

Porazdeljene inteligentne programske tehnologije

Porazdeljeno reševanje problemov in načrtovanje

Danijel Skočaj
Univerza v Ljubljani
Fakulteta za računalništvo in informatiko

Literatura: MAS, G. Weiss, Poglavje 3

Porazdeljene inteligentne programske tehnologije

Porazdeljeno reševanje problemov

- Distributed problem solving
- Podpodročje Porazdeljene umetne inteligence
- Agenti naj delajo skupaj s ciljem učinkovitega reševanja problemov, ki zahtevajo skupinsko delo

- Porazdeljeni viri:
 - Znanje
 - Zmožnosti
 - Informacije
 - Ekspertiza

- Agent ne zmore sam rešiti problema
- ali ga lahko v skupini zmore rešiti bolje
 - Hitreje
 - Bolj popolno
 - Bolj natančno
 - Bolj gotovo

Porazdeljene inteligentne programske tehnologije, Porazdeljeno reševanje problemov in načrtovanje

2

Koherenca in kompetenca

- Reševanje porazdeljenih problemov zahteva:
 - Koherenco v skupini (agentje želijo delati skupaj)
 - V primeru PRP so agenti načrtovani na ta način
 - **Kompetenco** v skupini (agentje vedo kako delati skupaj)
 - V PRP poudarek na kompetenci


Primeri porazdeljenih problemov

- Načrtovanje avtomobila
 - Splošne zahteve
 - 4 kolesa
 - Zmogljiv motor
 - Ne prevelik motor
 - Mehki sedeži
 - Moderen design
 - Aerodinamična oblika
 - Potovalni računalnik
 - Ustrezati vsem predpisom, itn.
 - Rešitev (načrt avtomobila) mora ustrezati določenim kriterijem (po njem nato avtomobil izdelajo)
 - Zelo heterogen problem
 - Vsak agent se ukvarja z enim (ali večimi) podproblemi
 - Nato se delne rešitve združijo v rešitev celotnega problema
- Nadzorni sistem za nadzor zračnega prometa
- Nadzor proizvodnje
- Krizni management

Porazdeljeno načrtovanje

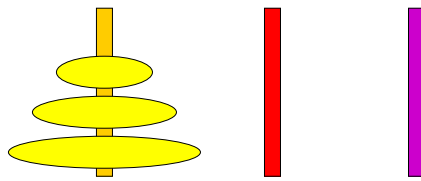
- Agentje v porazdeljenem okolju morajo načrtovati njihovo skupno delo:
 - Razdeliti probleme v podprobleme
 - Si porazdeliti te podprobleme
 - Si izmenjati rešitve teh podproblemov
 - Združiti delne rešitve v skupne rešitve
- Porazdeljeno načrtovanje je zelo povezano s porazdeljenim reševanjem problemov

Primeri porazdeljenih problemov

- Različne motivacije za porazdeljeno reševanje problemov
 - Paralelizem za pospešitev reševanja problema
 - Distribuirane sposobnosti
 - Porazdelitev prepričanj, procesiranja, podatkov,...
 - Porazdelitev rezultatov
- 
- Hanojski stolpi
 - Porazdeljena mreža senzorjev za nadzor premikov vozil na velikem področju
 - Geografsko porazdelitev agentov
 - Porazdelitev zajemanja podatkov
 - Porazdeljeni nadzor premikov vozil
 - Porazdelitev procesiranja, razmišljanja, načrtovanja...
 - Potrebne manj komunikacije
 - Porazdeljena dostava
 - Porazdeljeno načrtovanje (brez enega odpravitelja)
 - Ponovno načrtovanje ob spremembah okoliščin
 - Potrebne manj komunikacije

Hanojski stolpi

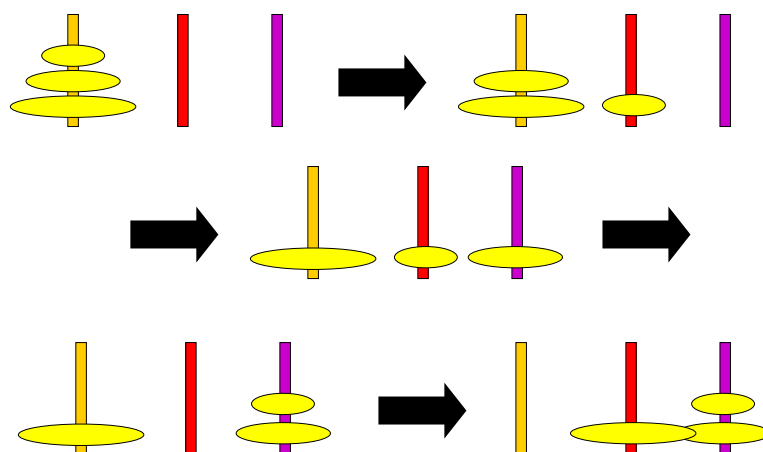
- Problem hanojskih stolpov
 - Imamo 3 palice
 - Na prvi palici je n diskov
 - Vse diske je potrebno prestaviti na drugo palico
 - Naenkrat se lahko prestavi samo en disk
 - Nikoli ne sme biti večji disk položen na manjšega



Porazdeljene inteligentne programske tehnologije, Porazdeljeno reševanje problemov in načrtovanje

7

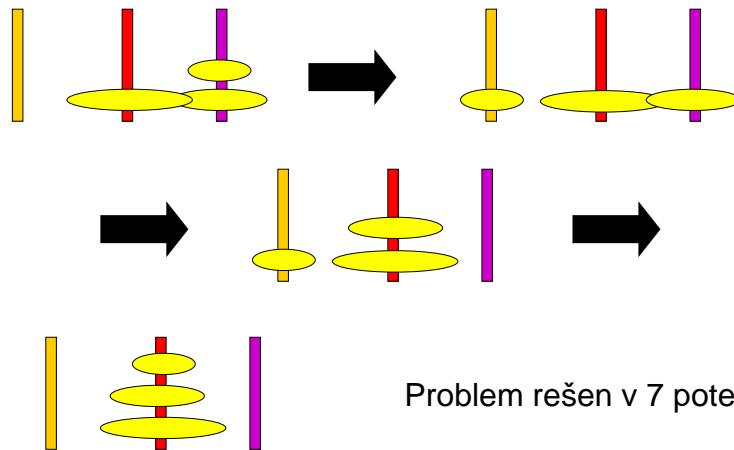
Hanojski stolpi



Porazdeljene inteligentne programske tehnologije, Porazdeljeno reševanje problemov in načrtovanje

8

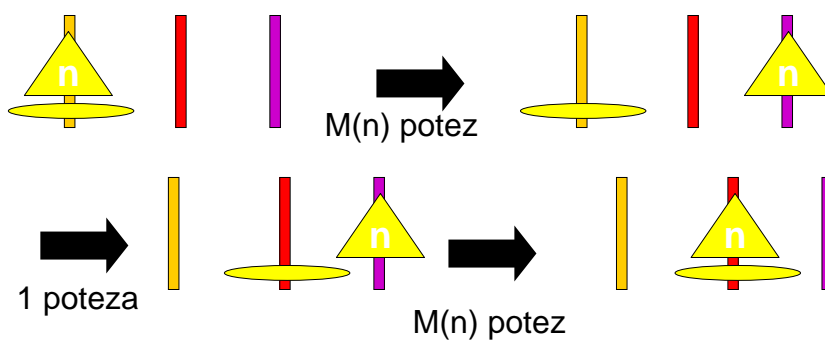
Hanojski stolpi



Problem rešen v 7 potezah.

Hanojski stolpi

Dekompozicija problema z $n+1$ diski:



Skupaj: $M(n+1) = 2 M(n) + 1 = 2^n - 1$

$N=3$: 7 potez

$N=64$: 18.446.744.073.709.551.615 potez (580 bilijonov let)

Delitev nalog

- Strategija za porazdeljeno reševanje problemov
- Task sharing, task passing
- Ideja: ko ima agent veliko nalog, vpokliče na pomoč manj obremenjene agente
- Glavni koraki:
 - Dekompozicija naloge
 - Generiraj množico nalog (podnalog)
 - Dodelitev nalog
 - Dodeli naloge primernim agentom
 - Izvedba nalog
 - Posamezni agenti izvedejo zadane naloge
 - Pri tem lahko tudi naprej razdelijo naloge drugim agentom
 - Sestavi rezultate
 - Agent rezultate svoje naloge posreduje primernemu agentu
 - Rezultate je potrebno sestaviti v končni rezultat

Delitev nalog – Hanojski stolpi

- Dekompozicija naloge
 - Analiza problema
 - Premakni največji disk, ki še ni na končnem položaju
 - Rekurzivna dekompozicija:
 - Preidi v stanje, ko se lahko največji disk premakne
 - Premakni največji disk
 - Reši še za preostale diske
- Dodelitev nalog
 - Naključno določi nalogo enemu od poljubno mnogo razpoložljivih agentov
- Izvedba nalog
 - Rekurzivna dekompozicija se ustavi, ko se nalog ne da deliti naprej
- Sinteza rezultatov
 - Ko agent reši problem, pošlje rezultate naprej
 - Ko prejme rešitve vseh agentov, ki jim je dodelil naloge, rezultate sestavi in pošlje naprej

Hanojski stolpi – časovna kompleksnost

- Problem hanojskih stolpov je optimalen za hierarhično dekompozicijo
- Časovna kompleksnost se drastično zmanjša:
 - Izčrpnem preiskovanju prostora rešitev
 - > polinomska kompleksnost
 - Hierarhična dekompozicija problema
 - > Linearna časovna kompleksnost
 - Vzporedno reševanje podproblemov
 - > Logaritemska časovna kompleksnost
- V primeru naloge, ki je idealna za dekompozicijo, se lahko s paralelizmom reševanje problema zelo izboljša!

Predpostavke

- Ponavadi problemi ne ustrezajo vsem predpostavkam optimalnega problema za dekompozicijo:
 - Vsak podproblem je neodvisen od drugih
 - Hierarhična rešitev najde enako optimalno rešitev kot izčrpano preiskovanje
 - Število abstraktnih nivojev lahko narašča z velikostjo problema
 - Delitev nalog na podnaloge (razmerje med velikostmi nivojev) je optimalno
 - Problem se lahko razdeli v enako velike podprobleme (*In aurea media*)
 - Število razpoložljivih agentov je dovolj veliko (kot je listov v drevesu)
 - Procesi dekompozicije problema, porazdeljevanja podproblemov in zbiranja rezultatov zahtevajo le zanemarljiv čas

Delitev nalog – heterogeni sistemi

- Težko (ali predrago) je zgraditi agente (ali naučiti ljudi), da bi bili kompetentni za reševanje vseh problemov
- Po potrebi se poveže kompetentne specialiste za posamezna področja in kombinira njihove ekspertize za rešitev kompleksnih problemov
- Ko so kompetence agentov različne, dodeljevanje nalog ni trivialno

- Tabela s kompetencami agentov
- Dinamično dodeljevanje nalog s komunikacijo (kateri agenti so na razpolago, itn.)

Pogodbene mreže

- Razdeljevanje nalog po principu pogodbenih mrež
 - Neposredne pogodbe (manager se obrne neposredno na želenega pogodbenika)
 - Usmerjeno naslavljanje (manager sporoči podnaloge skupini izbranih potencialnih pogodbenikov)
- Manager zbere ponudbe in nato izbere pogodbenike
- Problem nastane, če nobeden od agentov ni na razpolago

Razširjeno naslavljanje

- Manager mogoče ne pozna vseh potencialnih pogodbenikov (njegova tabela ni popolna)
- Manager lahko objavi naloge širši množici agentov (tudi tistim za katere še ne ve)
- Neposredno in usmerjeno naslavljanje se uporablja kot "predpomnilnik":
 - za pohitritev sklepanja pogodb
 - Za zmanjšanje potrebne komunikacije
- Tabela sposobnosti agentov se dinamično posodablja

Ponovni poizkus

- Če nobeden agent ni na voljo, lahko manager počaka, nato pa ponovno pošlje poziv
- Časovni presledek med posameznimi poskusi
 - Ne sme biti predolg (se zapravljajo njegovi resursi)
 - Ne sme biti prekratek (preveč komunikacije)
- Lahko se obrne protokol na glavo:
 - Potencialni pogodbeniki objavijo njihovo razpoložljivost
 - Manager po prejemu takšnega obvestila pošlje ponudbo
- Sistem lahko tako iterira med objavami za
 - Naloge in
 - Razpoložljivost

Revizija objave

- Manager pošlje potencialnim pogodbenikom v objavi nalog tudi specifikacijo primernosti za izvedbo
- Mogoče je ta specifikacija preveč omejujoča, zato jo lahko nato sprosti
- V specifikaciji se lahko navedejo managerjeve preference glede pogodbenikov
- Manager se lahko s tem odloči
 - Da bo (lahko dolgo) čakal na optimalnega pogodbenika
 - Da bo (čimprej) sklenil pogodbo s suboptimalnim pogodbenikom

Alternativne dekompozicije

- Manager lahko poizkusiti razgraditi problem na drugi način, tako da bodo na voljo agent za rešev na novo nastalih podproblemov
- Manager lahko najprej preveri razpoložljivost agentov in nato na tej osnovi razgradi problem

Delitev nalog – porazdeljena mreža senzorjev

- Vsak agent dobi za nalogo nadzor določenega geografskega dela ozemlja
- Agent ima potrebno znanje, vendar ne more zaznati celotnega območja (samo lokalno)
- Agent mora spoznati, da ne more sam rešiti celotne naloge, ampak, da mora zato vpoklicati na pomoč druge agente
- Razstavi nalogo, objavi podnaloge, izbere pogodbenika...

- **Objava naloge:**
 - Specifikacija primernosti za izvedbo
 - Primerni agenti morajo biti locirani na pravem mestu in morajo imeti primerne senzorje
 - Kratek opis naloge
 - Agent oceni, če je zanj zanimiva
 - Specifikacija ponudbe
 - Agent sestavi ponudbo po tej specifikaciji

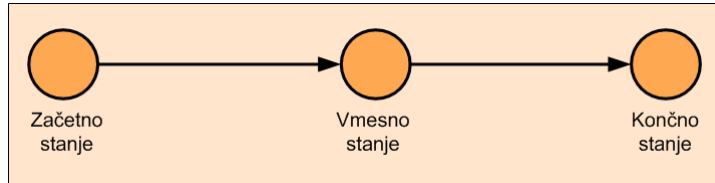
Delitev nalog – porazdeljena mreža senzorjev

- Če manager ne dobi nobene ponudbe:
 - Lahko odneha (ne reši naloge)
 - Lahko ponovno poizkusi (po določenem času)
 - Lahko naslovi širši krog agentov
 - Lahko zmanjša kriterije za primernost agentov
 - Poveča zahtevano območje
 - Zmanjša zahtevano ločljivost
 - Zmanjša zahtevano hitrost kamere (framerate)
 - Lahko razstavi nalogo drugače
- Manager lahko tudi dobi ponudbe, ki zanj niso sprejemljive

- Če manager dobi eno ali več sprejemljivih ponudb:
 - Lahko dodeli nalogo enemu (ali večim) agentom
- Pošiljanje in sprejemanje ponudb je prostovoljno
- Ekipe se izoblikujejo skozi medsebojno selekcijo

Delitev nalog pri neodvisnih nalogah

- Naloge, ki nas pripeljejo iz enega stanja v drugo so neodvisne



- Te naloge se lahko neodvisno in vzporedno izvajajo
- Za končno sintezo rezultatov moramo samo počakati, da se izvedejo vse podnaloge

Delitev nalog pri odvisnih nalogah

- Ponavadi so naloge vsaj deloma odvisne
- Agent, ki mora izvesti nalogo, ki je odvisna od drugih mora počakati, da drugi agenti prej izvršijo svoje (pod)naloge
 - Načrtovanje procesa proizvodnje mora počakati na zaključek izdelave načrta izdelka
 - Načrtovanje se lahko začne prej ob določenih predpostavkah glede na napredek odvisne naloge
- Velikokrat se odvisnost pojavi med samim izvajanjem in ne pri dekompoziciji nalog
 - Pri nadzoru vozil se a odvisnost spreminja glede na premike vozil skozi različna področja
 - Porazdelitev nalog za pokritje področja s senzorji je lažja kot porazdelitev nalog za njegovo uporabo (nadziranje prometa)

Delitev rezultatov

- Različni agenti lahko rešijo nalogo na različne načine
- Z delitvijo rezultatov lahko skupine agentov izboljšajo rezultate:
 - Zaupanje
 - S primerjanjem različnih rezultatov se lahko poveča zaupanje v končni rezultat
 - Popolnost
 - Agenti pokrivajo vsak svoj del naloge, skupna rešitev je precej bolj popolna
 - Zemljevid združen iz lokalnih zemljevidov
 - Natančnost
 - Rešitev drugega agenta lahko pomaga pri povečanju natančnosti rešitve dane naloge
 - Časovni vidik
 - Četudi bi lahko agent rešil nalogo sam, lahko z upoštevanjem rezultatov drugih naloge reši precej hitreje
- Prednosti so jasne – kako delitev rezultatov realizirati?
 - Kaj narediti z deljenimi rezultati
 - Kaj izmenjavati

Funkcionalno natančno sodelovanje

- V primeru hanojskih stolpov so vse podnaloge natančno rešene
- V primeru porazdeljenega nadzora vozil ima vsak agent le delno informacijo o svetu
 - Precej zanesljivo informacijo o svoji ožji lokaciji
 - Manj zanesljivo informacijo o svoji širši lokaciji
 - Nima informacije o preostanku sveta
- Te delne rešitve je potrebno združiti
 - Kreirati je potrebno redundantne poizkusne rezultate
 - Jih na pravi način združiti
- Funkcionalno natančno sodel. (Functionally Accurate Cooperation)
- Funkcionalna natančnost
 - Dobi odgovor (mogoče na začetku napačen)
- Sodelovanje
 - Zahteva iterativno izmenjavo rezultatov

Funkcionalno natančno sodelovanje

- Rezultati, ki jih proizvedejo agenti, se smatrajo kot poizkusni, začasni – hipoteze
- Šele, ko se soočijo z rezultati ostalih, se sprejmejo kot pravi
- Izmenjava poizkusnih delnih rezultatov vpliva na
 - Popolnost
 - Natančnost
 - Zaupanje
- Predstavitve rezultatov morajo omogočati takšno kombiniranje rezultatov
- Skozi iteracije naj bi se rezultati izboljševali
- Če je komunikacije (izmenjevanja rezultatov) preveč, lahko pride do odvrčanja od pravih problemov (vsi agenti se ukvarjajo z istimi (ne najbolj pomembnimi) podproblemi)

Deljeni repozitoriji

- Namesto kopice sporočil poslanim večim naslovnikom uporabljamo en skupni repozitorij
- Sistemi s tablo
- Porazdeljen problem zadovoljevanja omejitev (distributed constraint satisfaction problem – DCSP), razen:
 - Agenti ne vedo čigave omejitve se lahko spremenijo zaradi njihovega načrta
 - > uporaba skupnega repozitorija
 - Agenti lahko po potrebi (v stiski) sprostijo omejitve
 - Agenti lahko vsak trenutek izbirajo med
 - Izboljšanjem nekaterih rešitev
 - Zavrnitvijo nekaterih rešitev
 - Zmanjšanjem zahtev (nekatero prej nesprejemljive rešitve postanejo sprejemljive)

Iskanje s pogajanjem

- Negotiated search
- Operatorji za izboljšanje porazdeljeno reševanje problemov:
 - **Initiate-solution** : predlagaj novi začetek gradnje rešitve
 - **Extend-solution** : izboljšaj že obstoječo rešitev
 - **Critique -solution** : komentiraj že obstoječo delno rešitev
 - **Relax-solution-requirement** : spremeni lokalne zahteve za sprejem rešitve
- Agent mora ob vsakem času izbrati kateri operator bo uporabil
 - Sistematično preiskovanje po prostoru rešitev
 - Hevristično iskanje
 - Npr. uporabiti **Relax-solution-requirement**, ko je napredek premajhen
 - Katere zahteve omiliti,...

Porazdeljeno hevristično iskanje z omejitvami

- Problemi pri DCSP nastanejo tudi zaradi tekmovanja za vire
- Vsakemu viru je dodeljen en agent, in drugi agenti dobivajo rezultate preko tega agenta
- Dva pristopa:
 - Tržno usmerjeno programiranje (market-oriented programming)
 - z viri so asocirane dražbe, ki zagotavljajo ravnovesje med dodeljenimi viri
 - Viri izračunajo svoje skupne zahteve, ki jih nato upoštevajo agenti, ki tekmujejo za njih

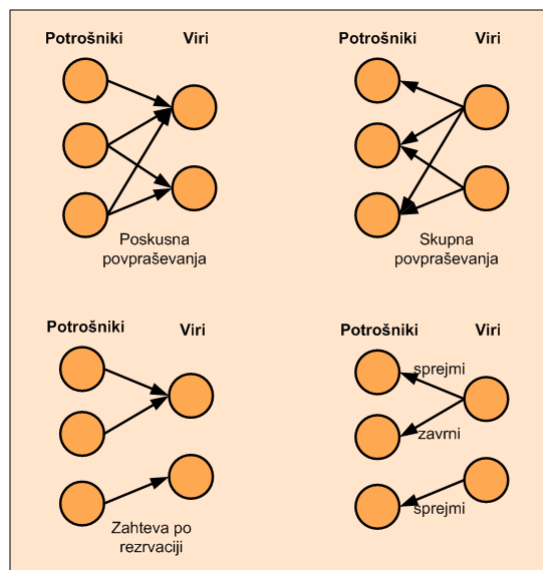
Porazdeljeno hevristično iskanje z omejitvami

- Distributed constrained heuristic search (DCHS):
 1. Agent začne z definiranjem stanja problema, z dekompozicijo problema (definira naloge, razmerja med njimi, vključno z omejitvami)
 2. Agent propagira omejitve v njegovem stanju problema
 1. Detektira nekonsistence
 2. Določi kakšni viri so potrebni in kdaj ter naredi profil povpraševanja za temi viri
 3. Sistem pošlj te profile virom (na začetku ali ob spremembah)
 4. Vir izračuna skupno povpraševanje in o tem obvesti agente
 5. Agent uporabi ta skupna povpraševanja za spremembo njegovih želja – izbere preferenčen vir-čas.interval-akcijo
 6. Agent zahteva od vira rezervacijo izbranega čas. Intervala
 7. Vir postopoma
 1. odobri rezervacijo, če je možno, in spremeni svoj urnik razpoložljivosti
 2. Zavrne zahtevo, če ta ni možna
 8. Agent obdela odgovor vira:
 1. Če je rezervacija sprejeta gre na korak 2 (popravi svoje stanje)
 2. Če ni sprejeta poskusi s ponovno rezervacijo (gre na korak 6)

Porazdeljene inteligentne programske tehnologije, Porazdeljeno reševanje problemov in načrtovanje

31

Porazdeljeno hevristično iskanje z omejitvami



Porazdeljene inteligentne programske tehnologije, Porazdeljeno reševanje problemov in načrtovanje

32

Organizacijske strukture

- Smiselno je zmanjšati komunikacijo, jo omejiti samo na potrebno
 - Komunicirajo naj agenti, za katere je ta komunikacija pomembna
 - Dekompozicijska struktura naj omogoča določanje takšnih kanalov (parov agentov)
 - Npr.,
 - V primeru nadzora prometa naj se vzpostavi komunikacija med agentoma, ki prekrivata sorodno območje, ki ga prečka avtomobil
- Organizacijska struktura
 - Definira, vloge, odgovornosti in preference agentov v združbi sodelujočih agentov
 - Definira nadzor in komunikacijski vzorec med njim
 - Za vsakega agenta določi naloge, ki jih lahko opravi, ter prioritetni vrstni red med njimi
 - Določa kateri agent naj komu kaj sporoči (delne rezultate)
 - Določa koliko naj agent upošteva dobljene delne rezultate

Organizacijske strukture

- Organizacijska struktura mora biti globalno koherentna
- Lokalno mora samo vsak agent zase skrbeti za predpisane naloge
 - Kaj naj kdaj naredi
 - Komu naj kaj pošlje
 - Od koga naj sprejme informacijo
 - Kako naj upošteva to informacijo
- Organizacijske strukture so ponavadi implementirane v obliki pravil vzorec-odgovor
- Dva pristopa pri načrtovanju organizacijske strukture:
 - Od spodaj navzgor: meje med vlogami agentov se lahko premikajo med samim delovanjem in reševanjem problema, da se poveča učinkovitost
 - Od zgoraj navzdol: prostor alternativnih struktur se razišče in evaluiira že pred implementacijo

Komunikacijske strategije

- Organizacijske strategije zagotavljajo statične informacije
- Upoštevati je potrebno tudi časovno komponento
 - Agent mora poslati informacijo drugemu agentu, ko ga ta zanima
- Dva ekstrema:
 - Pošiljati vse delne rezultate
 - prejemnik potem oceni, če jih potrebuje ali ne
 - Zahteva veliko komunikacije
 - Zapolni pomnilnik
 - Pošiljati samo (lokalno) popolne končne rezultate
 - Prejemnik ni obveščen o tekočem dogajanju
 - Prejemnik se že prej lahko zadovolji že z nedokončnimi rezultati
- Vmesne rešitve:
 - Pošlje se krajši delni rezultat zelo zgodaj

Komunikacijske strategije

- Rezultate lahko agenti pošiljajo drugim prostovoljno
 - Če je več potencialno zanimivih rezultatov kot dejansko proizvedenih rezultatov
 - Zakasnitve so manjše
 - Lahko povzroči odvečno komunikacijo
- Rezultate lahko pošiljajo agenti na zahtevo
 - Če je zgeneriranih rezultatov veliko več kot jih je dejansko potrebnih
 - Zakasnitve so enkrat daljše
- Zanesljivost komunikacije
 - Agent lahko zahteva potrditev sprejema
 - Dodatna obremenitev komunikacijskih poti
 - Agent poizkusi ugotoviti ali je prejemnik prejel njegovo sporočilo z opazovanjem njegovega odziva
 - Težje izvedljivo

Strukture nalog

- V opisu naloge nekega agenta lahko predvidimo učinke rezultatov te naloge
 - Rešitev je potrebna za rešitev druge naloge
 - Rešitev izboljša aktivnosti sprejemnika
- Takšna eksplicitna struktura nalog omogoča lažjo uporabo različnih komunikacijskih mehanizmov
 - Nek agent lahko da višje na svojo prioriteto listo nalogo, ki je zelo potrebna za nekega drugega agenta
 - Lahko mu pošlje rešitev, ko je ta ravno dovolj natančna
- Statične organizacijske strukture in strukture nalog imajo evidentne omejitve
 - Za bolj kompleksne probleme je morajo agent analizirati trenutno stanje in načrtovati načrte za interakcijo za vnaprej

Porazdeljeno načrtovanje

- Porazdeljeno načrtovanje: porazdeljeno reševanje problemov, kjer je problem narediti načrt
- Porazdeljeno načrtovanje:
 - Načrt je porazdeljen med več sistemov
 - Porazdeljeno načrtovanje sistema

	Centraliziran načrt	Porazdeljen načrt
Centralizirano načrtovanje		
Porazdeljeno načrtovanje		

Central. načrtovanje za porazdeljene načrte

- Deloma urejeni načrti (partial order plans)
- Centralizirani koordinator (načrtovalec za deloma urejena načrte) razbije načrt v vzporedne niti z sinhronizacijo med njimi:
 - Vhod: opis cilja, množica operatorjev, opis začetnega stanja -> Poišči delno urejeni načrt (s čim manj odvisnostmi)
 - Razstavi načrt v podnačrte
Urejene aktivnosti naj se ohranijo znotraj podnačrtov
 - Dodaj sinhronizacijske (komunikacijske) aktivnosti v podnačrte
 - Dodeli podnačrte posameznim agentom
 - V primeru neuspeha se vrni na prejšnje korake
 - Razstavi načrt na drugačen način
 - Generiraj drugačen deloma urejen načrt
 - V primeru uspeha
 - Dodaj še ostale pomembne povezave v podnačrte (imena agentov ipd.)
 - Inicializiraj aktivnosti za izvrševanje načrta
 - Spremljaj izvajanje (sestavi odzive agentov, itn.)

Central. načrtovanje za porazdeljene načrte

- Dodeljevanje nalog: razgradi-dodeli-izvrši-sestavi tehnika
- Cilj: Najti načrt, ki je najbolj razgradljiv in se da najbolj učinkovito porazdeliti
- Problem: razpoložljivost agentov ponavadi ni znana v naprej
- Komunikacija (komunikacijski kanal) igra zelo veliko vlogo:
 - Pri rahlo povezanih agentih (ali ozkih komunikacijskih analih): rahla dekompozicija, malo velikih podnalog
 - Pri krepko poezanih agentih (z deljenim pomnilnikom): krepka dekompozicija, visoka paralelizacija

Porazdeljeno načrtovanje za centraliz. načrte

- Sestavljanje zahtevnih kompleksnih načrtov v skupini sodelujočih načrtovalcev specialistov
- Proces načrtovanja porazdeljen, vsak specialist zgradi del načrta
- Delitev (skupna raba) nalog:
 - Celoten načrt se razstavi in porazdeli specialistom
 - Vsak specialist zgradi svoj del načrta
 - Načrt se postopoma izpolnjuje in posreduje naprej
- Delitev (skupna raba) rezultatov:
 - Načrtovalni agentje generirajo vzporedno delne načrte
 - Nato si izmenjujejo in sestavljajo te podnačrte v enovit načrt

Porazdeljeno načrtovanje za porazd. načrte

- Porazdeljeni so tako načrtovalni proces kot tudi proizvedeni načrt
- Ni potrebno imeti sestavljenega celotnega načrta skupaj kjerkoli v sistemu
- Porazdeljeni deli načrta morajo biti kompatibilni
 - Ne sme biti konfliktov med njimi
 - Morajo si eden drugemu pomagati
- Različni pristopi
 - Sestavljanje načrtov
 - Iterativno izdelovanje načrtov
 - Izdelovanje načrtov s pogajanji

Sestavljanje načrtov

- Vsak agent sestavi svoj individualni načrt, nato morajo zagotoviti, da se lahko vsi načrti skupaj izvedejo brez konfliktov
- Glavni cilj/problem: identifikacija in reševanje konfliktov
- Vsak agent zgradi popolnoma urejen načrt
- Poišče se pare akcij med agenti, ki so komutativne (se lahko izvedejo v obeh vrstnih redih)
- Takšne akcije s opusti iz analize -> načrti agentov se bistveno skrajšajo
- Konfliktne situacije in njihovo reševanje se išče samo na preostalih akcijah (ki jih je lahko zelo malo)
 - Preišče se vse možne kombinacije akcij
- Pri nevarnih interakcijah med akcijami
 - Se dodajo sinhronizacijske akcije (ki ustavijo izvajanje določenih akcij za čas, ko so v konfliktu z drugimi)

Sestavljanje načrtov

- Načrti so lahko sinhronizirani
 - Glede na akcije, na iztek določenih dogodkov (preko komunikacije)
 - Glede na čas, na določene roke
- Časovni roki za izdelavo posameznih delov
 - V okviru teh rokov so lahko načrti precej neodvisni
 - Koordinacija med načrti mora torej najti ustrezne roke

Iterativno izdelovanje načrtov

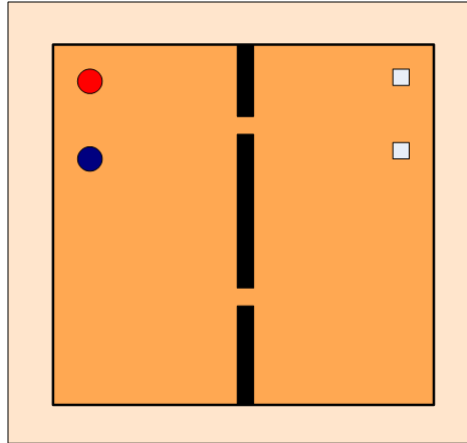
- Problemi pri sestavljanju načrtov nastanejo zaradi odvisnosti med akcijami
=> pri načrtovanju lokalnega načrta je dobro upoštevati tudi globalne omejitve, omejitve drugih agentov, odvisnosti med posameznimi akcijami
- Vsak posamezen agent naj ne proizvede samo enega načrta (ki se potem kombinirajo ampak vse možne načrte, ki vodijo do izpolnitve njegovega cilja
- Porazdeljen načrtovalski proces nato poišče med temi množicami načrtov, takšno kombinacijo načrtov, ki sodijo skupaj

Iterativno izdelovanje načrtov

- Iskanje kombinacij načrtov
 - Začni z množico vseh možnih načrtov
 - Postopoma zmanjšuj to množico in konvergiraj k optimalnemu načrtu
- Porazdeljeno hierarhično načrtovanje
 - Agenti hierarhične razdelajo načrte
 - Nato jih nadaljujejo razčlenovati v vedno bolj delajlne nivoje
 - Hierarhično iskanje po prostoru obnašanj (hierarchical behavior-space search)
 - Vsak agent predstavi svoje obnašanje na različnih nivojih abstrakcije
 - Če se lahko konflikt reši na višjih abstraktnih nivojih se reši
 - Krajše iskanje rešitve
 - Manj sporočanja
 - Možne so nepotrebne omejitve na nižjih nivojih
 - Dolgoročne, enostavne, lahko neučinkovite odločitve
 - Če ne, se posreduje naprej na nižji nivo in se poskuša rešiti tam
 - Manj nepotrebni omejitvi
 - Več komunikacije
 - Bolj odzivne, relno-časovne komunikacijske odločitve

Primer

- Primer hierarhičnega iskanja po prostoru obnašanj
- Porazdeljeno načrtovanje raznašanja



Pogajanja v porazdeljenem načrtovanju

- Ko se ugotovi konflikt med načrti – kateri izmed agentov bo spremenil svoj načrt?
- Možen pristop: pogajanja
- Primer: smeri poletov letal
 - letali, ki letita proti isti točki navedeta svoje alternativne smeri
 - Letalo, ki ima več alternativnih možnosti, spremeni smer

Predstavitve porazdeljenih načrtov

- Predstavitve načrtov, znanja, mnenj, akcij, pogojev, povpraševanj,...
- Agenti se morajo razumeti med seboj, govoriti morajo isti jezik
- Na višjem nivoju: razumeti namen komunikacije
- Na nižjem nivoju: razumeti vsebino komunikacije
- Pogosto odvisno od domene problema

Porazdeljeno načrtovanje in izvajanje

- Načrt se naredi z namenom, da bo tudi izveden
- Odnos med načrtovanjem in izvajanjem je zelo kompleksen (spremljanje izvajanja, ugotavljanje napak in nesreč, ponovno načrtovanje, ipd.)
- Ta odnos je v porazdeljenem načrtovanju še kompleksnejši
- Več strategij za kombiniranje koordinacije, načrtovanja in izvajanja

Koordinacija po načrtovanju

- Postopek združevanja načrtov:
 - Načrtuj
 - koordiniraj načrte
 - Izvedi
- Če med izvajanjem spodleti en načrt, spodleti načrt v celoti
- Načrtovanje z različnimi možnostmi (contingency planning)
 - Agent poleg osnovnega načrta naredi še alternativne načrte za različne možnosti do katerih lahko pride med izvajanjem (več vej)
 - Združiti in koordinirati je sedaj potrebno celotne načrte (vključno z vejami)
 - Označi možnosti s pogoji in koordiniraj samo načrte (dele načrtov) z neizključujočimi pogoji

Koordinacija po načrtovanju

- Spremljanje in ponovno načrtovanje
 - Vsak agent spremlja izvrševanje svojega načrta
 - Če pride do odstopanja od načrta se zaustavi izvajanje načrtov vseh agentov in se ponovi celoten cikel načrtovanja, koordiniranja in izvajanja načrtov
 - Če je to pogosto, je zelo drago
 - Popravljanje načrtov, uporaba ponovno uporabljivih načrtov
- Zaželeno je, da se lahko odstopanje od načrta popravi lokalno
 - Načrt se zgradi na visokem abstraktnem nivoju
 - Popravki se nato delajo na nižjih nivojih in ne globalno vplivajo na višje abstrakcijske nivoje

Koordinacija pred načrtovanjem

- Še preden agenti začnejo načrtovati se lahko dogovorijo (koordinirajo) dovoljenih aktivnostih, tako da med izvajanjem načrtov ne pride do konfliktov
- Socialna pravila
 - Socialno pravilo je prepoved določenih izbir akcij v določenih kontekstih
 - Določi se "prepovedana stanja", nato se ugotovi katere akcije (oz. kombinacije akcij) lahko privedejo do teh stanj in se jih prepove

Prepleteno načrtovanje, koordinacija in izvajanje

- Koordinacija
 - pred načrtovanje: agenti imajo popolne načrte, ki jih koordinirajo
 - po načrtovanju: načrtovanje vodijo skupna pravila, ki poskrbijo za koordinacijo
 - Vmesna možnost: načrtovanje in koordinacija sta prepletene
 - Načrtovanje in koordinacija se iterativno izvajata, nadzorujeta in popravljata

Delno globalno načrtovanje

- Partial Global Planning
- Načrtovanje in koordinacija sta prepletena
- Dekompozicija naloge
 - Naloge se da razgraditi na podnaloge
 - Agent na začetku ne pozna drugih agentov in ne ve kakšne naloge imajo oni
 - Cilj komunikacije je postopoma zgraditi to zavedanje in se uskladiti, da se lahko izvedejo zahtevane naloge
- Formulacija lokalnega načrta
 - Agent mora razumeti kakšne cilje naj bi dosegel in s kakšnimi akcijami
 - Lokalni načrti so pogosto nezanesljivi, z različnimi vejami in alternativnimi akcijami

Delno globalno načrtovanje

- Abstrakcija lokalnega načrta
 - Podrobnosti načrta kako se odzvati v različnih situacijah so pomembne za agenta, so pa lahko precej nepomembne s stališča komunikacije z drugimi
 - Agenti identificirajo čim večje korake v načrtu, ki bi lahko bili zanimivi za ostale
 - Ostale korake v komunikaciji navzven abstrahirajo
- Komunikacija
 - Agenti morajo komunicirati o svojih načrtih, da bi lahko zgradili skupne načrte
 - MLO (Meta-Lever Organization) določa informacije in pretok nadzora med agenti
 - Kdo mora poznati načrte določenega agenta
 - Kdo lahko določi nove načrt, ipd.

Delno globalno načrtovanje

- Določanje delnega globalnega cilja
 - Izmenjava lokalnih načrtov omogoča agentom, da lahko identificirajo kdaj se lahko določeni lokalni cilji smatrajo kot podcilji enega globalnega cilja
 - Tako so lahko znani samo deli globalnega cilja
 - Problem interpretacije: iz množice komponent (lokalnih ciljev) zgradi globalno interpretacijo (globalni cilj)
- Gradnja in popravljanje delnega globalnega načrta
 - Delni načrti se združujejo v delni globalni načrt (ki teži k izpolnitvi delnega globalnega cilja)
 - Analiza vzporednih aktivnosti omogoča izboljšave načrta:
 - Olajša se doseganje ciljev drugih agentov s tem, da se večjo prioriteto da nalogam, ki jih potrebujejo tudi drugi
 - Izogibati se je potrebno redundantnim nalogam
 - Temu ustrezno se spremeni vrstni red nalog

Delno globalno načrtovanje

- Načrtovanje komunikacije
 - Načrtuje se interakcije med agenti (komunikacija rezultatov nalog)
 - Glede na delni lokalni načrt, agent lahko ve kdo mu lahko kdaj priskrbi kakšne rezultate in ustrezno temu načrtuje komunikacijo s tem agentom
 - Če je potrebna sinteza rezultatov za to poskrbi en agent in sestavi delne rezultate v skupni rezultat
- Izvrševanje delnih globalnih načrtov
 - Glede na izgrajen delni globalni načrt (in preureditve akcij), se popravijo lokalni načrti
 - Popravijo se abstraktne predstavitve lokalnih načrtov
 - Te predstavitve se nato uporabijo za določanje konkretnih akcij, ki sledijo

Delno globalno načrtovanje

- Sprotno spreminjanje načrta
 - Aktivnosti agentov ali spremembe v okolju lahko zahtevajo spremembe načrtov
 - Če so te zahteve manjše, ne vplivajo na abstraktni nivo načrta, tako da stane koordinacija nespremenjena
 - Če so zahteve večje, je o tem potrebno obvestiti ostale agente
 - Kako ugotoviti kako pomembne so spremembe v lokalnih načrtih, da je potrebna komunikacija in ponovna koordinacija?
- Ponovno dodeljevanje nalog
 - Po začetni delitvi nalog so lahko nekateri agenti zelo obremenjeni, nekateri pa podobremenjeni
 - Pri izmenjavi abstraktnih načrtov nek agent lahko ve kako obremenjeni so drugi agenti
 - Agent lahko predlaga nov delni globalni načrt pri čemer predvidi, da bo del svojih nalog opravil drugi agent
 - Drugi agent lahko ta predlog sprejme ali predlaga drugačen delni načrt
 - Na ta način lahko pride do prerazporeditve nalog

Delno globalno načrtovanje

- Delno globalno načrtovanje je še posebej primerno v aplikacijah, ki tolerirajo določeno mero nekoordiniranih aktivnosti
- Lokalni načrti se neprestano osvežujejo (lahko niti nikoli nimamo množice stabilnih lokalnih načrtov)
- Dinamično osveževanje načrtov na učinkovit način v nepredvidljivem svetu
- (ne pa optimizacija načrtov za statična in predvidljiva okolja)

Sprotna koordinacija načrtov brez komunikacije

- Včasih agenti ne morejo (ali ne smejo) komunicirati informacije svojih načrtih
- Koordinacija brez eksplicitne komunikacije:
 - Agentje razpoznajo načrte drugih z opazovanjem njihovega delovanja
 - Agentje razpoznavajo namene drugih agentov pri čemer se naslanjajo na njihovo racionalnost ali na njihov pogled