

Métodos Formais em Inteligência Artificial Distribuída

Representação e Raciocínio Baseados em Lógicas Parte 2

Cláudia Nalon

<http://www.cic.unb.br/~nalon>

`nalon@{cic.unb.br, unb.br}`

Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Exatas

Introdução

Roteiro

Implementações
BDI

Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Conclusões

Introdução

Roteiro

Introdução

Roteiro

Implementações
BDI

Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Conclusões

- ✓ Na primeira parte desta apresentação foram vistos vários formalismos que descrevem de forma natural problemas relacionados a agentes;
- ✓ Formalismos são utilizados na especificação e verificação do comportamento dos agentes pelo projetista e também para a implementação das capacidades de raciocínio e ação os agentes;
- ✓ Nesta apresentação são vistas formas de implementação de teorias BDI, através de arquiteturas abstratas e concretas;
- ✓ Serão vistos também aspectos de coordenação e comunicação entre agentes em ambientes sociais.

Introdução

**Implementações
BDI**

Arquitetura

Abstrata

Interpretador

Básico

Interpretador

Abstrato BDI

Considerações

Arquitetura

Concreta

Planos

Exemplo de

Planejamento

Intenções

Gerador de

Opções

Deliberador

Post-Intention

Status

Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Conclusões

Implementações BDI

Arquitetura Abstrata

Introdução

Implementações
BDI
Arquitetura
Abstrata

Interpretador
Básico

Interpretador
Abstrato BDI

Considerações
Arquitetura
Concreta

Planos
Exemplo de
Planejamento

Intenções
Gerador de
Opções
Deliberador
Post-Intention
Status

Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Conclusões

- ✓ Sistemas contextualizados;
- ✓ Entidades definidas pelos operadores modais são implementadas como estruturas de dados;
- ✓ Entrada: eventos atômicos (internos e externos) que são enfileirados e que são reconhecidos após suas finalizações;
- ✓ Execução: baseia-se no estado atual e na fila de eventos, onde opções são escolhidas e executadas.

Arquitetura Abstrata – Pseudocódigo

Introdução

**Implementações
BDI**

Arquitetura
Abstrata

**Interpretador
Básico**

Interpretador
Abstrato BDI

Considerações
Arquitetura
Concreta

Planos
Exemplo de
Planejamento

Intenções
Gerador de
Opções
Deliberador
Post-Intention
Status

Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Conclusões

```
1: Initialize _state();
2: repeat
3:   options ← options_generator(event-queue, S);
4:   selected-options ← deliberate(options, S);
5:   update_state(selected-options, S);
6:   execute S;
7:   event-queue ← get_new_events();
8: until quit.
```

Arquitetura Abstrata – Pseudocódigo

Introdução

**Implementações
BDI**

Arquitetura
Abstrata
Interpretador
Básico

**Interpretador
Abstrato BDI**

Considerações
Arquitetura
Concreta

Planos
Exemplo de
Planejamento

Intenções
Gerador de
Opções

Deliberador
Post-Intention
Status

Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Conclusões

BDI-Interpreter

```
1: Initialize _state();
2: repeat
3:   options ← options_generator(event-queue, B, G, I);
4:   selected-options ← deliberate(options, B, G, I);
5:   update_intentions(selected-options, I);
6:   execute I;
7:   get_new_external_events();
8:   drop_successful_attitudes( B, G, I);
9:   drop_impossible_attitudes( B, G, I);
10: until quit.
```


Arquitetura Abstrata – Considerações

Introdução

**Implementações
BDI**

Arquitetura
Abstrata
Interpretador
Básico
Interpretador
Abstrato BDI

Considerações

Arquitetura
Concreta
Planos
Exemplo de
Planejamento
Intenções
Gerador de
Opções
Deliberador
Post-Intention
Status

Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Conclusões

- ✓ Abstração útil para o entendimentos dos desenvolvimentos teóricos;
- ✓ A arquitetura assume um conjunto logicamente fechado de crenças, objetivos e intenções;
- ✓ Não especifica como opções e deliberações podem ser realizadas de forma suficientemente rápida de modo a atender a demanda de tempo de resposta imposta ao sistema.

Arquitetura Concreta

Introdução

**Implementações
BDI**

Arquitetura
Abstrata
Interpretador
Básico
Interpretador
Abstrato BDI
Considerações

**Arquitetura
Concreta**

Planos
Exemplo de
Planejamento
Intenções
Gerador de
Opções
Deliberador
Post-Intention
Status

Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Conclusões

- ✓ Impõe restrições às escolhas quanto à representação: diminuição do poder expressão, mas torna possível sistemas práticos;
- ✓ Crenças e objetivos:
 - ✗ explícitos, ou seja, suas conseqüências não são computadas;
 - ✗ identificação de um subconjunto *atual* de literais.

Planos

Introdução

**Implementações
BDI**

Arquitetura
Abstrata
Interpretador
Básico
Interpretador
Abstrato BDI
Considerações
Arquitetura
Concreta

Planos

Exemplo de
Planejamento

Intenções
Gerador de
Opções
Deliberador
Post-Intention
Status

Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Conclusões

- ✓ Planos têm *nomes e tipos*;
- ✓ Corpo: método de execução especificado a partir de um grafo acíclico direto, cujas arestas são rotuladas por expressões simples (ações atômicas ou sub-objetivos);
- ✓ *Pré-Condições e condições de invocação* determinam quando um plano pode ser executado;
- ✓ crenças são adicionadas ou removidas do estado do agente.

Exemplo de Planejamento

Introdução

Implementações BDI

Arquitetura Abstrata
Interpretador Básico
Interpretador Abstrato BDI

Considerações
Arquitetura Concreta

Planos

Exemplo de Planejamento

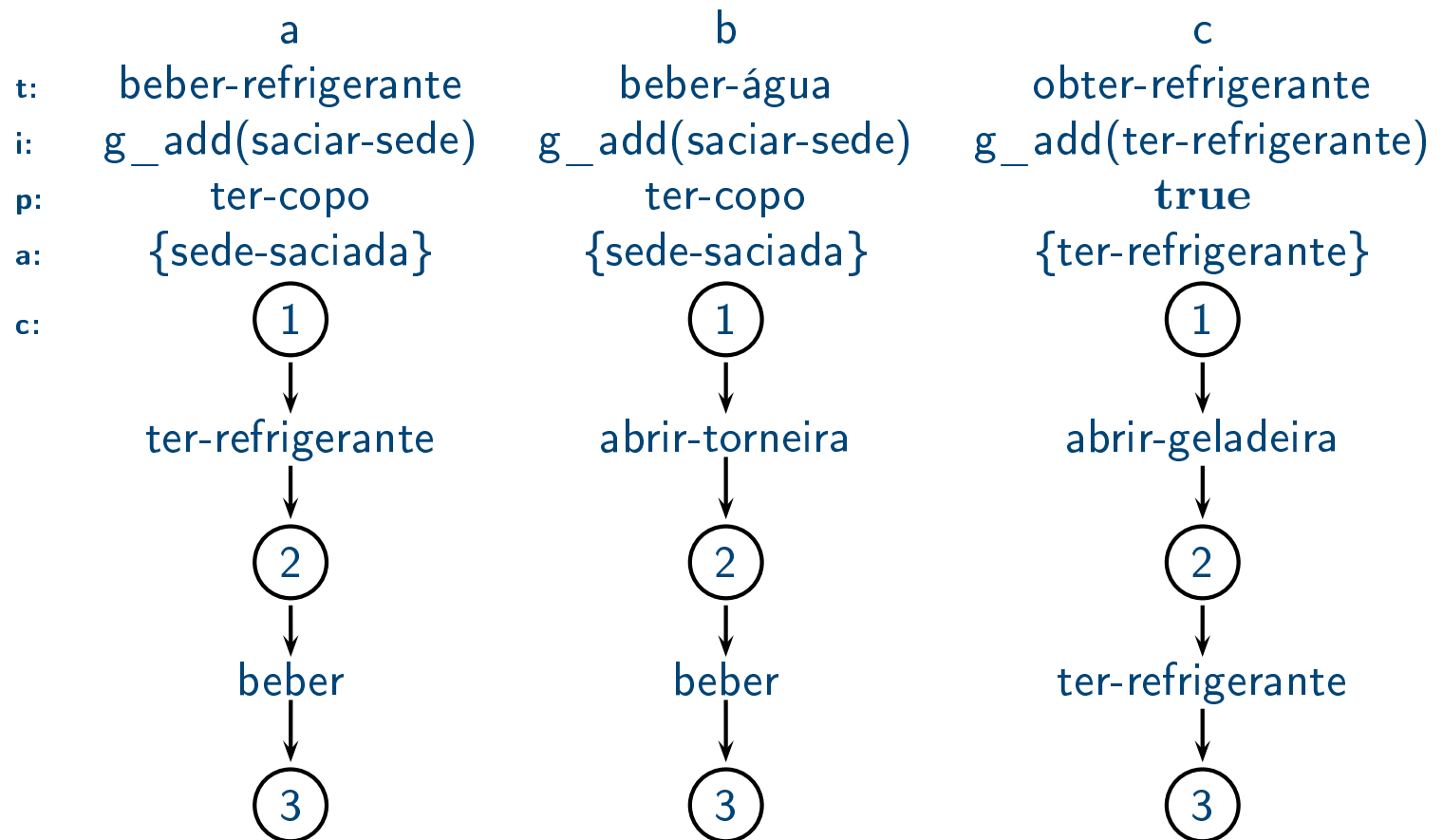
Intenções
Gerador de Opções
Deliberador Post-Intention
Status

Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Conclusões



Intenções

Introdução

**Implementações
BDI**

Arquitetura
Abstrata

Interpretador
Básico

Interpretador
Abstrato BDI

Considerações
Arquitetura
Concreta

Planos
Exemplo de
Planejamento

Intenções

Gerador de
Opções

Deliberador
Post-Intention
Status

Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Conclusões

- ✓ São representadas como conjuntos de planos hierarquicamente relacionados;
- ✓ Para alcançar o fim pretendido, o agente forma uma intenção para obter os meios necessários;
- ✓ O par *meio-fim*, juntamente com informação sobre pontos de controle e conexões entre variáveis, é chamado de *intention frame*;
- ✓ Uma *pilha de intenções* é utilizada para rastrear variáveis e pontos de controle;
- ✓ Cada intenção da pilha representa um processo ou tarefa;
- ✓ Pilha de intenções são organizadas em uma *estrutura de intenções*, que impõe várias restrições de ordem sobre as pilhas.

Arquitetura Concreta – Gerador de Opções

Introdução

**Implementações
BDI**

Arquitetura

Abstrata

Interpretador

Básico

Interpretador

Abstrato BDI

Considerações

Arquitetura

Concreta

Planos

Exemplo de

Planejamento

Intenções

**Gerador de
Opções**

Deliberador

Post-Intention

Status

Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Conclusões

option-generator(trigger-events)

```
1: options ← {};  
2: for trigger-event ∈ trigger-events do  
3:   for plan ∈ plan-library do  
4:     if matches(invocation(plan),trigger-event) then  
5:       if provable(precondition(plan),B) then  
6:         options ← options ∪ {plan};  
7:       end if  
8:     end if  
9:   end for  
10: end for
```

Arquitetura Concreta – Deliberador

Introdução

**Implementações
BDI**

Arquitetura

Abstrata

Interpretador

Básico

Interpretador

Abstrato BDI

Considerações

Arquitetura

Concreta

Planos

Exemplo de

Planejamento

Intenções

Gerador de

Opções

Deliberador

Post-Intention

Status

Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Conclusões

deliberate(options)

```
1: if length(options) ≤ 1 then
2:   return(options);
3: else
4:   metalevel-options ←
      option-generator(b_add(option-set(options)));
5:   selected-options ← deliberate(metalevel-options);
6:   if null(selected-options) then
7:     return (random-choice(options));
8:   else
9:     return (selected-options).
10:  end if
11: end if
```

Arquitetura Concreta – Post-Intention Status

Introdução

**Implementações
BDI**

Arquitetura

Abstrata

Interpretador

Básico

Interpretador

Abstrato BDI

Considerações

Arquitetura

Concreta

Planos

Exemplo de
Planejamento

Intenções

Gerador de

Opções

Deliberador

**Post-Intention
Status**

Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Conclusões

post-intention-status

```
1: if null(I) then
2:   for goal ∈ G do
3:     event-queue ← event-queue ∪ g_add(goal);
4:   end for
5: else
6:   for stack ∈ I do
7:     event-queue ← event-queue ∪ g_add(means(top(stack)));
8:   end for
9: end if
```


Introdução

Implementações
BDI

Coordenação

Coordenação

Arquitetura

Classes de Eventos

Esqueletos –

Exemplo I

Esqueletos –

Exemplo II

Linguagem de
Especificação

Relações sobre
Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Conclusões

Coordenação

Coordenação

Introdução

Implementações
BDI

Coordenação

Coordenação

Arquitetura

Classes de Eventos
Esqueletos –

Exemplo I

Esqueletos –
Exemplo II

Linguagem de
Especificação

Relações sobre
Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Conclusões

- ✓ Uma das funcionalidades necessárias para a implementação de sistemas multi-agentes;
- ✓ Enfoque lógico:
 - ✗ especificação declarativa, de alto nível, independente de sua implementação;
 - ✗ permite validação rigorosa da implementação com respeito à sua especificação;
- ✓ Enfoque formal proposto por Singh: agentes são representados por esqueletos que incluem eventos ou transições que sejam significativos para a coordenação; requisitos são declarados como fórmulas da lógica temporal.

Arquitetura para Coordenação

Introdução

Implementações
BDI

Coordenação

Coordenação

Arquitetura

Classes de Eventos

Esqueletos –

Exemplo I

Esqueletos –

Exemplo II

Linguagem de
Especificação

Relações sobre
Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Conclusões

- ✓ Esquema para coordenação distribuída baseada em lógica temporal;
- ✓ Agentes são autônomos e detalhes internos são inacessíveis;
- ✓ Agentes agem autonomamente e podem tomar decisões unilaterais;
- ✓ Projetista do sistema multi-agente deve ter algum conhecimento (possivelmente limitado) dos projetos individuais dos agentes;
- ✓ Esses detalhes significativos, que são as ações externamente visíveis, são chamados de *eventos*.

Classes de Eventos

Introdução

Implementações
BDI

Coordenação

Coordenação

Arquitetura

Classes de Eventos

Esqueletos –

Exemplo I

Esqueletos –

Exemplo II

Linguagem de

Especificação

Relações sobre

Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Conclusões

Quatro classes de eventos, com diferentes aspectos no que se refere à coordenação:

- ✓ flexíveis: o agente pode retardar ou omitir;
- ✓ inevitáveis: o agente pode apenas retardar;
- ✓ imediatos; o agente não pode retardar nem omitir;
- ✓ engatilhável: executado com base em requisição externa.

Esqueletos – Exemplo I

Introdução

Implementações
BDI

Coordenação

Coordenação

Arquitetura

Classes de Eventos

**Esqueletos –
Exemplo I**

Esqueletos –
Exemplo II

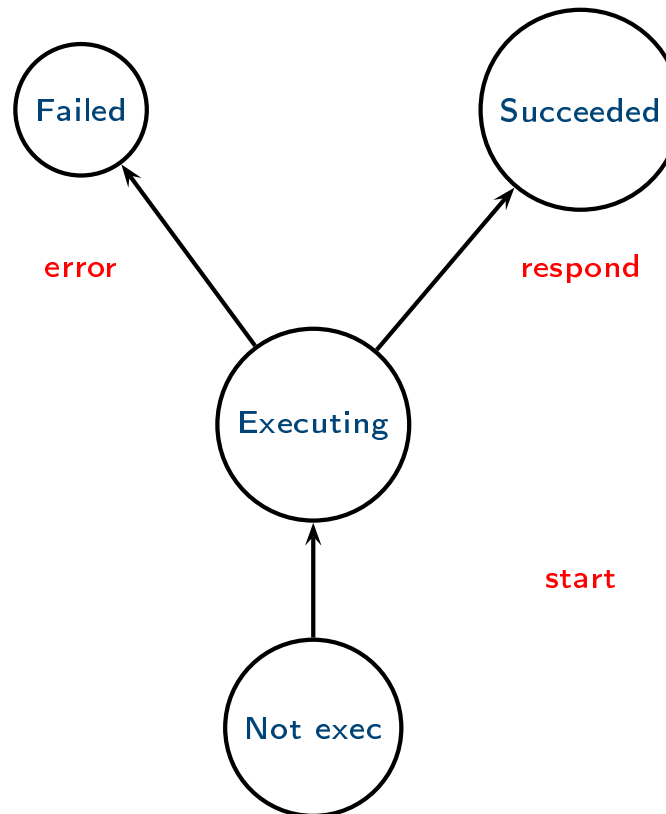
Linguagem de
Especificação

Relações sobre
Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Conclusões



Esqueletos – Exemplo II

Introdução

Implementações
BDI

Coordenação

Coordenação

Arquitetura

Classes de Eventos

Esqueletos –
Exemplo I

**Esqueletos –
Exemplo II**

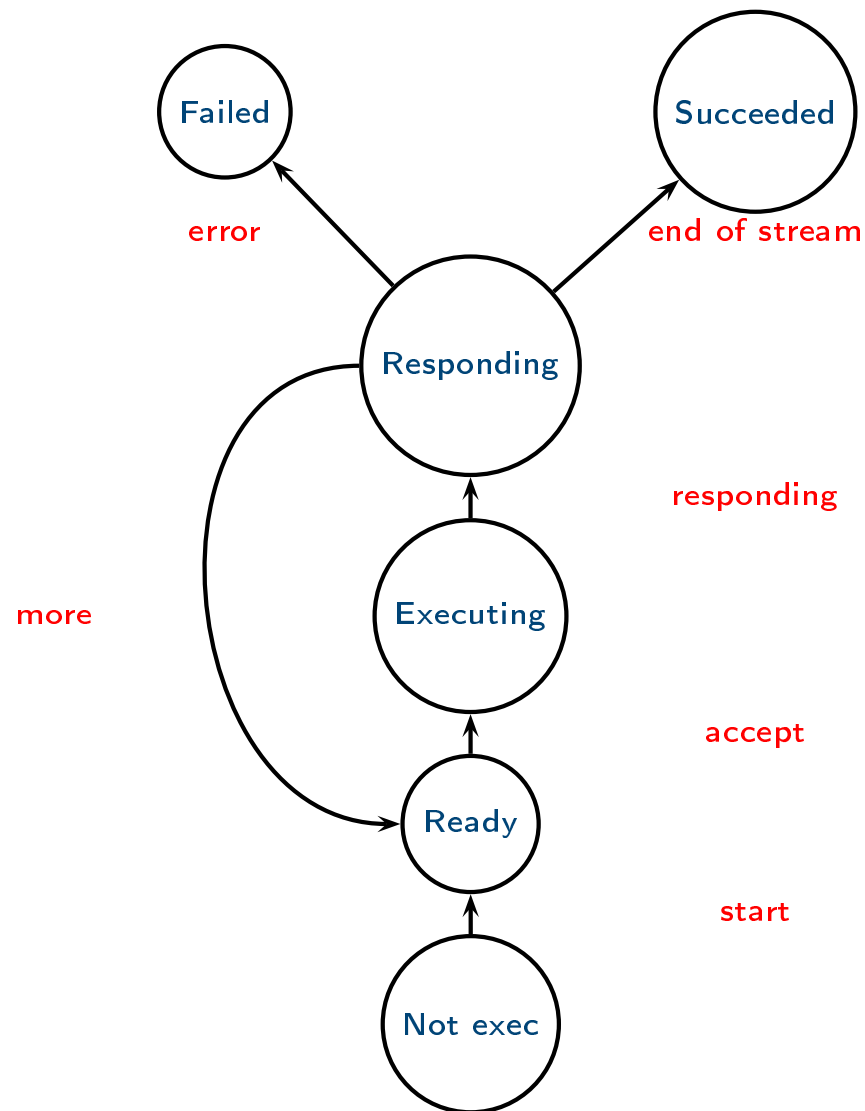
Linguagem de
Especificação

Relações sobre
Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Conclusões



Linguagem de Especificação

Introdução

Implementações
BDI

Coordenação

Coordenação

Arquitetura

Classes de Eventos

Esqueletos –

Exemplo I

Esqueletos –

Exemplo II

Linguagem de
Especificação

Relações sobre
Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Conclusões

- ✓ Variante da Linguagem da Lógica Proposicional Temporal Linear;
- ✓ Forma Normal Negada;

Semântica

- ✓ $M \models_{\tau} \varphi$ sse existe i tal que $\tau_i = \varphi$;
- ✓ $M \models_{\tau} \bar{\varphi}$ sse existe i tal que $\tau_i = \bar{\varphi}$;
- ✓ $M \models_{\tau} \varphi \wedge \psi$ sse $M \models_{\tau} \varphi$ e $M \models_{\tau} \psi$;
- ✓ $M \models_{\tau} \varphi \odot \psi$ sse $\tau = \sigma; \gamma$ e $M \models_{\sigma} \varphi$ e $M \models_{\gamma} \psi$.

Onde τ é um período de tempo (*trace*) e τ_i especifica um momento específico na reta temporal. Observar que o complemento (p.e. $\bar{\varphi}$) é mais forte do que a negação clássica.

Relações sobre Coordenação

Introdução

Implementações
BDI

Coordenação

Coordenação

Arquitetura

Classes de Eventos

Esqueletos –

Exemplo I

Esqueletos –

Exemplo II

Linguagem de
Especificação

**Relações sobre
Coordenação**

Comunicação

Primitivas Sociais

Conclusões

$$R1 \quad e \vee \bar{f}$$

$$R2 \quad \bar{e} \vee \bar{f} \vee (f \odot e)$$

$$R3 \quad (e \odot f) \vee \bar{f}$$

$$R4 \quad \bar{e} \vee (e \odot f) \vee \bar{f}$$

$$R5 \quad (e \wedge f) \vee (\bar{e} \vee \bar{f})$$

$$R6 \quad (\bar{e} \wedge \bar{f}) \vee (e \odot f)$$

$$R7 \quad (\bar{e} \vee \bar{f}) \vee g$$

$$R8 \quad (\bar{e} \vee f \vee g) \wedge (\bar{g} \vee e) \wedge (\bar{g} \vee \bar{f})$$

Introdução

Implementações
BDI

Coordenação

Comunicação

Comunicação

Semântica

Ontologias

Primitivas Sociais

Conclusões

Comunicação

Comunicação

Introdução

Implementações
BDI

Coordenação

Comunicação

Comunicação

Semântica

Ontologias

Primitivas Sociais

Conclusões

- ✓ Forma natural de interação entre agentes X interação através do ambiente;
- ✓ *Speech act theory*: ato de fala não significa apenas declarar fatos, mas *executar ações*;
- ✓ Exemplos de atos performáticos: requisitar, declarar;
- ✓ Atos de fala podem ser classificados em: assertivos, dirigidos, comprometedores, permissivos, proibitivos, declarativos ou expressivos;
- ✓ Diferença entre locução (seqüência), ilocução (significado) e perlocução (efeito).

Semântica

Introdução

Implementações
BDI

Coordenação

Comunicação

Comunicação

Semântica

Ontologias

Primitivas Sociais

Conclusões

- ✓ Formalização da semântica da comunicação é um problema aberto;
- ✓ Trabalhos iniciais na área de lingüística computacional procuravam determinar as condições sob as quais o significado pretendido para o ato de fala poderia ser inferido;
- ✓ Singh: procura dar critérios objetivos sob os quais atos de fala de ilocução diferenciada poderiam ser satisfeitos;
- ✓ Segundo este enfoque, uma diretiva φ é satisfeita se, e somente se, o receptor adota a intenção de satisfazer φ , tem o *know-how* para satisfazer φ e age de modo a resultar em φ ;
- ✓ Labrou & Finin: consideram pré-condições e pós-condições para cada ato de fala de uma comunicação ou *conversação*; condições são estabelecidas em termos de crenças e desejos dos agentes participantes.

Ontologias

Introdução

Implementações
BDI

Coordenação

Comunicação

Comunicação
Semântica

Ontologias

Primitivas Sociais

Conclusões

- ✓ Representação de uma parte do mundo;
- ✓ Podem prover uma *visão conjunta de mundo* que pode servir para a base da comunicação;
- ✓ Declaração de termos e conceitos;
- ✓ Se agentes concordam, no nível mais alto da taxonomia, eles podem percorrer esta taxonomia até o ponto em que se localiza um conceito recentemente introduzido, compartilhando o entendimento da linguagem;
- ✓ Aplicações que envolvem acesso ou interação entre sistemas de informações.

Introdução

Implementações
BDI

Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Sociedades de
Agentes

Crenças Mútuas

Intenções

Conjuntas

Comprometimento
Social

Know-How e

Intenções de

Grupo

Conclusões

Primitivas Sociais

Sociedades de Agentes

Introdução

Implementações
BDI

Coordenação

Comunicação

**Primitivas Sociais
Sociedades de
Agentes**

Crenças Mútuas

Intenções

Conjuntas

Comprometimento

Social

Know-How e

Intenções de

Grupo

Conclusões

- ✓ Um *grupo* é um sistema de agentes que estão restrito a interações mútuas;
- ✓ Estas restrições são determinadas pelos diferentes *papéis* que estes agentes realizam;
- ✓ Um *time* é um grupo de agentes com algum tipo de objetivo comum;
- ✓ Membros de um time normalmente colaboram uns com os outros no sentido de atingir seus objetivos comuns.

Crenças Mútuas

Introdução

Implementações
BDI

Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Sociedades de
Agentes

Crenças Mútuas

Intenções

Conjuntas

Comprometimento
Social

Know-How e
Intenções de
Grupo

Conclusões

Um conjunto de agentes têm a crença mútua de φ se cada um deles:

1. acredita em φ ;
2. acredita em 1;
3. acredita em 2;
4. ...

- ✓ Crenças mútuas (ou conhecimento comum) podem ser definidos de forma finita;
- ✓ A determinação de que algo é conhecimento comum entre um grupo de agentes pode ser decidida a partir do percorrimento de um grafo finito.

Intenções Conjuntas

Introdução

Implementações
BDI

Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Sociedades de
Agentes

Crenças Mútuas

**Intenções
Conjuntas**

Comprometimento
Social

Know-How e
Intenções de
Grupo

Conclusões

Um conjunto de agentes têm a intenção conjunta de realizar φ se:

1. cada agente tem o objetivo φ ;
2. cada agente persiste até que haja a crença mútua de que φ tenha sido alcançada;
3. agentes têm a crença mútua de que 1 e 2 ocorrem.

Comprometimento Social

Introdução

Implementações
BDI

Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Sociedades de
Agentes

Crenças Mútuas
Intenções
Conjuntas

**Comprometimento
Social**

Know-How e
Intenções de
Grupo

Conclusões

- ✓ Refere-se ao comprometimento de um agente em relação a outro agente;
- ✓ Obrigações dirigidas formalizadas com o auxílio de lógicas deônticas;
- ✓ Forma natural e declarativa de especificar como agentes devem se comportar a nível social;
- ✓ Noções como *testemunho*, *grupo de contexto*, *papéis*, *autoridade/autorizações* são utilizadas para descrever primitivas de comprometimento sociais.

Know-How e Intenções de Grupo

Introdução

Implementações
BDI

Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Sociedades de
Agentes

Crenças Mútuas

Intenções

Conjuntas

Comprometimento
Social

**Know-How e
Intenções de
Grupo**

Conclusões

- ✓ Sistemas multi-agentes são agentes (grupos);
- ✓ Um enfoque para a definição das atitudes de um grupo seria tratá-lo exatamente como um indivíduo;
- ✓ Outro enfoque seria criar primitivas próprias para os grupos, baseadas nas primitivas individuais;
- ✓ Intenções de grupos podem ser estruturadas, por exemplo, através de cenários de interações reativas ou estratégicas;
- ✓ Interações reativas: cenários são restritos àqueles que satisfazem determinadas fórmulas temporais;
- ✓ Interações estratégicas: cenários são restritos àqueles em que determinadas comunicações entre membros são satisfeitas.

Introdução

Implementações
BDI

Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

Conclusões

Ferramentas e
Sistemas

Conclusões

Ferramentas e Sistemas

Introdução

Implementações
BDI

Coordenação

Comunicação

Primitivas Sociais

**Conclusões
Ferramentas e
Sistemas**

- ✓ Implementações diretas, ou seja, que utilizam formalismos lógicos aqui apresentados: PRS ou dMARS, COSY, AGENT0, Concurrent MetateM, ARTIMIS, DEPNET, TFM-CASS;
- ✓ Implementações parciais, ou seja, que foram influenciadas pelos desenvolvimentos formais aqui apresentados, mas não apresentam implementação total destas teorias: STEaM, Carnot, ARCHON, MaDes;
- ✓ Implementações tradicionais, ou seja, que foram concebidas para projetos em engenharia de software: DESIRE, Linguagem de especificação Z.