

Sistemas Multiagentes

Luis Otavio Alvares (II-UFRGS)

e-mail: alvares@inf.ufrgs.br



prof. Luis Otavio Alvares

Sumário

- Introdução aos SMA
 - Conceito de agente e SMA
 - Exemplos
 - Breve histórico
 - Sistemas Multiagentes reativos e cognitivos
 - Bibliografia
- SMA reativos
- SMA cognitivos



prof. Luis Otavio Alvares

O que são agentes?

- o termo vem sendo aplicado *indistintamente*, tanto na comunidade de computação em geral como em IA;
- sistemas baseados em agentes estão sendo propostos como a *solução para tudo* (principalmente com o que tenha a ver com a Internet)



prof. Luis Otavio Alvares

O que é um agente?

- é uma entidade **real** ou **virtual**
- que está inserida em um **ambiente**
- que pode **perceber** o seu ambiente
- que pode **agir** no ambiente
- que pode se **comunicar** com outros agentes
- que tem um comportamento **autônomo**, consequência de suas observações, de seu conhecimento e de suas interações com os outros agentes



prof. Luis Otavio Alvares

Outras características possíveis de agentes

- Continuidade temporal
- Mobilidade
- Benevolência
- Aprendizagem
- Cooperação
- Veracidade
- ...



prof. Luis Otavio Alvares

O que é um sistema multiagente?

Um conjunto de agentes que interagem em um ambiente comum



prof. Luis Otavio Alvares

Exemplos

- Jogos de computador
- Interpretação de linguagem natural
- Simulação
- Assistentes pessoais
- Comércio eletrônico
- Tutores inteligentes
- Controle de redes de energia elétrica
- ...



prof. Luis Otavio Alvares

Mudança de Paradigma

passa-se de uma abordagem global para uma abordagem baseada em agentes (individual)



prof. Luis Otavio Alvares

Características de domínios típicos

- dados distribuídos
- controle distribuído
- diversidade de conhecimento
- decomponibilidade da tarefa global
- multiplicidade de funções
- certo grau de autonomia



prof. Luis Otavio Alvares

Vantagens

- adaptabilidade
- tolerância a falhas
- modularidade
- eficiência



prof. Luis Otavio Alvares

Problemas

- comunicação
- coordenação
- inexistência de metodologia consagrada
- ...



prof. Luis Otavio Alvares

Breve histórico

Hearsay II (Corkill, Erman, Hayes-Roth, Lesser, 1973)
blackboard architecture

Actors (Hewitt, 1973) e Beings (Lenat, 1975)
estruturas de controle complexas

Contract Net (Smith, 1982)
controle hierárquico descentralizado

DVMT (Lesser 1984)
interpretação distribuída, organização

Robos reativos (Brooks, 1986)
subsumption architecture

MACE (Gasser, 1987)
ambiente multiagente



prof. Luis Otavio Alvares

Tipos de SMA

[Demazeau 94]

Agentes Cognitivos

- representação explícita
- têm histórico
- comunicação direta
- controle deliberativo
- organização social
- poucos agentes

Agentes Reativos

- representação implícita
- não têm histórico
- comunicação indireta
- controle não deliberativo
- organização etológica
- muitos agentes



prof. Luis Otavio Alvares

Exemplo de jogo: GUIMO

- jogo de ação
- um jogo mais interessante por ser menos repetitivo e mais “real”
- alguns requisitos:
 - resposta rápida por parte dos agentes artificiais
 - independência de um roteiro pré-definido
 - maior envolvimento do jogador com os elementos do sistema



prof. Luis Otavio Alvares

Solução adotada

Definir comportamentos elementares, possibilitando reações rápidas, que combinados produzem um comportamento complexo

- vaguear
- seguir em determinada direção
- atacar
- defender-se



prof. Luis Otavio Alvares

Exemplo de comportamento

O agente A1 “vê” um inimigo A2. O seu comportamento de ataque é então ativado, fazendo com que se aproxime de A2, disparando. Se o agente A2, por sua vez, também atira em A1, este, ao perceber o projétil, irá saltar para evitar o ataque que está sofrendo.

O comportamento global do agente A1 seria:

atacar enquanto persegue e desviar-se de um ataque

um comportamento complexo, não previsto inicialmente

<http://www.jackbox.com/download.html>



prof. Luis Otavio Alvares

Bibliografia

- Proceedings ICMAS (95,96,98,00)
- Proceedings MAAMAW Workshops (Europa)
- Proceedings DAI Workshops (Estados Unidos)
- Proceedings IJCAI, AAAI, ECAI, SBIA, ...
- Autonomous Agents and Multi-agent Systems (Journal)
- Readings in Distributed Artificial Intelligence.
 - A. Bond e Les Gasser. Morgan Kaufman, 1988
- Readings in Agents
 - M. Huhns e M. Singh. Morgan Kaufman, 1998
- Introdução aos Sistemas Multiagentes
 - L.O.Alvares e J. Sichman, Anais JAI'97



prof. Luis Otavio Alvares

Sistemas Multiagentes Reativos



prof. Luis Otavio Alvares

Motivação para o estudo de SMA Reativos

- Precisamos de agentes complexos para realizar tarefas complexas ou podemos realizar uma tarefa complexa através de interações de muitos agentes simples?
- exemplo clássico: colônia de formigas



prof. Luis Otavio Alvares

Características dos agentes reativos

- não há representação explícita do ambiente nem de outros agentes
- não há memória das ações (histórico)
- organização etológica
- comportamento simples do tipo estímulo-resposta
- comunicação através do ambiente pela propagação de sinais



prof. Luis Otavio Alvares

Modelos de SMA Reativos

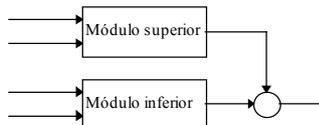
- Funcionalidade Emergente (Luc Steels)
- Eco-resolução (Jacques Ferber)
- PACO (Yves Demazeau)



prof. Luis Otavio Alvares

Modelo da Funcionalidade Emergente

- Baseado na arquitetura de subsunção (subsumption architecture, Brooks 86)



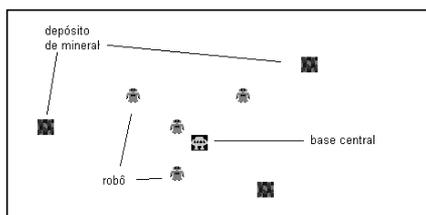
- Cada módulo é um autômato de estado finito
- Realização de vários robôs reais



prof. Luis Otavio Alvares

Exemplo: robôs mineradores (L. Steels)

Um conjunto de robôs deve procurar e coletar minerais e levá-los para a base central.



prof. Luis Otavio Alvares

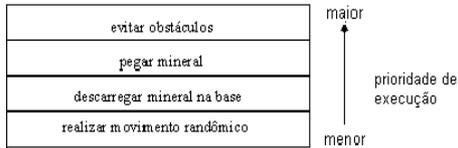
Comportamento do Robô

- 1- Evitar obstáculo
- 2- Se perceber a base central e estiver carregado, descarregar
- 3- Se perceber um mineral e não estiver carregado, pegá-lo
- 4- Realizar movimento aleatório



prof. Luis Otavio Alvares

Projeto do robô



prof. Luis Otavio Alvares

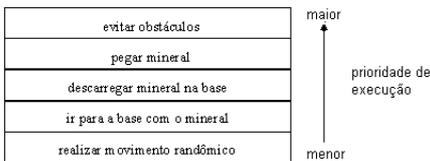
Comportamento do robô 2

- 1- Evitar obstáculo
- 2- Se perceber a base central e estiver carregado, descarregar
- 3- Se perceber um mineral e não estiver carregado, pegá-lo
- 4- Se estiver carregado, seguir maior gradiente**
- 5- Realizar movimento aleatório



prof. Luis Otavio Alvares

Projeto do robô 2



prof. Luis Otavio Alvares

Observações:

- O robô 2 não apresenta nenhuma forma de cooperação
- Não permite retornar ao local da jazida de mineral
- Como melhorar isto?



prof. Luis Otavio Alvares

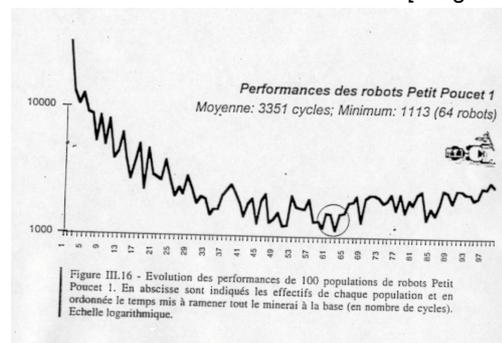
Robô 3

- 1- Evitar obstáculo
- 2- Se perceber a base central e estiver carregado, descarregar
- 3- Se perceber um mineral e não estiver carregado, pegá-lo
- 4- Se estiver carregado, seguir maior gradiente, **deixando uma pista**
- 5- Se encontrar uma pista e estiver descarregado, seguir na direção do menor gradiente**
- 6- Realizar movimento aleatório



prof. Luis Otavio Alvares

[Drogoul 93]



prof. Luis Otavio Alvares

Interpretação dos resultados:

O Robô 3 possui um mecanismo simples de manutenção e compartilhamento de informação, utilizando o ambiente Como memória

64 robôs - melhor resultado (1.113 ciclos)
média - 3.351 ciclos

maior nro. robôs => maior chance de encontrar o minerais

mecanismo de criação de pistas: espécie de catalizador

variações entre populações próximas: pelo que acontece quando os depósitos ficam esgotados



prof. Luis Otavio Alvares

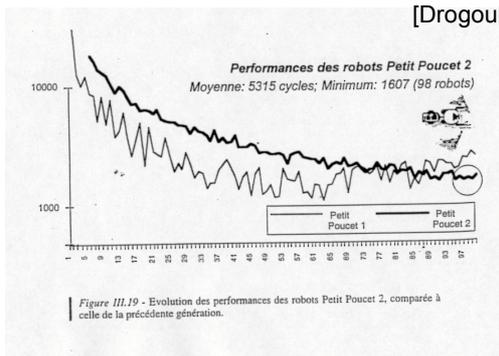
Robô 4

- 1- Evitar obstáculo
- 2- Se perceber a base central e estiver carregado, descarregar
- 3- Se perceber um mineral e não estiver carregado, pegá-lo
- 4- Se estiver carregado, seguir maior gradiente deixando uma pista
- 5- Se encontrar uma pista e estiver descarregado, seguir na direção do menor gradiente, **retirando a pista**
- 6- Realizar movimento aleatório



prof. Luis Otavio Alvares

[Drogoul 93]



prof. Luis Otavio Alvares

Interpretação dos resultados

- Perda evidente de desempenho para população > 70 robôs
- O que perde em eficiência, ganha em predição (não há grandes variações entre populações próximas)
- Perda de eficiência: após um robô ter deixado o mineral na base, há forte probabilidade de outro robô ter encontrado a pista e a ter seguido, retirando a pista.
- Em vez de um mecanismo de compartilhamento de informação obtivemos um mecanismo de transferência de informação



prof. Luis Otavio Alvares

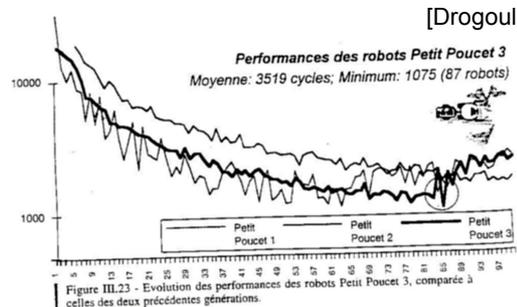
Robô 5

- 1- Evitar obstáculo
- 2- Se perceber a base central e estiver carregado, descarregar
- 3- Se perceber um mineral e não estiver carregado, pegá-lo
- 4- Se estiver carregado, seguir maior gradiente deixando **duas pistas**
- 5- Se encontrar uma pista e estiver descarregado, seguir na direção do menor gradiente, **retirando uma pista**
- 6- Realizar movimento aleatório



prof. Luis Otavio Alvares

[Drogoul 93]



prof. Luis Otavio Alvares

Interpretação do resultado

média: 3.519 ciclos
mínimo: 1.075 ciclos
melhor solução para população < 85 robôs

problema para mais de 85 robôs:

- deformação das pistas: um robô que retorna se encontra com outros que vão para o mineral
- verdadeiros bloqueios, engarrafamentos, próximo à base central



prof. Luis Otavio Alvares

Modelo da Eco-Resolução (Jacques Ferber)



prof. Luis Otavio Alvares

Eco-Resolução

Técnica de resolução de problemas

Um problema é decomposto em um conjunto de eco-agentes

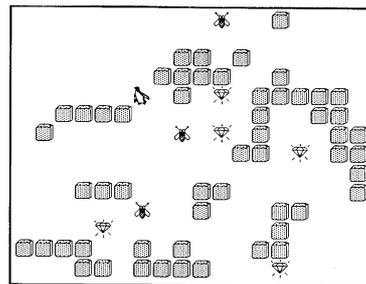
Cada eco-agente possui um **objetivo** (atingir um estado de satisfação) e dois comportamentos gerais:

- de **satisfação**: procura atingir seu estado de satisfação
- de **fuga**: de outro agente que o está "agredindo"



prof. Luis Otavio Alvares

Exemplo: PENGI



Agre e Chapman: inviável com algoritmo de planejamento



prof. Luis Otavio Alvares

PENGUI: Comportamento dos agentes

ABELHAS:

- estado de satisfação: matar o pingüim
- comportamento de satisfação: ir em direção ao pingüim

PINGÜIM:

- estado de satisfação: não haver mais diamantes a pegar
- comportamento de satisfação: ir em direção ao diamante mais próximo
- comportamento de fuga: ir para uma casa o mais longe possível das abelhas. Ou para a mais próxima, se há um cubo de gelo adjacente, na direção da abelha



prof. Luis Otavio Alvares

PENGUI (cont.)

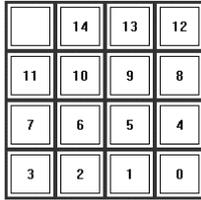
Comportamento "inteligente"

- parece que o pingüim é inteligente, pois muitas vezes mata a abelha com cubos de gelo
- não há nenhuma atividade de "caça às abelhas"
- nós é que consideramos em tudo uma intencionalidade, que muitas vezes não existe

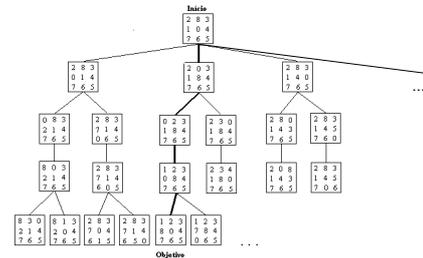


prof. Luis Otavio Alvares

Exemplo: Quebra-cabeça de 8



Abordagem clássica



- abordagem clássica: orientada a estados (algoritmo A* e variantes)
- limitada

Exemplo: Quebra-cabeça de 8 (cont.)

- mudança de enfoque para abordagem **orientada a agentes**
- cada peça será um agente
- a escolha do movimento de uma peça (agente) será baseada:
 - na distância do seu objetivo
 - na distância do "branco"
- ordem de resolução:



Exemplo: Quebra-cabeça de 8 (cont.)

- **comportamento de satisfação**: ir para a casa mais próxima do objetivo. Se houver duas casas equidistantes, ir para a mais próxima do branco
- **comportamento de fuga**: ir para o seu objetivo, se for adjacente. Senão, ir para a casa mais próxima do branco. Se houver duas casas equidistantes, ir para a mais próxima do seu objetivo. **Restrições**: não ir para a casa que é o do agressor e não ir para a casa que é o objetivo do antecessor do agressor na ordem de preenchimento.

Problema do canto



Exemplo: Quebra-cabeça de 8 (cont.)

- resultados experimentais até 899 peças (30x30) (Drogoul 93)
- validade para qualquer tamanho de jogo
- validade mesmo para tabuleiro retangular

Modelo PACO (Y. Demazeau)

Em vez de considerar a solução de um problema como o resultado da minimização de uma função global de energia

simplesmente expresse o problema como

o estado de equilíbrio de um conjunto de agentes que interagem entre si e com o ambiente através de forças



prof. Luis Otavio Alvares

Modelo PACO (cont.)

Técnica de resolução de problemas

Um problema é definido como um conjunto de agentes que tentam encontrar um estado de equilíbrio

Os agentes são caracterizados por campos:

- de **percepção** (o que ele percebe do ambiente)
- de **comunicação** (agentes que o influenciarão na execução de uma ação)
- de **força** (agentes sobre os quais ele pode agir)



prof. Luis Otavio Alvares

Modelo PACO (cont.)

O comportamento do agente é baseado num ciclo:

regulagem e aquisição

- definição dos campos de percepção e comunicação

processamento

- cálculo das forças exercidas sobre o agente

regulagem e ação

- cálculo da nova posição do agente



prof. Luis Otavio Alvares

Exemplo: Generalização Cartográfica

Processo de abstração usado quando a escala do mapa é reduzida.

Envolve modificação dos dados de modo que possam ser representados em um espaço menor, preservando da melhor forma possível os aspectos geométricos e descritivos.

A maioria dos mapas em pequenas e médias escalas são obtidos por generalização de grandes escalas.



prof. Luis Otavio Alvares

Generalização Cartográfica

Processo de abstração usado quando a escala do mapa é reduzida.

Envolve modificação dos dados de modo que possam ser representados em um espaço menor, preservando da melhor forma possível os aspectos geométricos e descritivos.

A maioria dos mapas em pequenas e médias escalas são obtidos por generalização de grandes escalas.

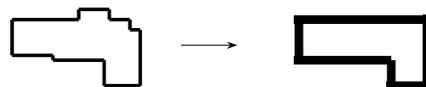
ex: França - mapa básico: 1/25.000
generalizados: 1/50.000
1/100.000



prof. Luis Otavio Alvares

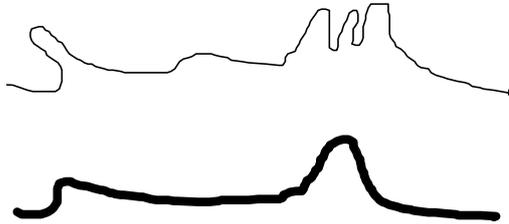
Generalização Cartográfica

- Dificuldade: **escolher** como representar um número suficiente de objetos geográficos numa superfície reduzida, usando símbolos que preservem a identificabilidade do objeto
- Numerosas modificações nos dados são necessárias. Exemplo:



prof. Luis Otavio Alvares

Generalização Cartográfica



prof. Luis Otavio Alvares

Generalização Cartográfica

Fatores que influenciam a generalização:

- Escala
- Objetivo do mapa
- Simbolização
- Meio de saída



prof. Luis Otavio Alvares

Generalização Cartográfica

Automatização

- abordagem algorítmica
- sistemas baseados em conhecimento

problema: independência de contexto

solução:
sistemas multiagentes reativos



prof. Luis Otavio Alvares

O modelo proposto

• **entradas:**

- dados oriundos de um BD Geográfico (classe do objeto, coordenadas, etc...)
- características da saída desejada

• **processamento:**

- baseado num modelo de forças eletrostáticas de atração e repulsão

• **saída:** mapa



prof. Luis Otavio Alvares

O Modelo Proposto

Agentes:

cada ponto, representado no BD por suas coordenadas, corresponde a um agente no modelo

Pré-ordem:

importância do objeto (massa)

Grupo natural:

agentes associados a um mesmo ponto geográfico

Grupo artificial:

agentes com topologia comum



prof. Luis Otavio Alvares

O Modelo Proposto

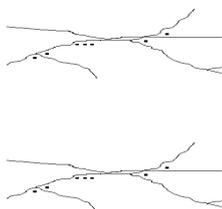
Interações: baseadas em forças

- Força de repulsão entre agentes
- Força de acompanhamento integral
- Força de acompanhamento proporcional
- Força de retorno à posição original
- Troca de simbologia



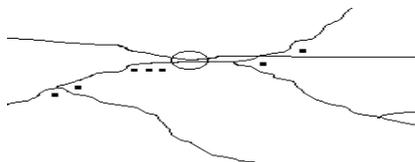
prof. Luis Otavio Alvares

O Modelo Proposto



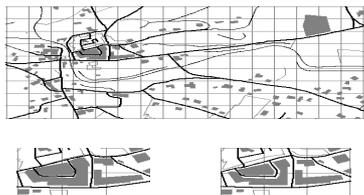
prof. Luis Otavio Alvares

O Modelo Proposto



prof. Luis Otavio Alvares

Resultados Obtidos



prof. Luis Otavio Alvares

Sistemas Multiagentes Cognitivos



prof. Luis Otavio Alvares

Características dos agentes cognitivos

- Representação **explícita** do ambiente e de outros agentes
- **memória** das ações (histórico)
- organização **social**
- mecanismo de controle **deliberativo**
- **comunicação direta** entre os agentes
- **poucos** agentes



prof. Luis Otavio Alvares

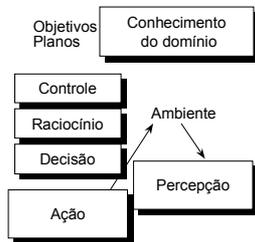
Arquiteturas de agentes

- os modelos clássicos baseiam-se na corrente simbólica de IA (arquiteturas deliberativas)
- grande influência da comunidade de "planning"

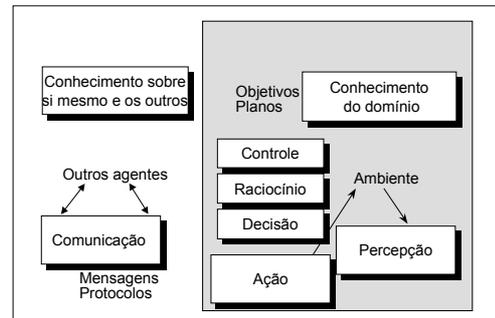


prof. Luis Otavio Alvares

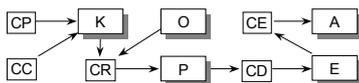
Arquitetura de agente cognitivo



Arquitetura de agente cognitivo

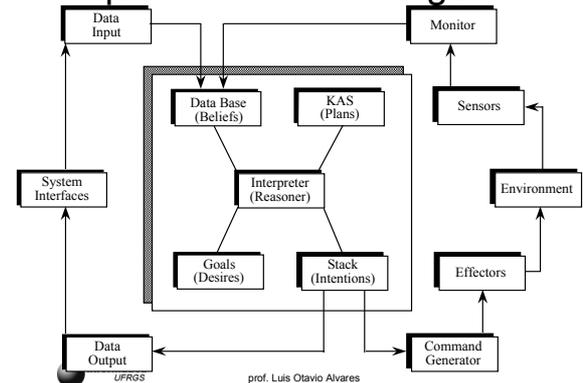


Arquitetura de Agente: Demazeau 90



- CP capacidade de percepção (1st hand)
- CC capacidade de comunicação (2nd hand)
- K conhecimento
- O objetivos
- CR capacidade de raciocínio
- P planos possíveis
- CD capacidade de decisão
- E escolha de um plano
- CE capacidade de engajamento
- A ação sobre o ambiente ou outros agentes

Arquitetura BDI : Georgeff 85



Abordagem Mentalista

informações que o agente tem do mundo (information attitudes):

- conhecimento, crenças

pró-attitudes (orientam, influenciam a ação do agente):

- desejos, intenções, obrigações, ...

Abordagem Mentalista

Estados mentais necessários (filosofia):

desejos (geral, todos os objetivos e metas do agente) e **crenças**

intenções – tem o caráter de comprometimento, pois os agentes são limitados: tem que tomar uma decisão e parar de "pensar" e agir para realizar a decisão

Abordagem mentalista

Intenções:

- estão associadas a ações
- há uma questão temporal envolvida
 - **orientadas para o presente:** causam comportamentos, ações, para satisfazer a intenção
 - **orientadas para o futuro:** criam restrições para o agente; guiam as atividades de planejamento e a adoção de novas intenções



prof. Luis Otavio Alvares

Interação entre Agentes



prof. Luis Otavio Alvares

Conhecimento sobre outros agentes

- Representações mútuas:
 - as **competências:** quem sabe como fazer o que?
 - a **tarefa sendo executada:** quem executa o que?
 - as **intenções, os objetivos:** quem tem intenção do que?
 - os **compromissos:** quem está engajado com o que?
- como representar e atualizar este conhecimento?



prof. Luis Otavio Alvares

Teoria dos Atos de Fala

- *comunicar é agir:* trata-se de uma ação regular como qualquer outra, que deve ser gerada e processada
- *categorização de primitivas de comunicação:* inform, ask-to-do, answer, promise, propose, ...



prof. Luis Otavio Alvares

Protocolos de Interação (cont.)

[Demazeau 95]

Uma linguagem de interação entre agentes é definida do seguinte modo:

<interaction> ::= <communication> <m.a.s.> <application>

onde:

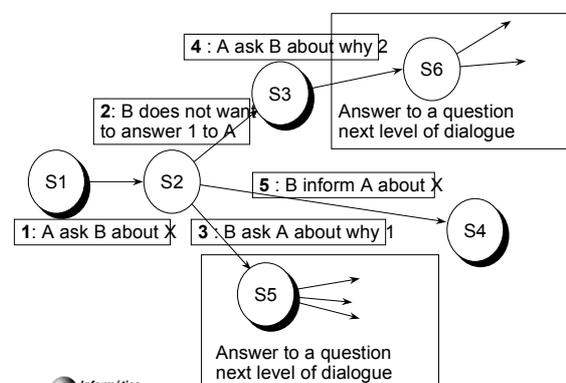
<communication> ::= <from><to><id><via><mode>

e

<m.a.s.> ::= <type><strength><nature><protocol>



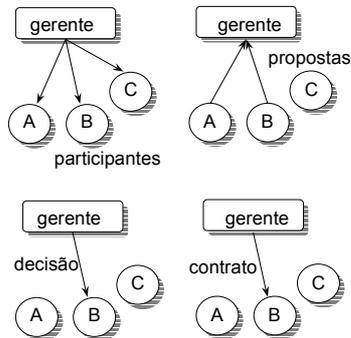
prof. Luis Otavio Alvares



prof. Luis Otavio Alvares

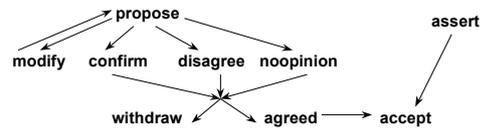
Protocolo de Redes de Contrato

- anúncio pelo gerente
- propostas pelos participantes
- anúncio de um vencedor
- estabelecimento de contrato



Protocolo de Resolução de Conflitos [Sian]

- Não há modelos dos outros agentes
- Comunicação de alto nível (assert, propose (nova H), modify (uma H proposta), agreed (com uma H proposta), disagree, noopinion, confirm, accept, withdraw)
- Uso de função de avaliação cujos termos são: count (confirm), count (noopinion), count (modify), count (disagree) + protocolo de interação para resolver conflitos



- Executa revisão de crenças + aprendizagem

COORDENAÇÃO DE AGENTES

Conceito de coordenação

- É o processo de gerenciar dependências entre atividades [Malone 94]
- É o processo em que agentes se engajam para garantir que um grupo de agentes tenha um comportamento coerente [Nwana e Jennings 96]

Exemplos de coordenação

- controle de tráfego aéreo
- time de futebol
- desfile de carnaval
- trânsito de automóveis em uma cidade
- operação militar
- vôo de bando de pássaros
- sistema imunológico animal
- construção de avião, estrada, etc.
- operação cirúrgica
- orquestra

Teoria dos Jogos

- A Teoria dos Jogos é construída a partir da Teoria da Utilidade e da Teoria da Decisão e se interessa com uma fonte de incerteza particular: a ação de outros agentes, igualmente racionais
- Um jogo é caracterizado por uma matriz de ganhos, onde representa-se nas células o ganho dos jogadores quando realizam as ações representadas nas linhas e colunas

Matriz de Ganhos

		J2	
		c	d
J1	a	1	2
	b	5	1
		3	2
		2	0

- O primeiro jogador escolhe as ações nas linhas e o segundo nas colunas
- Ex: se J1 escolhe a ação b e J2 escolhe a ação c, o ganho de J1 é 2 e o de J2 é 5

[Rosenschein e Genesereth 85]



prof. Luis Otavio Alvares

Dilema do Prisioneiro

		P2	
		confessa	Não confessa
P1	Confessa o crime	3	5
	não confessa	0	1
		3	0
		5	1

- Dois suspeitos, depois que um delito foi cometido, são interrogados em salas separadas

- O problema é que ofertas que são individualmente racionais podem não ser racionais para o grupo!

[Axelrod 84]



prof. Luis Otavio Alvares

Dilema do prisioneiro

- **O raciocínio de um prisioneiro:**
- **Suponha que eu confesse o crime:** se ele não confessar eu saio livre, mas se ele não confessar ambos pegamos 3 anos de prisão. Então, eu posso pegar 3 anos de cadeia.
- **Suponha que eu não confesse o crime:** se ele também não confessar, eu pego 1 ano de prisão. Mas se ele confessar, eu pego 5 anos de prisão. Então, eu posso pegar 5 anos de cadeia.
- Com base nisso, é **melhor eu confessar o crime.**



prof. Luis Otavio Alvares

Dilema do prisioneiro

- Portanto o cenário é simétrico (os dois prisioneiros pensam da mesma maneira) e o que emerge (se os dois forem "racionais") é que os dois agentes vão confessar o crime e pegarão 3 anos de cadeia cada um.
- Mas intuitivamente esta não é a melhor solução, pois se nenhum confessasse, eles pegariam apenas 1 ano de prisão cada um.
- Mas se um não confessa, a melhor escolha para o outro passa a ser confessar e sair livre.



prof. Luis Otavio Alvares

Equilíbrio Nash

- Se o outro jogador jogar x, a minha melhor jogada é y. E se eu jogar y, a melhor jogada do outro é x.
- nenhum agente tem qualquer incentivo para se desviar deste equilíbrio
- nessas condições, a jogada x,y é dita um ponto de equilíbrio Nash.



prof. Luis Otavio Alvares

Exemplo real

- Suponha que dois países combinem de destruir suas respectivas armas nucleares.
- O melhor seria os dois realmente destruírem e não ter o perigo de uma guerra nuclear..
- Mas se um engana o outro e não destrói, fica em melhor situação.
- O que não destrói, no pior caso, fica na situação atual, os dois com as bombas.



prof. Luis Otavio Alvares

Teoria dos jogos

- Usada para tomada de decisão com incerteza causada pelo comportamento de outros agentes
- Exemplo: escolha de caminho para ir de casa ao trabalho



prof. Luis Otavio Alvares

Exercício

- Cada aluno deve escolher um número entre 0 e 100. Ganha quem tiver escolhido o número que mais se aproxime da metade da média dos números.
- Não pode haver comunicação entre os alunos



prof. Luis Otavio Alvares