



# Introdução aos Sistemas Multi-Agente

**Luís Paulo Reis**

**lpreis@fe.up.pt, Tel: 919455251, 225081829**  
Investigador do LIACC – Laboratório de Inteligência Artificial e  
Ciência de Computadores - Univ. Porto  
Docente da FEUP – Faculdade de Engenharia da Univ. Porto  
Membro do Comité Técnico da Federação RoboCup

Luis Paulo Reis

Mestrado em Inteligência Artificial e Computação

Slide Nº 1



## Estrutura da Apresentação

- Introdução aos Sistemas Multi-Agente
- Comunicação em SMA
- Aprendizagem em SMA
- Introdução à Coordenação em SMA
- Conclusões

Luis Paulo Reis

Mestrado em Inteligência Artificial e Computação

Slide Nº 2



## Estrutura da Apresentação

- Introdução aos Sistemas Multi-Agente
  - Definição de SMA
  - Motivação para os SMA
- Comunicação em SMA
- Aprendizagem em SMA
- Introdução à Coordenação em SMA
- Conclusões

Luis Paulo Reis

Mestrado em Inteligência Artificial e Computação

Slide Nº 3



## Sistema Multi-Agente

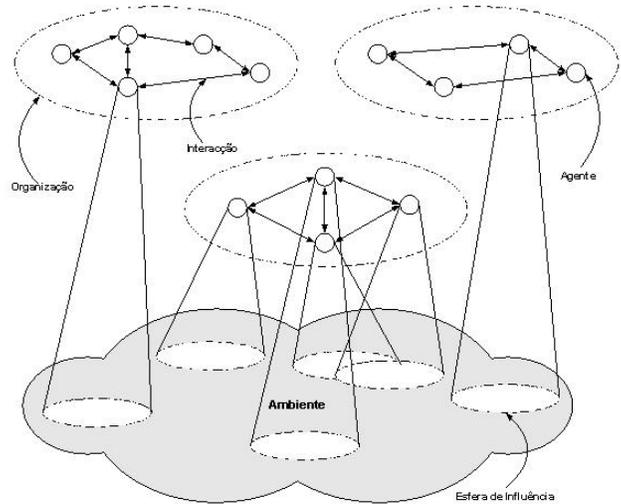
- Composto por múltiplos agentes que:
  - Exibem um comportamento autónomo (tomando decisões levando à satisfação dos seus objectivos)
  - Interagem com os outros agentes presentes no sistema (utilizando protocolos de interacção social inspiradas nos dos humanos, incluindo coordenação, cooperação, competição e negociação)

Luis Paulo Reis

Mestrado em Inteligência Artificial e Computação

Slide Nº 4

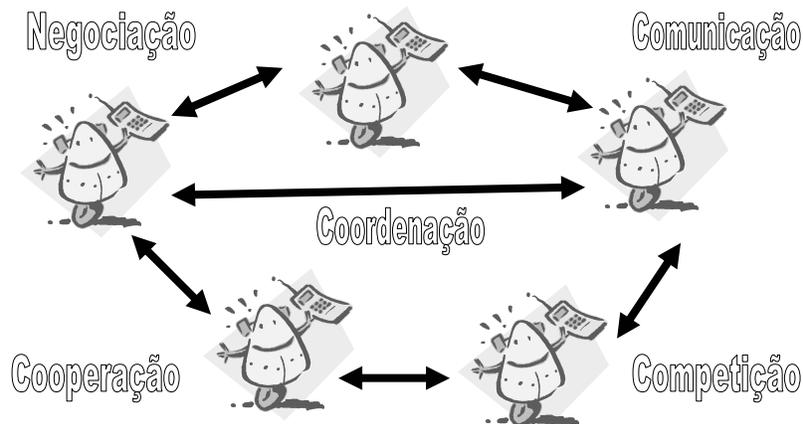
## Sistema Multi-Agente



## Sistema Multi-Agente

- Definição de SMA:
  - “Um Sistema Multi-Agente (SMA) é um sistema computacional em que dois ou mais agentes interagem ou trabalham em conjunto de forma a desempenhar um determinado conjunto de tarefas ou satisfazer um conjunto de objectivos.”
- Investigação científica e implementação de SMA:
  - Construção de *standards*, princípios e modelos que permitam a criação de pequenas e grandes sociedades de agentes semi-autónomos, capazes de interagir convenientemente de forma a atingirem os seus objectivos

## Sistemas Multi-Agente



## Motivação dos Sistemas Multi-Agente

- Dimensão do problema demasiado elevada para ser resolvido por um único agente
- Permitir a interconexão de múltiplos sistemas legados (“*legacy*”)
- Solução natural para problemas geográfica e/ou funcionalmente distribuídos;
- Soluções para problemas em que peritos, conhecimentos ou informações necessárias para a sua resolução, se encontram distribuídos;
- Interface cooperativa homem-máquina mais natural (ambos funcionam como “agentes” no sistema)
- Clareza e simplicidade conceptual de projecto.



## Motivação dos Sistemas Multi-Agente

- Domínio do problema o exige (distribuição espacial dos intervenientes)
- Paralelismo (execução mais rápida)
- Robustez (não existe um ponto único de falha no sistema)
- Escalabilidade (aumento dos agentes, sistema aberto)
- Simplificação das tarefas individuais de programação (dividindo o problema em vários subproblemas)
- Estudo da inteligência individual e do comportamento social
- Manutenção da privacidade da informação e conhecimentos individuais

Luis Paulo Reis

Mestrado em Inteligência Artificial e Computação

Slide N° 9



## Estrutura da Apresentação

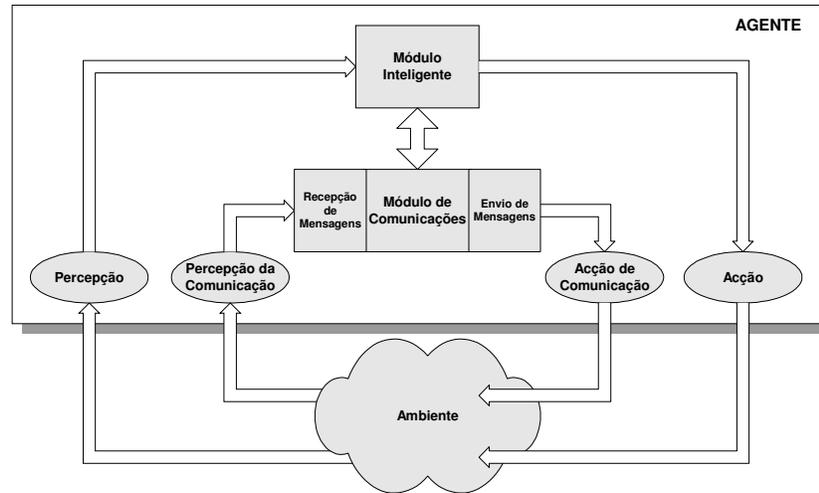
- Introdução aos Sistemas Multi-Agente
- Comunicação em SMA
- Aprendizagem em SMA
- Introdução à Coordenação em SMA
- Conclusões

Luis Paulo Reis

Mestrado em Inteligência Artificial e Computação

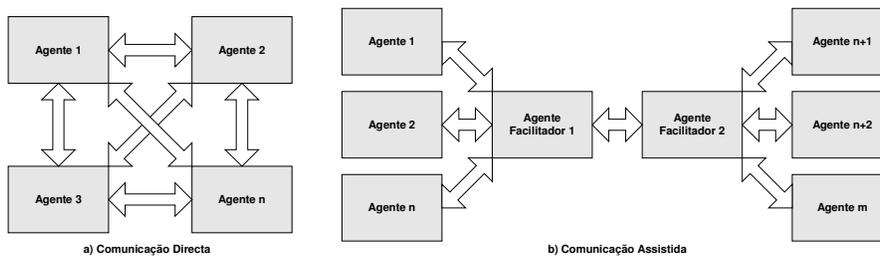
Slide N° 10

# Comunicação em SMA



# Comunicação em SMA

## Comunicação Directa vs Assistida



- Memória partilhada (quadro-negro) por todos os agentes
- Passagem de mensagens entre agentes ou módulos



# Comunicação em SMA

## ▪ Características da Comunicação:

- **Sintaxe.** Estrutura da ligação dos símbolos que compõem o discurso (regras relativas à combinação das palavras em unidades maiores)
- **Semântica.** Significado dos símbolos e das suas combinações
- **Vocabulário.** Conjunto de símbolos usados. Lista dos vocábulos da linguagem (e respectiva definição)
- **Pragmática.** Conjunto de regras de acção e fórmulas de interpretação dos símbolos utilizados na comunicação
- **Modelo do domínio do discurso.** Significado que um conjunto de símbolos assume quando interpretado num determinado contexto de conversação.

Luis Paulo Reis

Mestrado em Inteligência Artificial e Computação

Slide Nº 13



# Comunicação em SMA

- **O que comunicar?** Independentemente do seu fim (realizar partilha de conhecimento, reforçar a coordenação, etc.), as mensagens enviadas não podem conter toda a informação que o agente emissor possui. Considerar:
  - Características do canal de comunicação
  - Fim a que se destina a comunicação,
- **Quando comunicar?** Em domínios com reduzida largura de banda disponível para operações de comunicação, é importante decidir o momento temporal da comunicação. Se a informação não for importante, será preferível não comunicar
- **A quem comunicar?** Mensagens podem ser enviadas para um, vários ou todos os agentes.
- **Como comunicar?** Seleccionar, para cada comunicação, o meio mais adequado para a executar.

Luis Paulo Reis

Mestrado em Inteligência Artificial e Computação

Slide Nº 14



## Comunicação em SMA

- **Linguagem KQML (*Knowledge and Query Manipulation Language*)**
  - Linguagem externa para comunicações entre agentes
  - Invólucro para formatar mensagens que determina o significado locutório da mensagem
  - Não está preocupado com o conteúdo da mensagem
- **Formato KIF (*Knowledge Interchange Format*)**
  - Destina-se a representar o conhecimento sobre um dado domínio de discurso
  - Forma de definir o conteúdo de mensagens KQML
- **FIPA ACL:** Definição da Estrutura das mensagens
- **Ontologias**

Luis Paulo Reis

Mestrado em Inteligência Artificial e Computação

Slide Nº 15



## Estrutura da Apresentação

- Introdução aos Sistemas Multi-Agente
- Comunicação em SMA
- Aprendizagem em SMA
- Introdução à Coordenação em SMA
- Conclusões

Luis Paulo Reis

Mestrado em Inteligência Artificial e Computação

Slide Nº 16



# Aprendizagem em SMA

- Em SMA:
  - Aprendizagem em Grupo e não Individual!
- Tipos de Aprendizagem:
  - **Aprendizagem Interactiva.** Situações em que os agentes de forma colectiva procuram atingir os seus objectivos de aprendizagem comuns
  - **Aprendizagem Individual.** Situações em que cada agente procura atingir os seus próprios objectivos de aprendizagem mas em que a sua aprendizagem é afectada por outros agentes, os seus conhecimentos, crenças, intenções, etc.

Luis Paulo Reis

Mestrado em Inteligência Artificial e Computação

Slide Nº 17



# Aprendizagem em SMA



Luis Paulo Reis

Mestrado em Inteligência Artificial e Computação

Slide Nº 18



## Estrutura da Apresentação

- Introdução aos Sistemas Multi-Agente
- Comunicação em SMA
- Aprendizagem em SMA
- Introdução à Coordenação em SMA
- Conclusões

Luis Paulo Reis

Mestrado em Inteligência Artificial e Computação

Slide Nº 19



## Coordenação em SMA

- Definição de Coordenação:
  - “o acto de trabalhar em grupo de forma harmoniosa” [Malone et al., 1990]
- Definição de Equipa:
  - “Conjunto distinguível de 2 ou mais indivíduos que interagem de forma dinâmica, interdependente e adaptativa de forma a atingirem objectivos comuns, partilhados e especificados” [Bower et al].

Luis Paulo Reis

Mestrado em Inteligência Artificial e Computação

Slide Nº 20



## Coordenação em SMA

- Definições de Coordenação:
  - “Ajustamento ou interacção harmoniosa” [AHD, 2000]
  - “O acto de trabalhar em grupo de forma harmoniosa” [Malone et al., 1990]
  - “Processo pelo qual um agente raciocina acerca das suas acções locais e das acções (antecipadas) dos outros para tentar assegurar que a comunidade actue de maneira coerente” [Jennings, 1996]
  - “Processo de gestão das interdependências entre actividades” [Malone e Crowston, 1994]

Luis Paulo Reis

Mestrado em Inteligência Artificial e Computação

Slide Nº 21



## Coordenação em SMA

- Definições de Coordenação:
  - “A operação de sistemas complexos compostos de componentes” [NSF-IRIS, 1989]
  - “O esforço conjunto de actores independentes no sentido de atingirem objectivos mutuamente definidos” [NSF-IRIS, 1989]
  - “A integração e ajustamento harmonioso dos esforços individuais no sentido de alcançar um objectivo mais amplo” [Singh, 1992]
  - “O acto de trabalhar em conjunto” [Malone e Crowston, 1991]

Luis Paulo Reis

Mestrado em Inteligência Artificial e Computação

Slide Nº 22



## Coordenação em SMA

- Uma Definição Final:
  - “O acto de trabalhar em conjunto de forma harmoniosa no sentido de atingir um acordo ou objectivo comum”  
[Reis, 2002]

Luis Paulo Reis

Mestrado em Inteligência Artificial e Computação

Slide Nº 23



## Coordenação: Necessidade

- **Relações de Dependência entre Agentes:**
  - **Independência.** Não existe qualquer tipo de dependência entre os agentes;
  - **Unilateral.** Um agente depende do outro mas a relação inversa não se verifica;
  - **Mútua.** Ambos os agentes dependem do outro para atingirem os seus próprios objectivos;
  - **Dependência recíproca.** Um agente depende do outro para um dado objectivo e o outro agente depende do primeiro para um outro objectivo (não necessariamente o mesmo).

Luis Paulo Reis

Mestrado em Inteligência Artificial e Computação

Slide Nº 24



## Dependências e Processos de Coordenação

<i>Dependência</i>	<i>Processos de Coordenação para Gerir a Dependência</i>
<i>Recursos Partilhados</i>	<i>“First come/First serve”, Ordenação por Prioridades, Orçamentos, Decisão da Gestão, Negociação e Ofertas</i>
<i>Alocação de Tarefas</i>	<i>“First come/First serve”, Ordenação por Prioridades, Orçamentos, Decisão da Gestão, Negociação e Ofertas</i>
<i>Relações Produtor/Consumidor</i>	<i>Notificação, Sequenciamento, Seguimento, Gestão de Stocks, Just in Time, Quantidade Económica de Encomenda, Normalização, Projecto Participatório, Interação com os Utilizadores</i>
<i>Restrições de Pré-Requisitos</i>	<i>Notificação, Sequenciamento, Seguimento</i>
<i>Transferência</i>	<i>Gestão de Stocks, Just in Time, Quantidade Económica de Encomenda</i>
<i>Usabilidade</i>	<i>Normalização, Projecto Participatório, Interação com os Utilizadores</i>
<i>Projecto para produção</i>	<i>Engenharia Concorrente</i>
<i>Restrições de Simultaneidade</i>	<i>Escalonamento, Sincronização</i>
<i>Tarefas e Sub-Tarefas</i>	<i>Seleção de Objectivos, Decomposição de Tarefas</i>

Luis Paulo Reis

Mestrado em Inteligência Artificial e Computação

Slide Nº 25



## Necessidade de Coordenação

- **Existem dependências nas acções dos agentes.** Acções necessárias para atingir os objectivos dos agentes individuais estão relacionadas (decisões locais têm impacto nas decisões de outros agentes ou interacções destrutivas entre agentes)
- **Existe a necessidade que o SMA respeite restrições globais.** (a nível de custos, tempo, recursos, etc). Se os agentes agissem individualmente não conseguiriam respeitar estas restrições. Precisam de coordenar as suas actividades
- **Nenhum agente individualmente tem recursos, informação ou capacidade suficiente para executar a tarefa ou resolver o problema completo.**
  - Problemas necessitam de conhecimentos distintos para resolução (diferentes agentes)
  - Conhecimentos têm de ser combinados de forma a produzir o resultado desejado.
  - Agentes têm recursos distintos (capacidade de processamento, memória, etc.) que têm de ser utilizados de forma coordenada para resolver o problema.
  - Agentes podem também possuir informação distinta, (sensores distintos ou estarem geograficamente em locais distintos)
  - Capacidades de posicionamento diferentes, podendo posicionar-se em zonas distintas. (suas capacidades de percepção e acção sobre o meio serão distintas)

Luis Paulo Reis

Mestrado em Inteligência Artificial e Computação

Slide Nº 26



## Mais Razões para a Coordenação

- **Eficiência.** Através da troca de informação ou divisão de tarefas:
  - Troca de tarefas se ambos forem capazes de executar de forma mais eficiente a nova tarefa
  - Agente enviar informação ou permitir a utilização dos seus recursos computacionais de forma a aumentar a eficiência de uma tarefa executada por outro agente;
- **Prevenir a anarquia e o caos.** Devido à descentralização dos SMA, a anarquia pode-se estabelecer facilmente:
  - Em sistemas com dimensão ou complexidade razoáveis, agentes possuem um visão parcial do mundo e conhecimento e objectivos locais que poderão entrar em conflito com os dos outros agentes.
  - Agentes estão habilitados a interagir com os outros agentes do sistema e, tal como em qualquer sociedade, estas interacções podem provocar grande confusão, desordem e desorganização, conduzindo à anarquia
  - Nenhum agente possui uma visão global e autoridade sobre o sistema pelo que será necessário que os agentes coordenem as suas actividades voluntariamente com os restantes agentes do sistema.

Luis Paulo Reis

Mestrado em Inteligência Artificial e Computação

Slide Nº 27



## SMA Cooperativos vs Competitivos

- **SMA cooperativos:**
  - Usualmente projectados por uma única, ou múltiplas, mas no entanto interdependentes, entidades
  - Agentes agem de forma a incrementar a utilidade global do sistema e não a sua utilidade pessoal
  - Preocupação com o aumento do desempenho global do sistema e não do desempenho individual dos agentes
- **SMA compostos por agentes competitivos (“self-interested”):**
  - Cada agente é projectado por um projectista distinto
  - Agentes têm a sua própria agenda e motivação
  - Agentes não estão usualmente interessados no bem da comunidade mas sim na sua satisfação pessoal
  - Usuais em cenários que envolvam aquisição de bens ou serviços, como o comércio electrónico na Internet

Luis Paulo Reis

Mestrado em Inteligência Artificial e Computação

Slide Nº 28



## Estrutura da Apresentação

- Introdução aos Sistemas Multi-Agente
- Comunicação em SMA
- Aprendizagem em SMA
- Introdução à Coordenação em SMA
- Conclusões

Luis Paulo Reis

Mestrado em Inteligência Artificial e Computação

Slide Nº 29



## Conclusões

- SMA é um sistema computacional em que vários agentes interagem ou trabalham em conjunto de forma a desempenhar um determinado conjunto de tarefas
- Muitas motivações para o uso de SMA
- Comunicação e Aprendizagem em SMA
- Coordenar Agentes implica coloca-los a trabalhar em conjunto de forma harmoniosa no sentido de atingir um objectivo comum
- Coordenação é essencial em SMA!

Luis Paulo Reis

Mestrado em Inteligência Artificial e Computação

Slide Nº 30