

# Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana L. C. Bazzan

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

## Roteiro

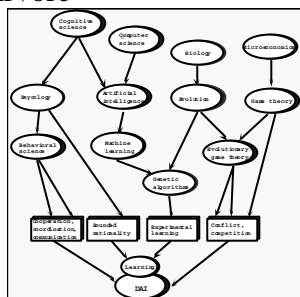
- ◆ Sistemas Multiagente
- ◆ Teoria dos Jogos
- ◆ Aplicações de Teoria dos Jogos em Coordenação de Agentes

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



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

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*

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

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

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

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, introspecção, PGP)
  - aprendizado
  - teoria básica: modelagem baseada na tarefa, teoria da organização e sistemas intencionais/ lógicas não-clássicas

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

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

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?

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/maximação do ganho)
  - Exemplo: matriz de “payoff” do dilema do prisioneiro

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)

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

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

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Roteiro

- ◆ Teoria dos Jogos
  - Estratégias pura e mista
  - Tipos de jogos e conceitos de solução
  - Jogos não cooperativos
  - Jogos cooperativos e barganha
  - Jogos evolutivos
  - Dilema do prisioneiro

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Teoria dos Jogos - Introdução

- ◆ Você leu o jornal hoje???
  - lutas armadas ou guerras
  - decisões sobre o orçamento brasileiro: onde investir?
  - preço da gasolina
  - aquisição de firmas
  - ...
- ◆ Exemplo
  - gov. argentino => {manter medidas, liberar}
  - população => {aguardar, protestar}

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Teoria dos Jogos - Introdução

### ◆ CONFLITOS DE INTERESSE

- pessoas e grupos
- firmas e nações (corrida armamentista, protocolo de Kyoto!)

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Teoria dos Jogos - Definições

- ◆ TJ: abordagem interdisciplinar para o estudo do comportamento humano (distinta de sociologia, psicologia, antropologia)
- ◆ Disciplinas envolvidas: matemática, economia, ciências sociais e comportamentais
- ◆ **Jogo**: modelo teórico de conflitos de interesse (decisões possíveis, resultados possíveis) entre duas ou mais pessoas que tem motivações conflitantes
- ◆ **Teoria dos Jogos**: meios para analisar os conflitos

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Teoria dos Jogos - Questões

- ◆ O que significa *racionalidade* no cenário onde o ganho depende das escolhas de outros (jogadores)? e no caso da informação ser incompleta?
- ◆ No caso de jogos que permitem ganho/perda mútua, é racional *cooperar* para atingir ganho/evitar perda? É melhor agir agressivamente procurando o ganho individual em detrimento do ganho mútuo?
- ◆ Se a resposta acima for “às vezes”, quando a agressividade é racional? E a cooperação?
- ◆ Há diferença entre encontros duradouros e únicos?

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Teoria dos Jogos - Questões

- ◆ Regras morais de cooperação podem emergir espontaneamente a partir de interações de egoístas racionais?
- ◆ Qual é a relação/diferença entre comportamento humano real e comportamento racional? Existe?
- ◆ Se há diferença, qual a consequência? As pessoas são mais cooperativas do que racionais? Mais agressivas?

**TUDO ISTO É IMPORTANTE NO *DESIGN* DE SISTEMAS MULTIAGENTES! PORQUE?**

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Teoria dos Jogos - Introdução

- ◆ “**solução**” do jogo: melhor forma de jogar para cada indivíduo envolvido
- ◆ **tipos de jogos**
  - recreativos: pôquer, monopólio, jogo da velha
  - tabuleiro: xadrez, damas, gamão, etc.
  - problemas econômicos, políticos e sociológicos
  - metáforas: hawk-and-dove, chicken, tragedy-of-commons, majority rule, battle-of-sexes, prisoner's dilemma

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

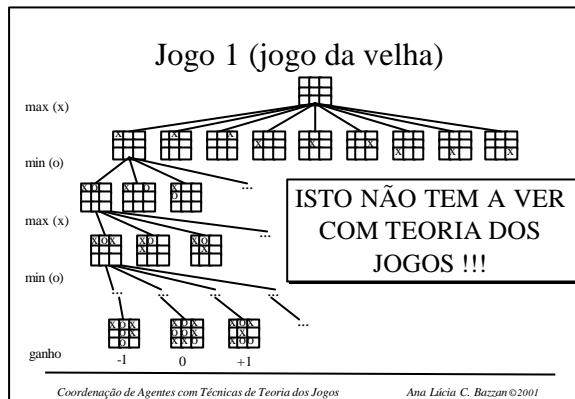
Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Teoria dos Jogos - Introdução

- ◆ **2 jogadores**
  - estado inicial (posição na árvore, quem move)
  - definição dos movimentos legais de cada jogador
  - teste de término
  - função de ganho (*payoff* ou *utility*)

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001



### Teoria dos Jogos - História

- ◆ 1920's + 1930's
  - Borel: *Applications aux jeux de hasard*
  - von Neumann: *Zur Theorie der Gesellschaftsspiele*
- ◆ 1940's
  - WWII: modelagem de conflitos militares
  - von Neumann and Morgenstern: *Theory of Games and Economical Decisions*

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

### Teoria dos Jogos - História

- ◆ 1950's (década de ouro)
  - conflitos humanos, guerra fria: barganha e mediação
  - Kuhn and Tucker; Drescher, Tucker and Wolfe: *Contributions to the Theory of Games I-IV*
  - Nash: *The Bargaining Problem; Non-Cooperative Games; Two-Person Cooperative Games*
  - Shapley: *A Value for n-Person Games*
  - Luce and Raiffa: *Games and Decisions*

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

### Teoria dos Jogos - História

- ◆ 1960's
  - desencanto:-(
  - Lucas: *A Counterexample in Game Theory; A game with no solution*
- ◆ 1970's
  - teoria dos jogos evolutiva (Maynard-Smith)

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

### Teoria dos Jogos - História

- ◆ 1994
  - reconhecimento: Nobel de Economia para Nash, Selten e Harsanyi
- ◆ presente
  - fim da idéia de panacéia
- ◆ futuro
  - brilhante se conseguir atingir/integrar o lado social !

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

### Teoria dos Jogos - Terminologia

- ◆ jogadores = participantes do jogo
- ◆ movimentos = decisões disponíveis aos jogadores (simultaneamente ou não); são seguidos de uma ação, resultando em um ganho (outcome, payoff, utility); pode ser um evento probabilístico
- ◆ movimento = ponto de decisão (com ou sem probabilidade associada)
- ◆ escolha = uma alternativa particular escolhida

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

## Teoria dos Jogos - Terminologia

- ♦ jogada = sequência de escolhas
- ♦ estratégia = descrição das decisões a tomar em todas as situações possíveis
- ♦ *payoff* / *utility* / ganho = valor ou pagamento de uma ação (pontos, \$, etc.) ou ainda uma expressão de preferência

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Racionalidade

- ♦ Racionalidade: ligação entre a economia clássica e a TJ
- ♦ Idéia da economia clássica: seres humanos são absolutamente racionais nas suas escolhas, ou seja, maximizam seus ganhos ou benefícios (ex.: procura de preços menores)
- ♦ Alocação ótima de recursos:
  - diminui o conjunto de possibilidades (mais fácil prever comportamento racional que irracional!)
  - critério para avaliação da eficiência de um sistema econômico (exemplos: custos maiores que benefícios; poluição; pesca predatória; poucos recursos para pesquisa)

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Racionalidade

- ♦ Consequência: um indivíduo não precisa levar em consideração *cada* indivíduo do sistema, mas apenas sua própria necessidade e as “condições do sistema”
- ♦ Problemas: limitação da aplicabilidade da teoria (ex.: quando a competição é restrita)
- ♦ Na teoria dos jogos: indivíduos interagem diretamente
- ♦ Jogo é uma metáfora para interações na sociedade
- ♦ Quanto pode ser dito?
  - na economia clássica: maximizar ganho
  - na TJ: resultado depende de escolhas de outros (maior complexidade)

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Teoria da Utilidade

- ♦ *utility theory*
- ♦ *utility*: conceito introduzido por v. Neumann e Morgenstern; indica uma preferência
  - ir ao cinema :  $u(C)=4$
  - ir ao jogo de futebol:  $u(F)=2$
  - $u(C) > u(F) \Rightarrow$  cinema
- ♦ teoria da utilidade é uma teoria de decisão
  - decisão sob: risco, certeza, incerteza

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Teoria da Utilidade

- sob certeza: uma ação acarreta um determinado ganho (com 100% de certeza)
- sob incerteza: todas as ações possíveis levam a um conjunto de ganhos possíveis mas as probabilidades associadas são desconhecidas
- sob risco: cada ação leva a um ganho (dentro de um conj. de ganhos possíveis), cada um associado a uma dada probabilidade (ex.: \$10 se cara e \$5 se coroa - 50%-50%)
  - cjt. de ações:  $a_1, a_2, \dots, a_n$  com probabilidades  $p_1, p_2, \dots, p_n$
  - ganho esperado  $b = a_1p_1 + a_2p_2 + \dots + a_np_n$

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Teoria dos Jogos - Taxonomia

- ♦ soma
  - jogos de soma zero: soma dos *payoffs* dos participantes é zero (Nim, pôquer, etc)
  - jogos de soma não zero (dilema do prisioneiro, etc.)
- ♦ informação
  - jogos com informação perfeita: a cada jogada, todos os jogadores tem conhecimento das jogadas que já ocorreram (jogo da velha, Nim, etc.)
  - jogos com informação imperfeita: conhecimento é parcial (pôquer)

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Teoria dos Jogos - Taxonomia

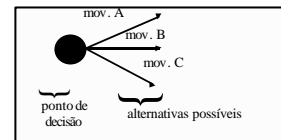
- ◆ número de jogadores
  - dois jogadores
  - mais de dois jogadores
- ◆ cooperação
  - jogos cooperativos
  - jogos não cooperativos

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Formas do Jogo

- ◆ Forma extensiva (árvore do jogo)



Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Forma Extensiva

- teoricamente: jogo de informação perfeita => sempre se pode desenhar a árvore e escolher a melhor estratégia
- prática: complexidade associada (embaralhar cartas => 52! ramos)
- hipótese da racionalidade
- conjuntos de informação: o que cada jogador sabe quando faz uma escolha



jog. I só sabe se jog. II escolheu 'a' ou não

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Jogo 2

- ◆ Nim:
  - palitos em 2 pilhas
  - dois jogadores se revezam retirando palitos (pelo menos um) da mesma pilha
  - perdedor: aquele que retirar o último palito

☞ Fazer a árvore do Nim! (4 palitos)

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Formas do Jogo (cont.)

- ◆ Forma normal (matriz de payoff)
  - listar todas as estratégias para cada jogador
  - listar os ganhos dos jogadores em cada situação
  - exemplo 1: Nim com 4 palitos
    - jog. I tem 3 estratégias:
      - $I_1$ : tirar 1 palito no caso  $(=,=)$  e 1 no caso  $(=, -)$
      - $I_2$ : tirar 1 palito no caso  $(=,=)$  e 2 no caso  $(=, -)$
      - $I_3$ : tirar 2 palitos no caso  $(=,=)$
    - jog. II tem 6 estratégias:
      - $II_1$ : tirar 2 palitos no caso  $(=, -)$  e 1 da pilha menor no caso  $(=,=)$
      - $II_2$ : tirar 2 palitos no caso  $(=, -)$  e 1 da pilha maior no caso  $(=,=)$
      - ...

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Forma Normal

- matriz de *payoff* do Nim:

	$II_1$	$II_2$	$II_3$	$II_4$	$II_5$	$II_6$
$I_1$	1	1	-1	1	1	-1
$I_2$	-1	1	-1	-1	1	1
$I_3$	1	1	1	-1	-1	-1

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Jogo 3

- ♦ Pôquer simplificado
  - dois tipos de cartas: ás e dois
  - dois jogadores: I e II
  - pagam \$1 para jogar
  - I dá uma carta para II
  - II olha:
    - se for um ás, II diz ás
    - se for um dois, II pode:
      - dizer ás: II põe outro \$1 e I pode desistir ou pagar \$1 para ver (neste caso as cartas são mostradas e II ganha se tiver o ás de fato)
      - dizer dois: perde o jogo

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Forma Normal

- exemplo 2: pôquer modificado
  - jogador II tem 2 estratégias
    - $\Pi_1$ : não blefar
    - $\Pi_2$ : blefar
  - jogador I tem 2 estratégias
    - $I_1$ : acredita no jog. II
    - $I_2$ : não acredita no jog. II
  - matriz de payoff:

	$\Pi_1$	$\Pi_2$
$I_1$	0	-1
$I_2$	-1/2	0

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Estratégias Puras e Mistas

- ♦ pura: estratégia que não envolve experimentos aleatórios
- ♦ mista: envolve aleatoriedade (pôquer: melhor não blefar sempre, nem dizer sempre a verdade)

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Estratégias Puras e Mistas

- ♦ cálculo do *payoff* envolvendo estratégias mistas:
  - 2 jogadores (I e II)
  - $n$  estratégias para I e  $m$  para II
  - conjunto de estratégias mistas (para I):  $n$ -tupla  $\mathbf{a} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  onde  $x_i \geq 0$  e  $i=1, 2, \dots, n$  e  $\sum x_i = 1$
  - similar para II:  $m$ -tupla  $\mathbf{b} = (y_1, y_2, \dots, y_m)$
  - $x_i$  é a probabilidade de I escolher a estratégia  $n$
  - *payoff* esperado para I se este usar  $\mathbf{a} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  e II usar  $\mathbf{b} = (y_1, y_2, \dots, y_m)$ :  $e(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_i e_{ij} y_j$

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## 2 jogadores, soma zero: Teorema Minimax

- ♦ definições:
  - $V_L = \max \min e(\mathbf{a}, \mathbf{b})$
  - $V_U = \min \max e(\mathbf{a}, \mathbf{b})$
- ♦ estratégias mistas: qual é a melhor estratégia para I (a que garante pelo menos  $V_L$ ) e para II (a que garante que I não vai receber mais do que  $V_U$ )?
- ♦ solução ótima de um **jogo 2x2 com soma zero**:  

$$V_L = \max \min e(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \min \max e(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = V_U$$

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## 2 jogadores, soma zero: Teorema Minimax

- ♦ solução ótima de um **jogo 2x2 com soma zero**:  

$$V_L = \max \min e(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \min \max e(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = V_U$$
- ♦ exemplo 1: Nim  

$$V_L = \max \min e(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = -1 = \min \max e(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = V_U$$
  - estratégia ótima: II joga  $\Pi_6$  e I joga  $I_1$  ou  $I_2$  ou  $I_3$

	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\Pi_4$	$\Pi_5$	$\Pi_6$
$I_1$	1	1	1	-1	1	1
$I_2$	-1	1	-1	1	-1	1
$I_3$	1	1	-1	-1	1	1

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001



## 2 jogadores, soma zero: Teorema Minimax (cont.)

- ♦ exemplo 2: pôquer modificado
  - $V_L = -1/2 < 0 = V_U$  !!!
  - estratégia ótima não é pura (é preciso jogar aleatoriamente)

	$\Pi_1$	$\Pi_2$	
$\Pi_1$	0	1	-1
$\Pi_2$	-1	0	-1/2
	0	0	

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## 2 jogadores, soma zero: Teorema Minimax

- ♦ 2PZSG
- ♦ 2 x 2 (dois jogadores, duas estratégias cada, sem dominação)
- ♦ solução em estratégias mistas
- ♦ matriz de *payoff*:
 

	$\Pi_1$	$\Pi_2$
$\Pi_1$	$a_{11}$	$a_{12}$
$\Pi_2$	$a_{21}$	$a_{22}$
- ♦ *payoff* esperado:  $v = e(a^*, \Pi_1) = x a_{11} + (1-x) a_{21} = e(a^*, \Pi_2) = x a_{12} + (1-x) a_{22}$

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## 2 jogadores, soma zero: Teorema Minimax

- ♦ *payoff* esperado:  $v = e(a^*, \Pi_1) = x a_{11} + (1-x) a_{21} = e(a^*, \Pi_2) = x a_{12} + (1-x) a_{22}$
- ♦ logo:
 
$$v = \frac{a_{11}a_{22} - a_{21}a_{12}}{a_{11} + a_{22} - a_{21} - a_{12}}$$
- ♦ estratégias mistas:

$$a^* = \frac{a_{22} - a_{21}}{a_{11} + a_{22} - a_{21} - a_{12}} \quad b^* = \frac{a_{22} - a_{12}}{a_{11} + a_{22} - a_{21} - a_{12}}$$

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Estratégias Puras e Mistas (cont.)

- ♦ Pôquer modificado (cont.)
  - quais são as proporções de  $\Pi_1$  e  $\Pi_2$  ou seja qual é  $a^* = (x^*, 1-x^*)$ ?
  - $a^* = (x^*, 1-x^*)$  deve ser ótima contra  $\Pi_1$  e  $\Pi_2$
  - logo:  $x0 + (1-x)(-1/2) = x(-1) + (1-x)0 \Rightarrow x^* = 1/3$  e  $a^* = (1/3, 2/3)$
  - jogando  $a^* = (1/3, 2/3)$ , I obtém pelo menos  $e = -1/3$ , independente da estratégia de II (tente para qualquer  $y$ !)
  - se  $a^* = (1/3, 2/3)$  é ótima e garante  $e = -1/3$  para I,  $V_L = V_U = -1/3$

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Estratégias Puras e Mistas (cont.)

- ♦ Pôquer modificado (cont.)
  - como deve jogar II (qual é  $b^*$ )?
  - $y^* = 2/3$  e  $b^* = (2/3, 1/3)$
  - solução para o pôquer modificado:
    - I joga  $\Pi_1$  1/3 das vezes e  $\Pi_2$  2/3 das vezes
    - II joga  $\Pi_1$  2/3 das vezes e  $\Pi_2$  1/3 das vezes
    - *payoff* esperado para I é  $e = -1/3$
- ♦ problema: quando o jogo não é repetido (a estratégia mista seleciona uma estratégia pura)

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Estratégia Dominante

- ♦ exemplo de um jogo 3 x 5
  - $\Pi_4$  e  $\Pi_5$  são iguais: eliminar  $\Pi_5$
  - $\Pi_4$  e  $\Pi_1$ :  $\Pi_4$  é sempre pior para II não importa a estratégia de I ( $\Pi_1$  domina  $\Pi_4$ ): eliminar  $\Pi_4$
  - $\Pi_2$  domina  $\Pi_3$
  - $\Pi_1$  domina  $\Pi_2$
  - solução do jogo: I joga  $\Pi_1$  e II joga  $\Pi_1$  com *payoff* 4
- ♦ teorema: se uma estratégia dominada é removida do jogo, a solução do jogo é a mesma do jogo original

	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\Pi_4$	$\Pi_5$
$\Pi_1$	4	4	4	4	4
$\Pi_2$	4	4	4	4	4
$\Pi_3$	4	4	4	4	4

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## 2 jogadores, soma zero: Equilíbrio

- ♦  $a^*$  e  $b^*$  tem a propriedade: se ambos jogadores I e II utilizam  $a^*$  e  $b^*$ , então não vale a pena para I e II desviarem destas estratégias (Nash Equilibrium)

	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$
$\Pi_1$	-0.3	-0.6	-0.6
$\Pi_2$	0	0.05	0.6
$\Pi_3$	0	-0.5	0

- ♦ exemplo 1:

- estratégia ótima por dominação:  $\Pi_2$  domina  $\Pi_1$  e  $\Pi_3$  e (jogo reduzido)  $\Pi_1$  domina  $\Pi_2$  e  $\Pi_3$
- $e=0$  com I jogando  $\Pi_2$  e II jogando  $\Pi_1$
- se I jogar  $\Pi_3$ , não se sairá melhor; se II jogar  $\Pi_2$ , também não

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## 2 jogadores, soma zero: Equilíbrio

- ♦ exemplo 2:

- dois equilíbrios:  $(\Pi_1, \Pi_1)$  e  $(\Pi_1, \Pi_3)$

	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$
$\Pi_1$	1	4	1
$\Pi_2$	1	2	-1

- ♦ exemplo 3 (jogo de coordenação)

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## 2 jogadores, soma zero: Equilíbrio

- ♦ teoremas:

- se  $(a_1, b_1)$  e  $(a_2, b_2)$  são equilíbrios, então  $e(a_1, b_1) = e(a_2, b_2)$
- se  $(a^*, b^*)$  é um par de estratégias, então  $(a^*, b^*)$  é um equilíbrio sss  $(a^*, b^*, e(a^*, b^*))$  é a solução do jogo

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## 2 jogadores, soma não-zero: Equilíbrio

- ♦ 2PNZSG:

- $\text{payoff de I} + \text{payoff de II} \neq \text{zero}$
- representação: par  $(3,4)$  onde 3= $\text{payoff de I}$  e 4= $\text{payoff de II}$
- estratégia maxmin não necessariamente é o equilíbrio do jogo e vice-versa
- equilíbrios não tem o mesmo  $\text{payoff}$
- conceito de solução menos óbvio

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## 2 jogadores, soma não-zero: Equilíbrio

- ♦ exemplo 1:

	$\Pi_1$	$\Pi_2$
$\Pi_1$	(2,2)	(3,3)
$\Pi_2$	(1,1)	(4,4)

matriz de payoff

	$\Pi_1$	$\Pi_2$
$\Pi_1$	2	3
$\Pi_2$	1	4

payoff p/ I

	$\Pi_1$	$\Pi_2$
$\Pi_1$	2	3
$\Pi_2$	1	4

payoff para II

- mas: se I escolhe  $\Pi_1$ , II escolhe  $\Pi_2$  e neste caso I escolhe  $\Pi_2$ , escolha contra a qual II não tem melhor opção que permanecer com  $\Pi_2$
- $\text{payoff}$  do (único) equilíbrio = (4,4)

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## 2 jogadores, soma não-zero: Equilíbrio

- ♦ definição: um par de estratégias  $(a^*, b^*)$  é um equilíbrio sss  $e_1(a, b^*) \neq e_1(a^*, b^*)$  e  $e_2(a^*, b) \neq e_2(a^*, b^*)$  [ $e_1$  e  $e_2$  são os  $\text{payoffs}$  de I e II respectivamente]

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## 2 jogadores, soma não-zero:

### Equilíbrio

- ♦ batalha dos sexos: teatro ou jogo de futebol (mas marido e esposa **juntos**)

			M	
			F	
M	T	(1,4)	(0,0)	
F	F	(0,0)	(4,1)	

- ♦ 2 equilíbrios em estratégias puras: (T,T) e (F,F) e 1 em estratégias mistas

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Jogos não cooperativos com $n$ jogadores

- ♦ equilíbrio: generalização do caso 2PNZSG:

$$e_i(a_1^*, a_2^*, \dots, a_i^*, \dots, a_n^*) \geq e_i(a_1^*, a_2^*, \dots, a_i, \dots, a_n^*)$$

onde:  $1 \leq i \leq n$

e  $a_1^*, a_2^*, \dots, a_n^*$  é uma n-tupla de estratégias ótimas na qual o jogador  $i$  joga a estratégia  $a_i^*$

- ♦ teorema: todo jogo de  $n$  jogadores ( $n$  finito) tem pelo menos um equilíbrio (representado por uma n-tupla)

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Jogos Cooperativos e Barganha

- ♦ barganha: problema da divisão da torta
  - 2 jogadores: I e II
  - informação imperfeita
  - estratégias: os jogadores devem escolher (simultaneamente) fatias  $f_i$  da torta
    - se  $f_1 + f_2 \leq 1$  I recebe  $f_1$  e II recebe  $f_2$
    - se  $f_1 + f_2 > 1$  I e II recebem  $e=0$
  - múltiplos equilíbrios (infinitos no caso da torta)
  - uma solução (ponto focal):  $f_1 = f_2 = 0.5$
  - caso particular: I joga antes de II

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Jogos Evolutivos

- ♦ motivação: modelar o comportamento animal de geração em geração (Maynard-Smith, 1973)
- ♦ evolução das características de animais depende de como indivíduos com estas característica na população interagem com indivíduos com outras características
- ♦ estratégia evolutiva estável (ESS)
  - se toda a população usar um ESS, não vale a pena usar outro equilíbrio
  - animais não “decidem” como jogar; são impelidos pelos genes

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Jogo de Coordenação

- ♦ Mais de um equilíbrio (um dominante): qual escolher?
- ♦ Exemplo 1:

		Estudante 1	
		Oa	Ob
Estudante 2	Oa	3/3	1/1
	Ob	1/1	2/2

- ♦ Exemplo 2
- ♦ Exemplo 3

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Dilema do Prisioneiro (PD)

Dois suspeitos, acusados de uma violação da lei são mantidos separados pela polícia. À cada um é dito que:

Se ele confessar e o outro não, ele obterá um prêmio enquanto que o outro irá para a prisão.

Se ambos confessarem, ambos irão para a prisão.

Se nenhum confessar, a polícia pode sentenciar ambos por acusações menos graves (porte de arma).

- ♦ Tucker, Flood and Dresher
- ♦ Opções de escolha: trair (*defect*) ou cooperar (*cooperate*)

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

### Matriz de Ganho do PD (Geral)

P1/P2	C	D	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>T=5, R=3, P=1, S=0</math></li> <li>• <math>T &gt; R &gt; P &gt; S</math></li> <li>• <math>R &gt; (S+T)/2</math></li> </ul>
C	R/R	S/T	
D	T/S	P/P	

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

### Matriz de Ganho do PD

P1/P2	C	T	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>T=5, R=3, P=1, S=0</math></li> </ul>
C	3/3	0/5	
T	5/0	1/1	

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

### Dilema do Prisioneiro Iterativo (IPD)

- ◆ Número de iterações conhecido: o que acontece?
- ◆ Número de iterações desconhecido:
  - solução não trivial
  - *Tit-For-Tat* (TFT) ou olho-por-olho:
    - inicia cooperando, copia a última jogada do oponente
    - coopera, retalia, perdoa
- ◆ Metáfora para interação social (ajuda mútua X exploração egoísta)

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

### Dilema do Prisioneiro

- ◆ artigos relacionados à vida artificial
  - Kitcher (93): recusa interação; estratégias “opts out” (recusa de interação), “solist” (sempre recusa) e “discriminatória” (similar to TFT)
  - Batali and Kitcher (95): herança de estratégias
  - Oliphant (95): PD não iterativo, organização espacial (lattice) com cooperação
  - Angeline (95): cooperação não-mútua (considera o fato de *cooperação-cooperação* acontecer em  $n$  iterações)

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

### Dilema do Prisioneiro

- ◆ artigos recentes relacionados à vida artificial (cont.)
  - Ito (97): organização espacial (alguns jogadores devem jogar), informações sobre interação são abertas ao público (disclosure), morte ao atingir zero pontos, reproduz e passa metade dos pontos ao filho; qual estratégia é mais vantajosa? como aprender?
  - Akiyama and Kaneko (97): coalização de 3 pessoas, evolução da comunicação entre jogadores, evolução de estratégias
- ◆ fonte: Artificial Life IV (1993), Artificial Life V (1995) e Artificial Life VI (1997)

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

### Aplicações: Roteiro

- ◆ Motivação
- ◆ IPD: resultados relevantes
- ◆ Emoções: abordagens e modelo computacional
- ◆ Modelo OCC: teoria e implementação
- ◆ Experimentos
- ◆ Resultados
- ◆ Trabalhos futuros

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Motivação

- ◆ Emoções são facilmente reconhecidas
- ◆ SMA's carecem de uma "visão emocional"
- ◆ Modelagem de personalidade em agentes

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Matriz de Ganho do PD (Geral)

P1/P2	C	D
C	R/R	S/T
D	T/S	P/P

$$T=5, R=3, P=1, S=0$$

$$T > R > P > S$$

$$R > (S+T)/2$$

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

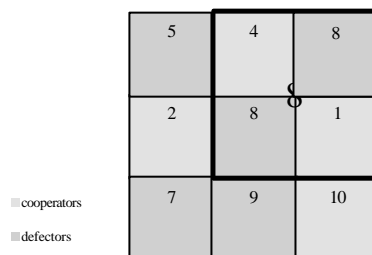
## IPD: Cenário de Nowak & May

- ◆ Somente cooperadores e traidores:
  - ALLC
  - ALLD
  - sem TFT
- ◆ Grade bidimensional (não toroidal)
- ◆ Jogadores interagem com vizinhos mais próximos
- ◆ Cada jogada: células são ocupadas com o melhor jogador da vizinhança

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Evolução do cenário IPD



Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Resultados Anteriores

- ◆ Nowak & May:
  - evolução: convergência para 32% de cooperadores
  - várias configurações iniciais
- ◆ Axelrod, TFT e outros
  - sentimentos em relação ao grupo
  - será integrado no futuro

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Emoções e Tomada de Decisão

- ◆ Correntes de pesquisa: fisiologia (e.g. James, 1884), cognição e tomada de decisão (Damasio, 1994)
- ◆ Emoções e TJ: use de sentimentos no IPD, estados emocionais, versões de jogadores
- ◆ Taxonomias e surveys
- ◆ IA e SMA: cooperação envolve raciocínio sobre emoções

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Modelo OCC

- ◆ Ortony, Clore, and Collins (1988)
- ◆ Teoria pragmática
- ◆ Agrupa emoções
- ◆ Emoções são disparadas por regras
- ◆ Apropriado como modelo computacional

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Modelo OCC: Estrutura

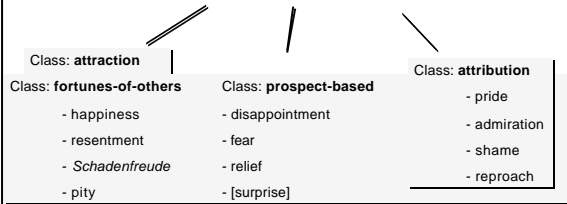
- ◆ Tipos de emoções (grupos)
  - ◆ Aspectos percebidos:
    - eventos: percepções sobre coisas que acontecem
    - agentes: seres humanos ou não
    - objetos: percepções relativas a objetos
- consequências  
ações  
propriedades

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Modelo OCC: Estrutura (cont.)

- ◆ 3 Ramos: Objetos, Eventos e Agentes



Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Estrutura das Regras

- ◆ Regras sintetizam e disparam emoções como **ódio**:

IF  $A(p,o,t) > 0$  Appeal/person/object/time  
 THEN  $P_h(p,o,t) = f_h(A(p,o,t), G)$  Potential/Global  
 triggers:  
 IF  $P_h(p,o,t) > T_h(p,t)$  Potential/Threshold  
 THEN  $I_h(p,o,t) = P_h(p,o,t) - T_h(p,t)$   
 ELSE  $I_h(p,o,t) = 0$  Intensity

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Modelo OCC e IPD

- ◆ Explicação para o dilema: escolhas racionais falham ao não considerar as especificidades dos indivíduos
- ◆ Exemplo: emoções no IPD
- ◆ Cooperar ou trair é *também* função de uma emoção se manifestando

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Regras Específicas do IPD: Alegria

IF  $D(p,e,t) > 0$  Desirability/person/event/time  
 THEN  $P_f(p,e,t) = f_f(D(p,e,t), G, L)$  Potential/Global/Local  
 where:  
 IF (player has collected y points  
 OR x neighbors are joyful)  
 THEN  $f_f(.) = T_f(p,t) + e$   
 triggers:  
 IF  $P_f(p,e,t) > T_f(p,t)$   
 THEN  $I_f(p,e,t) = P_f(p,e,t) - T_f(p,t)$  Potential/Threshold  
 ELSE  $I_f(p,e,t) = 0$  Intensity

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Regras Específicas do IPD: Raiva

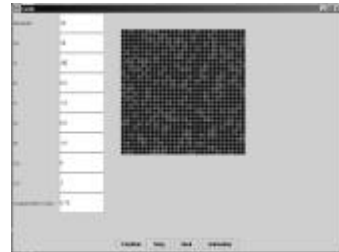
IF  $(D(p,e,t) \text{ AND } W(p,g,t)) > 0$  praiseworthy/person/agent/time  
 THEN  $P_d(p,e,g,t) = f_d(D(p,e,t), W(p,g,t), G, L)$  Potential/Global/Local  
 where:  
 IF (player has not collected y points  
 AND x opponents have defect)  
 THEN  $f_d(.) = T_a(p,t) + e$   
 triggers:  
 IF  $P_d(p,e,g,t) > T_a(p,t)$   
 THEN  $I_d(p,e,g,t) = P_d(p,e,g,t) - T_a(p,t)$  PotentialThreshold  
 ELSE  $I_d(p,e,g,t) = 0$  Intensity

Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Ambiente de Simulação

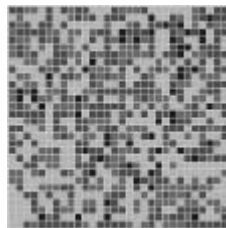
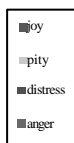
- ◆ Parâmetros:
- grade=30x30
  - P=0
  - S=0
  - T=1.9
  - R=1.0
  - y=9
  - x=3
  - taxa=75%



Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

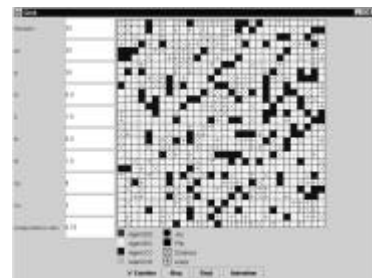
## Simulação do IPD com Emoções



Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

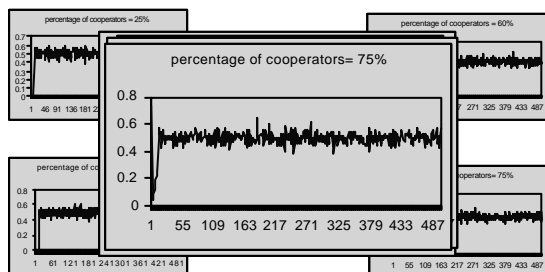
## Simulação do IPD com Emoções



Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Porcentagem de Cooperadores



Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos

Ana Lúcia C. Bazzan ©2001

## Trabalhos Futuros

- ◆ Cenários mais expressivos (relativos ao IPD)  
 ◆ Extensão do *framework* para ser independente do domínio  
 - regras? métrica?  
 ◆ Primitivas para usuário definir cenário  
 ◆ Mistura de emoções

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/Morgen 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, ...

---

*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).

---

*Coordenação de Agentes com Técnicas de Teoria dos Jogos*

*Ana Lúcia C. Bazzan ©2001*