem naj bo čim manj potraten (računsko in v pasovni širini)
  - Porazdeljenost
    - Mehanizem naj ne zahteva centralnega odločevalca
  - Simetričnost
    - Vsi agenti naj bodo obravnavani enako

## Mehanizem za pogajanja

- Okolja, ki so osredotočena na nalogo:
  - Vsi agenti lahko rešijo nalogo brez pomoči drugih
  - Lahko pa agenti s sodelovanjem povečajo koristnost
- Primer: agenti za snemanje datotek z interneta
  - Skupne datoteke bi lahko sneli samo enkrat in si jih delili
- Mehanizem:
  - Vsak agent napove dokumente, ki jih potrebuje
  - Skupni dokumenti se dodelijo posameznim agentom z žrebom
  - Agenti plačajo za dokumente, ki jih snamejo
  - Agenti imajo dostop do svojih in skupnih dokumentov
- Tak mehanizem je enostaven, simetričen, porazdeljen in učinkovit

## Mehanizem za pogajanja

- Tehnike, ki se osredotočajo na **agenta**:
  - V danem okolju, kakšna je najboljša strategija za agenta
- Ekonomsko racionalni agenti
  - Množica agentov je majhna
  - Agenti imajo skupni jezik in abstrakcijo problema
  - Agenti težijo k skupni rešitvi
- Poenoten pogajalski protokol:
  - Agenti sklenejo *sporazum* – skupni načrt, ki bi izpolnil vse njihove cilje
  - *Koristnost sporazuma* – vsak agent jo hoče maksimizirati
  - Agenti se dogovarjajo o *pogajalski množici* (množica vseh sporazumov, ki so koristni za vse agente)



## Ohranjanje prepričanja večagentnega sistema

- Multiagent Belief Maintenance
- Truth Maintenance System (TMS) ohranja integriteto znanja agenta, ki naj bo
  - Stabilno
  - Dobro osnovano
  - Logično konsistentno
- Stabilno stanje
  - Vsak podatek za katerega obstaja dokaz je pozitiven (is believed)
  - Vsak podatek, za katerega ne obstaja dokaz, je negativen (is disbelieved)
- Dobro osnovano (well-founded)
  - Nobena množica prepričanj ni odvisna od druge množice prepričanj
- Logično konsistentno stanje znanja
  - Stabilno, brez kontradikcij
- Ostale zaželjene lastnosti baze znanja:
  - Popolnost, jedrnatost, natančnost, učinkovitost

## Večagentni TMS

- Enoagentni TMS – ohranja stabilna stanja baze znanja s prilagajanjem pozitivnih in negativnih podatkov
- Večagentni TMS morajo ohranjati integriteto njihovega znanja in integriteto komunicirane informacije
- Vsak podatek je označen kot
  - **INTERNAL** (pozitiven, ker ga je agent potrdil)
  - **EXTERNAL** (pozitiven, ker ga je neki drugi agent potrdil)
  - **OUT** (negativen)
- Agenti komunicirajo o podatkih in labelah
- Labele morajo biti konsistentne po vseh agentih
- Nek podatek mora biti **INTERNAL** vsaj enemu agentu in **INTERNAL** ali **EXTERNAL** ostalim
- Strategije za ustrezno osveževanje label

## Tržni mehanizmi

- Market mechanisms
- Tržni mehanizmi so primerni za koordinacijo aktivnosti večjega števila agentov z minimalno direktno komunikacijo med agenti samimi
- Vsi relevantni podatki na osnovi katerih agent sprejema odločitve so zajeti v *ceni*
- Dva tipa agentov
  - Potrošniki, ki izmenjujejo dobrine
  - Proizvajalci, ki predelujejo dobrine v druge dobrine
- Agenti ponujajo različne ponudbe za dobrine, izmenjave pa se zgodijo po trenutnih tržnih cenah
- Vsak agent teži k temu, da bi povečal dobiček ali svojo vrednost

## Tržni mehanizmi

- Za prevedbo problema v ustrezno obliko je potrebno opredeliti:
  - Dobrine s katerimi se trguje
  - Agente potrošnike
  - Agente proizvajalce z njihovimi proizvodnimi zmogljivostmi
  - Predvideno obnašanje udeležencev pri trgovanju
- Cena ene dobrine vpliva na ponudbo in povpraševanje drugih dobrin
- Trg doseže ravnotežje
  - Potrošniki težijo k maksimizaciji njihove vrednosti ob upoštevanju razpoložljivega proračuna
  - Proizvajalci težijo k maksimizaciji njihovega dobička ob upoštevanju njihovih tehnoloških zmogljivosti
  - Neto povpraševanje je nič za vse dobrine
- Ravnotežje ustreza neki porazdelitvi virov in določa akcije, ki jih morajo agenti izvesti

## Tržni mehanizmi

- Ekonomsko racionalno obnašanje agenta
  - Agentove preference so podane
  - Znanje o učinkih agentovih akcij je podano
  - Racionalna akcija maksimizira njegove preference
- Vse faktorje je potrebno nekako pretvoriti v ceno
- Kvantitativno in probabilistično modeliranje stroškov in učinkov akcij
  - > učinkoviti načrti akcij

## Združbe agentov

- Agenti delujejo v sodelovanju z drugimi -> več agentov -> veliko agentov -> združbe agentov
- Velika informacijska okolja, npr. inteligenen nadzor nad avtocestami (inteligentna vozila)
  - > porazdeljen zajem podatkov, sklepanje, načrtovanje, nadzor
- Agenti morajo
  - Dolgo živeti
  - Se prilagajati (se učiti)
  - Biti socialni
    - Morajo vzajemno sodelovati z ostalimi agenti za dosego njihovih ciljev
    - Morajo se zanašati na ostale agente in uporabljati njihovo znanje

## Združbe agentov

- Agenti v združbi igrajo različne vloge
  - Skupina definira vloge
  - Vloge definirajo obveze
  - Agenti se (prostovoljno) pridružijo skupini preko določene vloge – sprejmejo vlogo in obveze
  - Skupina določi socialni kontekst v katerem agenti sodelujejo med sabo

## Združbe agentov

- Veliko agentov -> sociologija, teorija organizacije
- Od togih odjemalcev/strežnikov arhitektur k fleksibilni povezavi enakovrednih porazdeljenih agentov
- Tržni mehanizmi, ekonomski modeli, zreducirajo agente na sebične agente
  - > agenti potrebujejo nekaj več kot maksimizacijo dobička

## Socialna odvisnost

- Socialne zaveze so zaveze enega agenta do drugih agentov
- Socialne zaveze določajo (omejujejo) obnašanje agentov
- Socialna odvisnost:
  - Agent  $x$  je odvisen od agenta  $y$  v odnosu do akcije  $a$  za dosego cilja  $p$ 
    - Če je  $p$  cilj agenta  $a$
    - In je  $x$  nezmožen opraviti  $a$
    - In je  $y$  zmožen opraviti  $a$
  - Socialna odvisnost je lahko prostovoljna (se sprejme z vlogo)
  - Agent se je lahko ne zaveda
  - Vzajemna odvisnost
    - $x$  in  $y$  sta odvisna drug od drugega pri doseganju skupnega cilja  $p$
    - Potrebno sodelovanje
  - Recipročna odvisnost
    - $x$  in  $y$  sta odvisna drug od drugega pri doseganju vsak svojega cilja  $p_x$  in  $p_y$

## Ekipe socialnih agentov

- Skupina socialnih agentov tvori ekipo, ko
  - Imajo vsi agenti skupni cilj
  - Vsak agent mora prispevati svoj delež pri doseganju skupnega cilja skupine ali podskupine
  - Vsak agent sprejema zahteve za njegov prispevek.