

Porazdeljene inteligentne programske tehnologije

Porazdeljeno odločanje

Danijel Skočaj
Univerza v Ljubljani
Fakulteta za računalništvo in informatiko

Literatura: MAS, G. Weiss, Poglavlje 5

Porazdeljene inteligentne programske tehnologije

Porazdeljeno odločanje

- Agenti delajo skupaj a imajo različne cilje
- Vsak agent skuša maksimizirati svoje koristi (ne glede na skupno dobro)
- Vsi agenti upoštevajo skupni interakcijski protokol, a vsak ima svojo strategijo delovanja
- "Sebični" agentje
- Protokoli morajo upoštevati nekooperativnost
- Protokol zagotavlja, da je za vsakega agenta najboljša njegova zelena lokalna strategija – zato jo uporablja
- Agenti so si tekmeči, tekmujejo med seboj
- Različne agente lahko naredijo različni razvijalci

Porazdeljene inteligentne programske tehnologije, Porazdeljeno odločanje

2

Evaluacijski kriteriji

- Protokoli (mehanizmi) za pogajanja (dogovarjanja) se lahko ocenijo glede na različne kriterije:
 - Socialna blaginja (Social welfare)
 - Pareto učinkovitost (Pareto efficiency)
 - Individualna racionalnost (Individual rationality)
 - Stabilnost (Stability)
 - Računska učinkovitost (Computational Efficiency)
 - Porazdeljenost in komunikacijska učinkovitost (Distribution and Communication Efficiency)

Evaluacijski kriteriji

- Socialna blaginja (social welfare)
 - Vsota koristi vseh agentov v dani rešitvi
 - Meri globalno skupno dobro agentov
 - Primerja se alternativne mehanizme s primerjanjem rešitev do katerih vodijo ti mehanizmi
- Pareto učinkovitost (Pareto efficiency)
 - Globalni kriterij
 - Rešitev x je Pareto učinkovit, če ne obstaja nobena rešitev x' v kateri je vsaj en agent na boljšem kot v x in noben agent ni v x' na slabšem kot v x .
- Individualna racionalnost (Individual rationality)
 - Sodelovanje v pogajanjih je za agenta individualno racionalno, če izpogajana rešitev ni slabša kot, če agent ne bi sodeloval v pogajanjih
 - Mehanizem je individualno racionalen, če je sodelovanje v pogajanjih individualno racionalno za vse agente

Evaluacijski kriteriji

- Stabilnost (Stability)
 - Mehanizem mora biti stabilen, mora motivirati (sebične) agente, da se obnašajo kot je treba (in ne kot bi njim najbolj odgovarjalo)
 - *Dominantna strategija* zagotavlja najboljše rezultate, ne glede na strategije drugih agentov (včasih jo lahko postavimo)
 - *Nashovo ravnotežje* upošteva strategije drugih – vsak agent izbere strategijo, ki je najboljši odgovor na strategije drugih agentov
- Računska učinkovitost (Computational Efficiency)
 - Zaželjena je velika računsko učinkovitost
- Porazdeljenost in komunikacijska učinkovitost (Distribution and Communication Efficiency)
 - Zaželjena je porazdeljenost in čim manj potrebne komunikacije

Glasovanje

- Vsi agenti glasujejo (prispevajo svoj delež na vходу v mehanizem)
- Mehanizem nato izbere na osnovi vseh glasov rešitev
- Vsi agenti nato upoštevajo to rešitev

- Glasovanje naj bi na fer način pretvorilo volje posameznih agentov v skupno voljo

- A – množica agentov
- O – množica možnih rešitev
- \succsim_i – preferenčna relacija med dvema možnostma za agenta i
- \succsim^* – socialna (skupna) preferenčna relacija
- Mehanizem (glasovanje) pretvori preferenčne relacije agentov $(\succsim_1, \succsim_2, \dots, \succsim_{|A|})$ v skupno socialno preferenčno relacijo \succsim^*

Arrow teorem

- Šest želenih lastnosti za skupno izbiro:
 1. Socialna preferenčna urejenost \succ^* naj obstaja za vse možne vhode (individualne preference)
 2. \succ^* naj bo definirana za vsak par izbir o, o' iz O
 3. \succ^* naj bo asimetrična in tranzitivna po O
 4. Rezultat naj bo Pareto učinkovit:
če za $\forall i \in A$, $o \succ_i o'$, potem $o \succ^* o'$.
 5. Shema naj bo neodvisna od nerelevantnih sprememb.
Nepomembne spremembe (nove možnosti) naj ne vplivajo na izid glasovanja.
 6. Noben agent ne sme biti diktator in s silo uveljavljati svoje preference drugim agentom.
- Arrow teorem: Nobeno pravilo ne more ugoditi vsem šestim željam.

Množinski protokol

- Plurality protocol
- "navadna večina"
- Vsak agent glasuje za eno izbiro, zmaga tista, ki je dobila največ glasov
- Rezultat je zelo odvisen od irelevantnih alternativ

Kandidat	1. krog		2. krog	
	Glasov	%	Glasov	%
Lojze Peterle (neodvisen, podpora NSi, SDS in SLS)	283,412	28.73	312,012	31.74
Danilo Türk (neodvisen, podpora SD, DeSUS in AS)	241,349	24.47	671,018	68.26
Mitja Gaspari (neodvisen, podpora LDS)	237,632	24.09		
Zmago Jelinčič Plemeniti (SNS)	188,951	19.16		
Darko Krajnc (Stranka mladih Slovenije)	21,526	2.18		
Elena Pečarič (neodvisna, podpora stranke Akacije)	8,830	0.89		
Monika Piberl (Glas žensk)	4,729	0.48		

Množinski protokol

- Primer z ameriških volitev 2000:

X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇
Bush	Bush	Bush	Gore	Gore	Nader	Buchanan
Buchanan	Nader	Nader	Bush	Nader	Gore	Nader
Nader	Gore	Buchanan	Buchanan	Bush	Bush	Gore
Gore	Buchanan	Gore	Nader	Buchanan	Buchanan	Bush

Rezultati:

- Bush: 3
- Gore: 2
- Nader: 1
- Buchanan: 1

Za drugo mesto:

- Nader: 3
- Gore: 2
- Buchanan: 2

Binarni protokol

- “turnirski sistem”
- Alternative se obravnavajo v parih, zmagovalec gre naprej
- Rezultat je odvisen od irelevantnih alternativ
- Rezultat je tudi odvisen od agende – v kakšnem vrstnem redu se vršijo primerjave
- Lahko vodi do Pareto neučinkovit rešitve

Binarni protokol

X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇
Bush	Bush	Bush	Gore	Gore	Nader	Buchanan
Buchanan	Nader	Nader	Bush	Nader	Gore	Nader
Nader	Gore	Buchanan	Buchanan	Bush	Bush	Gore
Gore	Buchanan	Gore	Nader	Buchanan	Buchanan	Bush

Vrstni red 1:

- Bush > Nader: 4/7
- Bush > Buchanan: 6/7
- Gore > Bush: 4/7
- zmagaavec: Gore

Vrstni red 2:

- Nader > Gore: 5/7
- Nader > Buchanan: 4/7
- Bush > Nader: 4/7
- zmagovalec: Bush

Borda protokol

- Vsak agent razvrsti alternative in jim glede na to pripiše določeno število točk (od 1 do $|O|$).
- Vse točke vseh agentov se nato seštejejo.
- Zmaga alternativa z največjim številom točk

- Hitro, ker ni potrebno preverjaje po parih
- Zelo odvisno od irelevantnih alternativ

Borda protokol

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇
4	Bush	Bush	Bush	Gore	Gore	Nader	Buchanan
3	Buchanan	Nader	Nader	Bush	Nader	Gore	Nader
2	Nader	Gore	Buchanan	Buchanan	Bush	Bush	Gore
1	Gore	Buchanan	Gore	Nader	Buchanan	Buchanan	Bush

Rezultati:

- Bush: 20
- Gore: 17
- Nader: 19
- Buchanan: 14
- Rezultat: Bush > Nader > Gore > Buchanan

Borda protokol

- Brez najslabše alternative (Buchanan)

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇
3	Bush	Bush	Bush	Gore	Gore	Nader	Nader
2	Nader	Nader	Nader	Bush	Nader	Gore	Gore
1	Gore	Gore	Gore	Nader	Bush	Bush	Bush

Rezultati:

- Bush: 14
- Gore: 13
- Nader: 15
- Rezultat: Nader > Bush > Gore

Diktatorski protokol

- Vedno se upošteva želja enega
- Enostaven, ni fer

X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇
Bush	Bush	Bush	Gore	Gore	Nader	Buchanan
Buchanan	Nader	Nader	Bush	Nader	Gore	Nader
Nader	Gore	Buchanan	Buchanan	Bush	Bush	Gore
Gore	Buchanan	Gore	Nader	Buchanan	Buchanan	Bush

Vedno upoštevaj x1!

- Rezultat: Bush > Buchanan > Nader > Gore

Izberi agenta naključno:

- Rezultat: x7 (Buchanan > Nader > Gore > Bush)

Dražbe

- Sporazum med dvema agentoma: dražbarjem in ponudnikom
- Dražbar hoče maksimizirati svoj dobiček
- Cilj ni skupno dobro

- Dražbar hoče prodati predmet po najvišji ceni, ponudniki pa bi ga kupili po čim nižji ceni
- Dražbar hoče oddati naloge po čim nižji ceni, ponudniki pa bi jih opravili po čim večji ceni

Različna ozadja

- Različna ozadja dražb:
 - Dražba z osebnimi vrednostmi
 - Private value auctions
 - Ocena vrednosti blaga temelji zgolj na agentovih lastnih preferencah
 - Najboljši ponudnik ne bo preprodajal kupljenega blaga
 - Ponudnik ponavadi dobro pozna prav ceno blaga
 - Dražba s skupnimi vrednostmi
 - Common value auctions
 - Ocena vrednosti blaga temelji zgolj na ocenah vrednosti drugih agentov
 - Zaradi simetričnosti relacije, so te ocene enake oceni agenta
 - Agent kupi blago za preprodajo
 - Dražba s koreliranimi vrednostmi
 - Correlated value auctions
 - Ocena vrednosti blaga deloma temelji na agentovih lastnih preferencah, deloma pa na ocenah vrednosti drugih agentov
 - Agent lahko sam opravi nalogo ali pa jo da opraviti drugemu agentu

Dražbeni protokoli

- Različni dražbeni protokoli:
 - Angleški protokol
 - Zbiranje ponudb
 - Nizozemski protokol
 - Vickrey protokol

Angleška dražba

- English auction
- First-price open-cry auction

- Vsak ponudnik lahko viša svojo ponudbo
- Ko nobeden ponudnik ne več poviša zadnje ponudbe, najboljši ponudnik dobi blago
- Včasih dražbar enakomerno povišuje ponudbo
- Včasih morajo agenti najaviti svoj odstop od dražbe

- V angleških dražbah z osebnimi vrednostmi je agentova dominantna strategija vedno malce višati najvišjo ponudbo dokler le-ta ne doseže osebne vrednosti

Zbiranje ponudb

- First-price sealed-bid auction
- Vsak ponudnik pošlje eno ponudbo
- Ne ve kakšne ponudbe so/bodo poslali ostali ponudniki
- Ponudnik z najvišjo ponudbo zmagaja

- Ponudnik si želi ponuditi čim nižji ponudbo (ki je pod njegovo oceno vrednosti), ki bi pa še zmagala

Nizozemska dražba

- Duch (descending) auction
- Dražbar začne z visoko ceno za blago in jo neprestano znižuje, dokler eden izmed ponudnikov blaga ne kupi
- Strateško je ekvivalentna zbiranju ponudb

Vickrey dražba

- Vickrey auction
- Second-price sealed-bid auction
- Vsak ponudnik pošlje eno ponudbo
- Ne ve kakšne ponudbe so/bodo poslali ostali ponudniki
- Ponudnik z najvišjo ponudbo zmaga
- Plača pa ceno enako drugi najvišji ponudbi
- Dominantna strategija ponudnika je ponuditi njegovo oceno
 - Ponudnik lahko odda ponudbo ne glede na to kdo so drugi ponudniki
 - Ponudniku ni potrebno prilagajati taktiko glede na obnašanje ostalih
- Pogosto uporabljan protokol v MAS

Ekvivalenca donosa

- Vsi štirje dražbeni protokoli proizvedejo enako višino pričakovanih dohodkov dražbarja pri dražbah z osebnimi vrednostmi, če so ponudniki nevtralni glede na tveganja.
- Če se ponudniki izogibajo tveganju, Zbiranje ponudb in Nizozemska dražba dajejo višji pričakovani dohodek dražbarju
- Če se dražbar izogiba tveganju, višji pričakovani dobiček dobi z Angleško in Vickrey dražbo
- Večina dražb ni povsem tipa z osebnimi vrednostmi
 - Angleška dražba ponavadi zagotovi večji prihodek dražbarju kot Vickrey dražba
 - Angleška in Vickrey dražba ponavadi zagotovita večji prihodek dražbarju kot Zbiranje ponudb in Nizozemska dražba

Tajni dogovor

- Problem z dražbami je, da lahko tajni dogovori porušijo koncept dražbe
 - Ponudniki se lahko med seboj dogovorijo za nižje cene
- Bolj varni za dražarja sta Zbiranje ponudb in Nizozemska dražba
 - Vsakdo se boji, da bo kdo drugi prelomil obljubo
- Bolj varni za goljufa sta Vickrey dražba in Angleška dražba
 - Pri Vickrey ponudi svojo ocenjeno vrednost
 - Pri Angleški dražbi lahko spremlja ostale ponudbe

Lažnjivi dražbar

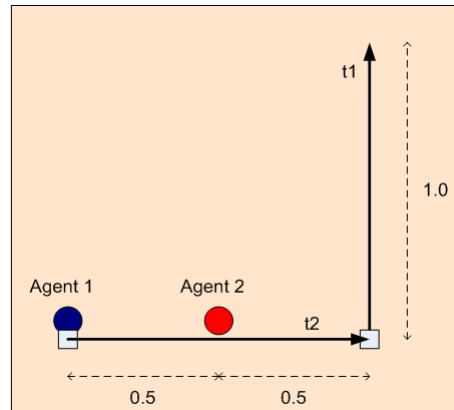
- Pri Angleški dražbi, zbiranju ponudb in Nizozemski dražbi ponudnik vedno plača v višini svoje ponudbe
- Pri Vickrey dražbi plača drugo ponudbo in ne svoje – dražbar se lahko o tem zlaže
- Dražbar ima lahko pomagače, da umetno napihujejo ceno pri Angleškem protokolu
- Lahko tudi sam odda ponudbo v višini pričakovane vrednosti
 - Pri Vickrey dražbi lahko še vedno izgubi
 - Bi dejansko moral postaviti višjo ceno

Prekletstvo zmagovalca

- Pri dražbah s skupnimi in koreliranimi vrednostmi, velja pravilo Prekletstvo zmagovalca
 - Ko agent zmagaja, ve da je plačal več kot ostali
 - => drugi cenijo izdelek manj
 - => izdelek je manj vreden
 - => ga je preplačal
- => Agent bi moral ponuditi manj, kot ocenjuje, da je vredno

Dražba z več povezanimi posli

- Na dražbi je več različnih predmetov
- Vsak predmet se prodaja posebej
- Agentove ocene teh predmetov so med seboj povezane
- Primer:

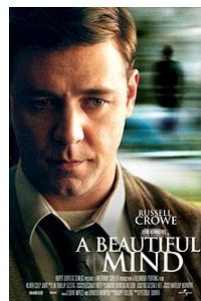


Nashovo ravnotežje

- Množica strategij je v Nashevem ravnotežju, če nobeden izmed agentov ne more izboljšati rezultata samo s spremembo svoje strategije (pri čemer ostanejo strategije drugih agentov nespremenjene)



John Forbes Nash



Primer

- Dva igralca hkrati izbereta število od 0 do 4
- Oba dobita število točk enako manjšemu od obeh števil
- Če en agent izbere večje število kot drugi, mu mora dati dve točki

	Player 2 chooses '0'	Player 2 chooses '1'	Player 2 chooses '2'	Player 2 chooses '3'
Player 1 chooses '0'	0, 0	2, -2	2, -2	2, -2
Player 1 chooses '1'	-2, 2	1, 1	3, -1	3, -1
Player 1 chooses '2'	-2, 2	-1, 3	2, 2	4, 0
Player 1 chooses '3'	-2, 2	-1, 3	0, 4	3, 3

Nashevo ravnotežje je v točki (0,0)

Zapornikova dilema

- Dva zapornika, nimata možnosti komunikacije
- Vsakdo od njiju lahko molči ali izda pajdaša
- Ponujene različne kazni

	B molči	B izda
A molči	A: 6 mes. B: 6 mes.	A: 10 let B: prost
A izda	A: prost B: 10 let	A: 5 let B: 5 let

Dominantna strategija: izdaja

Nashevo ravnotežje: oba izdata

Max. skupno dobro: oba molčita

Pareto učinkovitost: oba molčita

Barantanje

- Agenti se lahko sporazumejo, vendar imajo različne interese o katerem sporazumu naj se sporazumejo
- Dve podpodročji teorije o barantanju
 - Aksiomatična
 - Strateška

Aksiomatično barantanje

- Namesto ravnotežja se išče rešitev, ki ustreza določenim aksiomom
 - Pogosto obstaja več rešitev za Nashovo ravnotežje
 - Dva agenta hočeta razdeliti en dolar
 - Karkoli agent 1 predlaga agent 2 sprejme (ker je več kot 0).
 - Nashovo ravnotežje velja za vsak r , $0 < r < 1$
 - Potrebne so dodatne omejitve
- => Nashova rešitev barantanja

Nasheva rešitev barantanja

- Aksiomi Nasheve rešitve barantanja
 - Invarianca: pomemben je samo vrstni red izidov (koristnosti), ne pa tudi dejanske vrednosti
 - Anonimnost (simetrija): če zamenjamo labele agentov, se izid ne spremeni
 - Neodvisnost od nerelevantnih alternativ
 - Pareto učinkovitost
- Edina rešitev, ki zadovolji zgornje štiri aksiome je tista, ki maksimizira $[u_1(o) - u_1(o_{\text{fallback}})][u_2(o) - u_2(o_{\text{fallback}})]$.
- Delitev dolarja
 - Nasheva rešitev barantanja je 0.5

Strateško barantanje

- Ni aksiomov
- Barantanje je modelirano kot igra in rešitev je osnovana na analizi, ki išče ravnovesje med strategijami igralcev
- Zaporedno barantanje – agenti izmenično ponujajo ponudbe po nekem vrstnem redu
- Primer delitve dolarja
 - Zadnji ponudnik bo dobil $1 - \epsilon$, drugi agent pa ϵ
 - Agent mora torej samo čakati do konca, pa dobi skoraj cel dolar

Strateško barantanje

- Uvedemo še zmanjševanje vrednosti dolarja (za δ na vsakem koraku)
 - Končno število korakov
 - Primer: $\delta = 0.9$:
 - Maksimalne sprejemljive ponudbe:

Round	1's share	2's share	Total value	Offerer
t-3	.819	.181	$.9^{t-4}$	2
t-2	.91	.09	$.9^{t-3}$	1
t-1	.9	.1	$.9^{t-2}$	2
t	1	0	$.9^{t-1}$	1

- 90% ob času t-1 pomeni isto kot 100% ob času t

Rubensteinova rešitev barantanja

- Neomejeno število korakov
- Zmanjševalna faktorja :
 - Za agenta 1: d_1
 - Za agenta 2: d_2
 - Maksimalne sprejemljive ponudbe:

Round	1's share	2's share	Offerer
t-2	$1 - d_2(1 - d_1P)$		1
t-1		$1 - d_1P$	2
t	P		1

- Rubensteinova rešitev barantanja:
 - Agent 1 dobi $(1-d_2)/(1-d_1d_2)$
 - Agent 2 dobi $1 - (1-d_2)/(1-d_1d_2)$
 - Sporazum je sklenjen v prvem koraku

Model s stroški barantanja

- Vrednost se ne zmanjšuje
- Uvede se stroške barantanja
 - Za agenta 1: c_1
 - Za agenta 2: c_2
- Če je $c_1 < c_2$ potem agent 1 dobi cel dolar
- Če je $c_1 > c_2$ potem
 - agent 1 dobi c_2
 - agent 2 dobi ostalo

Pogodbene mreže

- Problem dodeljevanja nalog med sebične agente
 - Množica nalog T ,
 - Nožica agentov A ,
 - Funkcija stroškov $c: C_i : 2^T \rightarrow \mathfrak{R} \cup \{\infty\}$
 - Začetna dodelitev nalog med agente

$$\langle T_1^{init}, \dots, T_{|A|}^{init} \rangle$$

kjer

$$\bigcup_{i \in A} T_i^{init} = T; T_i^{init} \cap T_j^{init} = \emptyset, i \neq j$$

Mejni stroški

- Pogodbe se sklepajo na osnovi izračunov mejnih stroškov
- Individualna racionalnost – pogodba je za agenta individualno racionalna, če se agentu bolj splača sprejeti pogodbo kot ne
- Agent pogodbo sprejme, če je plačan več kot so njegovi mejni stroški za izvedbo naloge T^{contract} :

$$MC^{\text{add}}(T^{\text{contract}} | T_q) = C_q(T^{\text{contract}} \cup T_q) - C_q(T_q)$$

- Agent dodeli nalogo T^{contract} drugemu agentu, če mu za to mora plačati manj kot privarčuje, če naloge ne naredi:

$$MC^{\text{remove}}(T^{\text{contract}} | T_r) = C_r(T_r) - C_r(T_r - T^{\text{contract}})$$

Dodeljevanje nalog

- Agenti tako predlagajo pogodbe eden drugemu
- Pri odločitvah upoštevajo te mejne stroške
- Svoje naloge lahko tako naprej dodeljujejo drugim
- Agenti ne poznajo funkcije stroškov drugih agentov
- Dodelitev nalog se lahko na ta način samo izboljšuje (skupno dobro se izboljšuje, skupni stroški se zmanjšujejo)
- Skupno dobro se povečuje monotono
- Pogajanja lahko prekinemo kadarkoli (anytime algoritem)

Globalno optimalna razdelitev nalog

- Želja po konvergenci h globalno optimalni razdelitvi nalog
- Štiri tipi pogodb:
 - Originalna pogodba (Original contract - O): ena naloga se prerazporedi od enega agenta k drugemu
 - najbolj pogosta
 - Se lahko ujame v lokalni optimum
 - Gručasta pogodba (Cluster contract - C): množica nalog se hkrati prerazporedi od enega agenta k drugemu
 - Menjalna pogodba (Swap contract - S): Par agentov si izmenja nalogi.
 - Večagentna pogodba (Multiagent contract - M): več kot dva agenta sta vpletena v izmenjavo nalog

Globalno optimalna razdelitev nalog

- Za vsakega izmed štirih tipov pogodb (O, C, S, M) obstajajo razdelitve nalog, kjer nobena individualno racionalna pogodba z ostalimi temi tipi pogodb ni možna, je pa možna s četrtem tipom.
- Obstajajo primeri razdelitve nalog, kjer nobeno zaporedje individualno racionalnih pogodb ne vodi od začetne razdelitve nalog do optimalne razdelitve nalog z uporabo O-, C-, S- in M-pogodb.
- Ne zadošča niti nobena podmnožica pogodb
- Samo en tip (ali več njih) ne zadošča za konvergenco h globalno optimalni razdelitvi nalog

OCSM pogodbe

- OCSM pogodba je definirana s parom $\langle T, \rho \rangle$ $|A| \times |A|$ matrik
 - $T_{i,j}$ je množica nalog, ki jih agent i da agentu j
 - $\rho_{i,j}$ je znesek, ki ga agent i plača agentu j .
- OCSM pogodbe omogočajo poljubno prerazporeditev nalog z eno pogodbo.
- Če sta $|A|$ in $|T|$ končni množici in pogodbeni protokol omogoča OCSM pogodbe, potem vedno obstaja zaporedje individualno racionalnih pogodb, ki pripelje v končnem številu korakov do globalno optimalne razdelitve nalog
- Če kakšna OCSM-pogodba ni dovoljena, vedno obstaja kakšen problem, kjer ne obstaja nobeno IR zaporedje, ki bi pripeljalo do globalno optimalne razdelitve nalog

Neiskreni agenti

- Agentje se ponavadi pošteno pogajajo glede na svoje (resnične) mejne stroške
- Agenti lahko tudi lažejo:
 - Sprejmejo individualno neracionalne pogodbe
 - Zavrnejo individualno racionalne pogodbe
- Agenti lažejo
 - O svoji vrednosti za neko nalogo (in čakajo, da bodo v prihodnosti pogoji boljši)
 - O nalogah, ki jih imajo
 - Skrivajo naloge, ki jih imajo
 - Prikažejo naloge, ki jih nimajo
 - Prikažejo naloge, ki jih nimajo, a jih lahko zgenerirajo

Formiranje koalicij

- Včasih bi se (sebičnim) agentom splačalo med seboj formirati koalicije
- Nashevo ravnotežje: Množica strategij je v Nashovem ravnotežju, če nobeden izmed agentov ne more izboljšati rezultata samo s spremembo svoje strategije (pri čemer ostanejo strategije drugih agentov nespremenjene)
 - Se ga da izigrati s koalicijami (zapornikova dilema)
- Močno Nashevo ravnotežje: Nobena podmnožica agentov (koalicija) ne obstaja, ki bi lahko skupno spremenila svojo strategijo na način, ki bi vsem članom koalicije povečal dobiček, pri čemer nečlani koalicije ne bi spremenili strategije
 - Premočna zahteva, pogostokrat ne obstaja
- Koalicijsko odporno Nashevo ravnotežje: Nobena podmnožica agentov (koalicija) ne obstaja, ki bi lahko naredila vzajemno koristno spremembo strategije, pri čemer je ta sprememba stabilna glede na isti kriterij.
 - Kakšen agent bi raje šel v koalicijo z kakšnim nečlanom koalicije
 - Tudi ne obstaja vedno

Igra karakteristične funkcije

- Characteristic function game (CFG)
- Vrednost koalicije S je podana s karakteristično funkcijo v_S .
- Vrednost te funkcije je odvisna samo od članov koalicije in ne neposredno nečlanov.
- Posredno pa je vseeno odvisna od nečlanov:
 - Negativni vplivi (externalities)
 - Skupni viri (ki so lahko zasedeni)
 - Nasprotujoči cilji (ki lahko koalicijo oddaljijo od cilja)
 - Pozitivni vplivi
 - Prekrivajoči se cilji (ki lahko koalicijo pomaknejo bližje k cilju)

Tri aktivnosti

- Formiranje koalicij v CFG vsebuje tri aktivnosti:
 1. Generiranje strukture koalicije
 - Razbitje množice agentov na vse možne koalicije – na množico neprerivajočih koalicij, ki vsebujejo vse agente – struktura koalicij (coalition structure CS)
 - Agenti v koaliciji med seboj koordinirajo aktivnosti, jih pa ne koordinirajo z agenti izven koalicije
 - Primer: trije agenti $\{1,2,3\}$
 - 7 možnih koalicij: $\{1\}, \{2\}, \{3\}, \{1,2\}, \{1,3\}, \{2,3\}$ in $\{1,2,3\}$.
 - 5 možnih struktur koalicij: $\{\{1\}, \{2\}, \{3\}\}, \{\{1\}, \{2,3\}\}, \{\{1,2\}, \{3\}\}, \{\{1,3\}, \{2\}\}$ in $\{\{1, 2, 3\}\}$.
 2. Reševanje optimizacijskega problema za vsako koalicijo
 - Cilj koalicije je maksimizirati dobiček: čimveč denarja dobiti od zunaj (minus stroški virov)
 3. Delitev vrednosti generirane rešitve med agente
- Te aktivnosti so lahko prepletene in niso neodvisne

Korak 1: Generiranje strukture koalicije

- Superaditivnost: Superaditivne igre so igre pri katerih velja
$$V_{S \cup T} \geq V_S + V_T$$
za vse neprekrivajoče koalicije
$$S, T \subseteq A$$
- CSG v superaditivnih igrah je enostaven, ker lahko vsi agenti skupaj kar tvorijo eno veliko koalicijo in sodelujejo med sabo
- Upoštevati je treba tudi ceno formiranja koalicij, komunikacije, čas potreben za komunikacije, ipd.
- V ne-supearditivnih igrah CSG ni trivialen

Generiranje strukture koalicije

- Cilj je maksimizirati skupno dobro agentov tako, da se poišče strukturo koalicij

$$CS^* = \arg \max_{CS \in \text{partitionsof}A} V(CS)$$

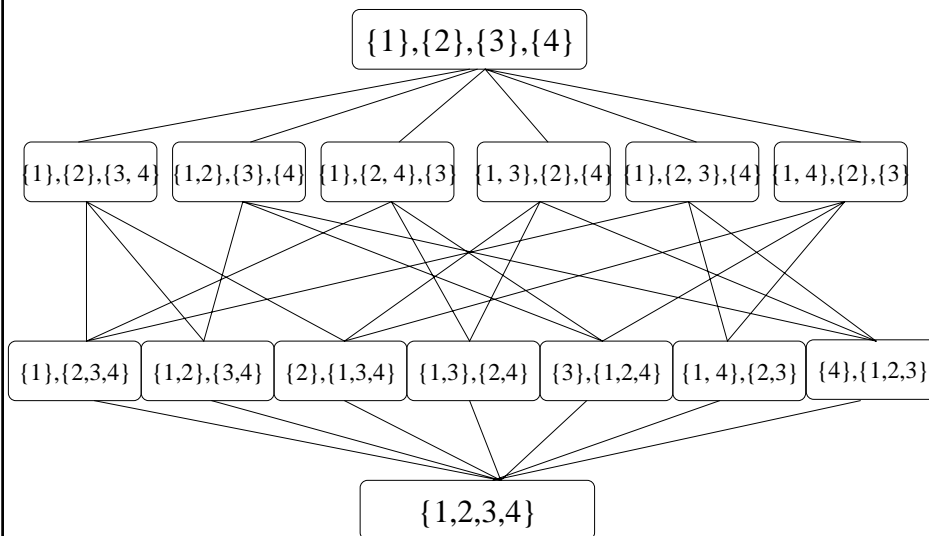
$$\text{kjer } V(CS) = \sum_{S \in CS} v_S$$

- Problem: število možnih struktur koalicij je ogromno $\Omega(|A|^{A/2})$
- Rešitev: išči po podmnožici N vseh možnih razdelitev A in izberi najboljšo koalicijo videno do takrat

$$CS_N^* = \arg \max_{CS \in N} V(CS)$$

- Generiranje strukture koalicije = iskanje po grafu struktur koalicij

Graf strukture koalicij



Iskanje po grafu struktur koalicij

- Želimo, da je najdena struktura koalicij v nekih mejah odstopanja od optimalne strukture

$$k \geq \frac{V(CS^*)}{V(CS_N^*)}$$

- Dovolj je preiskati spodnja dva nivoja strukture koalicij. Pri tem je $k=|A|$ in število preiskanih vozlišč je $n=2^{|A|-1}$
- Noben algoritem za generiranje struktur koalicij ne more doseči meje k ne da bi preiskal $n=2^{|A|-1}$ vozlišč.
- Mejo (worst case) se da doseči, ne da bi pregledali vse strukture koalicij.
- Če preiščemo več kot spodnja dva nivoja lahko dosežemo boljši rezultat od spodnje meje.

Korak 2: Reševanje optimizacijskega problema

- Reši se optimizacijski problem za vsako koalicijo posebej in tako definira njeno vrednost
- Včasih je reševanje optimizacijskega problema drago -> približna ocena rešitve
- Primerjati kvaliteto rešitve in ceno reševanja

Korak 3: Delitev dobička

- Na kakšen način razdeliti izplen koalicije med agente?
 - Mora biti fer
 - Mora motivirati agente, da ostanejo v koaliciji
- Delitev dobička glede na jedro
 - Jedro CFG-ja je množica konfiguracij razdelitve dobička, ki se naredi na tak način, da nobena podskupina agentov ni motivirana, da bi zapustila koalicijo in se pridružila drugi.
- Delitev dobička glede na Shapleyevo vrednost
 - Shapleyeva vrednost agenta i je mejni prispevek agenta i k strukturi koalicij, povprečen čez vse vrstne rede združevanj