

**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Departamento de Informática

## Coordenação

**Paulo Novais, Cesar Analide, Filipe Gonçalves**

Perfil SI :: Agentes Inteligentes

- 
- 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.



## Agenda

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

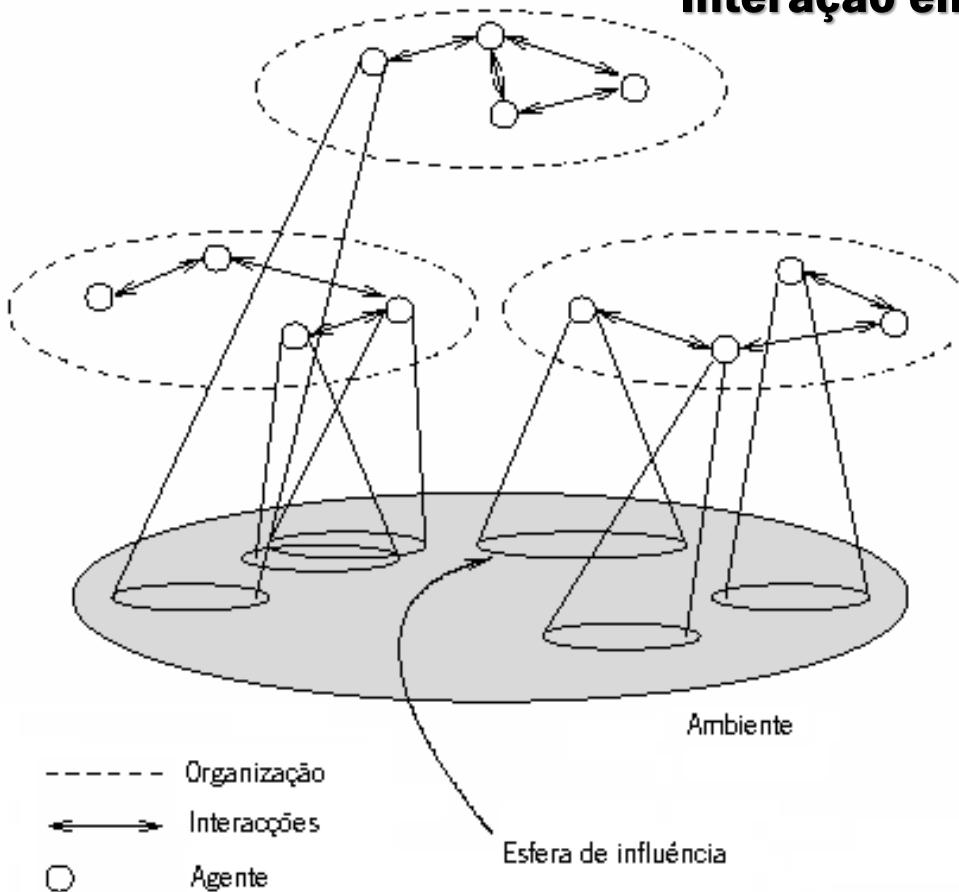


## Sistemas Multiagente

- 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]

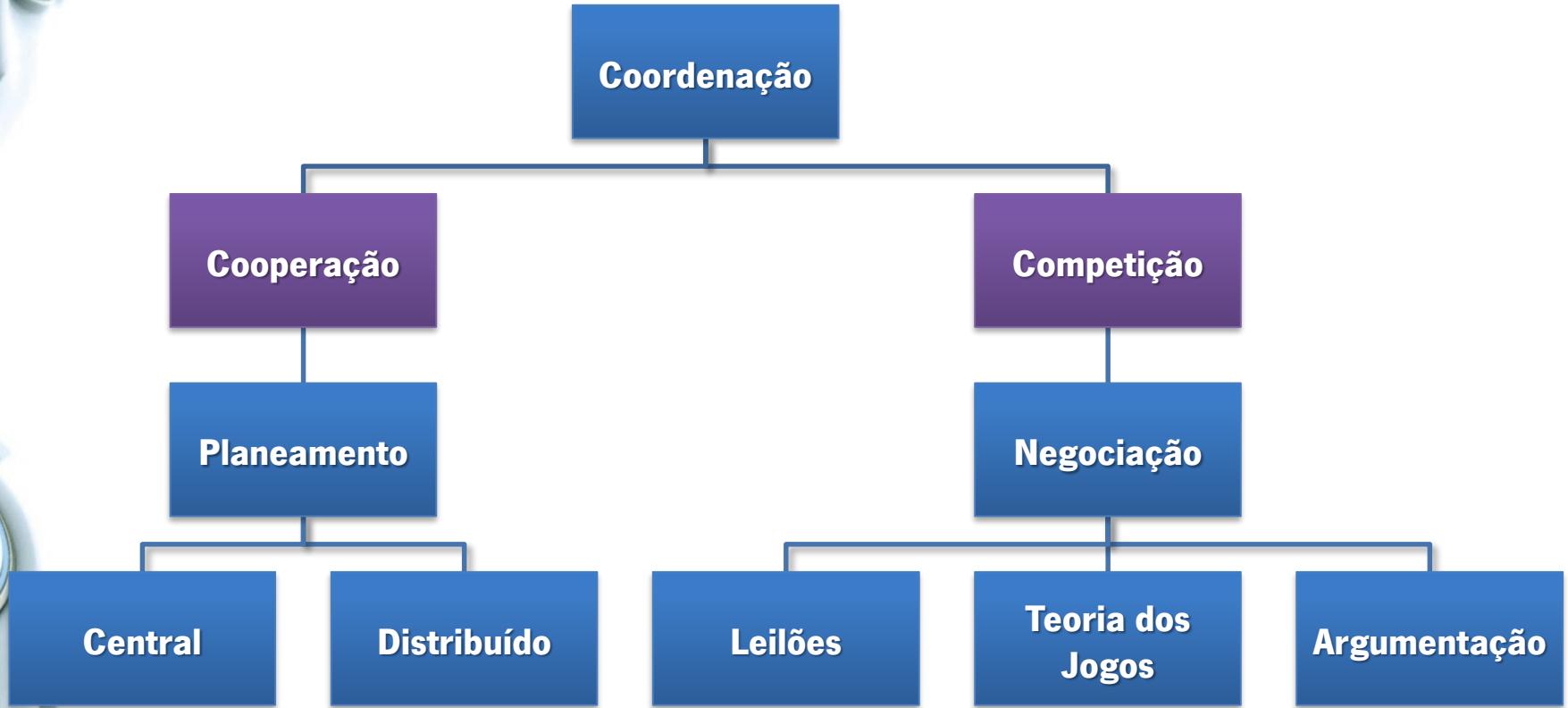
- “Ato de trabalhar em grupo, de forma harmoniosa”

[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.

## Negociação

- É o processo através do qual duas ou mais entidades comunicam, de uma certa forma, para chegar a uma decisão comum;
- As entidades (agentes) usam a negociação para a resolução de conflitos e para a coordenação entre si.

[Lomuscio et al., 2000]



## 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.

## Mecanismos de Negociação

- 
- 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.



## Negociação Automática

- 
- 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.

## Tipos de Leilões

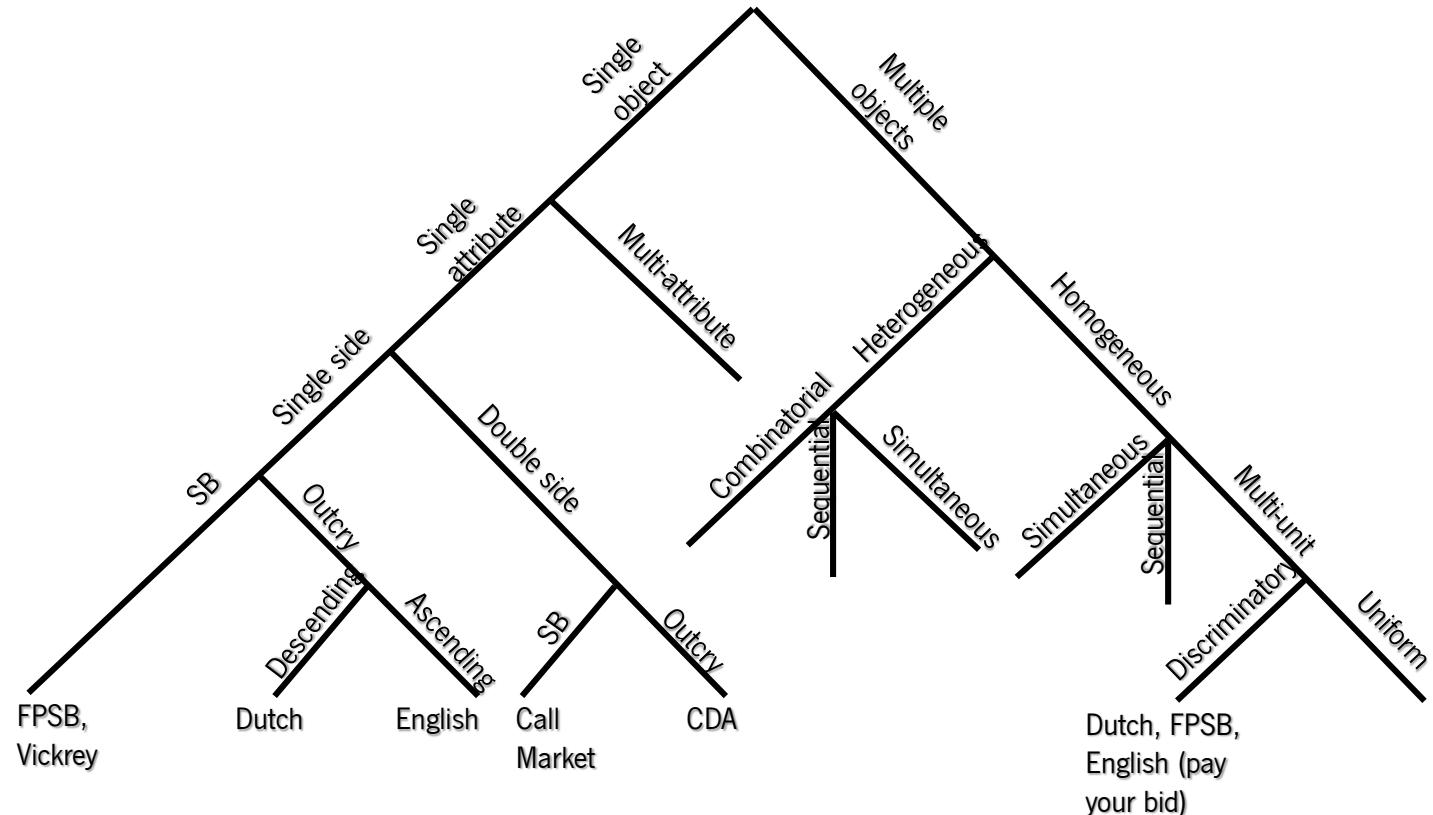
- 
- Leilão Inglês:
    - *first-price*, ofertas abertas, ascendente;
    - oferecem-se propostas sucessivamente crescentes e o leilão termina após a oferta da última proposta, que é a vencedora;
    - se houver incerteza no valor do bem pode ser perigoso oferecer mais do que os restantes agentes.
 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

## Tipos de Leilões

- 
- 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].



## Modelo de Negociação

- 
- 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:
    - $V^i(x) = \sum_j w_j^i V_j^i(x_j)$ .

## Protocolo de Negociação

- 
- 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  $\kappa_j^a$  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:

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

- 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:

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

- Imitação Absoluta

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

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

- Imitação Proporcional Média

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

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

- 
- 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:

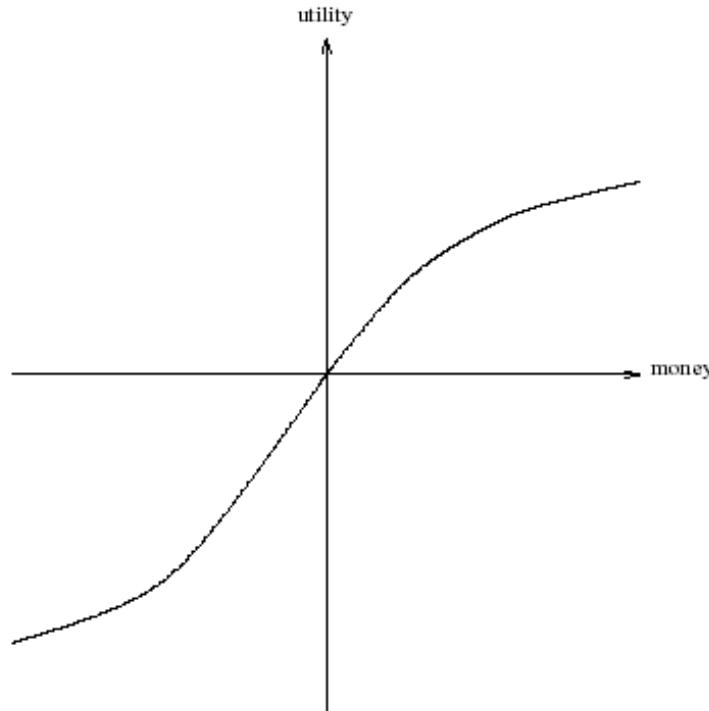
$$\Gamma_{a \rightarrow b}^t = \begin{pmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} & \cdots & \omega_{1m} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \cdots & \omega_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \omega_{p1} & \omega_{p2} & \cdots & \omega_{pm} \end{pmatrix}$$

## Teoria de Jogos Utilidades e Preferências

- 
- Assume-se que temos dois agentes:  $Ag = \{ i, j \}$
  - Os agentes têm interesses próprios determinados pelos seus desejos;
  - Os agentes decidem que ação executar baseando-se em utilidades e preferências;
  - 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:  
 $\omega \succsim_i \omega'$  significa  $u_i(\omega) \geq u_i(\omega')$   
 $\omega \succ_i \omega'$  significa  $u_i(\omega) > u_i(\omega')$

## Função de Utilidade

- 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:

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

- 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 -  $\omega_i$  - 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<sub>j</sub> 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	
		defect	coop
j	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

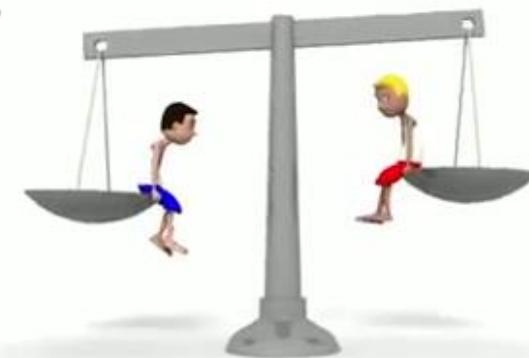
- Dominância

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

## ***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  $\omega$  é não *Pareto Óptimo*, então existe um outro resultado  $\omega'$  melhor para todos;
  - Agentes raciocinais concordarão em mover-se para  $\omega'$ .

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

- O Bem-estar Social de um resultado  $\omega$  é o somatório das utilidades obtidas de  $\omega$ :

$$\sum(w)$$

- 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.

		Prisoners' dilemma	
		prisoner B	
		confess	remain silent
prisoner A	confess	 5 years	 5 years
	remain silent	 20 years	 1 year

## 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;

## 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);

## 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

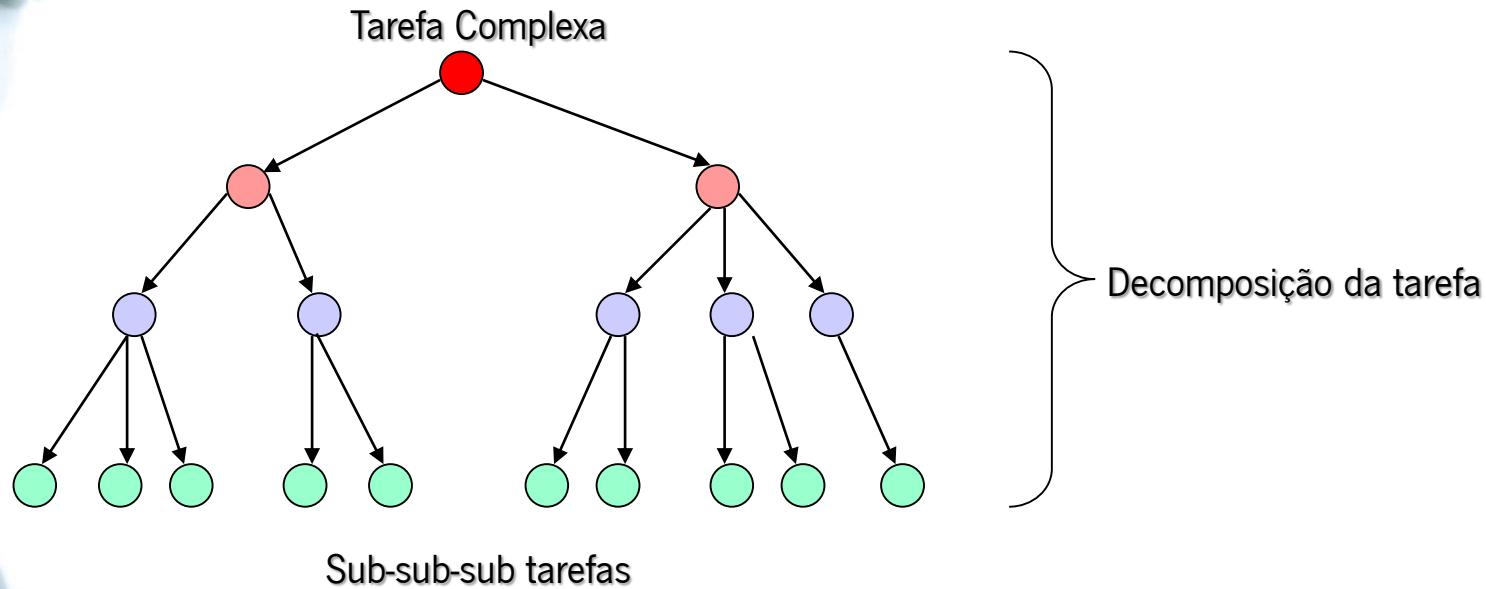
Os sub-componentes de uma tarefa são os objectos da distribuição.

- 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:

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
<i>T</i> <sub>1</sub>	1	0	1	0
<i>T</i> <sub>2</sub>	0	1	0	1
<i>T</i> <sub>3</sub>	0	1	1	0

## **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.

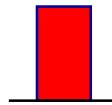
- 
- Informação normal nas propostas dos gestores:
    - **Destinatário;**
    - **Condições de elegibilidade:** só os que cumprem são capazes de executar;
    - **Abstração do problema;**
    - **Especificação da proposta:** parametrização do problema a resolver;
    - **Tempo de validade.**

## 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;
    - ...

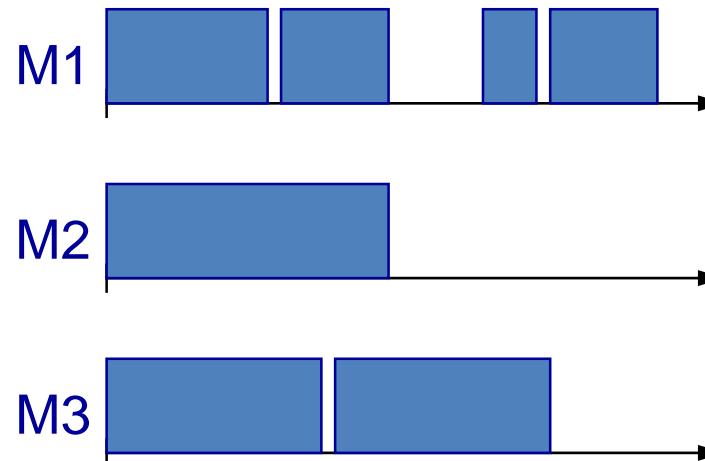


- Onde alocar a tarefa?

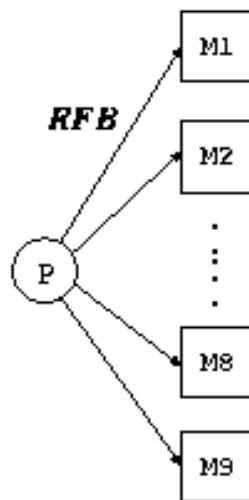


- Considerar:
  - tempo de término mínimo;
  - número mínimo de tarefas alocadas.
- Entre M1 e M2 é melhor M2... (genericamente)

## Redes de Contratação (ex. Escalonamento de Tarefas Industriais)

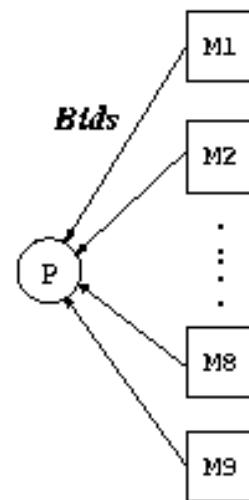


## Redes de Contratação (ex. Escalonamento de Tarefas Industriais)



Request for Bid (RFB) Phase

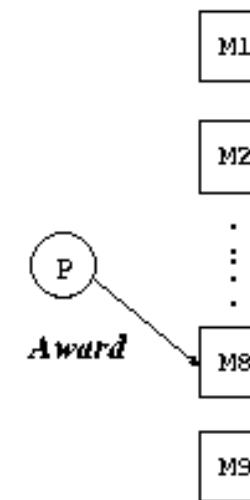
M = Machine  
p = part



Bidding Phase

Bid  $\alpha$

Op Finish Time  
and  
sizeof(Resv List)



Awarding Phase

Award for  
Earliest Finish Time  
and  
Smaller Resv List

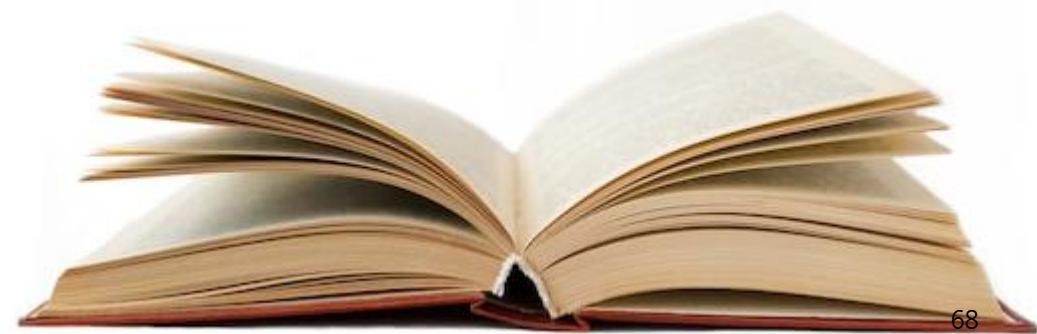
## Conclusões

- 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

**Paulo Novais, Cesar Analide, Filipe Gonçalves**

Perfil SI :: Agentes Inteligentes