VI. Multiagentní systémy

Podklady k přednáškám kurzu AGS

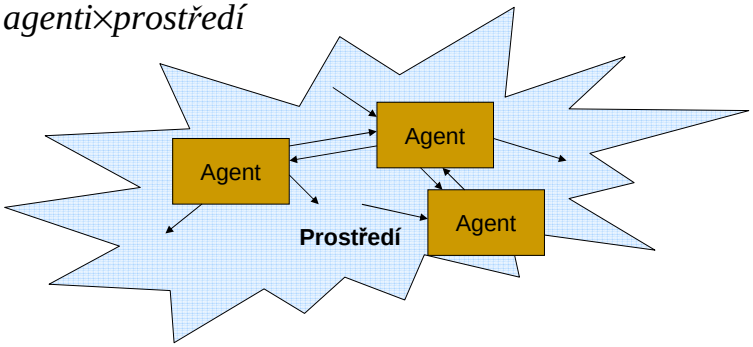
©2005, 2006 František Zbořil ml.
zborilf@fit.vutbr.cz

Obsah přednášky

- Modelování MAS
  - Teoretické modely, struktura a chování modelu s agenty
  - Rozhodování agenta, užitkové modely, teorie her
  - Mentální postoje agentů v MAS a sociálních skupin
- Interakce mezi agenty
- Spolupracující agenti
  - Prinicpy spolupráce
  - Architektury pro skupinové plánování
- Řešení konfliktů v MAS
  - Dražby, hlasování
  - Vyjednávání
  - Argumentace
- Sociální konsensus a koalice
  - Motivace k vytváření koalic
  - Normy a penalizace

Multiagentní systém (MAS)

- Multiagentní systém tvoří prostředí a populace s více agenty. Studuje se zde nejen interakce *agent×prostředí*, ale i *agent×agent* a *agenti×prostředí*



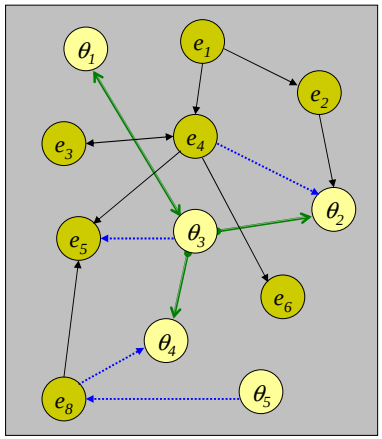
MAS: tři úrovně v agentních a multiagentních systémech

- Agentní úroveň (rozhodování agenta, učení, přehodnocování představ …)
- Interakční úroveň (komunikace mezi agenty, jazyky, protokoly, sdílení prostředků, společné plánování)
- Organizační úroveň (normy, závazky, důvěra, formování koalic)

MAS: strukturální model

- Model systému **M**=<**U**,**R**>
- **U**=**Θ**∪**E**, **Θ** je populace agentů, a **E** je množina prvků prostředí, **Θ** ∩ **E** = {}
- $\mathbf{R} = \mathbf{R_{Chn}} \cup \mathbf{R_{env}} \cup \mathbf{R_{Irc}}$
- **AgP**=(**Θ**, $\mathbf{R_{Chn}}$) je podsystém agentní populace
  - $\mathbf{R_{Chn}}$={*r*: *r*∈**R**, *arb* → (*a*∈$\mathbf{R_{Chn}}$, *b*∈$\mathbf{R_{Chn}}$)}
- **Env**=(**U**-**Θ**, $\mathbf{R_{Env}}$) je podsystém prostředí
  - $\mathbf{R_{Env}}$={*r*: *r*∈**R**, *crd* → (*a*∈$\mathbf{R_{Env}}$, *b*∈$\mathbf{R_{Env}}$)}
- $\mathbf{R_{Irc}} = \mathbf{R} - \mathbf{R_{Chn}} - \mathbf{R_{env}}$

MAS: základní model a význam propojení v strukturálním modelu



Agenti e_1

Prvky prodtředí θ_1

Komunikace mezi agenty

Interakce agentů s prostředím

Vazby v modelu prostředí

MAS: Konfigurace systému

- $\mathbf{Csys}^t$ je konfigurace modelu v čase *t*
- $\mathbf{Csys}^t$=<$\mathbf{R}^t$,$\mathbf{c_{sys}}^t$>, tvoří ji charakteristika systému v čase *t* a konfigurace jednotlivých prvků systému

$$\mathbf{c_{sys}}^t=\{\mathbf{c_{e1}}^t, \mathbf{c_{e2}}^t, \dots \mathbf{c_{en}}^t, \mathbf{c_{\theta 1}}^t, \mathbf{c_{\theta 2}}^t, \dots \mathbf{c_{\theta m}}^t\}$$

$$n=|\mathbf{E}|,\ m=|\mathbf{\Theta}|$$

$$\mathbf{c}_{env}=\{\mathbf{c_{e1}}^t, \mathbf{c_{e2}}^t, \dots \mathbf{c_{en}}^t\};\ \mathbf{c}_{agt}=\{\mathbf{c_{\theta 1}}^t, \mathbf{c_{\theta 2}}^t, \dots \mathbf{c_{\theta m}}^t\}$$

- Konfigurace prvku v čase *t* $\mathbf{c_u}^t$=<$\mathbf{s_u}^t$,$\mathbf{c_{xu}}^t$,$\mathbf{c_{yu}}^t$>

  $\mathbf{s_u}^t$: vnitřní stav prvku v čase *t*

  $\mathbf{c_{xu}}^t$=(x_{u1}^t, x_{u2}^t …x_{uiu}^t): konfigurace vstupů prvku *u* v čase *t*

  $\mathbf{c_{yu}}^t$=(y_{u1}^t, y_{u2}^t …y_{uou}^t): konfigurace výstupů prvku *u* v čase *t*

  ou počet výstupních bran prvku *u*

  iu počet vstupních bran prvku *u*

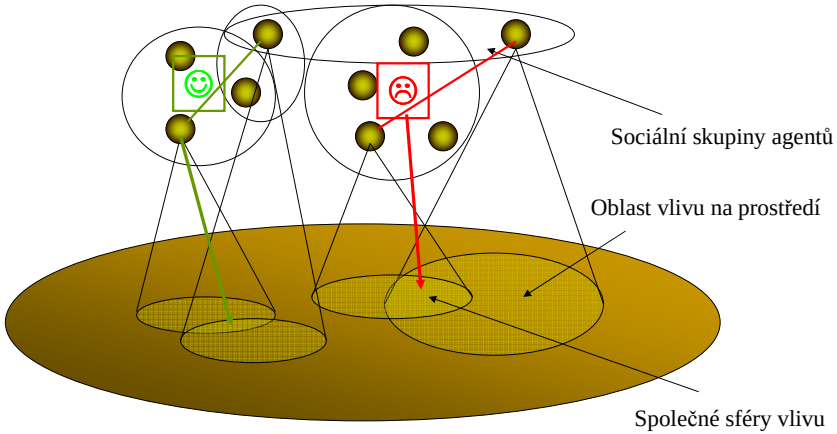
MAS: chování systému, rozdělení

- **T**={t_1, t_2, t_3 …} je časová množina
- Chování multiagentního systému – změna systému v čase *t*∈T pro dva okamžiky t_a, t_b

$$\exists t\in\mathbf{T}\bullet\ t_a > t > t_b,\ \forall t'\in\mathbf{T}\bullet\ (t_a > t' > t_b) \rightarrow (t'=t)$$

  - $\mathbf{c_{env}}^{ta} \rightarrow \mathbf{c_{env}}^{tb}$: Dynamické chování prostředí
  - Interakcí mezi agenty a prostředím
    - $\mathbf{c_{agt}}^{ta} \rightarrow \mathbf{c_{env}}^{tb}$: Změna prostředí vlivem působení agenta/ů
    - $\mathbf{c_{env}}^{ta} \rightarrow \mathbf{c_{agt}}^{tb}$: Změna stavu agenta na základě podnětů z prostředí
  - $\mathbf{c_{agt}}^{ta} \rightarrow \mathbf{c_{agt}}^{ta}$ Změna stavu agenta pří komunikaci s jiným agentem
  - $\mathbf{c_{\theta 1}}^{ta} \rightarrow \mathbf{c_{\theta 1}}^{tb}$: Změna stavu agenta provedením vnitřní akce a_i
  - $\mathbf{R}^{ta} \rightarrow \mathbf{R}^{tb}$: Změna struktury modelu (mobilní agenti)
  - Uvedené změny mohou probíhat paralelně -> možný zdroj konfliktů

MAS, struktura systému



MAS s inteligentními agenty

- Budeme předpokládat agenty jako inteligentní prvky systému, které jednají racionálně vzhledem ke svým cílům.
- Agenti mají *sociální* schopnosti. Během jejich života v systému mohou spolupracovat, nebo naopak řešit konflikty.
- K tomu mají schopnost komunikace, znají protokoly komunikace a jsou schopni formovat koalice, vyjednávat závazky a vytvářet společné plány.

MAS: chování agenta, revize (neup)

- Agent je prvek systému s konfigurací $\mathbf{c}_\theta{}^t=<\mathbf{s}_\theta{}^t,\mathbf{c}_{x\theta}{}^t,\mathbf{c}_{y\,\theta}{}^t>$, jeho chování je dáno stavem na jeho vstupech, jeho vnitřním stavu a funkcí chování.

$$<\mathbf{s}_\theta{}^{tb},\ \mathbf{c}_{\theta y}{}^{tb}>=\Xi(\mathbf{s}_\theta{}^t,\ \mathbf{c}_{x\theta}{}^t)^*$$

(varianta funkce ξ chování agenta ξ: (**P**×**C**) → (**A**×**C**) z přednášky č.2!)

- Výše uvedené odpovídá trojici <**KB**, π, **x**>, vnitřní stav je dán stavem báze znalostí **KB** a stavem programu řízení π a **x** je stav na agentových senzorech
- Funkce chování agenta je složená funkce $\Xi(\mathbf{c})=\Xi_{\theta Y}(\Xi_{\theta K}(\Xi_{\theta\pi}(\mathbf{c})))$

$$\Xi_{\theta Y}(x_\theta{}^{ti},\ (\mathbf{KB}_\theta{}^{ti},\ \pi_\theta{}^{ti}))\rightarrow(\mathbf{c}_{Y\theta}{}^{ti+1})$$
$$\Xi_{\theta K}(x_\theta{}^{ti},\ (\mathbf{KB}_\theta{}^{ti},\ \pi_\theta{}^{ti}))\rightarrow(\mathbf{KB}_\theta{}^{ti+1})$$
$$\Xi_{\theta\pi}(x_\theta{}^{ti},\ (\mathbf{KB}_\theta{}^{ti},\ \pi_\theta{}^{ti}))\rightarrow(\pi_\theta{}^{ti+1})$$

MAS: chování agenta, kategorizace

Typ evoluce	$\pi_\theta{}^{ti+1}$	$\mathbf{c}_{Y\theta E}{}^{t+1}$	$\mathbf{KB}_\theta{}^{ti+1}$
Rekurze	$\Xi_\theta{}^\pi(\pi_\theta{}^{ti})$	$\{a_i, a_i, \ldots\}$	$\mathbf{KB}_\theta{}^{ti}$
Spuštění podplánu	$\Xi_\theta{}^\pi(\pi_\theta{}^{ti}, \mathbf{KB}_\theta{}^{ti})$	$\{a_i, a_i, \ldots\}$	$\mathbf{KB}_\theta{}^{ti}$
Převzetí plánu	$\Xi_\theta{}^\pi(\pi_\theta{}^{ti}, x_\theta{}^s)$	$\{a_i, a_i, \ldots\}$	$\mathbf{KB}_\theta{}^{ti}$
Přehodnocení plánu	$\Xi_\theta{}^\pi(\pi_\theta{}^{ti}, \mathbf{KB}_\theta{}^{ti}, x_\theta{}^s)$	$\{a_i, a_i, \ldots\}$	$\mathbf{KB}_\theta{}^{ti}$
Přímá akce	$\Xi_\theta{}^\pi(\pi_\theta{}^{ti})$	$\Xi_\theta{}^Y(\pi_\theta{}^{ti})$	$\mathbf{KB}_\theta{}^{ti}$
Nepřímá akce	$\Xi_\theta{}^\pi(\pi_\theta{}^{ti}, \mathbf{KB}_\theta{}^{ti})$	$\Xi_\theta{}^Y(\pi_\theta{}^{ti}, \mathbf{KB}_\theta{}^{ti})$	$\mathbf{KB}_\theta{}^{ti}$
Vzdálené řízení	$\Xi_\theta{}^\pi(\pi_\theta{}^{ti}, x_\theta{}^s)$	$\Xi_\theta{}^Y(\boldsymbol{\pi_\theta{}^{ti}}, x_\theta{}^s)$	$\mathbf{KB}_\theta{}^{ti}$
Podmíněné vzdálené řízení	$\Xi_\theta{}^\pi(\pi_\theta{}^{ti}, \mathbf{KB}_\theta{}^{ti}, x_\theta{}^s)$	$\Xi_\theta{}^Y(\pi_\theta{}^{ti}, \mathbf{KB}_\theta{}^{ti}, x_\theta{}^s)$	$\mathbf{KB}_\theta{}^{ti}$
Inicializace KB	$\Xi_\theta{}^\pi(\pi_\theta{}^{ti})$	$\{a_i, a_i, \ldots\}$	$\Xi_\theta{}^K(\pi_\theta{}^{ti})$
Evoluce KB	$\Xi_\theta{}^\pi(\pi_\theta{}^{ti}, \mathbf{KB}_\theta{}^{ti})$	$\{a_i, a_i, \ldots\}$	$\Xi_\theta{}^K(\pi_\theta{}^{ti}, \mathbf{KB}_\theta{}^{ti})$
Inicializace KB vstupem	$\Xi_\theta{}^\pi(\pi_\theta{}^{ti}, x_\theta{}^s)$	$\{a_i, a_i, \ldots\}$	$\Xi_\theta{}^K(\pi_\theta{}^{ti}, x_\theta{}^s)$
Zpracování vstupu	$\Xi_\theta{}^\pi(\pi_\theta{}^{ti}, \mathbf{KB}_\theta{}^{ti}, x_\theta{}^s)$	$\{a_i, a_i, \ldots\}$	$\Xi_\theta{}^K(\pi_\theta{}^{ti}, \mathbf{KB}_\theta{}^{ti}, x_\theta{}^s)$

MAS: multiagentní prostředí

- **Us**, **Um** a **Uc** značí (jedná se o abstraktní symboliku) užitky jednání racionálního agenta v prostředí bez agentů, v multiagentním prostředí bez spolupráce mezi agenty a v mulitagentním prostředí s možností spolupráce
- Spolupráce: agenti mají, nebo se shodli na společných cílech, které mají následovat

Uc>Us

- Koordinace: agenti mají rozdílné cíle, ale shodnou se na postupu, který není konfliktní

Us≥Uc>Um

- Konflikt: agenti jsou v konfliktu, pokud užitek racionálního agenta v multiagentním prostředí je menší, než v prostředí bez agentů

Us>Um

MAS: užitkové modely, teorie her

- **U**(θ,e) užitek stavu prostředí e pro agenta θ
- Agent preferuje prostředí e před e', pokud **U**(θ,e)>**U**(θ,e')
- Racionální agent volí strategii st=(p_{a1}, p_{a2}, … p_{ai}) pro množinu akcí (nebo také tahů, aktů …) **A**=(a_1, a_2 ... a_i), kde p_{an} je pravděpodobnost použití akce a_n při volbě strategie strategii st. Platí $\Sigma_{j\in<1..i>}p_{ai}$=1

Teorie her: rozdělení her

- Extenzivní forma her: hráči se střídají v tazích, algoritmy minmax a alfa-beta pro hry s nulovým součtem
- Normální forma her: hrají všichni hráči zároveň a hledají nejvhodnější (dominantní) strategii, rovnováhy
- Hry s nulovým součtem (zero sum games). Užitek stavu prostředí pro jednoho agenta je opačný než užitek toho samého stavu pro agenta druhého

Teorie her: rozhodování agentů v MAS bez komunikace

- $\mathbf{U}_i(s_{\theta 1}^t, s_{\theta 2}^t \ldots s_{\theta i}^t \cdots s_{\theta n}^t)$ je užitek pro agenta θ_i dán zvolenými strategiemi $s_1..s_n$ agenty $\theta_1..\theta_2$
- Agent volí strategii (např minmax) k nalezení vhodné strategie vůči strategiím ostatních hráčů.
- Pokud existuje strategie, která je vždy nejlepší možnou strategií vůči všem možným strategiím ostatních agentů v systému, volí hráč právě tuto strategii.
- Výše uvedené strategie se nazývá dominantní strategie

Teorie her: strategie, příklad

- Ryzí strategie (pure strategy): strategie je v dané situaci jednoznačná
- Smíšená strategie (mixed strategy): agent má několik ryzích strategií pro jednání v prostředí a volí mezi nimi s určitým pravděpodobnostním rozložením, obecně

Př: Agent může hrát tři akce $\mathbf{A}=\{a_1, a_2, a_3\}$ a v každé situaci existují tři čisté strategie

$$s_{t1}=\{1,0,0\},\ s_{t2}=\{0,1,0\},\ s_{t3}=\{0,0,1\}$$

agent volí strategii založenou na jednotlivých čistých stragtegiích s pravděpodobnostím rozložením $p(s_{t1})=0.3$, $p(s_{t2})=0.7$, $p(s_{t2})=0$ a hraje tedy smíšenou strategii $s_{tm}=\{0.3,0.7,0\}$

Teorie her: Pareto optimum a Nashova rovnováha

- Nashova rovnováha: Agentova strategie je nejlepší možnou strategií vzhledem ke strategiím ostatních agentů - $<s_{\theta 1},s_{\theta 2} \ldots s_{\theta i} \cdots s_{\theta n}>$ jsou strategie v Nashově rovnováze, pokud $s_{\theta 1}$ je nejlepší možnou strategií agenta θ_1 vůči strategiím $<s_{\theta 2} \ldots s_{\theta n}>$, $s_{\theta 1}$ je nejlepší možnou strategií agenta θ_1 vůči strategiím $< s_{\theta 1}, s_{\theta 3} \ldots s_{\theta n}>$ atd.
- *Pozn. Pokud každý z agentů má dominantní strategii a volí (racionálně) tuto strategii, potom je systém v Nashově rovnováze*
- Pareto optimum: Agent nemůže zvolit ze svého pohledu lepší strategii, aniž by tím způsobil ztrátu jinému agetnovi.
- $<s_{\theta 1},s_{\theta 2} \ldots s_{\theta i} \cdots s_{\theta n}>$ je v Pareto optimu, pokud

$$\exists s',i \bullet U_i(s_{\theta 1},s_{\theta 2} \ldots s' \cdots s_{\theta n}) > U_i(s_{\theta 1},s_{\theta 2} \ldots s_{\theta i} \ldots s_{\theta n}) \rightarrow$$
$$\exists j \bullet U_i(s_{\theta 1},s_{\theta 2} \ldots s' \cdots s_{\theta n}) < U_i(s_{\theta 1},s_{\theta 2} \ldots s_{\theta i} \ldots s_{\theta n})$$

Mentální stav skupiny, epistemická logika

- Modelování znalostí agentů v multiagentní skupině s populací agentů $\Theta=(\theta_1, \theta_2, \ldots \theta_n)$ epistemickými logikami vychází ze struktury $\mathbf{M}=<\mathbf{W}, \mathbf{R_1}, \mathbf{R_2} \ldots \mathbf{R_n}, \mathbf{L}>$, kde **W** je množina světů, $\mathbf{R_1}, \mathbf{R_2} \ldots \mathbf{R_n}$ jsou relace mezi světy a **L** je pravdivostní ohodnocení atomických formulí z množiny atomických formulí **AP**
- Operátor $\mathbf{K}_i$ představuje znalost agenta *i*

$$\mathbf{M},w|=\mathbf{K_i}\, f \text{ iff } \forall w' \bullet w\mathbf{R_i}\, w' \rightarrow \mathbf{M},w'|= f$$

Mentální stav skupiny, sociální agent

- Sociální agent je abstrakce pro skupinu agentů, kteří sdílejí mentální postoje a jednají společně
- Sociální agent je zástupný pojem pro část populace agentů. Formálně $\boldsymbol{Sa \subseteq \Theta}$.
- U sociálního agenta se sledují stejně jako u agentů individuálních jeho mentální postoje vůči systému, jeho představy, přání, záměry a plány.

Mentální stavy skupiny: BDI modality

- **BEL** θf agent θ věří v platnost formule f
- **EBEL** ***Sa*** f sociální agent ***Sa*** věří v platnost formule f

$$\textbf{EBEL } \textbf{\textit{Sa}}\ f =_{def} \forall \theta \in \textbf{\textit{Sa}} \bullet \textbf{BEL}\ \theta f$$

- $\textbf{EBEL}^{k}$ ***Sa*** $f =_{def}$ **EBEL** ***Sa*** f (k=1)

$$\textbf{EBEL } \textbf{\textit{Sa}}\ \textbf{EBEL}^{k-1}\ \textbf{\textit{Sa}}\ f \quad (k>1)$$

- **MBEL** ***Sa*** f společně sdílená znalost f sociálním agentem

$$\textbf{MBEL } \textbf{\textit{Sa}}\ f =_{def} \wedge_{k>0} \textbf{EBEL}^{k}\ \textbf{\textit{Sa}}\ f$$

Mentální stavy skupiny: sdílená znalost

Jak dosáhout **MBEL** $\{\theta_1, \theta_2\}$ f ?

BEL $\theta_1 f$

INFORM(θ_1, θ_2, f)

BEL $\theta_1 f$ $\wedge$ **BEL** θ_2 f

INFORM (θ_1, θ_2, *Received* f)

BEL $\theta_1 f$ $\wedge$ **BEL** θ_1 **BEL** $\theta_2 f \wedge$ **BEL** $\theta_2 f$

INFORM (θ_1, θ_2, *Received Received* f)

BEL $\theta_1 f \wedge$ **BEL** θ_1 **BEL** $\theta_2 f \wedge$ **BEL** $\theta_2 f \wedge$ **BEL** θ_1 **BEL** $\theta_2 f$

… *atd*

Mentální stavy skupiny: sdílená znalost

- Sdílená znalost **MBel** je realizovatelná pouze pokud je k dispozici spolehlivý komunikační kanál!
- Pevný bod funkce $f(x)$ je $x=f(x)$
- Pevným bod funkce **Ebel** ***Sa*** x je sdílená znalost **MBel** ***Sa*** f a tedy platí

$$\textbf{MBel } \textbf{\textit{Sa}}\ f = \textbf{EBel } \textbf{\textit{Sa}}\ \textbf{MBel } \textbf{\textit{Sa}}\ f$$

Společná a sdílená přání a záměry

- **EDES** ***Sa*** f a **EINT** ***Sa*** f *jsou* společná přání a společné záměry sociálního agenta ***Sa***

$$\textbf{EDES } \textbf{\textit{Sa}}\ f =_{def} \forall \theta \in \textbf{\textit{Sa}} \bullet \textbf{DES}\ \theta f$$

$$\textbf{EINT } \textbf{\textit{Sa}}\ f =_{def} \forall \theta \in \textbf{\textit{Sa}} \bullet \textbf{INT}\ \theta f$$

- **JDES** ***Sa*** f a **JINT** ***Sa*** f jsou sdílená přání a záměry sociálního agenta ***Sa***

$$\textbf{JDES } \textbf{\textit{Sa}}\ f =_{def} \textbf{EDES } \textbf{\textit{Sa}}\ f \wedge \textbf{MBEL } \textbf{\textit{Sa}}\ \textbf{JDES } \textbf{\textit{Sa}}\ f$$

$$\textbf{JINT } \textbf{\textit{Sa}}\ f =_{def} \textbf{EINT } \textbf{\textit{Sa}}\ f \wedge \textbf{MBEL } \textbf{\textit{Sa}}\ \textbf{JINT } \textbf{\textit{Sa}}\ f$$

BDI agenti v multiagentním prostředí

- Spoluprácující agenti mají společné cíle a společný záměr dosáhnout některého ze společných cílů (pro silný realismus)

  Př: $\exists f \bullet \mathbf{JInt}\ Sa\ f$
- Koordinace agentů: agenti nemusí mír společné cíle, ale snaží se udržovat své činnosti ve stavu, ve kterém není konflikt záměrů

  Př: $\mathbf{JDes}\ \neg\mathbf{MBel}\ Sa$

  $(\exists f_1 f_2 \in \mathbf{AP}, \exists \theta_1 \theta_2 \in \boldsymbol{Sa} \bullet$

  $\mathbf{INT}\ f_1 \wedge \mathbf{INT}\ f_2 \wedge \mathbf{MBEL}\ \{\theta_1, \theta_2\}\ \neg\Diamond(f_1 \wedge f_2))$
- Sociální agent je konfliktní pokud existují dva agenti, kteří jsou jeho součástí, kteří mají záměry

  Př: $\exists f_1 f_2 \in \mathbf{AP}, \exists \theta_1 \theta_2 \in \boldsymbol{Sa} \bullet$

  $(\mathbf{INT}\ f_1 \wedge \mathbf{INT}\ f_2 \wedge \mathbf{MBEL}\ \{\theta_1, \theta_2\}\ \neg\Diamond(f_1 \wedge f_2))$

Interakci mezi agenty: důvody

- Společné nebo rozdílné cíle (přání): spolupráce umožní, nebo zvýší šance pro dosažení společného cíle, nebo více individuálních cílů
- Sdílené prostředky: prostředky mohou být důvodem konfliktu (kdy více agentů chce používat prostředek s exkluzivním použitím), nebo spolupráce, pokud agent má prostředek, který může beze ztráty poskytnout ostatním agentům
- Služby a schopnosti agentů: agenti sami nedokážou dosáhnout některého z cílů, ale jsou jej schopni dosáhnout ve spolupráci s jinými agenty

Interakce mezi agenty: rozdělení

- **Přímá interakce**

  U přímé interakce jeden agent ovlivňuje agenta, kterého má v úmyslu ovlivnit, přímo, bez přispění jiných prvků v systému. Jde o ovlivnění jeho smyslů, u umělých agentů se jedná o senzory.
  - Komunikace je nejobvyklejším způsobem přímého ovlivnění. K tomu, aby mohl agenti komunikovat za nějakým racionálním účelem, potřebují sdílet jazyk, ontologii a vyjednávací protokoly.
- **Nepřímá interakce**
  - Interakce skrz prostředníka jiný agent, než je agent cílový, na sebe vezme roli prostředníka v komunikaci. Buďto může jeho role být pasivní a spočívat pouze v předávání zpráv, nebo může být aktivní a komunikaci moderovat, případně rozhodovat (mediátor, brooker).
  - Interakce skrz prostředí v systému je prvek, většinou sdílený prostředek, který slouží k interakci mezi agenty. Jednotliví agenti ovlivňují stavy jiných agentů změnou stavu tohoto prvku (nástěnka, semafor)

Konflikty v MAS: etapy

- Detekce konfliktu: schopnost agenta, nebo agentů rozpoznat, že v MAS konflikt existuje
- Rozpoznání konfliktu: v konfliktním prostředí je rozpoznáno o jaký konflikt se jedná
  - Vyhnutí se konfliktu: Agent nebo agenti zvolí sami postup, který zabrání vzniku konfliktu
  - Vyřešení konfliktu: Komunikací je společně dohodnut postup, který eliminuje konflikt
  - Řízení konfliktu: Konfliktní situace přetrvává, ale jsou určena pravidla, jak v případných kolizích postupovat
- Poučení se z konfliktu: změná bází znalostí agentů, nebo jejich představ o, jeho vzniku a průběhu
- Analýza průběhu konfliktu: analýza způsobu řešení konfliktu a vhodnosti zvoleného řešení

Řešení konfliktů 1

- Útěk, všichni v kofliktu se vzdají řešení a ustoupí
  - Jednoduché, žádný agent neprohrál
  - Není dosaženo ani jednoho ze záměrů
- Zničení oponenta, jeden ze subjektů vyřeší konflikt tím, že existenci konfliktních
  - Slabší agent je vždy poražen
  - Ztráta agenta, nevratné řešení
- Podmanění oponenta, jeden z agentů je manipulací, výhružkami, podplácením apod.
  - Nedochází ke ztrátě agenta
  - Slabší z agentů musí spolupracovat s vítězem

Řešení konfliktů 2

- Delegace konfliktu, třetí strana rozhodne o řešení konfliktní situace a všichni zůčastnění jsou zavázání rozhodnutí přijmout
  - Společný závazek, objektivita
  - Horší ztotožnění se a pochopení důvodů řešení
- Kompromis, jednotliví účastníci konfliktu sleví ze svých cílů tak, že je dosaženo nekonflitního stavu
  - Dobrý kompromis může být dosažen, pokud je konflikt analyzován z různých úhlů pohledu
  - V případě částečného řešení se může konflikt znovu objevit
- Konsensus, konsensu je dosaženo tím, že je zvoleno jiné řešení, které vyhovuje oběma stranám
  - Řešení vyhovuje oběma stranám
  - Je často složité nalézt vhodný konsensus

MAS: konfilkty – rozdělení

- Konflikty moho být fyzické. Fyzické konflikty jsou konflikty o prostředky – data, služby, přístup do kritické sekce, komunikační kanály v případě robotů i prostor.
- … nebo mentální. Mentální konflikty jsou konflikty u představ, přání, závazků, záměrů apod. Například:
  - **BEL** $ag_1\ f \wedge$ **BEL** $ag_1\ \neg f$
  - **BEL** $ag_1\ f \wedge$ **BEL** $ag_1\ f \wedge$ (**BEL** $ag_2\ \neg f$)
  - **DES** $ag_1\ f \wedge$ **DES** $ag_2\ \neg f$
  - **INT** $ag_1\ f \wedge$ **OBL** $ag_1\ \neg\ f$ // **OBL** *a f*, *a* je zavázán k *f*

MAS: řešení konfilktů

- Mentální konflikty
  - Konflikt u jednoho agenta → revize mentálních stavů, proces pro odstranění nebo změnu formulí tak aby mentální stav agenta byl konzistentní
  - Konfilkt mezi více agenty: komunikace, zejména vyjednávání, argumentace, agent v komunikaci prosazuje své mentální postoje, případně je podporuje argumenty. Výsledkem by v ideálním případě mělo být dosažení konzistence
- Fyzické konflikty
  - komunikace, vyjednávání (řešení konkrétního konfliktu)
  - koordinace činností agentů (pro delší časový úsek)

MAS: protokoly pro řešení konfliktů

- Funkce $\boldsymbol{X}$: $\mathbf{C} \rightarrow \mathbf{K}$ zobrazuje stav prostředí na množinu konfliktů v daném stavu
- K řešení konfliktů je třeba redukovat množinu **C** tak, aby nebyla konfliktní, nebo aby byla minimální z pohledu řešitelnosti konfliktů
- Zápis $c_1 \rightarrow^{p} c_2$ značí změnu stavu systému provedením protokolu p

MAS: protokoly pro řešení konfliktů

Distribuovaný protokol ***p*** se vstupem **c** je racionální protokol pro řešení konfliktů v daném stavu, pokud

$$\mathbf{c} \rightarrow^{\mathbf{p}} \mathbf{c'}\ ,\ |\boldsymbol{X}(\mathbf{c'})| < |\boldsymbol{X}(\mathbf{c})|$$

Protokol v daném stavu redukuje množinu konfliktů, pokud

$$\mathbf{c} \rightarrow^{\mathbf{p}} \mathbf{c'}\ ,\ \boldsymbol{X}(\mathbf{c'}) \subset \boldsymbol{X}(\mathbf{c})$$

Konflikt *k* je redukovatelný vyjednáváním, pokud pro množinu konfliktů v daném stavu $\mathbf{K'} \subseteq \mathbf{K}$, $k \in \mathbf{K}$ existuje racionální protokol.

Množina konfliktů **K**' ve stavu **c** je redukovatelná, pokud existuje posloupnost protokolů $p_1 \ldots p_n \in \mathbf{P}$ pro stav

$$\mathbf{c} \rightarrow^{\mathbf{p1}} \mathbf{c'} \rightarrow^{\mathbf{p2}} \cdots \rightarrow^{\mathbf{pn}} \mathbf{c}^{(n)},\ \boldsymbol{X}(\mathbf{c}) = \{\}$$

MAS: protokoly pro řešení konfliktů

- Pokud agenti $\mathbf{g} \subseteq \Theta$ znají nějaký protokol $p \in \mathbf{P}$, o kterém věří, že jejich použitím se vyřeší konflikt *o*, potom se snaží konflikt vyřešit

$$\mathbf{MBEL\ g}\ \boldsymbol{conflict}(o)$$

$$\mathbf{MBEL\ g\ EF}\ \neg\boldsymbol{conflict}(o)$$

$$\mathbf{MBEL\ g}\ \exists p \in \mathbf{P} \bullet \boldsymbol{solves}(p,o)$$

$$\rightarrow \mathbf{J\text{-}DES}\ \neg\boldsymbol{conflict}(o)$$

MAS: protokoly pro řešení konfliktů:

- Dražby – více agentů má zájem na využití sdíleného prostředku, nebo služby, a soutěží v dražbě o jeho/jejím přídělení.
- Volby – situace, kdy existuje několik řešení (reprezentovaných kandidáty, kteří řešení navrhují) a je voleno řešení na základě preferencí jednotlivých agentů v MAS.
- Vyjednávání – agenti hledají kompromis pro řešení konfliktů, většinou způsobem, kdy agenti slevují ze svých cílů
- Argumentace – protokol pro řešení mentálních konfliktů. Dvě teorie jsou v rozporu a předmětem sporu je znalost. Agenti se snaží podpořit znalost na základě argumentů a vyvozování.

Spolupracující agenti

- Spolupráce mezi agenty má následující etapy:
- Rozpoznání situace vhodné pro spolupráci: v prostředí se vyskytla situace, kdy některý z agentů má přání dosáhnout cíle, kterého nemůže dosáhnout bez vědomé pomoci ostatních agentů
- Formování týmu: Tým je složen z agentů, kteří jsou za dohodnutých podmínek ochotni spolupracovat a mají schopnosti. Zformovaný tým má záměr dosáhnout cíle, pro který byl sestaven
- Skupinové plánování: Podle schopností a typů úloh sestavují agenti buďto samostatně, nebo koordinovaně plány pro dosažení záměru
- Skupinové konání: Koordinované vykonání sestaveného plánu

Typy úloh pro společné řešení

- Společné řešení úlohy, ale během jejího řešení jednají agenti nezávisle (sborník textů)
- Agenti jednají společně a komunikují spolu během řešení úlohy (navigace, hledání rizik)
- Agenti jednají koordinovaně, jejich postupy jsou uspořádány (stavba dům)
- Agenti používají společné atomické akce (pohádka o velké řepě, zvedání břemene)

Koalice

- Ve stavu, kdy přetrvává společný zájem více agentů ve vzájemnou spolupráci, nebo dodržování souboru pravidel, je vhodné, aby se agenti dohodli dodržovat určitá, předem ustanovená pravidla
- Pravidla pro sdílení prostředků → zamezení ztrátám kvůli opakovanému řešení konfliktů, pokud budou respektována daná pravidla
- Pravidla pro spolupráci při plnění úloh → skupina je schopna plnění úloh, které nemohou agenti plnit samostatně
- Sdílení informací → agenti jsou zavázání šířit aktuální informace v koalici (analýza rizik, skupinové rozhodování)

Koalice: penalizace

- Odebrání prostředků – agentovi mohou být odebrány přidělené prostředky, např. strojový čas, paměťové prostředky, komunikační a transportní kanály apod.
- Zrušení závazků vůči agentovi – agenti s aktuálním závazkem vůči agentovi mohou při porušení pravidel zrušit své závazky vůči agentovi
- Ztráta reputace – reputace je informace šířená v multiagentním prostředí o důvěryhodnosti entit v systému. Špatná reputace -> nižší šance na dohody v budoucnu
- Izolace agenta – zamítání přístupu do agentních platforem, informační izolace a odmítání komunikace