



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Departamento de Informática

Coordenação

Mestrado Integrado em Engenharia Informática

Mestrado em Engenharia Informática

Perfil SI :: **Agentes e Sistemas Multiagente**

- Sistemas Multiagente
- Coordenação
- Cooperativo versus Competitivo
- Negociação
 - Definição e tipos;
 - Mecanismos de negociação;
 - Modelo, protocolo e esquema de raciocínio.
- Leilões
- Quantificação de Processos
 - Táticas:
 - dependentes do Tempo;
 - dependentes dos Recursos;
 - dependentes do Comportamento.



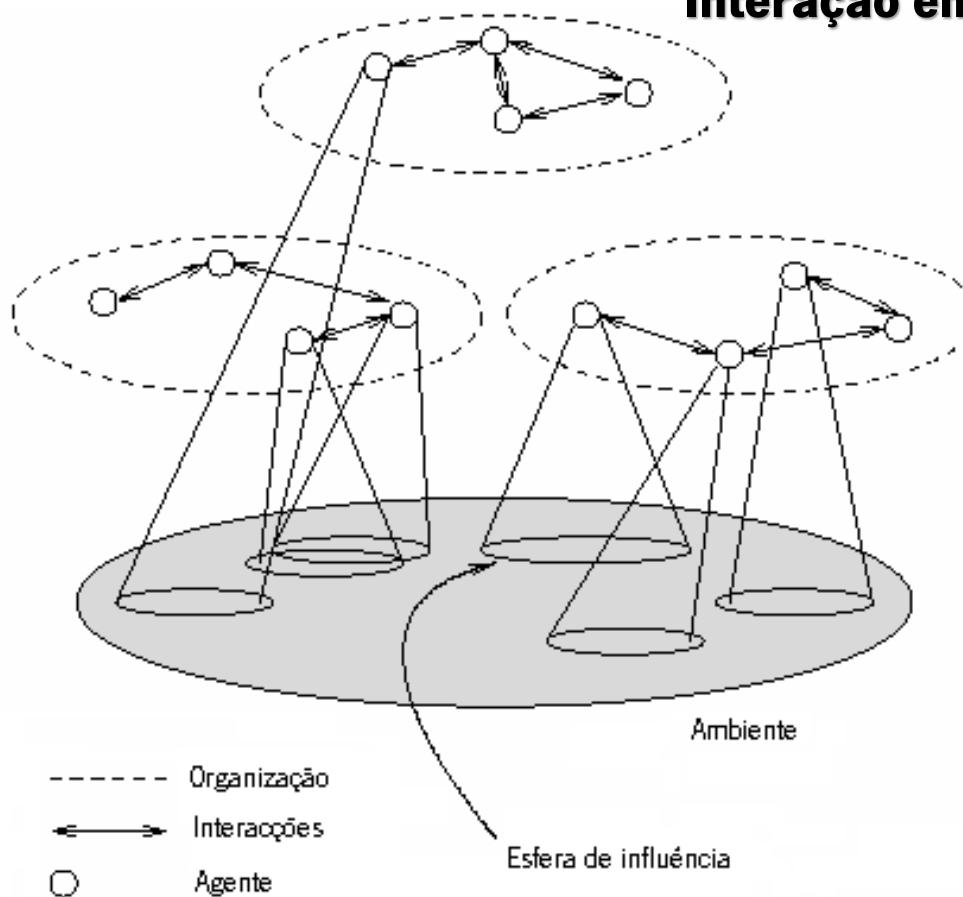
- Estratégias
- Teoria dos Jogos
- Trabalhando em Conjunto
- Resolução Cooperativa de Problemas
- Redes de Conhecimento
- Redes de Contratação



- Um Agente Inteligente corporiza um sistema computacional capaz de revelar uma ação autónoma e flexível, desenvolvida num determinado ambiente;
- Um Sistema Multiagente é um sistema computacional em que os agentes interagem de modo a desempenhar um determinado conjunto de tarefas;
- Coordenar agentes implica colocá-los a trabalhar em conjunto de forma a atingir um objetivo comum.



Interação em Sistemas Multiagente



Wooldridge, 1999

Coordenação

- “Processo de gestão das interdependências entre atividades”

[Malone e Crowston, 1994]

- “Processo pelo qual um agente raciocina acerca das suas ações locais e das ações previstas dos outros para tentar assegurar que a comunidade atue de modo coerente”

[Jennings, 1996]

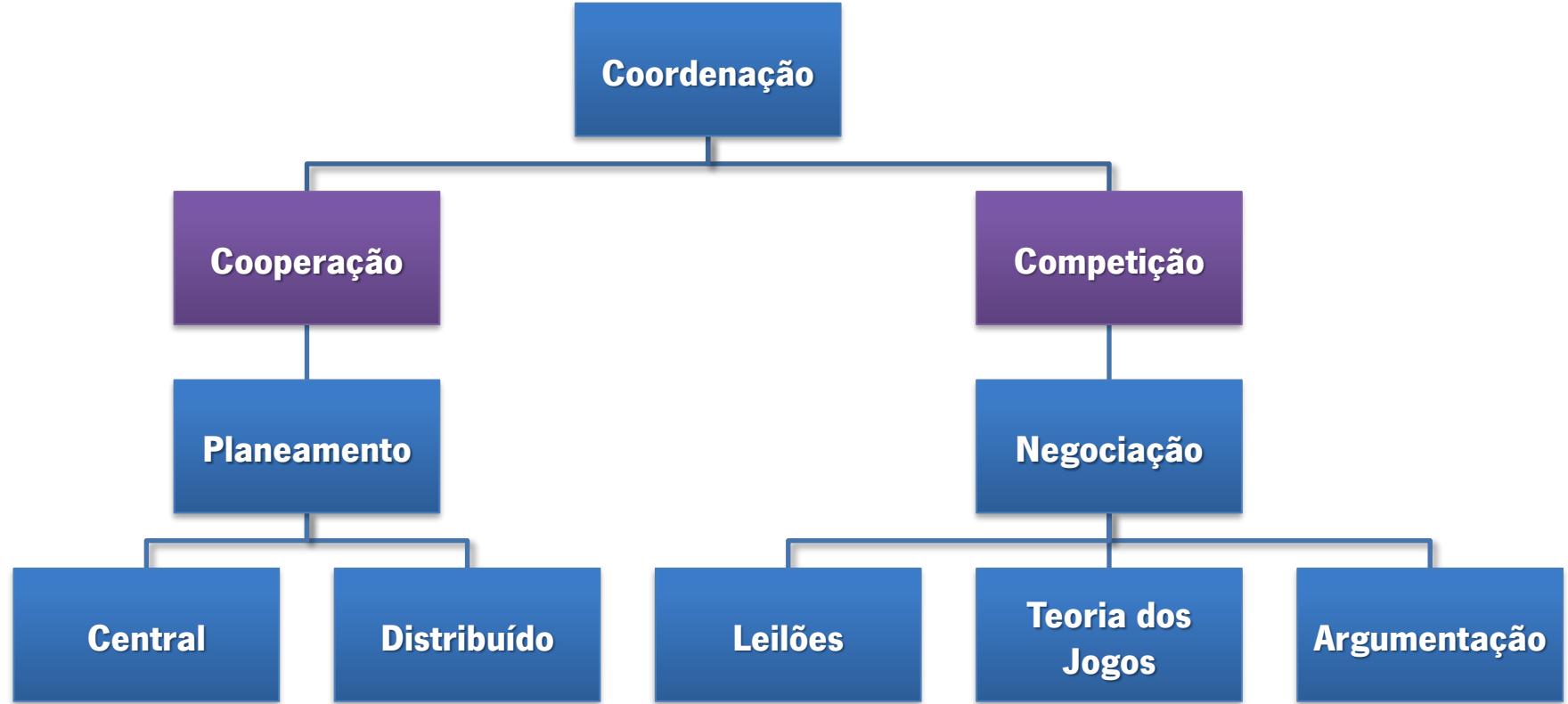
- “Ato de trabalhar em grupo, de forma harmoniosa”

[Malone et al., 2001]

Cooperação *versus* Competição

- Coordenação:
 - Ato de trabalhar em conjunto de forma harmoniosa, com o propósito de alcançar um objetivo em comum (e.g., tarefa, acordo)
- Cooperação:
 - Processo de tomada de decisão em que as partes envolvidas negoceiam para alcançarem um ou mais objetivos;
- Competitiva:
 - Processo de decisão em que as partes envolvidas competem tendo em conta um único objetivo.

Coordenação em SMA



Cooperação *versus* Competição

- Ambientes Cooperativos:

- Os agentes agem de forma a aumentar a utilidade global do sistema e não a sua utilidade pessoal;
- Existe a preocupação com o aumento do desempenho global do sistema e não com o desempenho individual.

- Ambientes Competitivos:

- Os agentes têm a sua própria “agenda” e motivações;
- Os agentes estão interessados na sua satisfação pessoal e não interessados no bem da comunidade;
- Principalmente, utilizados em cenários que envolvam a aquisição de bens ou serviços.

Propriedades dos Protocolos

- Sucesso garantido:
 - O protocolo garante que há sucesso na negociação.
- Maximização do bem social:
 - O protocolo maximiza o bem social garantindo que o resultado maximiza a soma das utilidades dos participantes na negociação.
- *Pareto efficiency*:
 - O resultado da negociação é *Pareto efficient* se não há outro resultado possível que coloque pelo menos um agente em melhor situação sem que coloque outro agente em pior situação.
- *Individual Rationality*:
 - Um protocolo é fundamentado em racionalidade individual se garantir os interesses dos participantes na negociação .

Propriedades dos Protocolos

- Estabilidade:
 - Um protocolo diz-se estável se der aos agentes um incentivo para agirem de determinada forma que atinge uma estabilidade na cooperação;
(e.g., atingir o Equilíbrio de *Nash*)
- Simplicidade:
 - um protocolo diz-se simples se tornar a estratégia apropriada de negociação óbvia;
(ao usá-lo, o agente descobre facilmente a estratégia óptima)
- Distribuição:
 - um protocolo diz-se distribuído se assegura que não existe um ponto de falha minimizando a comunicação entre agentes.

- É o processo através do qual duas ou mais entidades comunicam, de uma certa forma, para chegar a uma decisão comum;

[Lomuscio et al., 2000]

- As entidades (agentes) usam a negociação para a resolução de conflitos e para a coordenação entre si.



Tipos de Negociação

- Negociação Competitiva:

- consiste num processo de decisão em que as partes envolvidas competem por um único objetivo, mutuamente exclusivo;
 - assume-se que existe algum conflito de interesses, manifestando-se através de um comportamento “egoísta”;

- Negociação Cooperativa:

- é um processo de decisão em que as partes envolvidas negoceiam sobre vários objetivos interdependentes, mas não mutuamente exclusivos.

- Leilões:

- instituição de mercado com um conjunto de regras onde se determinam atribuições de recursos e preços, a partir de licitações dos participantes ;
(limita-se a negociação sobre um único atributo que caracteriza o bem ou serviço em questão)

- Teoria de Jogos:

- processo de negociação iterativo, em que os participantes trocam propostas e contra-propostas, relativas a acordos globais, visando atingir os seus objetivos locais a um custo que seja o mais baixo possível.

- Aproximação por Heurísticas:

- pressupõe que os agentes possuam um conjunto de táticas de negociação, sendo as propostas trocadas pelos participantes geradas por uma combinação linear destas.

Mecanismos de Negociação

- Planeamento por Contratação:
 - Processo de negociação que não admite contra-propostas;
 - Decorre em três passos:
 - pedido de propostas;
o agente que necessita de ajuda emite um anúncio
 - ciclo de ofertas;
os interessados respondem com propostas
 - decisão;
o agente finaliza com a seleção e aceitação da melhor proposta

Mecanismos de Negociação

- Argumentação:

- Um agente negociador, neste contexto, deverá, no mínimo, ter a capacidade de realizar e responder a propostas, entendendo-se uma proposta como sendo uma possível solução para um problema atual;
- A geração de propostas é realizada pela construção de argumentos que refletem a intenção do agente;
- A negociação procura influenciar os parceiros do negócio, persuadindo-os a agir de uma forma particular;
- Troca-se conhecimento justificado, que permita o estabelecimento de mecanismos para contrapor um preço ou as características de um bem ou serviço.

- Protocolo:
 - Conjunto de regras que governam as interações entre os agentes participantes;
- Objeto:
 - Conjunto de atributos sobre os quais se pretende chegar a acordo.;
 - Pode conter um único atributo (p.ex., preço) ou uma variedade de atributos (p.ex., quantidade, prazos, condições de entrega);
- Modelos de Tomada de Decisão
 - Modelos que os participantes utilizam de modo a atuar de acordo com o protocolo de negociação, tendo em vista atingir os objetivos propostos.

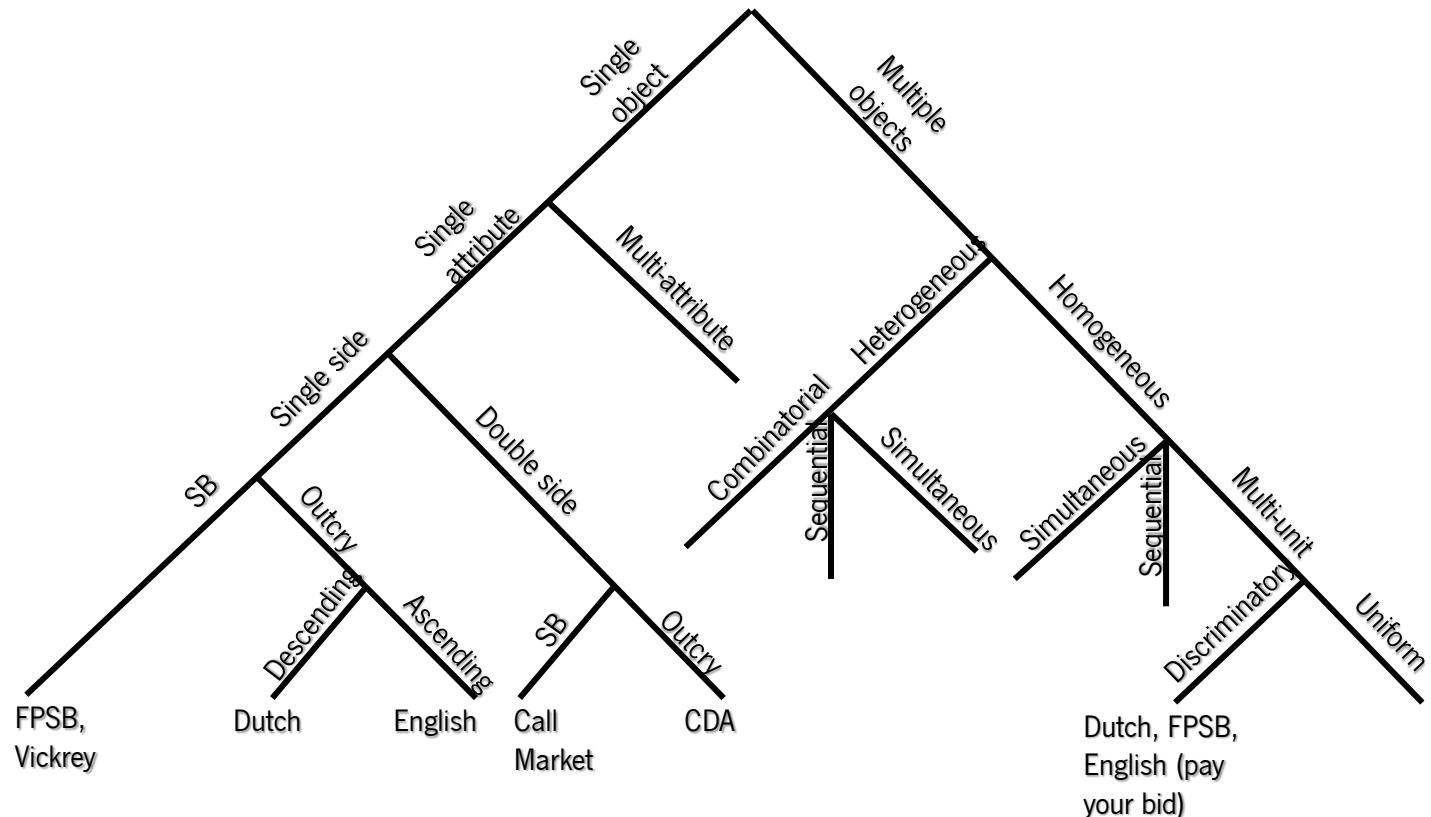
- Um leilão é uma instituição de mercado com um conjunto de regras onde se determinam atribuições de recursos e preços a partir de licitações dos participantes;
- Determinação do vencedor:
 - *first-price*: o agente que fez a oferta mais alta ganha;
 - *second-price*: o agente que fez a oferta mais alta ganha, mas paga o valor da segunda oferta.
- Aberto ou fechado:
 - Ofertas abertas: as ofertas/apostas são conhecidas por todos;
 - Ofertas fechadas: as ofertas são seladas, não sendo conhecidas entre os participantes.
- Procedimento de oferta:
 - Lance único: só existe uma sessão de oferta;
 - Ascendente: o valor começa baixo e vai subindo com as ofertas até não haver mais nenhuma oferta;
 - Descendente: o valor começa alto e vai descendo.

- Leilão Inglês:
 - *first-price*, ofertas abertas, ascendente;
 - oferecem-se propostas sucessivamente crescentes e o leilão termina após a oferta da última proposta, que é a vencedora;
 - se houver incerteza no valor do bem pode ser perigoso oferecer mais do que os restantes agentes.
- Leilão Holandês
 - ofertas abertas, descendente;
 - o vendedor anuncia um valor de venda, que decresce gradualmente;
 - o primeiro a aceitar é o vencedor.

- Leilões de oferta selada de primeiro preço:
 - *first-price*, ofertas fechadas, lance único;
 - licitar um pouco abaixo do seu valor para o agente (pensar no valor da 2º mais alta licitação).
- Leilões Vickrey
 - igual ao anterior, mas valor a pagar corresponde ao segundo mais elevado;
 - *second-price*, ofertas fechadas, lance único;
 - faz com que a estratégia dominante seja licitar o valor próprio do agente
 - não é usado em leilões com humanos (interessante para a área de Agentes Inteligentes);
 - é suscetível a comportamento anti-social.

William Vickrey, 1914–1996, Prémio Nobel da Economia, 1996

Classificação de Leilões



Maria Fasli, 2007

- Nenhum dos tipos de leilões está imune a certas e determinadas “conjugações” de esforços;
- Concertação entre os agentes licitadores:
 - conluio/coligação de agentes que acordam entre si um preço abaixo do valor real (dividem os lucros entre si);
 - só se evita através de um protocolo que assegure que os agentes licitadores não se conhecem.
- *Sniping*:
 - lances à última da hora, sem possibilidade de resposta.
- *Winner's curse*:
 - Maldição do vencedor (não planear!).
- *Lying auctioneer*:
 - lances falsos com vista a inflacionar os preços.

- Processo pelo qual uma decisão conjunta é tomada por duas ou mais partes;
- As partes começam por exprimir exigências contraditórias e chegam a acordo através de um processo de concessões e de procura de novas alternativas;

[Farantin et al., 1997].



- Multi-lateral:
 - As entidades envolvidas (agentes compradores/vendedores) têm a habilidade de negociar simultaneamente com várias outras entidades (agentes vendedores/compradores).
- Multi-dimensão:
 - A negociação pode decorrer sobre cada uma das dimensões que caracterizam o objeto negociado (p.ex., preço, qualidade, garantia, modalidades de pagamento);
 - A negociação decorre através da troca de propostas entre os agentes envolvidos na negociação;
 - Uma proposta consiste num valor para cada uma das dimensões que caracterizam o objeto da negociação.
- Modelo de negociação orientado ao serviço [Faratin et al. (1997)]:
 - Envolve dois papéis que estão, em princípio, em conflito: vendedores de serviços e compradores de serviços;
 - Um serviço é algo que pode ser fornecido por um agente e requerido por outro agente, e acerca do qual eles podem negociar.

Negociação multi-lateral e multi-dimensão

- A negociação multi-lateral traduz-se num conjunto de negociações bilaterais a decorrer simultaneamente;
- Numa negociação bilateral, a sequência de propostas e contra-propostas denomina-se fluxo de negociação;
- As propostas e contra-propostas são geradas por combinações lineares de funções chamadas táticas;
- As táticas usam um certo critério (tempo, recursos, etc.) na geração de uma proposta para uma dada dimensão;
- São atribuídos pesos diferentes a cada uma das táticas usadas na combinação referida, representando a importância de cada critério na tomada de decisão;
- A estratégia define a forma pela qual um agente altera os pesos relativos das diferentes táticas que guiam a sua tomada de decisão ao longo do tempo.

- Numa negociação sobre n dimensões, para cada dimensão $j \in \{1, \dots, n\}$, cada agente i define:
 - uma gama de valores aceitáveis $[\min_j^i, \max_j^i]$
 - uma função de pontuação $V_j^i: [\min_j^i, \max_j^i] \rightarrow [0, 1]$
 - um peso w_j^i
- Pesos normalizados ($\sum_i w_j^i = 1$);
- A função de pontuação do agente que, para uma determinada proposta $X = (x_1, \dots, x_n)$, combina as pontuações das diferentes dimensões no espaço multi-dimensional definido pelas suas gamas de valores:
 - $V^i(x) = \sum_j w_j^i V_j^i(x_j)$.

- Cada entidade tem um determinado objetivo que especifica a sua intenção de compra ou venda de um produto específico.
- O objetivo deve ser alcançado até um certo limite temporal t_{\max} .
- Um agente continua o seu processo de negociação até que uma de duas situações ocorra:
 - o agente chega a acordo com outro agente;
 - o agente chega ao fim do tempo disponível para alcançar o objectivo.

- O modelo de negociação adotado é multi-lateral e multi-dimensão. A negociação decorre através da troca de propostas entre os agentes, que vão concedendo nos valores pedidos/oferecidos utilizando diversos critérios, como o **tempo**, a disponibilidade de **recursos** ou o **comportamento** dos oponentes de negociação.
- O objetivo da negociação é a maximização da utilidade obtida numa transação.
- É necessário estudar a forma de preparar adequadamente as propostas e as contra-propostas.



Táticas dependentes do Tempo

- Os agentes variam as suas propostas de acordo com o tempo que dispõem para negociar.
- Estas táticas usam uma função dependente do tempo que pode ser parametrizada.
- Uma proposta x para a dimensão j , do agente a para o agente b , no tempo t , com $0 \leq t \leq t_{\max}^a$, pode ser calculada da seguinte forma:

$$x_{a \rightarrow b}^{t, j} = \begin{cases} \min_j^a + \alpha_j^a(t)(\max_j^a - \min_j^a), & \text{se } V_j^a \text{ diminui} \\ \min_j^a + (1 - \alpha_j^a(t))(\max_j^a - \min_j^a), & \text{se } V_j^a \text{ aumenta} \end{cases}$$

- onde V_j^a é a função de pontuação cujo valor reflete a intenção do agente;
(p.ex., para a dimensão preço, os compradores terão uma função de pontuação decrescente, ao passo que para os vendedores esta será crescente)

Táticas dependentes do Tempo

- Qualquer função $\alpha_j^a(t)$ definindo o comportamento dependente do tempo deve satisfazer as seguintes restrições:
 - $0 \leq \alpha_j^a(t) \leq 1$: as propostas estão dentro da gama de valores;
 - $\alpha_j^a(0) = \kappa_j^a$: a variável κ_j^a ajusta o valor inicial, dentro da gama de valores, para o tempo inicial;
 - $\alpha_j^a(t_{\max}^a) = 1$: no final do tempo disponível para negociação, será proposto o valor de reserva – que obtém o menor resultado da função de pontuação V_j^a .

- Classes de funções:
 - Polinomiais
$$\alpha_j^a(t) = \alpha_j^a + (1 - \alpha_j^a) \left(\frac{\min(t, t_{\max})}{t_{\max}} \right)^{\frac{1}{\beta}}$$
 - Exponenciais
$$\alpha_j^a(t) = e^{(1 - \frac{\min(t, t_{\max})}{t_{\max}})^{\beta} \ln \alpha_j^a}$$

Táticas dependentes de Recursos

- Os agentes fazem variar as suas propostas com base na disponibilidade de um determinado recurso.
- Estas táticas são semelhantes às dependentes do tempo, só que o domínio da função usada é a quantidade de um recurso e não o tempo.
- Pode ser conseguido tornando o tempo máximo de negociação dinâmico, ou fazendo com que a função dependa de uma estimativa da quantidade de um recurso.

Táticas dependentes de Recursos

- Táticas de Tempo Máximo de Negociação Dinâmico

- Faz variar o tempo máximo de negociação de acordo com a disponibilidade de um determinado recurso;
 - Se um agente vendedor a deteta muitos compradores interessados no seu produto, então não há necessidade de obter rapidamente um acordo;
 - O grupo de agentes a negociar com o agente a no tempo t é:

$$N^a(t) = \{ | x_i^t \leftrightarrow a \text{ está activo} \}$$

- O tempo máximo de negociação dinâmico, usando o recurso acima descrito, é:

$$t_{\max}^a = t + \mu^a \frac{|N^a(t)|^2}{\sum_i |x_i^t \leftrightarrow a|}$$

Táticas dependentes de Recursos

- Táticas de Estimativa de Recursos

- As táticas de estimativa de recursos (*resource*) medem a quantidade de um recurso num tempo t.

$$\alpha_j^a(t) = \alpha_j^a + (1 - \alpha_j^a)e^{-resource(t)}$$

- A função *resource* é usada para avaliar a quantidade de recursos disponíveis no tempo t (p.ex., em função dos oponentes).

$$resource(t) = \alpha^a \frac{|N^a(t)|^2}{\sum_i |x_i \leftrightarrow a|}$$

Táticas dependentes do Comportamento

- Os agentes tentam imitar o comportamento dos seus oponentes num determinado grau.
- Diferentes tipos de imitações podem ser feitas, baseando-se na conduta da negociação de um oponente na sequência das suas propostas:
 - imitação proporcional;
 - imitação absoluta;
 - imitação proporcional média.

Táticas dependentes do Comportamento

■ Imitação Proporcional

- Estas táticas imitam proporcionalmente (numa determinada percentagem) o comportamento de um oponente $\delta \geq 1$ passos atrás:

$$x_{a \rightarrow b}^{t_{n+1}}[j] = \min(\max(\frac{x_{b \rightarrow a}^{t_{n-2} \delta}[j]}{x_{b \rightarrow a}^{t_{n-2} \delta+2}[j]} x_{a \rightarrow b}^{t_{n-1}}[j], \min_j a_j), \max_j a_j)$$

■ Imitação Absoluta

- Estas táticas imitam em termos absolutos o comportamento do oponente:

$$x_{a \rightarrow b}^{t_{n+1}}[j] = \min(\max(x_{a \rightarrow b}^{t_{n-1}}[j] + (x_{b \rightarrow a}^{t_{n-2} \delta}[j] - x_{b \rightarrow a}^{t_{n-2} \delta+2}[j]) + (-1)^s R(M), \min_j a_j), \max_j a_j)$$

■ Imitação Proporcional Média

- Estas táticas imitam proporcionalmente, calculando a alteração média de um certo número de propostas em relação à última proposta:

$$x_{a \rightarrow b}^{t_{n+1}}[j] = \min(\max(\frac{x_{b \rightarrow a}^{t_{n-2} \gamma}[j]}{x_{b \rightarrow a}^{t_n}[j]} x_{a \rightarrow b}^{t_{n-1}}[j], \min_j a_j), \max_j a_j)$$

- A geração de uma proposta consiste na geração de um valor para cada uma das dimensões utilizadas.
- A geração do valor de cada dimensão obedece à utilização de várias táticas combinadas de forma ponderada.
- Uma estratégia pode ser interpretada como a forma pela qual se selecionam as combinações ponderadas das táticas descritas.
- A estratégia de um agente determina que combinação de táticas deve ser usada em cada instante particular de um episódio.
- Define-se uma matriz de pesos de táticas, a ser utilizada num determinado momento para a geração de uma proposta.
- Para uma negociação em p dimensões, combinando para cada uma delas m táticas, tem-se:

$$\Gamma_{a \rightarrow b}^t = \begin{pmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} & \cdots & \omega_{1m} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \cdots & \omega_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \omega_{p1} & \omega_{p2} & \cdots & \omega_{pm} \end{pmatrix}$$

Notas:

- Não agimos no vazio, e os agentes (porque estão em uma sociedade) também não o deverão fazer.
 - O comportamento em sociedade é orientado por estratégias que são quanto melhores se considerem as decisões dos outros.
-
- A teoria de Jogos estuda o que sucede quando agentes com interesses próprios interagem;
 - Recordo que um jogo é “uma atividade competitiva ... na qual jogadores lutam entre si de acordo com um conjunto de regras”;
 - Pode ainda ser visto como: uma forma formal de analisar a interação entre um grupo de agentes racionais que se comportam estrategicamente.

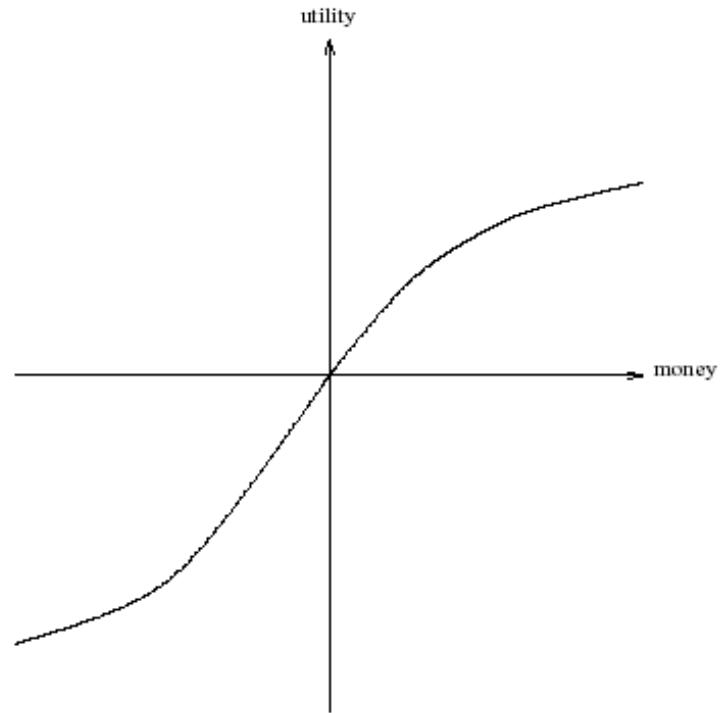
Teoria de Jogos Utilidades e Preferências

- Assume-se que temos dois agentes: $A_g = \{ i, j \}$
- Os agentes têm interesses próprios determinados pelos seus desejos;
- Os agentes decidem que ação executar baseando-se em utilidades e preferências:
 - Ambos escolhem uma ação simultaneamente (ou sem saber a ação do outro);
 - A combinação das ações determina um resultado.
- Uma função de utilidade é uma função dos resultados (estados do mundo) em valores reais (que dão os valores de uma dada ação);
- Assume-se que $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots\}$ é o conjunto de resultados possíveis;
- A função de utilidade é dada na forma:
$$u_i = \Omega \rightarrow \mathbb{R}$$
$$u_j = \Omega \rightarrow \mathbb{R}$$
- A existência da função de utilidade permite a criação de uma relação de ordem de preferência de resultados:
 $\omega \gtrsim_i \omega'$ significa $u_i(\omega) \geq u_i(\omega')$
 $\omega >_i \omega'$ significa $u_i(\omega) > u_i(\omega')$

- Jogadores: formam o grupo e são os decisores (decision-makers).
- Interações: as ações de um jogador afetam as ações de outro jogador.
- Estratégia: um jogador (individual) é responsável e usa a sua independência ao decidir que ação tomar, ou seja, define sua estratégia.

Função de Utilidade

- A abordagem dominante para modelar o interesse de um agente é a teoria da utilidade.
- Uma função de utilidade é um mapeamento de estados do mundo para números reais e esses números devem ser interpretados como o nível de “felicidade” (agrado) do agente nos estados fornecidos.



Relação entre o valor/dinheiro e a sua utilidade.

Como estudar a cooperação entre agentes?

- Noção de “encontro”

- Os agentes na sociedade escolhem que acção executar;
 - Como resultado das acções escolhidas, haverá um resultado R
 - No entanto, o resultado final dependerá da combinação das diversas acções dos diversos agentes
 - O comportamento do ambiente é dado por uma função de transformação de estado:

$$\tau : \begin{matrix} \mathcal{A}_i \\ \text{agent } i\text{'s action} \end{matrix} \times \begin{matrix} \mathcal{A}_j \\ \text{agent } j\text{'s action} \end{matrix} \rightarrow \Omega$$

- Os agentes podem optar por dois tipos de acção:
 - C (cooperar) e D (não cooperar)

Exemplos de Funções de Transformação dos estados

- *Função de transformação:* $t(\text{Agente}_i, \text{Agente}_j) = \omega_k$ (estado do mundo)
 - $t(D,D) = \omega_1$ $t(D,C) = \omega_2$ $t(C,D) = \omega_3$ $t(C,C) = \omega_4$
(o ambiente reage às ações de ambos os agentes - ω_i - estados do mundo)
 - $t(D,D) = \omega_1$ $t(D,C) = \omega_1$ $t(C,D) = \omega_1$ $t(C,C) = \omega_1$
(o ambiente não reage às ações de nenhum dos agentes)
 - $t(D,D) = \omega_1$ $t(D,C) = \omega_2$ $t(C,D) = \omega_1$ $t(C,C) = \omega_2$
(o ambiente reage às ações do agente_j sendo controlado por ele)

- Cada um dos agentes decide o que fazer tendo em conta as suas funções de utilidade.
 - $u_i(\omega_1) = 1 \quad u_i(\omega_2) = 1 \quad u_i(\omega_3) = 4 \quad u_i(\omega_4) = 4$
 - $u_j(\omega_1) = 1 \quad u_j(\omega_2) = 4 \quad u_j(\omega_3) = 1 \quad u_j(\omega_4) = 4$
- Considerando que:
 - $u_i(D,D) = 1 \quad u_i(D,C) = 1 \quad u_i(C,D) = 4 \quad u_i(C,C) = 4$
 - $u_j(D,D) = 1 \quad u_j(D,C) = 4 \quad u_j(C,D) = 1 \quad u_j(C,C) = 4$
- Ou seja o agente **i** tem as seguintes preferências:
$$C,C \succsim_i C,D \succsim_i D,C \succsim_i D,D$$
- C é escolha racional de i

Matriz de Pagamentos

- Podemos caracterizar o cenário na seguinte matriz:

		<i>i</i>	
		defect	coop
<i>j</i>	defect	1	4
	coop	1	4
		4	4

- Agente *i* é o jogador representado pelas colunas;
- Agente *j* é o jogador representado pelas linhas.

Comportamento de Agentes Raciocinais

- Jogando/interatuando:
 - Estratégias dominantes;
 - *Nash equilibrium*;
 - Estratégias de otimização *Pareto*;
 - Estratégias que maximizam o bem-estar.

Estratégias Dominantes

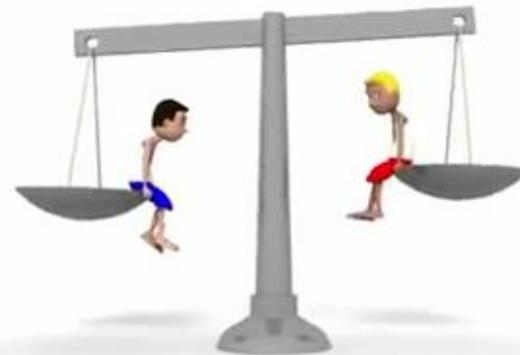
- Dominância

- Dois conjuntos Ω_1 e Ω_2 :
 - Diz-se que Ω_1 domina Ω_2 se cada resultado de Ω_1 é preferido por i sobre cada resultado de Ω_2 .
- $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4\}$
- $\omega_1 \succsim_i \omega_2 \succsim_i \omega_3 \succsim_i \omega_4$
- $\Omega_1 = \{\omega_1, \omega_2\}$
- $\Omega_2 = \{\omega_3, \omega_4\}$

Nash Equilibrium

- Duas estratégias s_1 e s_2 estão em equilíbrio de *Nash*:
 - Se o agente i segue s_1 , o agente j não pode fazer melhor do que seguir a estratégia s_2 ;
 - Se o agente j segue a estratégia s_2 o agente i não pode fazer melhor do que seguir a estratégia s_1 .
- Esta forma de equilíbrio é importante na medida que garante que os agentes se agrupam em torno de um conjunto de estratégias, e nenhum dos agentes deve querer afastar-se do ponto de equilíbrio (não existe incentivo para tal).
- No entanto:
 - Nem todos os cenários de interação entre agentes tem um equilíbrio;
 - Algumas interações levam a mais do que um ponto de equilíbrio.

Nash Equilibrium



Estratégias de optimização de Pareto

- Um resultado diz-se *Pareto Óptimo* (ou *Pareto eficiente*) se não existir outro resultado que coloque um agente em melhor situação, sem colocar o outro agente em pior situação;
- Se um resultado é *Pareto Óptimo*, pelo menos um agente estará relutante em mudar porque ficará em pior situação;
- Se um resultado ω é não *Pareto Óptimo*, então existe um outro resultado ω' melhor para todos;
- Agentes raciocinais concordarão em mover-se para ω' .

(mesmo que eu não beneficie directamente, outros podem beneficiar sem eu ser prejudicado)

- O Bem-estar Social de um resultado ω é o somatório das utilidades obtidas de ω :

$$\sum(w)$$

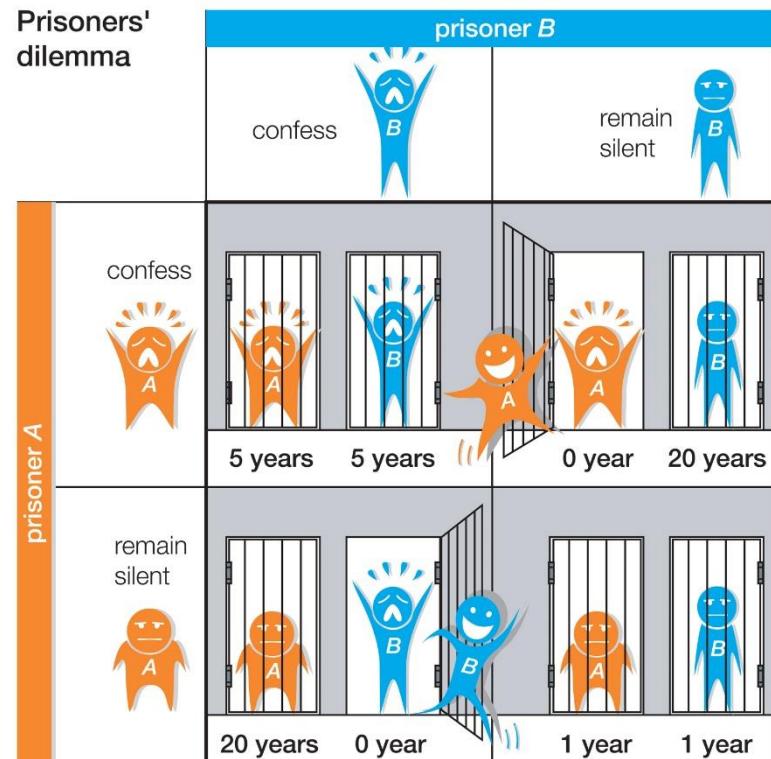
- Pode ser uma solução adequada quando o sistema (todos os agentes) pertence a um único dono;
- Neste caso, o benefício do sistema é mais importante do que o individual;
(e.g., a quantidade total de dinheiro no sistema)

Interações de Soma-Nula

- Quando as preferências dos agentes são diametralmente/directamente opostas estamos perante cenários competitivos;
- Soma-Nula:
$$u_i(\omega) + u_j(\omega) = 0 \quad \text{para todos os } \omega \in \Omega$$
- Soma-Nula implica cenários competitivos;
- Os cenários de Soma-Nula são raros na vida real, mas as pessoas tendem a agir como que se estivessem em tais cenários.

O Dilema do Prisioneiro

- Duas pessoas foram acusadas de cometer um crime e estão mantidas presas separadas sem poderem comunicar entre si.
- É dito a ambos que:
 - Se um deles confessar o crime e o outro não, o que confessou é libertado e o outro é preso por 20 anos.
 - Se ambos confessarem o crime, então cada um deles é preso por 5 anos.
 - Se nenhum confessar, cada um ficará preso por 1 ano.



O Dilema do Prisioneiro

- Matriz de pagamento

		<i>i</i>	
		defect	coop
<i>j</i>	defect	2	1
	coop	2	4
		4	3
		1	3

- C – Não Confessar e D – Confessar
- Canto superior esquerdo: se ambos não cooperarem, ambos cumprirão a pena por não cooperarem;
- Canto superior direito: se *i* cooperar e *j* não cooperar *i* obterá um pagamento de 1, enquanto *j* obterá 4;
- Canto inferior esquerdo: se *j* cooperar e *i* não cooperar, *j* obterá 1, enquanto *i* obterá 4;
- Canto inferior direito: Recompensa por cooperação mútua.

O Dilema do Prisioneiro

- Supôr que i coopera:
 - Se j também cooperar, temos um ganho de 3.
 - Se j não cooperar então eu tenho um ganho de 1.
 - Ou seja, o melhor valor que eu tenho garantido é 1.
- Supôr que i não coopera:
 - Se j cooperar, então eu tenho um ganho de 4.
 - Se j não cooperar, tenho um ganho de 2.
 - Ou seja, o melhor valor que eu tenho garantido é 2.
- A ação racional individual que prevalece é a não cooperar.
 Esta ação garante um pagamento, na pior das situações de 2, enquanto a cooperação garante de 1;
- Não cooperar é a melhor resposta para todas as possíveis estratégias: se ambos não-cooperarem (confessarem) obtêm um ganho de 2;
- Mas a intuição diz-nos que isto não é a melhor solução:
 Deveriam ambos cooperar, obtendo um pagamento de 3 cada um;

	<i>i</i>	
	defect	coop
<i>j</i>	defect	2 1
	2 4	
	coop	4 3
	1 3	

Estratégias Dominantes Dilema do Prisioneiro

- Para decidir qual a melhor estratégia, o agente deve primeiro eliminar as estratégias dominantes.
- ..então ... deve analisar as recompensas colocando-se na pele dos outros agentes ...

		i	
		defect	coop
j	defect	2	1
	coop	4	3
		1	3

Nash Equilibrium Dilema do Prisioneiro

- A Defect (não cooperar) é a estratégia dominante!
- (D, D) é um equilíbrio de Nash!
- É a escolha “racional”!
- Mas (C, C) é melhor do que (D, D)!

		<i>i</i>	
		defect	coop
<i>j</i>	defect	2	1
	coop	2	4
	defect	4	3
	coop	1	3

O Dilema do Prisioneiro Notas

- Este aparente paradoxo é um dos problemas fundamentais em SMA;
- Aparentemente isto implica que a cooperação não ocorre em sociedades compostas por agentes com interesses próprios.
- As propostas geradas não podem ser modificadas nem justificadas;
- Exemplos da mundo real:
 - Competição em sistemas de transporte público;
 - etc...
- Soluções de estratégias mistas (evolucionárias);

- Conclusões que podemos tirar :
 - a noção de ação racional da teoria dos jogos está *errada*!
 - de alguma forma, o dilema está sendo formulado incorretamente
- Como podemos para recuperar a cooperação:
 - Nem todos somos Maquiavel (existem bons!)
 - O outro prisioneiro é meu gêmeo!
 - O que pode acontecer se jogarmos de novo?
- Uma resposta: jogue o jogo mais de uma vez!
- Se você sabe que encontrará seu oponente novamente, o incentivo para Não cooperar parece desaparecer
- Cooperação é a escolha racional no dilema do prisioneiro infinitamente repetido!
- Torneio de Axelrod!

Trabalhando em Conjunto

■ Agentes benevolentes

- O interesse do sistema (do conjunto) é o nosso interesse;
- Estamos perante um cenário de resolução de problemas distribuída e cooperativa;
- A benevolência simplifica o sistema.

■ Agentes com interesse próprio

- Os agentes representam indivíduos ou organizações;
- Atuam em seu benefício, sem grandes preocupações sobre os outros;
- Sempre em potencial conflito.

Partilha de tarefas ou resultados

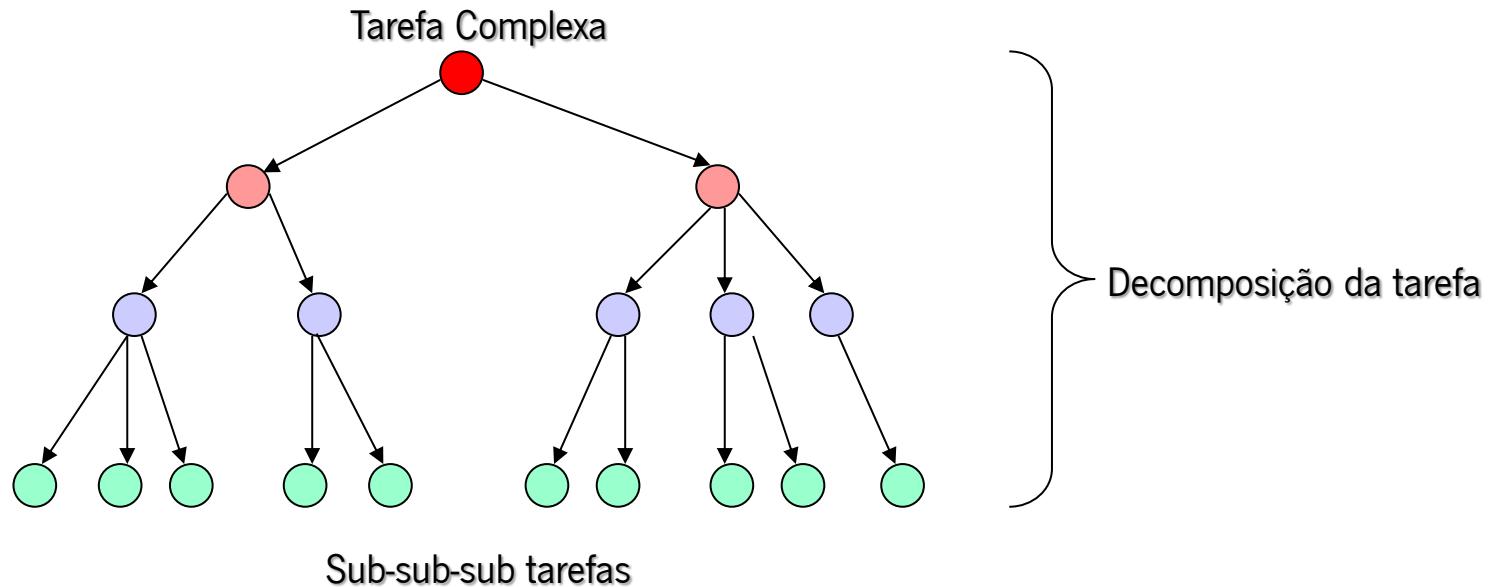
- Partilha de Tarefas

Os sub-componentes de uma tarefa são os objectos da distribuição.

- Partilha de Resultados

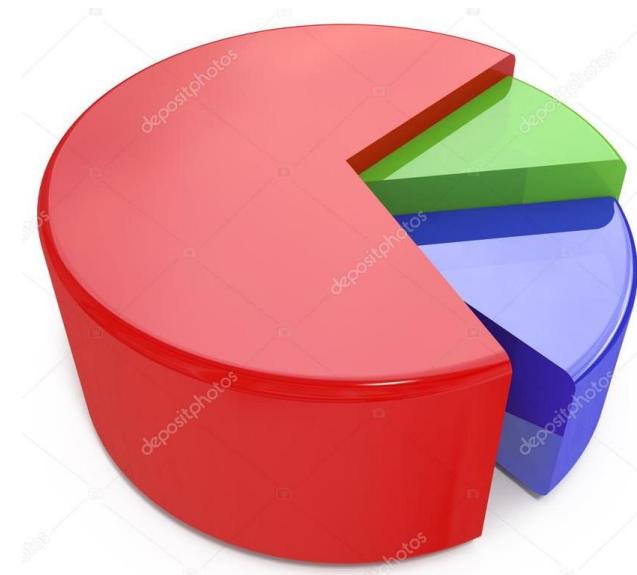
A informação (os resultados parciais, etc.) é o objecto da distribuição

Resolução cooperativa de problemas



Decomposição de Tarefas

- A decomposição de tarefas pode ser:
 - programada pelos desenhistas do sistema ou pelos agentes usando um planeamento hierarquizado;
 - baseado no *layout* da informação dos recursos ou pontos de decisão;
 - funcionalmente de acordo com as características existentes nos agentes disponíveis.



Mecanismos de Distribuição de Tarefas

- Mecanismos de Mercados;
- Agentes de planeamento que têm a responsabilidade de atribuir tarefas;
- Agentes com responsabilidades fixas em tarefas particulares;
- Redes de Contratação.

Mecanismos de Distribuição de Tarefas

- Distribui-se para resolver problemas de forma mais económica ou facilitada;
- Como responder à questão:
“a que agente alocar uma determinada tarefa?”

- Em ambientes paralelos procura-se alocar tarefas a processadores tendo em conta questões de localização;
- Em ambientes de agentes procura-se ganhar com as capacidades específicas de cada agente;

- A distribuição de tarefas segue os seguintes passos:
 - Decomposição;
 - Atribuição;
 - Realização;
 - Síntese;
 - Comunicação.

Redes de Conhecimento (Acquaintance Networks)

- Cada agente está a par (conhece/está familiarizado) com as capacidades de outros agentes;
- Esta informação deve ser correta mas pode ser parcial (obrigatoriedade em SMA);
- Possível representação para um agente X:

$$\begin{array}{c} & \begin{matrix} A & B & C & D \end{matrix} \\ \begin{matrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{matrix} & \left[\begin{matrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{matrix} \right] \end{array}$$

Redes de Conhecimento (Acquaintance Networks)

- A alocação pode ser:
 - Direta: procurando atribuir segundo a matriz de conhecimento (em caso de falha tenta, por exemplo, alocação centralizada);
 - Por Delegação: usando a matriz de conhecimento ou um percorrendo o grafo de conhecimento;
- Há que atender ao problema de manter as matrizes de conhecimento actualizadas e correctas (problemática semelhante à do *routing* inter ou intra-domínio e que poderá fazer uso das mesmas soluções);

- Introduzidas R. G. Smith;
- Baseadas num protocolo de mercado, ou seja, em interacções económicas;
- É de fácil compreensão mas pode levantar alguns problemas de implementação;
- Duas entidades:
 - Gestor: aquele que pretende ver tarefas executadas;
 - Contratador: aquele que é capaz de executar tarefas;
- Um agente pode ser gestor num instante e contratador no seguinte (e vice-versa).

Redes de Contratação

- Gestor:

1. Anuncia tarefas a executar;
2. Recebe propostas (*bids*) dos contratadores;
3. Avalia as propostas recebidas;
4. Atribui a tarefa a um dos contratadores;
5. Recebe, sintetiza e analisa os resultados.

- Contratador:

1. Recebe pedidos de execução;
2. Avalia os pedidos face ao seu estado actual;
3. Responde com uma proposta (bid) se puder;
4. Executa a tarefa se receber um award;
5. Entrega os resultados.

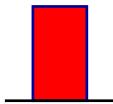
- Informação normal nas propostas dos gestores:
 - **Destinatário;**
 - **Condições de elegibilidade:** só os que cumprem são capazes de executar;
 - **Abstração do problema;**
 - **Especificação da proposta:** parametrização do problema a resolver;
 - **Tempo de validade.**

Redes de Contratação Problemas

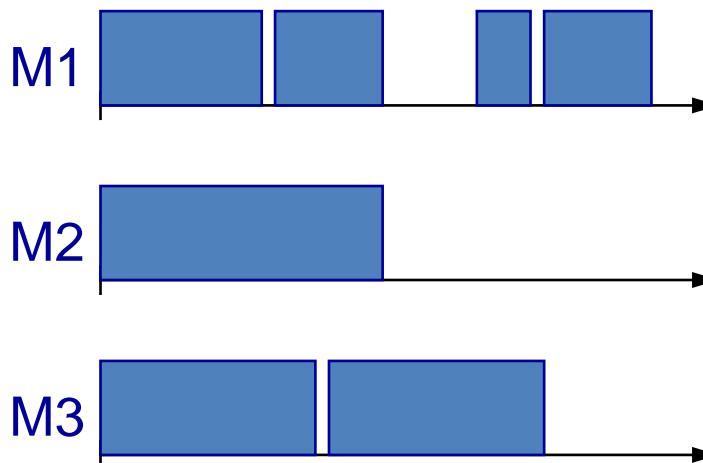
- O *Contract Net Protocol* (CNP) não especifica o que fazer:
 - **quando não é recebida uma *bid* de um agente conhecido:** perdeu-se na rede ou este não respondeu porque não era capaz de executar a tarefa;
 - **quando não é recebida resposta a uma *bid*:** perdeu-se na rede ou o gestor decidiu não fazer o *award* a esse agente;
 - problemas com o *tempo de validade* nas propostas;
 - ...

Redes de Contratação (ex. Escalonamento de Tarefas Industriais)

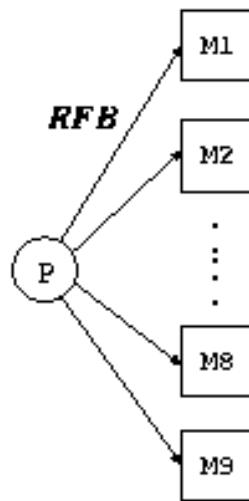
- Onde alocar a tarefa?



- Considerar:
 - tempo de término mínimo;
 - número mínimo de tarefas alocadas.
- Entre M1 e M2 é melhor M2... (genericamente)

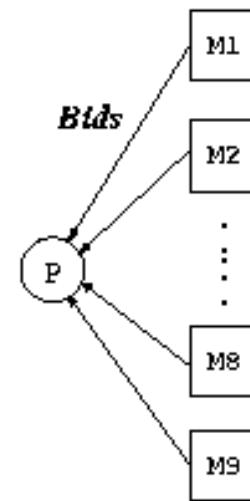


Redes de Contratação (ex. Escalonamento de Tarefas Industriais)



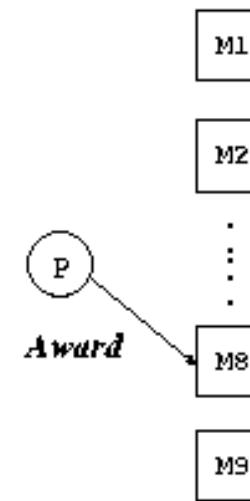
Request for Bid (RFB) Phase

M = Machine
p = part



Bidding Phase

Bid α Op Finish Time
and
sizeof(Resv List)



Awarding Phase

Award for
Earliest Finish Time
and
Smaller Resv List

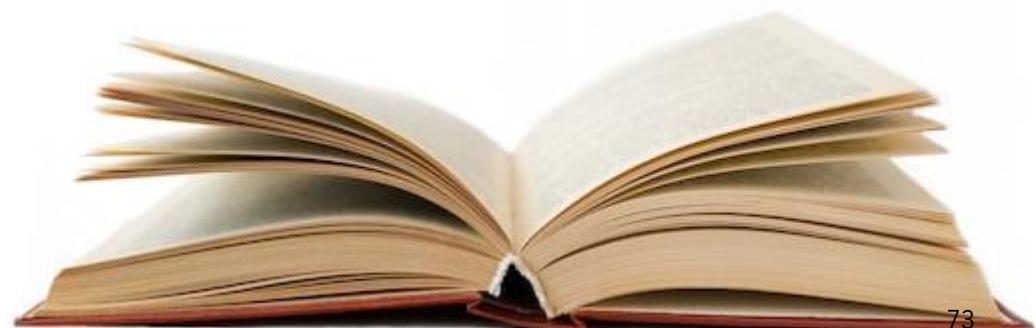
Conclusões

- Sistemas Multiagente em ambientes competitivos ou cooperativos;
- A negociação como uma metodologia por excelência para a coordenação de agentes competitivos;
- O espaço de negociação normalmente é de elevada dimensão;
- É difícil definir qual é o “melhor” e o mais adequado protocolo de negociação.



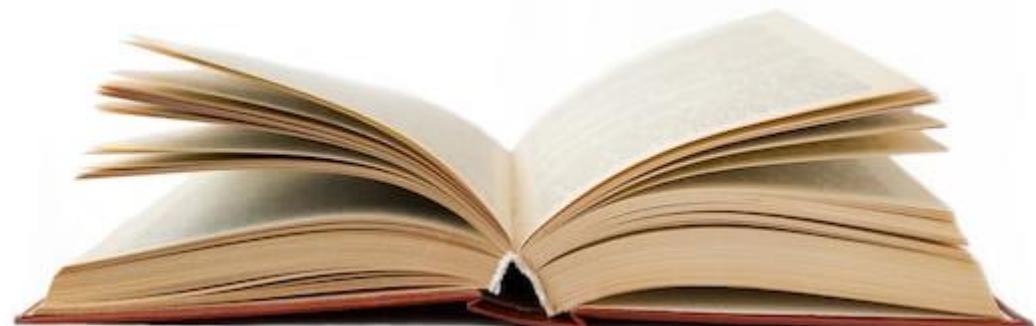
Referências

- [Faratin et al., 1997] P. Faratin, C. Sierra and N. Jennings Negotiation Decision Functions for Autonomous Agents, in Int. Journal of Robotics and Autonomous Systems, 24(3-4), 159-182, 1997;
- [Smith, 1980] R. G. Smith The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver, in IEEE Trans. On Computers. 29(12), pp 1104-1113, 1980.
- [Wooldridge, 2002] Wooldridge M., An Introduction to Multiagent Systems, John Wiley & Sons, ISBN 0 47149691X, 2002.
- [Luger & Stubblefield, 1998] George F. Luger, William A. Stubblefield, “Artificial Intelligence – Structures and Strategies for Complex Problem Solving”, Addison Wesley Longman, Inc., 1998.



Referências

- [Ferber, 1999] Jacques Ferber, “Multi-Agent Systems – An Introduction to Distributed Artificial Intelligence”, Addison Wesley Longman, 1999.
- [Durfee & Rosenschein, 1994] Edmund H. Durfee, Jeffrey S. Rosenschein, “Distributed Problem Solving and Multi Agent Systems: Comparisons and Examples”, Proceedings of the International Workshop on Distributed Artificial Intelligence, Seattle, 1994.
- [Malone et al., 2001] Olson, G. M., Malone, T. W., and Smith, J. B. (Eds.) “Coordination Theory and Collaboration Technology”. Mahwah, NJ: Erlbaum, 2001.
- [McKinsey, 1952] McKinsey J., Introduction to the Theory of Games, McGraw-Hill Book Co, 1952.





Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Departamento de Informática

Coordenação

Mestrado Integrado em Engenharia Informática

Mestrado em Engenharia Informática

Perfil SI :: **Agentes e Sistemas Multiagente**