

## Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos (curso JAIA 2001)

Ana L. C. Bazzan

Instituto de Informática, UFRGS  
{bazzan@inf.ufrgs.br}

- ### Roteiro
- ◆ Bibliografia do curso
  - ◆ Sistemas Multiagente
  - ◆ Teoria dos Jogos
  - ◆ Aplicações de Teoria dos Jogos em Coordenação de Agentes

JAIA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Bibliografia Sugerida

- ◆ Readings in DAI, A. H. Bond and L. Gasser (editors), Morgan Kaufman Pub., 1988
- ◆ Distributed Artificial Intelligence, vol. 1, M. N. Huhns (ed.), Morgan Kaufman Pub., 1987 e vol. 2, Gasser, L. and M.N. Huhns, (eds.), Pitman/Morgan Kaufmann, 1989
- ◆ Foundations of DAI, O'Hare and Jennings (editors), John Wiley, 1996
- ◆ Proceedings de Conferências e Workshops: ICMAS, MAAMAW, ATAL, CIA, AAAI, IJCAI, ECAI, ...

JAIA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Bibliografia Sugerida (cont.)

- ◆ Multiagent Systems. A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence, G. Weiss (ed.), MIT Press, 1999
- ◆ Rosenschein, J. and G. Zlotkin: Rules of Encounter. Designing Conventions for Automated Negotiation Among Computers. MIT Press, 1994.
- ◆ Luce, R. D. and H. Raiffa: Games and Decisions (Introduction and critical survey). Dover Pub. 1989 (reproduction from first edition of 1957).

JAIA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Roteiro

- ◆ Bibliografia do curso
- ◆ Sistemas Multiagente
- ◆ Teoria dos Jogos
- ◆ Aplicações de Teoria dos Jogos em Coordenação de Agentes

JAIA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Roteiro

- ◆ Sistemas Multiagente
  - Terminologia
  - Aspectos Históricos
  - Características
  - Problemas Básicos
  - Arquiteturas de Agentes
  - Sociedades de Agentes: Organização
  - Questões em Aberto

JAIA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

Áreas do conhecimento que contribuem com conceitos em IAD e SMA

### Árvore

JAI 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

### Introdução

- ◆ Interdisciplinaridade
  - linguística: protocolo para comunicação/interação entre agentes (speech-act)
  - economia: maximização do ganho, "market-oriented agents"
  - sociologia, antropologia, psicologia
  - biologia

JAI 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

### Motivação

- ◆ Motivação
  - IA de uma entidade (= agente):
    - dec. 60: GPS, provador de teoremas
    - dec. 70: sistemas especialistas
    - dec. 80: planejamento *naïve*
- ◆ Ambiente monoagente vs. ambiente multiagente
  - palavra-chave: **INTERAÇÃO**
  - abordagem *divide-and-conquer*: até que ponto esta decomposição não causa perdas???
  - abordagem *multiagente*

JAI 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

### Terminologia

- ◆ IA distribuída: estuda sistemas computacionais nos quais agentes autônomos interagem e para realizar tarefas ou atingir objetivos
- ◆ Agente: entidade + conjunto de opções de ação
  - Minsky: mente como sociedade de *agentes* cooperativos (1979)
  - reativo: ação em reação ao ambiente
  - intencional/cognitivo: estado de informação estratégico ou intencional (controle) para guiar as ações

JAI 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

### Aspectos Históricos

- ◆ DAI = DPS + MAS
- ◆ DPS (Distributed Problem-Solving) vs. MAS (Multi-Agent Systems)
  - 1970/1980: foco em DPS (problema a ser resolvido comum ao grupo de agentes)
  - 1980-hoje: foco em MAS (coordenação de agentes com problemas distintos)

JAI 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

### Aspectos Históricos (cont.)

- ◆ DPS (quebra-cabeças)
  - atributos globais: modelo conceitual global do sistema, problema a ser resolvido, critério de performance
  - atributos distribuídos: conhecimento, recursos, controle, autoridade
- ◆ MAS (economia)
  - atributos distribuídos: modelos conceituais, problemas/objetivos, critério de performance

JAI 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Aspectos Históricos (cont.)

- ◆ **Motivação para distribuição e paralelismo**
  - tamanho dos problemas a serem tratados
  - avanços na área de hardware
  - limitação dos recursos
  - racionalidade limitada
  - vários domínios do conhecimento (especificidade da capacidade dos agentes)
  - paradigmas baseados em sistemas naturais e sociais

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Aspectos Históricos

- | DPS  | MAS  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• decomposição de problemas entre um time com <u>comunicação e cooperação</u></li><li>• resolução de um problema comum decomposto em sub-problemas</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• agentes individualmente motivados</li><li>• agentes com interações, desejos e crenças individuais</li><li>• cada agente tem sua meta</li><li>• coordenação para resolução de conflitos</li><li>• troca de planos, conhecimento</li><li>• convencimento de outros agentes a <u>adotarem as próprias metas</u></li></ul> |

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Aspectos Históricos (cont.)

- ◆ **Primeira Geração (1960-1970)**
  - Pandemonium, sistemas de produção (distribuição semântica, controle oportunístico), blackboards, ACTORS, HEARSAY-II
- ◆ **Segunda Geração (1979 - 1984)**
  - Contract net, DVMT
  - teoria básica: planejamento, teoria dos jogos, racionalidade

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Aspectos Históricos (cont.)

- ◆ **Terceira Geração (1985 - 1992)**
  - raciocínio sob perspectivas distintas (negociação, ATMS distribuído)
  - arquiteturas de agentes (metalevel, instrospecção, PGP)
  - aprendizado
  - teoria básica: modelagem baseada na tarefa, teoria da organização e sistemas intencionais/ lógicas não-clássicas

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Aspectos Históricos (cont.)

- ◆ **Quarta Geração (1993 - )**
  - aplicações: ARCHON, WWW agentes (comércio eletrônico, etc.)
  - arquiteturas: BDI (beliefs, desires, intentions)
  - aprendizado: técnicas de aprendizado não simbólico, evolução
  - teoria básica: teoria econômica (evolução), sistemas dinâmicos, organização computacional, modelagem baseada em lógicas não-clássicas

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Características

- ◆ **Devido a:**
  - Distribuição natural do problema, restrições globais
  - Distribuição de controle, recursos, competência e conhecimento
  - Interdependência entre a resolução do(s) problemas

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

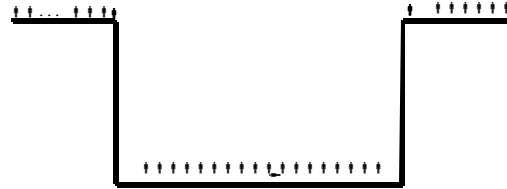
## Características (cont.)

- ◆ Necessidade de:
  - **Coordenação**
    - nível do domínio: assegurar o objetivo
    - nível de controle: como atingir
  - **Cooperação**: descentralização dos dados, visão local
    - cima para baixo
    - baixo para cima
  - **Comunicação**
    - abstração da mensagem, acoplamento pobre, racionalidade, competição, dinâmica, incerteza

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Exemplo

- ◆ Comunicação e o problema do conhecimento: ataque coordenado



JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Problemas Básicos

- ◆ Como modelar um agente?
- ◆ Como enxergar outros agentes (grau de abstração)?
- ◆ Quando e como interagir (via comunicação ou não)?
- ◆ Como descrever, decompôr e alocar as (sub)tarefas? E recursos?

**NENHUMA ABORDAGEM SE PROPÕE A TRATAR TODAS AS QUESTÕES !**

- ◆ Como implementar um sistema multi-agente.

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Problema: Modelagem do Agente

- ◆ Quanto à cooperação
  - Cooperativo:
    - ajuda mútua, sem competição
  - "Self-Interested":
    - objetivos distintos / interação necessária
  - Tendência: convergência dos dois modelos
    - cooperativo: conflitos locais --> comportamento não cooperativo
    - *self-interested*: grande *overhead*, incerteza; cooperação pode ajudar

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Problema: Interação

- ◆ Governada por protocolos formais (blackboards, regras, convenções): *contract-net*, DVMT, ACTORS
- ◆ Governada por raciocínio sobre a interação: uso de teoria dos jogos

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Problema: Interação (cont.)

- ◆ Interação usando a teoria dos jogos
  - Interação (estática):
    - 1- modelo (opções de ação e seus ganhos são "common knowledge")
    - 2- análise
    - 3- decisão (baseada em racionalidade/maximização do ganho)
  - Exemplo: matriz de "payoff" do dilema do prisioneiro

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Exemplo 1: DVMT, GPGP

- ◆ DVMT: rede de nodos (agentes)
- ◆ Capacidade de sensoriamento e conhecimento são distribuídos
- ◆ Monitoramento e interpretação de dados: trajetória do veículo
- ◆ Comunicação de informações abstratas
- ◆ *Blackboards*

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Exemplo 1: DVMT (cont.)

- ◆ Plano: construção da trajetória (visão local)
- ◆ Detecção das interações entre planos: plano "parcial global"
- ◆ Resolução de conflitos: prioridade para nodo gerador
- ◆ PGP e GPGP: foco no planejamento e mecanismos de coordenação

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Problema: Alocação de Tarefas

- ◆ Temporal:
  - atribuição de tarefas baseada no tempo
- ◆ Espacial:
  - atribuição baseada na localização geográfica
- ◆ Funcional:
  - problema dividido entre agentes segundo suas características

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Problema: Alocação Tarefas (cont.)

- ◆ Outros:
  - organização: tarefa é designada de acordo com o papel do agente em dada organização
  - "voting": atribuição é centralizada por um agente eleito
  - "market-based": livre competição sobre regras (pré estabelecidas) de mercado

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Exemplo 2: *Contract Net*

- ◆ Atribuição de tarefas via contrato entre o gerente (nível superior na hierarquia) e o contratante (agente)
  - Edital: descrição da tarefa (gerente)
  - Proposta: descrição da capacitação (agente)
  - Escolha (gerente)

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Exemplo 2: *Contract Net* (cont.)

- ◆ Versão inicial
  - hipótese de cooperação; não há penalidade
  - não há interação / negociação dinâmica
  - proposta local (agente) é "cega":
    - cooperação: assumir tarefas de agentes sobrecarregados
    - interesse próprio: antecipar propostas dos demais

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Problema: Coordenação

- ◆ gerenciamento de dependências entre ações via:
  - supervisão direta (hierarquia): centralizado
  - acordo mútuo, mercado: agentes avaliam e trocam recursos e serviços
  - comunicação de planos de ação e/ou informações relevantes
  - sem comunicação: teoria dos jogos, convenções, observação
  - comunicação implícita (colônias de insetos)

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Problema: Resolução de Conflitos

- ◆ Estratégias
  - Evitar conflitos a partir de um projeto cooperativo onde se prevejam os possíveis conflitos (factível?)
  - Resolução centralizada (hierarquia)
  - Resolução descentralizada (convenções)
  - Abandonar o objetivo
  - Modos alternativos: crítica externa, etc.

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Arquitetura de Agentes

- ◆ Behaviorismo: tarefas cognitivas reduzidas a comportamento físico observável em experimentos de laboratório; reinforcement
- ◆ Chomsky / Putnan / Bratman: cognição ligada a estados mentais
- ◆ Coordenação e cooperação somente com comunicação (troca de informação)
- ◆ Rosenschein: cooperação sem comunicação
- ◆ Castelfranchi: influenciar intenções e levar à adoção de objetivos alheios

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Arquitetura Geral

- ◆ Módulos funcionais
  - percepção + sua interpretação e classificação (R)
  - raciocínio sobre crenças e modelos de outros agentes (S)
  - decisão (R)
  - seleção do(s) plano(s) de ação (R)
  - construção de planos (I)
  - ativação de um plano de ação (R)
  - simulação dos planos e reações de outros agentes (S)
  - execução de um plano (R)
  - aprendizado de planos (I)

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Arquitetura Geral (cont.)

- ◆ Módulos de armazenamento de conhecimento
  - dados sensores
  - dados interpretados
  - conhecimento de si e do ambiente
  - objetivos, espaço de decisão e de ação, recursos disponíveis e necessários
  - planos pré-definidos
  - plano ativado e estado de sua execução

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Arquitetura Geral (cont.)

- ◆ Módulos de armazenamento de conhecimento (cont.)
  - agenda de atividades coordenadas
  - novos planos criados
  - heurísticas para aprendizado
  - conhecimento sobre outros agentes
  - resultados simulados

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Organização: TÆMS

- ◆ Representação da estrutura organizacional em TÆMS:
  - tasks, subtasks, methods
  - relacionamentos: habilitação, facilitação, recursos, etc.

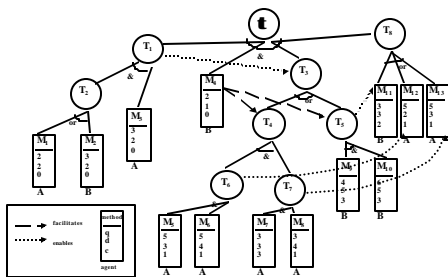
JAIÁ 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Organização: TAEMS

Task/Method	Description	Task/Method	Description
T1	"get list of CDs and books to buy"	T5	"display results to user"
T2	"get list of CDs to buy"	M5	"get prices at Bookstore B"
M1	"ask user for list of CDs"	M6	"check availability at Bookstore B"
M2	"ask user for list of CDs"	M7	"get prices at CD Paradise"
M3	"ask user for list of books"	M8	"check availability at CD Paradise"
M4	"ask user for personal data"	M9	"get prices at Book&CD World"
T3	"perform query"	M10	"check availability at Book&CD World"
T4	"perform query at sites Bookstore B and CD Paradise"	M11	"display results from Bookstore B"
T5	"perform query at site Book&CD World"	M12	"display results from CD Paradise"
T6	"search Bookstore B"	M13	"display results from Book&CD World"
T7	"search CD Paradise"		

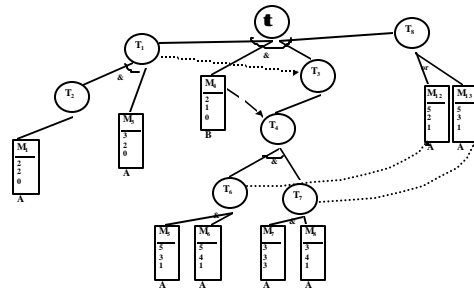
JAIÁ 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Organização: TAEMS (cont.)



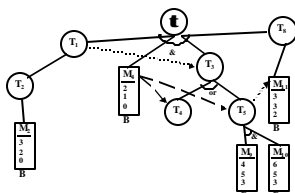
JAIÁ 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Organização: TAEMS (cont.)



JAIÁ 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Organização: TAEMS (cont.)



JAIÁ 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Coordenação: GPGP

- ◆ Mecanismos:
  - mecanismo 1 ( update non-local view): informa A e B que T<sub>4</sub> e T<sub>5</sub> estão relacionadas
  - mecanismo 2 (communicate results)
  - mecanismo 3 (recognize redundancies): A ou B precisam realizar ou M<sub>11</sub> ou M<sub>12</sub> ou M<sub>13</sub>
  - mecanismo 4 (recognize hard relationships): informa A e B que T<sub>3</sub> depende de T<sub>1</sub>
  - mecanismo 5 (recognize soft relationships): informa A e B que T<sub>4</sub> depende de M<sub>4</sub>

JAIÁ 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Coordenação: GPGP (cont.)

- ◆ Escalonador Local: compromissos (B prioriza  $M_d$ )
- ◆ Execução
- ◆ Ferramenta para representação e coordenação

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Resumo MAS: Características

- ◆ rede de agentes autônomos;
- ◆ nenhum agente tem capacidade para resolver o problema como um todo;
- ◆ agentes e/ou sub-problemas interagem;
- ◆ controle descentralizado;
- ◆ conhecimento descentralizado;
- ◆ canal de comunicação limitado;
- ◆ incerteza

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Resumo MAS : Natureza Social

- ◆ problemas típicos como múltipla representação do conhecimento e correspondente raciocínio;
- ◆ forma de comunicação;
- ◆ escassez de recursos e necessidade de coordenação;
- ◆ desenvolvimento de ações conjuntas

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Características dos Sistemas Multiagente

- ◆ Sumário
  - mudanças freqüentes de estado
  - canal de comunicação: não é possível transmitir toda a informação sobre estado
  - racionalidade limitada
  - competição entre agentes
  - Nível do domínio: confiabilidade da descrição do ambiente
  - Nível de controle: como prever ações futuras?
  - Incerteza é inerente; precisa ser gerenciada!

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Problemas em Aberto

- ◆ consenso sobre metáforas;
- ◆ convergência dos modelos de agentes cooperativos e auto-motivados;
- ◆ convergência dos modelos baseados no estado e orientados à tarefa;
- ◆ complexidade das lógicas BDI;

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Problemas em Aberto (cont.)

- ◆ arquiteturas;
- ◆ diagnóstico do comportamento frente à organização;
- ◆ uso de técnicas de aprendizado simbólico;
- ◆ aplicações com grande número de agentes

JAlA 1 - Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos Ana Lúcia C. Bazzan ©2001



## Roteiro

- ◆ Bibliografia do curso
- ◆ Sistemas Multiagente
- ◆ Teoria dos Jogos
- ◆ Aplicações de Teoria dos Jogos em Coordenação de Agentes