



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE INFORMÁTICA

Sistemas de Raciocínio Lógico

Relatório Técnico INF_008/2004

José Mauro da Silva
Prof. Dr. Cedric Luiz de Carvalho

GOIÂNIA, agosto de 2004

Sistemas de Raciocínio Lógico

José Mauro da Silva¹, Prof. Dr. Cedric Luiz de Carvalho^{2*}

¹Laboratório de Internet e Sistemas Distribuídos
Instituto de Informática - Universidade Federal de Goiás
Caixa Postal 131 - 74001- 970 - Goiânia - GO - Brasil

²Laboratório de Internet e Sistemas Distribuídos
Instituto de Informática - Universidade Federal de Goiás
Caixa Postal 131 - 74001- 970 - Goiânia - GO - Brasil

jose.msilva@previdencia.gov.br - cedric@inf.ufg.br

Abstract. *This article accomplishes an approach to the Systems of Logical Reasoning with the purpose of demonstrating the several aspects technological inherent to such systems. For so much we left of general concepts, approaching the systems of production rules, frames and semantic systems soon after and concluding with conclusions the about of the evolutionary aspects of the computational applications.*

Resumo. *Este artigo realiza uma abordagem aos Sistemas de Raciocínio Lógico com a finalidade de demonstrar os diversos aspectos tecnológico inerentes a tais sistemas. Para tanto partimos de conceitos gerais, abordando em seguida os sistemas de regras de produção, frames e sistemas semânticos e finalizando com conclusões a cerca dos aspectos evolutivos das aplicações computacionais.*

Palavras-Chave: Raciocínio, Conhecimento, Base de Conhecimento, Linguagem de Representação do Conhecimento, Lógica.

Sumário

1	Introdução	4
2	Contexto	4
3	O Conhecimento Humano	5
4	Conceitos Gerais dos SRL	6
5	Visão Conceitual Sobre SRL	7

*Professor da Disciplina Inteligência Artificial/Mestrado em 2004 do INF/UFGo.

6 Aspectos Gerais dos SRL	8
6.1 Raciocínio	8
6.2 Paradigmas	8
6.3 Linguagens de Representação do Conhecimento	9
6.4 Tipos de Inferência	9
7 Categorias de SRL em Relação às Linguagens de Representação	10
7.1 Provedores de Teoremas	10
7.2 Linguagens de Programação em Lógica	10
7.3 Sistemas de Redes Semânticas	10
7.4 Sistemas de Frame	10
7.5 Sistemas de Lógicas Descritivas	10
7.6 Sistemas de Regras de Produção	10
8 Arquitetura de SRL	10
9 Operações Básicas do SRL	11
10 Manutenção da Base de Conhecimento	11
10.1 Técnica de Unificação	12
10.2 Técnicas de Recuperação	12
10.3 Técnicas de Indexação	13
10.4 Técnicas de Indexação Baseadas em Tabelas	13
10.5 Técnicas de Indexação Baseadas em Árvores	14
11 Modos de Raciocínio	14
11.1 Forward Chaining	14
11.2 Backward Chaining	15
12 Principais Categorias de SRL	15
13 Sistemas de Regras de Produção	16
13.1 Características	16
13.2 Componentes	16
13.3 Funcionamento	17
13.4 Raciocínio em Encadeamento Progressivo	19

13.5 Vantagens	19
13.6 Limitações	19
14 Sistemas de Redes Semânticas	19
14.1 Vantagens	20
14.2 Limitações	20
15 Sistemas de Frame	20
16 "Estado-da-Arte" em Linguagens de Representação do Conhecimento	21
17 Exemplo de SRL	21
18 Conclusão	22
18.1 Principais Diferenças Entre Sistemas: Convencionais x SRL	22
18.2 Visão Evolutiva das Aplicações Computacionais	22
19 Glossário	23
20 Referências	24

1. Introdução

Diversos autores destacam que o objetivo das pesquisas na sub área da Ciência da Computação, Inteligência Artificial (IA), é capacitar os sistemas computacionais a executar funções nas quais o ser humano apresenta resultados ditos "inteligentes" utilizando-se do "conhecimento" e do "raciocínio".

Para termos as condições para aspirarmos as ações inteligentes, que se fazem necessárias a análise de todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento e uso da inteligência. Neste contexto, a nossa capacidade de agir de forma inteligente se mostra associada ao conhecimento que possuímos. Desta maneira para aprofundarmos nos Sistemas de Raciocínio Lógico, temos que vislumbrar também um dos requisitos fundamentais em sistemas inteligente que é o conhecimento.

2. Contexto

O advento da Internet em meados dos anos 60 possibilitou a conexão de computadores geograficamente distantes, foi um dos fatores tecnológicos primordiais para viabilizar o processo de globalização da economia. A cada momento, mais computadores e, portanto, pessoas, grupos, culturas e nações conectam-se a essa rede integrando-se à nova comunidade.

A globalização, além de ser um fenômeno sócio-econômico, traz no seu bojo uma revolução técnica extremamente importante, que é a abolição da distância pelos progressos da comunicação.

A tecnologia é o ponto central desta revolução, trazendo consigo os pontos positivos, mas também os pontos negativos, principalmente no que tange ao ciclo de vida da tecnologia, que está cada vez menor. As pessoas e as empresas que não se atualizarem permanentemente poderão tornar-se inabilitadas a desempenhar funções e a responderem adequadamente às exigências da sociedade em que atuam.

Na era do conhecimento, os níveis de capacitação dos indivíduos e das empresas são fatores fundamentais para a sua sobrevivência. A tecnologia permite que informações e conhecimento sejam permutados com facilidade, desta forma aproximando pessoas, comunidades e nações. A complexidade do processo se deve ao fato que valor não está mais no domínio da informação, mas sim em como trabalhar com o conhecimento relacionado a esta informação.

Sistemas Inteligentes são exemplos de sistemas que utilizam a tecnologia da informação para manipular conhecimentos especializados e que apresentam resultados qualitativos e quantitativos. Esses sistemas permitem que um maior número de pessoas obtenham acesso ao conhecimento a partir de sua aquisição, sistematização, representação e processamento em ambientes computacionais. Os Sistemas Inteligentes podem manipular símbolos que representam entidades do mundo real, eles são capazes de trabalhar eficazmente com o conhecimento. Para consolidarmos os conhecimentos a cerca destes é necessário distinguir dado, informação e conhecimento.

3. O Conhecimento Humano

A distinção entre dado, informação e conhecimento é necessária para o entendimento da natureza e tipos de conhecimento humano e desta forma estabelecermos uma ligação entre conhecimento e as tecnologias que os manipulam.

Podemos considerar que o dado é um elemento puro sobre um determinado evento. Normalmente são utilizados no ambiente operacional, podendo ser armazenados e recuperados de Banco de Dados e/ou através de alguma forma documental. Como exemplo podemos citar: o valor do dólar em dia específico, a taxa de juros de um determinado mês e as vendas por estado da federação. O dado necessita de complementos para oferecer embasamento ao entendimento da situação.

A informação é o dado analisado e contextualizado. Ela envolve a interpretação de um conjunto de dados. Desta forma, se realizarmos uma comparação entre as vendas do estado de Goiás, que foram de 100.000,00 reais e as vendas no Distrito Federal, que foram de 140.000,00 reais não seria possível verificarmos em qual localização obteve um melhor desempenho, pelo fato de estarmos realizando a comparação a partir dos dados. Faz-se necessário então a inserção de parâmetros de comparação, e assim desta forma criarmos a informação. Se a meta é de faturamento for de 110.000,00 reais por estado, então podemos concluir que o estado de Goiás teve desempenho relativamente fraco e do Distrito Federal teve um desempenho melhor, pois houve uma superação de sua meta. Esta análise só foi possível pelo estabelecimento do contexto de referência (meta) gerando a informação. O conhecimento se refere à habilidade de criar um modelo mental que descreva o objeto e também as ações que se deve implementar para tomadas de decisões inteligentes.

Em meados da década de 1980 os projetistas de sistemas computacionais dedicavam seu tempo na migrar os dados para informações que permitissem as pessoas e/ou

organizações aprimorarem o seu processo decisório. A partir da década de 1990, o desafio era criar sistemas computacionais cujas habilidades fossem representar e processar o conhecimento que permitissem elevar ainda mais os processos decisórios aproximando das decisões dos seres humanos.

Em poucas palavras podemos afirmar que o processo de gerar conhecimento é um processo no qual uma informação é comparada a outra e combinada em muitas ligações úteis e com significado semântico. Isto implica que o conhecimento é diretamente dependente da experiência das pessoas que as utilizam.

O conhecimento pode ser abstraído em diversos níveis como, por exemplo: fatos (que são as relações entre objetos), conceitos (que são as abstrações de idéias de natureza hierárquica), regras (que são as operações que orientam ações a serem tomadas) e finalmente as metarregras (que são responsáveis pela criação de novas regras).

No processo da tomada de uma decisão acontece o uso explícito de um conhecimento. O conhecimento pode ser representado na forma de uma combinação de estruturas de dados e procedimentos interpretativos que levam a um comportamento já conhecido, fornecendo informações a um sistema que terá a função então de planejar e tomar as decisões necessárias na execução de ações.

Podemos classificar o conhecimento da seguinte forma:

1. Declarativo: "o que é- descreve os fatos e eventos;
2. Procedural: "como funciona- prescritivo e difícil de explicar;
3. Senso Comum: "julgamento certo e errado- declarativo e procedural;
4. Heurísticas: "único para cada indivíduo- envolve avaliação sistemática.

O conhecimento necessário na solução de um problema pode ser oriundo de várias fontes de informação. Desta forma uma decisão pode ser tomada por meio da análise lógica, que foi feita baseada em dados, entrevistas, relatórios ou outros meios, e eventualmente pode estar apoiada em dados heurísticos ou intuitivos.

O pensamento humano atende esta necessidade através de diversos processos:

1. Cognitivos: que são caracterizados pela manipulação de símbolos;
2. Associativos compostos de raciocínio vertical ou lógico: que são os movimentos de estado a outros de forma justificada;
3. Raciocínio Lateral: associativo, criativo e generativo.

Os Sistemas de Raciocínio Lógico estão entre os campos de pesquisa que visa a migração de processos para o computador, dentro da Inteligência Artificial capazes de simular e/ou emular o processo de decisão humano.

4. Conceitos Gerais dos SRL

Os Sistemas de Raciocínio Lógicos estão sendo construídos na área acadêmica a mais de 20 anos. Eles têm como principal missão à formulação genérica do problema a ser resolvido que é computacionalmente complexo (ex: problemas NP-Completo) e com um contingente extremamente grande de conhecimento sobre um domínio específico para resolve-lo.

Alguns pesquisadores em Inteligência Artificial, durante um certo período histórico, evidenciaram os seus esforços na identificação do valor do conhecimento sobre um domínio

específico como um requisito fundamental na resolução de problemas complexos. Estes esforços desembocaram em buscas de resolução de problemas nas áreas em que até então o ser humano apresentava mais sucesso que a máquina, onde as mesmas deveriam "saber" o que os solucionadores humanos sabiam sobre um determinado assunto.

A possibilidade de resolução de problemas complexos por computadores tem algumas vantagens, onde podemos citar a velocidade e a consistência com que executam determinadas tarefas ou funções. Para se atingir tais objetivos foram necessários grandes avanços no que tange a tecnologias de hardware, software e das ciências cognitivas que culminaram então na construção de ferramentas e técnicas baseadas no conhecimento. Os Sistemas de Raciocínio Lógicos (SRL) possuem como principal característica uma Base de Conhecimento, que será composta por sentenças em uma linguagem de representação do conhecimento, modelando o "mundo" no qual os problemas serão resolvidos e utilizando-se de um mecanismo de raciocínio lógico capaz de realizar inferências sobre esta Base de Conhecimento e obter conclusões (decisões) a partir deste conhecimento.

Tais sistemas apresentam um grande ganho para as organizações principalmente pela utilização dos talentos e experiência de seus membros no processo de tomada de decisões inteligentes. Esta é uma forma de rapidamente disseminar conhecimento especializado por toda a organização e otimizar os recursos necessários e suficientes para o provimento destes conhecimentos. Durante a construção de um Sistema de Raciocínio Lógico, os conhecimentos dos especialistas no problema necessitam ser capturados, organizados e disponibilizados na Base de Conhecimento. Após a construção da Base de Conhecimento todos os membros da organização podem recuperar estes conhecimentos independentes de suas capacitações pessoais.

As pesquisas neste campo possuem grandes contribuições nas áreas das diversas engenharias, das ciências, da medicina e dos negócios em geral.

5. Visão Conceitual Sobre SRL

Sistemas de Raciocínio Lógicos são aplicações computacionais que realizam inferências (Raciocínio) em uma Base de Conhecimento, que possuem sentenças lógicas, que representam explicitamente o conhecimento sobre o "mundo" selecionado com a finalidade de resolver problemas. Nestas aplicações o conhecimento é o ponto central e dá a características de "inteligência" ao sistema.

Os Sistemas de Raciocínio Lógico devem conter duas vertentes: uma relativa ao "conhecimento", que é manipulável pelo homem e outra que seria processável pelo computador, que é a "simbólica". Se observarmos a perspectiva do "conhecimento" a Base de Conhecimento deve descrever "o que" o sistema deve fazer, enquanto na perspectiva "simbólica" os termos simbólicos da Base de Conhecimento devem indicar "como" o sistema irá proceder. Desta forma se separa o problema, expressos pela análise e modelagem da atividade de representar este método em um formalismo matemático com enfoque eficiente em termos computacionais.

O entendimento do "processo" de resolução de problemas é fundamental para o entendimento do funcionamento dos Sistemas de Raciocínio Lógico. Inicialmente consideraremos a "capacidade de raciocínio", que nada mais é do que a forma como se chega a algumas conclusões sobre determinados problemas analisados, que em outras palavras de-

finem o mecanismo de geração de novos conhecimentos. Aliado a este processo deve-se ter alguma forma de otimização das conclusões, pois se a conclusão não vier em tempo hábil poderá não ter valor útil. No processamento cerebral o uso de paralelismo promovido pelos neurônios acelera o processo de resolução de problemas, em Sistemas de Raciocínio Lógico tenta-se otimizar este tempo através de heurísticas que agregam valor decisório à capacidade de raciocínio.

Uma heurística para acelerar o processo de resolução de problemas consiste em "guiar o processo de raciocínio". Os especialistas possuem a capacidade de determinar uma seqüência de operações de raciocínio que encontre soluções mais rapidamente. Esta técnica permite o aproveitamento de raciocínios anteriores e é de fundamental importância na resolução de problemas. Com a utilização destas heurísticas otimiza-se em muito o tempo final das inferências, simplesmente "cortando caminho".

O conhecimento sobre como resolver problemas constitui uma classe de conhecimento. Neste contexto é importante destacar que as heurísticas que dependem em grande parte do conhecimento sobre a solução do problema, ou seja, da experiência dos solucionadores dos problemas a qual os Sistemas de Raciocínio Lógicos se propõem a resolver.

Segundo Saymon Haykin (2003), o raciocínio é "habilidade de resolver problemas" e os Sistemas de Raciocínio Lógicos podem ser classificados, segundo o livro "Intelligence: The Eye, The Brain and The Computer", nos que possuem as seguintes características:

1. Possuem capacidade de expressar e resolver problemas;
2. Possuem capacidade de aprender informações explícita e implícita;
3. Possuem controle sobre as operações e o seu encerramento.

6. Aspectos Gerais dos SRL

6.1. Raciocínio

Segundo Russel Norving (2003), o raciocínio é o "Processo de construção de novas sentenças a partir de outras sentenças", onde as sentenças armazenadas no Banco de Conhecimento representam univocamente um fato do "mundo" selecionado para resolução de problemas, onde os fatos podem gerar novos fatos do "mundo" real. Além da relação de um para um entre "sentença" e "fatos" existe também uma relação "semântica" a qual determina o significado para ambos.

6.2. Paradigmas

No contexto da Inteligência Artificial existem diversos paradigmas nos quais os pesquisadores se apóiam para criar as diversas abordagens de raciocínio lógico. Dentre estes paradigmas podemos citar o "Paradigma Simbólico" o qual se baseia na "metáfora lingüística" e temos como exemplo: os sistemas de produção, os agentes, etc.

Outra abordagem é o "Paradigma Conexionista", que utiliza-se da metáfora cerebral para definir a sua arquitetura e funcionamento. O termo conexionista se origina das conexões sinápticas cerebrais entre os seus microorganismos. Podemos citar como exemplo desta abordagem as redes neurais artificiais. O "Paradigma Evolucionista" utiliza da metáfora da natureza, principalmente dos mecanismos de evolução natural. Podemos citar como exemplo os algoritmos genéticos e vida artificial.

Finalmente a "Paradigma Estatístico ou Probabilístico" com aplicação no raciocínio incerto, que é provavelmente o aproximado da forma como os humanos raciocinam. Temos como exemplo desta abordagem as redes "bayesianas" e os sistemas difusos ou "fuzzy".

6.3. Linguagens de Representação do Conhecimento

Para trabalharmos com Sistemas de Raciocínio Lógico necessitamos representar os conhecimentos para aplicarmos os processo de raciocínio ou inferência sobre as sentenças representadas na Base de Conhecimento. Para tanto precisamos de linguagens que representem as sentenças internamente em sistemas computacionais.

Foram criados símbolos que recebem o nome de linguagens de representação e tem a função de serem processadas internamente pelos sistemas computacionais. Os pesquisadores criaram diversas linguagens com diversos níveis de qualidade e representatividade dos conhecimentos do mundo selecionado. Em primeira instância podemos classificar em linguagens "lógicas" e "Objetos". Nas linguagens de "lógicas" temos: lógica proposicional, que é uma lógica mais simples e que representa somente os fatos. Em seguida temos uma lógica mais elaborada que é a lógica de predicados de primeira ordem, que é uma lógica poderosa e que permite simbolizar a maioria dos fatos, objetos e relações entre eles. Outra forma de lógica mais elaborada e poderosa é a lógica temporal que tem a possibilidade de representar tudo que a lógica de predicados de primeira ordem mais a variante de temporalidade e finalmente nesta categoria os sistemas de regras de produção que são constituídos pelo par condição-ação.

Para a classe linguagens "objeto" as redes semânticas, redes de frame, scripts, linguagens de classes e linguagens de atores, como seus principais representantes. Na construção de linguagens de representação o projetista deve observar as seguintes considerações: estas linguagens devem ser expressiva, concisa, sem ambigüidades, insensíveis ao contexto e também devem ser eficazes.

6.4. Tipos de Inferência

As pesquisas em ciência cognitivas levaram os pesquisadores a classificarem os tipos de raciocínio em: "dedução", "abdução", "indução" e "analógico". O raciocínio dedutivo é realizado a partir de fatos do conhecimento representado de forma lógica, utiliza-se regra de inferência válida para gerar novos fatos. Temos como exemplo a sentença "Se há fogo, há fumaça".

Um outro tipo de raciocínio é o abduativo, que tem um funcionamento inverso do raciocínio dedutivo. Neste caso se existe o conseqüente então deve existir o antecedente, exemplo "Se há fumaça, há fogo".

Um dos tipos de raciocínio mais utilizado é o indutivo. Nesta modalidade parte-se dos fatos até as regras gerais. Como temos "Se a Carla do Tchan não canta bem, e a Sheila do Tchan também não canta bem, então nenhuma dançarina canta bem".

O mais difícil de se implementar é com certeza o raciocínio analógico. Nesta modalidade de raciocínio a resolução de problemas é baseada em problemas já resolvidos. Um exemplo neste caso seria a demonstração automática de teoremas.

7. Categorias de SRL em Relação às Linguagens de Representação

7.1. Provedores de Teoremas

Nesta categoria aplica-se a técnica de raciocínio lógico chamada resolução para provar sentenças representadas em Lógica de predicado de Primeira Ordem. São muito utilizados para tarefas matemáticas e de raciocínio científico. Podemos citar como exemplos os seguintes ambientes: SAM, AURA, OTTER.

7.2. Linguagens de Programação em Lógica

Nesta categoria há uma restrição da lógica tradicionalmente definida, onde não são permitidos os tratamentos completos da negação, disjunção e/ou igualdade. Geralmente utilizam a técnica de raciocínio "encadeamento regressivo" ou do inglês "Forward Chaining". Nesta técnica parte-se de sentenças (regras de inferência) da Base de Conhecimento para produzir novas conclusões (afirmações). Podem possuir algumas características não lógicas das linguagens de programação tradicionais. Podemos citar como exemplo os seguintes ambientes computacionais: Prolog, MRS, Life.

7.3. Sistemas de Redes Semânticas

Nesta categoria consistem em nós conectados por arcos, onde os nós representam usualmente objetos do mundo selecionado e os arcos as relações binárias entre eles. Estas representações são semelhantes a redes de grafos e podemos citar como exemplo os seguintes ambientes computacionais SNEPS, NETL, Conceptual Graphs.

7.4. Sistemas de Frame

O sistema de frame consiste em uma linguagem de representação que é uma evolução das redes semânticas. Elas consistem em uma hierarquia de frames (quadros) conectados por atributos, onde os frames representam objetos do mundo e atributos usualmente a relação entre eles. Podemos citar como exemplo os seguintes ambientes computacionais OWL, FRAIL, KODIAK.

7.5. Sistemas de Lógicas Descritivas

Estas categorias expressam e raciocinam com definições complexas de objetos e classes, e relações entre eles, utilizando redes semânticas como princípio de organização. Podemos citar como exemplo os seguintes ambientes computacionais KL-ONE, CLASSIC, LOOM.

7.6. Sistemas de Regras de Produção

Nesta categoria as representações padrões desses sistemas são as implicações, formadas pela "se condição-ação". As ações são conseqüências das implicações e podem ser inseridas e removidas da Base de Conhecimento, sendo que a forma de raciocínio (inferência) é através de encadeamento progressivo com resolução de conflitos via uso de heurística. Podemos citar como exemplo os seguintes ambientes computacionais OPS-5, CLIPS, SOLAR.

8. Arquitetura de SRL

Os Sistemas de Raciocínio Lógico utilizam os agentes de baseados em conhecimento ou agentes lógicos como arquitetura básica de implementação. Esta arquitetura se apresenta

como uma evolução da arquitetura de agentes reativos aprimorando em diversos aspectos, principalmente nos aspectos decisórios os quais terão comportamento com um alto nível de inteligência, onde existe a manipulação de conhecimento através de processos de inferências ou raciocínio lógico.

O ambiente externo passa a contar com uma interface, que terá a função básica de intermediar as comunicações entre os usuários e os agentes lógicos. Nestas comunicações serão passados pelos usuários, os problemas a serem resolvidos durante os processo de raciocínio lógicos dos SRL através de processo de inferências e remetidas as respostas aos usuários. Pode haver a situação na qual o usuário solicita explicações ao SRL e o mesmo lhe "diz" como foi o processo de inferência utilizado.

Em sistemas computacionais tradicionais existe a seguinte seqüência: os usuários passam os dados ao programa (desenvolvido pelo programador), que tem um algoritmo passo-a-passo especializado. Este programa realiza as operações pré-estabelecidas pelo programador devolve os dados dos resultados das operações realizadas ao usuário.

Em uma arquitetura SRL, o usuário passa os dados a serem analisados ao SRL, que são inicialmente processados pelo módulo responsável pelo processo de inferência (Módulo de Raciocínio Genérico). Este módulo, via algum tipo de processo de raciocínio lógico verifica na Base de Conhecimento as sentenças necessárias ao processo, podendo inferir novos conhecimentos ou não de acordo com o caso em questão. Após o término do processo de raciocínio lógico dos dados processados pelo SRL são devolvidos aos usuários, ou em caso haja necessidade o SRL possui um módulo de explicação do raciocínio que tem a função de listar todos os passos utilizados durante o referido processo ao usuário e/ou especialista no negócio através de sua interface.

A Base de Conhecimento será montada em dois momentos. No momento da inicialização o Engenheiro do Conhecimento juntamente com os especialistas no negócio da organização acionarão o módulo de aquisição de conhecimento com as sentenças formadoras da Base de Conhecimento alimentando o SRL com os seus conhecimentos iniciais. Além desta forma existe outra forma de agregação de conhecimento que serão originadas durante os processos de inferências promovidos pelo módulo de raciocínio genérico.

9. Operações Básicas do SRL

Os Sistemas de Raciocínio Lógicos promovem quatro tipos de operações básicas durante o processo de inferência. Eles podem adicionar um novo fato (sentença) a Base de Conhecimento em alguns casos podendo gerar novas conclusões sobre estes fatos. Podem decidir se uma determinada consulta foi atendida pelo SRL durante um processo de inferência ou decidir se uma consulta está explicitamente armazenada na Base de Conhecimento e finalmente podem remover uma sentença da Base de Conhecimento.

10. Manutenção da Base de Conhecimento

Semelhante aos SGBD - Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados, os SRL - Sistemas de Raciocínio Lógico possuem Bases de Conhecimento as quais necessitam de mecanismos e técnicas que permitem realizar operações sobre as suas sentenças (fatos) e além disto que as operações sejam executadas de forma eficiente, como por exemplo a recuperação

de informações. Os pesquisadores criaram diversas técnicas que permitiram este aumento de eficiência, principalmente na recuperação destes conhecimentos. Podemos ressaltar as técnicas de unificação, recuperação e indexação.

10.1. Técnica de Unificação

Esta técnica é identificada por uma rotina de unificação, cujo nome é UNIFY, que recebe duas sentenças atômicas p e q e retorna uma substituição que faça p e q se tornarem idênticas. Podemos simbolizá-la da seguinte forma $UNIFY(p,q)=Q$, onde $SUBST(q,p)=SUBST(q,q)$. Regras de inferências estendidas requerem que se encontrem substituições que produzam expressões lógicas diferentes em expressões idênticas

Exemplo:

Conhece $(vt, x) \Rightarrow Simpatiza(vt, x)$

Base de Conhecimento:

- Conhece (vt, gob)
- Conhece $(y, dsdr)$
- Conhece $(y, Amiga(y))$
- Conhece (x, ini)

Unificando cada antecedente da regra a cada uma das sentenças na Base de Conhecimento temos:

- $UNIFY(Conhece(vt, x), Conhece(vt, gob)) = x/gob$
- $UNIFY(Conhece(vt, x), Conhece(y, dsdr)) = x/dsdr, y/vt$
- $UNIFY(Conhece(vt, x), Conhece(y, Amiga(y))) = y/vt, x/Amiga(vt)$
- $UNIFY(Conhece(vt, x), Conhece(x, ini)) = falha$

Observação: no último caso ocorre a "falha" pelo fato de x não poder assumir, ao mesmo tempo, o valor de "vt" e "ini".

10.2. Técnicas de Recuperação

As técnicas de recuperação se valem das funções FETCH e STORE, que são duas funções que simplificam as funções ASK e TELL na implementação física de uma Base de Conhecimento - BC. O FETCH é responsável por achar sentenças S na BC que unificam com a consulta ou, no mínimo, têm a mesma estrutura sintática. STORE é responsável pela estratégia de inferência (raciocínio lógico) que resulta em uma série de chamadas para a função FETCH.

Exemplo:

- STORE (BC, S)
 - TELL $(BC, A B)$
 - TELL $(BC, C D)$
- FETCH (BC, Q)

A Base de Conhecimento resultante seria: (A, B, C, D)

A função FETCH leva um tempo de ordem $O(n)$ em uma BC com n elementos. A função STORE leva um tempo $O(1)$ para adicionar uma conjunção na BC. Se quisermos ter certeza de que nenhuma duplicação (redundância) será adicionada, então STORE é também $O(n)$, o que é impraticável. Como se pode observar estas funções executam de forma semelhante ao acesso seqüencial a arquivos com as mesmas características.

10.3. Técnicas de Indexação

A criação de índices foi uma revolução no Gerenciamento de Banco de Dados e implicou no aumento de performance na recuperação de informações em diversos tipos de banco de dados (hierárquico, rede e relacional), em SRL foram propostas diversas técnicas de indexação tais como as técnicas de indexação baseadas em tabelas e arvores.

10.4. Técnicas de Indexação Baseadas em Tabelas

Na técnica de indexação baseada em tabelas obteve maior sucesso nas que utilizavam tabelas de "hash", que são estruturas de dados para recuperação e armazenamento de informações cujo índice é baseado em chave fixa (fixed keys). O armazenamento das chaves seriam constituídos apenas dos valores lógicos "false" ou "true", em cuja a complexidade seria da ordem $O(1)$ para funções FETCH e STORE, o que caracteriza um grande ganho em relação as equivalentes funções de tecnologias mais simples.

Exemplo:

Seja a Base de Conhecimento - BC:

Irmão (Ricardo, João)

Irmão (Pedro, Paulo) e Irmão (Paulo, Tiago)

$\neg \text{Irmão}(\text{Ana}, \text{Samuel})$

$\text{Irmão}(x, y) \Rightarrow \text{Masculino}(x)$

$\text{Irmão}(x, y) \text{ e Masculino}(y) \Rightarrow \text{Irmão}(y, x)$

Masculino (Paulo) e Masculino (Pedro) e ... e $\neg \text{Masculino}(\text{Ana})$

Nesta modalidade construiríamos uma tabela com as seguintes colunas: chave, afirmação, negação, conclusão e premissa. Para a Base de Conhecimento acima os conteúdos dos seriam:

Chave: Irmão, Masculino, ...

Afirmação:

Irmão :Irmão (Ricardo, João) Irmão (Pedro, Paulo) Irmão (Paulo, Tiago);

Masculino:Masculino (Paulo) Masculino (Pedro) ...

Negação:

Irmão :Irmão (Ana, Samuel);

Masculino:Masculino (Ana); ...

Conclusão:

Irmão :Irmão (x,y) e Masculino (y) $\Rightarrow \text{Irmão}(y, x)$;

Masculino:Irmão (x,y) $\Rightarrow \text{Masculino}(x)$; ...

Premisa:

Irmão:Irmão (x,y) e Masculino (y) $\Rightarrow \text{Irmão}(y, x)$;

Irmão:Irmão (x, y) $\Rightarrow \text{Masculino}(x)$;

Masculino:Irmão (x,y) e Masculino (y) $\Rightarrow \text{Irmão}(y, x)$; ...

10.5. Técnicas de Indexação Baseadas em Árvores

Nesta modalidade temos aplicabilidade para os casos em que há muitas cláusulas para cada símbolo predicado e quando as entradas são tabelas. Normalmente são utilizadas em combinação com índices tradicionais.

Exemplo1:

Seja a **Base de Conhecimento - BC 1:**

Contribuinte (João, 2)

Contribuinte (Pedro, 0)

Contribuinte (Paulo, 4)

Seja a **Base de Conhecimento - BC 2:**

Contribuinte (João, 02138, 1000, 2)

Contribuinte (Pedro, 02138, 2000, 0)

Contribuinte (Maria, 03001, 1000, 1)

Contribuinte (Teresa, 03001, 1000, 2)

11. Modos de Raciocínio

Existem diversos modos de raciocínio lógico ou processos de inferência. Estes processos se caracterizam pela maneira como fazem a descoberta de conhecimento em uma Base de Conhecimento. Os procedimentos de inferência operam sobre os axiomas e os fatos específicos do problema para derivar os fatos que nos interessam.

Algumas regras simples de inferências podem ser aplicadas em sentenças com quantificadores para obter sentenças sem quantificadores. A inferência em lógica de predicados de primeira ordem pode ser feita convertendo a Base de Conhecimento para lógica proposicional e usando inferência proposicional (esta é a técnica de proposicionalização que não é eficiente). Dentre os diversos modos de raciocínio podemos destacar o encadeamento para frente (Forward Chaining) e o encadeamento para trás (Backward Chaining).

11.1. Forward Chaining

O encadeamento para frente se caracteriza por partir de sentenças (regras de inferência) da Base de Conhecimento para produzir novas conclusões (afirmações). São também chamados de procedimento dirigido a dados (Data Driven), pois o processo de inferência não é direcionado para resolver um problema particular.

Algoritmo:

1. Aplica-se a regra "Modus Ponens" na direção adiante, adicionando novas sentenças atômicas até que mais nenhuma inferência puder ser feita.

Observação: a regra **Modus Ponens** diz: "se uma proposição A é verdadeira e uma implicação (A implica B) também verdadeira, então a proposição B deve ser verdadeira".

11.2. Backward Chaining

No encadeamento para trás, parte-se de uma hipótese que se quer provar procurando regras na Base de Conhecimento retroativamente para analisar as assertivas que suportam a hipótese em questão. Se a premissa (antecedente) é uma conjunção, seus termos são processados um a um para que seja obtido o seu unificador. Este algoritmo dirige a sua busca pelos objetivos, no sentido conclusão da premissa e são muito utilizados em sistemas de programação em lógica, tais como: Prolog.

Algoritmo:

1. O algoritmo é chamado com uma lista de objetivos (semelhante a uma pilha);
2. Retorna o conjunto de todas as substituições que satisfazem a consulta inferida;
3. Se todas elas são satisfeitas, então a ramificação corrente da prova foi satisfeita;
4. O algoritmo pega o primeiro objetivo na lista e encontra cada cláusula na base de conhecimento cuja literal positiva, ou cabeça, unifica com o objetivo;
5. Cada cláusula cria uma nova chamada recursiva em que a premissa, ou corpo, da cláusula é adicionado para a pilha de objetivos;
6. Como os fatos são cláusulas com uma cabeça e sem corpo, então quando um objetivo unifica com um fato conhecido, nenhum novo sub-objetivo é adicionado na pilha e o objetivo é resolvido.

Exemplo:

A lei diz que é crime um americano vender armas para nações hostis. A nação Cuba, um inimigo dos EUA, tem alguns mísseis, e todos os mísseis foram vendidos a eles pelo Coronel Pedro, que é americano. O objetivo é provar que Pedro é um criminoso. Em IA Simbólica para executar tal prova se fazem necessários a existência de uma Base de Conhecimento, uma linguagem de representação e um modo de raciocínio ou inferência.

Seja a Base de Conhecimento:

R4: $Americano(x) \odot Arma(y) \odot Nação(z) \odot Hostil(z) \odot Vende(x, z, y) \Rightarrow Criminoso(x)$

R2: $Possui(Cuba, x) \odot Míssil(x) \Rightarrow Vende(Pedro, Cuba, x)$

R3: $Míssil(x) \Rightarrow Arma(x)$

R1: $Inimigo(x, EUA) \Rightarrow Hostil(x)$

Pedro é Americano (verdadeiro), Cuba é uma Nação (verdadeiro), como Cuba é Inimigo do EUA então Cuba é Hostil (verdadeiro), M1 é um Míssil logo é uma Arma (verdadeiro), Cuba possui M1 logo Pedro Vende M1 a Cuba e M1 é uma Arma (verdadeiro) então Pedro é Criminoso.

12. Principais Categorias de SRL

Existem diversas categorias de linguagens de representação de Sistemas de Raciocínio Lógicos dentre elas exemplificaremos: os Sistemas de Regras de Produção, os Sistemas de Redes Semânticas, os Sistemas de Frame e finalmente faremos uma conclusão do "estado-da-Arte" que são os Sistemas Híbridos.

13. Sistemas de Regras de Produção

Sistemas de Regras de Produção foram os primeiros tipos de Sistemas de Raciocínio Lógicos. Esta linguagem de representação do conhecimento foi construída com base na idéia de que o processo de tomada de decisão humano poderia ser modelado por meio de regras do tipo **se condição então conclusões e ações**. Logo, as regras de produção podem expressar relacionamentos lógicos e equivalências de definições que poderiam simular o processo de raciocínio humano através de inferências sobre estas regras.

Os pares de condição-ação: Se condição (ou premissa ou antecedente) ocorre então ação (resultado, conclusão ou conseqüente) deverá (ou deveria) ocorrer. Esta forma de representação pode ser vista como uma simulação do comportamento cognitivo de especialistas humanos, dos quais estes conhecimentos são mantidos de forma modular e com um alto nível de independência.

Exemplo:

Se o agente percebe luz do freio do carro em frente acesa então ele deve frear o carro (**regra de ação**). Assim se o agente percebe luz do freio do carro em frente acesa, pode-se inferir ou derivar que ele deve frear o carro.

Se veículo tem 4 rodas e tem um motor então veículo é um automóvel (**novo conhecimento**).

Esta linguagem de representação é chamada **regras de produção** pelo fato de que quando utilizadas com a modalidade de raciocínio progressivo produzem novos fatos e regras na Base de Conhecimento.

Em programação baseada em regras, usa-se um **Motor de Inferência** para manipular regras e fatos e produzir novos fatos, o que significa que pode posteriormente usar novas até chegar a um resultado final.

Podemos representar estruturalmente as regras de produção da seguinte forma:

SE [condições] ENTÃO [conclusões] FAÇA [ações]

Onde, a parte **SE** é uma lista de condições a serem satisfeitas, a parte **ENTÃO** é uma lista de conclusões e a parte **FAÇA** são ações a serem executadas. Cada uma das condições da lista é verificada quanto a sua validade ou não e caso todas forem satisfeitas, as conclusões consideradas serão verdadeiras e as ações da lista serão executadas.

13.1. Características

Os Sistemas de Regras de Produção são linguagens de representação do conhecimento baseadas em regras. São estruturalmente independentes e com conhecimentos separados onde uma variedade de esquemas de controles são utilizados. É uma forma bastante natural de representar o conhecimento de especialista humano.

13.2. Componentes

Os Sistemas de Regras de Produção possuem três componentes básicos: memória de trabalho, base de regras e motor de inferência.

A memória de trabalho de um sistema consiste em uma coleção de assertivas (afirmações) verdadeiras. Ela possui um conhecimento volátil, dos quais fazem parte: as

hipóteses e os objetivos atuais, o estado atual do problema, os resultados intermediários e a agenda com os conjuntos de possíveis regras a serem aplicadas.

A base de regras é o conjunto de sentenças (regras de inferência) que determinam as ações que devem ser tomadas de acordo com as percepções. Caracteriza-se pelos conhecimentos permanentes, dos quais fazem parte: os fatos, asserções, regras de produção, estratégias de resolução de problemas, estratégias de recuperação, conhecimento do problema e asserções relevantes e meta-conhecimento que são as estratégias de resolução de conflitos.

O motor de inferência é a parte do sistema que determina o método de raciocínio (inferência) e utiliza estratégias de busca e resolve conflitos.

13.3. Funcionamento

O funcionamento dos Sistemas de Regras de Produção é escalonado em três fases, que são: casamento, resolução de conflitos e execução.

Na fase de casamento o sistema, em cada ciclo, computa o subconjunto de regras cuja esquerda é satisfeita pelos conteúdos atuais da memória de trabalho. Tradicionalmente ele possui uma forma ineficiente de unificação o que leva a utilização do algoritmo de "rete"(rede), que permite a eliminação de duplicações entre regras e elimina a duplicação ao longo do tempo.

Na fase de resolução de conflitos o sistema decide quais regras devem ser executadas. Pode-se utilizar algumas estratégias de controle: a "não duplicação", que não permite a da mesma regra nos mesmos argumentos duas vezes. A "Recency", que visa preferir os elementos da Memória de Trabalho criados recentemente. A "especificidade", que visa preferir as regras mais específicas e finalmente a "prioridade de operação", que prefere as ações de maior prioridade, especificada por alguma categoria. A última fase é execução das ações propriamente ditas.

Exemplo:

Nesta sessão será exemplificado um sistema dedutivo que identifica animais. Este sistema receberá o nome de: "ZOOKEEPER" e tem as seguintes características:

1. utiliza regras sem antecedentes longos;
2. gera assertivas intermediárias como saídas das regras;
3. combina estas assertivas e aquelas originais para produzir uma conclusão;
4. observa hábitos e características físicas para identificar os animais;
5. neste exemplo, pode distinguir quatro animais: leopardo, tigre, girafa e zebra

A Base de Conhecimento do sistema será composta inicialmente das seguintes regras de produção:

Regra Z1

Z1 Se x tem cabelo Então x é um mamífero

- Regra que observa características físicas.

Regra Z2

Z2 Se x dá leite Então x é um mamífero

- Regra que determina a classe biológica dos animais, onde Z2 observa hábitos.

Regra Z3 e Z4

Z3 Se x é um mamífero e x come carne Então x é um carnívoro

Z4 Se x é um mamífero e x tem dentes pontudos e x tem garras e x tem olhos ponti-
agudos Então x é um carnívoro

- As regras determinam se o animal é carnívoro.
- Z3 observa hábitos e Z4 observa características físicas.
- Estas regras já utilizam assertivas geradas por regras anteriormente definidas.

Regra Z5 e Z6

Z5 Se x é um mamífero e x tem cascos Então x é um ungulado

Z6 Se x é um mamífero e x rumina Então x é um ungulado

- As regras determinam se o animal é ungulado.
- Z5 observa características físicas e Z6 observa hábitos.

Regra Z7 e Z8

Z7 Se x é um carnívoro e x tem cor amarela tostada e x tem manchas escuras Então
x é um leopardo

Z8 Se x é um carnívoro e x tem cor amarela tostada e x tem listas pretas Então x é
um tigre

- Regras para identificar os animais carnívoros.

Regra Z9 e Z10

Z9 Se x é um ungulado e x tem pernas longas e x tem pescoço comprido e x tem cor
amarela tostada e x tem manchas escuras Então x é uma girafa

Z10 Se x é um ungulado e x tem cor branca e x tem listas pretas Então x é uma zebra

- Regras para identificar os animais ungulados.

Algoritmo:

1. até as regras não produzirem novas assertivas;
2. até o animal ser identificado;
3. Para cada regra;
4. Tente casar cada um dos antecedentes das regras com os fatos conhecidos;
5. Se todos os antecedentes de regras estão casados;
6. execute o conseqüente, a menos que já exista uma assertiva idêntica;
7. Repita para todas as alternativas que devem ser testadas.

Baseado nas regras da Base de Conhecimento acima identifique qual é o animal, que denominaremos de Catatau, sendo dado a seguinte Memória de Trabalho:

- Catatau tem cabelo;
- Catatau rumina;
- Catatau tem pernas longas;
- Catatau tem cor amarela tostada;
- Catatau tem pescoço comprido;
- Catatau tem manchas escuras.

13.4. Raciocínio em Encadeamento Progressivo

Solução:

- Catatau tem cabelo, logo é um mamífero (dispara Z1);
- Catatau ruma e é um mamífero, logo é um ungulado (dispara Z6);
- Catatau é um ungulado, tem pernas longas, tem cor amarela tostada, tem pescoço comprido e tem mancha escura, logo é uma girafa (dispara Z9).

13.5. Vantagens

- As regras são de fácil compreensão;
- Inferência e explicações são facilmente derivadas;
- Manutenção é relativamente simples, devido a modularidade;
- "Incerteza" é facilmente combinada com as regras;
- Cada regra é (normalmente) independente das outras.

13.6. Limitações

- Conhecimento complexo requer muitas (milhares de) regras;
- Esse excesso de regras cria problemas para utilização e manutenção do sistema;
- Não é robusto e não aprende;
- A aquisição do conhecimento é difícil.

14. Sistemas de Redes Semânticas

As Redes Semânticas foram propostas em 1913 por Selz como uma explicação a fenômenos psicológicos. Em 1966, Quillian implementou essas redes e mostrou como o conhecimento semântico poderia ser representado como relacionamento entre dois objetos.

Sistemas e Redes Semânticas é um grafo rotulado e direcionado que se constitui de um conjunto de nós que representam os objetos, os quais podem ser: coisas, conceitos, indivíduos, situações em um "mundo" delimitado por um domínio. Além dos nós existem também os arcos rotulados com o nome da relação existente entre os nós respectivos. Nesta representação vários arcos podem ter o mesmo rótulo, entretanto cada objeto é representado por apenas um nó. normalmente, e os nós e links denotam entidades de domínio específico.

Este tipo de linguagem de representação do conhecimento suporta as características de herança de propriedades e as seguintes relações:

- Ako (a-kind-of): relações entre classes;
- é-um (is-a): relações entre classes e instâncias;
- uma entidade pertence a uma classe mais alta ou uma categoria de objetos;
- tem-um (has-a): identifica características ou atributos das entidades;
- parte-de (part-of): identifica características ou atributos das entidades;
- variados: identifica características gerais.

Uma das mais importantes dessas relações é a transitividade, pois permite uma declaração concisa de propriedades nos objetos mais gerais. Mecanismos de inferência podem ser utilizados para derivar essas propriedades para os objetos mais específicos. Esse procedimento é denominado "herança de propriedade".

As redes semânticas apresentam como um dos principais fatos para a sua aceitação pelos pesquisadores relacionados a representação do conhecimento: a visualização gráfica.

14.1. Vantagens

- Representação visual fácil de entender;
- Flexibilidade na manipulação de nós e links (adição, exclusão, modificação);
- Economia (herança via relações "é-um" e "ako");
- Capta "senso-comum" ou "certo-errado" semelhante ao armazenamento de informações no cérebro;

14.2. Limitações

- Busca em redes semânticas grandes pode ser muito ineficiente;
- Não há homogeneidade na definição de nós e links;
- Hereditariedade pode causar dificuldades no tratamento de exceções;
- Pode haver conflito entre características herdadas;
- É difícil representar conhecimento procedimental (seqüenciamento e tempo não estão explícitos);
- Menos expressiva que a Lógica de Primeira Ordem (não há quantificadores);

15. Sistemas de Frame

Podemos dizer os Sistemas de Frames foram criados nos trabalhos de pesquisa publicados em artigos por Minsky (1974), Winston (1975) Haugeland (1981), Brachman e Levesque (1985). Um Sistema de Frames é um conjunto de frames organizados hierarquicamente (Semelhante a Redes Semânticas).

O "frame" é uma terminologia utilizada para um agrupamento de conhecimentos relevantes sobre um indivíduo, coisa, situação ou conceito. O frame possui um nome que identifica o conceito por ele definido e consiste de um conjunto de atributos, chamados "slots". Um frame é uma estrutura de dados complexa que proporciona um modo útil de modelar objetos do mundo real. Os frames são análogos a registros em bases de dados, porém são mais expressivos e poderosos.

Cada frame possui um nome pelo qual ele é referenciado, detalhe de seus frames-pais e uma coleção de "slots" que contém valores ou ponteiros para valores. Cada "slot" possui um nome e consiste de um conjunto de atributos, que são também denominados "facetras". As facetras contêm informações que descrevem os "slots". Essas informações definem explicitamente valores que o "slot" pode assumir ou a maneira de calcular ou deduzir o seu valor, que é representado pelos procedimentos. As facetras podem ser: tipo, domínio, valor "default", procedimentos "demons", etc.

- Valor: especifica o único valor possível;
- Valor default: especifica o valor assumido pelo atributo caso não haja nenhuma informação a esse respeito;
- Tipo: indica o tipo de dado do valor;
- Domínio: descreve os valores possíveis para o atributo;
- Procedimentos Demons: como os triggers nos bancos de dados.

Usualmente os valores das facetras expressos como "default" são associados a objetos ou classes genéricas, enquanto valores correntes expressam instâncias específicas de objetos.

As associações (relações) entre frames podem ser vistas como uma relação hierárquica de associações pai e filho, onde o frame-pai é o mais genérico e o frame-filho o

mais especializado. O frame-filho pode herdar valores (default ou correntes) de qualquer um de seu frame-pai.

Três tipos de informações podem ser de herdadas em alguns casos são idêntico a programação orientada a objetos e possui dois tipos de herança: herança simples, onde existe uma única super-classe para cada classe e herança múltipla, onde uma classe pode ter mais de uma super-classe, podendo herdar propriedades ao longo de diversos caminhos diferentes, isto pode levar a uma situação de caos.

A hierarquia de frames permite que dados sejam armazenados de maneira abstrata e aninhados com propriedades comuns que são automaticamente herdadas através da hierarquia. Isto evita duplicação desnecessária de informações, simplifica o código e proporciona um sistema de fácil leitura e manutenção.

16. "Estado-da-Arte" em Linguagens de Representação do Conhecimento

O paradigma de programação orientada a objetos tem muita semelhança com as linguagens de representação do conhecimento apresentadas neste texto. Desta forma podemos concluir que haja mais semelhanças do que diferenças.

Os objetos são semelhantes aos frames por que usam conjuntos de descrição para sua caracterização. Objetos usam atributos enquanto frames usam "slots". No entanto ambos apresentam uma estrutura hierárquica. Objetos usam métodos e frames usam procedimentos. A comunicação entre objetos é feita através de troca de mensagens, enquanto o frame usa as chamadas de procedimentos.

Por outro lado os objetos são semelhantes às redes semânticas pelo fato de ambas terem uma estrutura hierárquica de redes. Isto implica que se substituirmos ambas (redes semânticas e frames) pelos modelos orientados a objetos teríamos a perda de representação do processo de inferência ou raciocínio. Ou seja estaríamos inviabilizando o processo raciocínio inteligente sobre os dados com a finalidade de se obter um processo decisório inteligente, pautado na compreensão, análise e síntese sobre os conhecimentos, que é o que propõe os Sistema de Raciocínio Lógico.

Uma solução este tipo problema seria adotarmos uma linguagem de representação do conhecimento respaldada pela orientação a objetos associada a regras de produção. Neste caso podemos observar que a orientação a objetos oferece uma representação concisa de relações, mas por outro lado não oferece facilidades diretas para descrever declarativamente o conhecimento armazenado. Esta deficiência da orientação a objetos, pode ser tratada de forma bem sucedida pelo uso de regras de produção.

Desta forma podemos dizer que a orientação a objetos oferece uma forma rica, simples e natural para expressar os objetos do domínio, bem como as suas relações e a forma de comportamento. Por outro lado as regras de produção oferecem um meio simples e natural de expressar o processo de raciocínio do sistema.

17. Exemplo de SRL

Podemos citar como exemplo de Sistemas de Raciocínio Lógico uma biblioteca desenvolvida no Knowledge Systems Laboratory, Stanford University dos EUA (vide sitio do laboratório www.ksl.stanford.edu - acessado 26/08/2004). Tal biblioteca permite e que seja inferido

questões sobre conhecimentos representados em DAML+OIL ou outra base de conhecimento.

Esta é uma biblioteca possui uma arquitetura híbrida, onde existe: um provador de teoremas baseados em predicados de lógica de primeira ordem, um "suite" de raciocínio para finalidades especiais e "Dispatchers" e "APIs" para raciocínio em Java.

Esta aplicação computacional possui uso em diversas áreas do conhecimento humano, tais com: análise de inteligência, controle autônomo para sistemas complexos e sistemas de perguntas e respostas em "Web Semântica".

18. Conclusão

18.1. Principais Diferenças Entre Sistemas: Convencionais x SRL

- **Sistemas Convencionais**
 - Estrutura de Dados;
 - Dados e Relações entre Dados;
 - Tipicamente usa algoritmos determinísticos;
 - Conhecimento embutido no código do programa;
 - Explicação do raciocínio é difícil.
- **Sistemas SRL**
 - Representação do Conhecimento;
 - Conceito, Relações entre Conceitos e Regras;
 - Busca Heurística;
 - Conhecimento representando explicitação do programa que o manipula e interpreta;
 - Podem e devem explicar seu raciocínio.

18.2. Visão Evolutiva das Aplicações Computacionais

Nos primórdios das primeiras linguagens de programação, como por exemplo: "Cobol", "Fortran", etc., todo o processo de manipulação do conhecimento era colocado explicitamente dentro da aplicação computacional. Neste período as aplicações eram então ditas "monolíticas", e eram desenvolvidas pelos programadores de computadores, os quais colocavam em seu "código fonte" todas as funcionalidades (inclusive os aspectos relativos a "inteligência humana") que a aplicação computacional teria que executar. O resultado é que os programas de computadores eram extremamente grandes e rígidos no que tange a agregação de novas funcionalidades, de manutenção corretiva muito caras e complexas.

Com os avanços das ciências, em particular, da Ciência da Computação, da Engenharia e da Ciência Cognitiva, as aplicações computacionais foram diminuindo de "tamanho", desta forma sendo segmentada em componente computacional "com funções cada vez mais específica.

As primeiras segmentações percebidas estavam relacionadas aos dados. Estes dados eram manipulados pelas aplicações computacionais "monolíticas" em um nível próximo ao "nível físico". Os Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD), segmentaram as aplicações computacionais retirando delas as responsabilidades relacionadas aos dados permanentes deixando em seu lugar as cláusulas e comandos SQL. A complexidade das

aplicações computacionais começou então a migrar para uma complexidade arquitetural, surgia então a arquitetura "cliente-servidor".

Um outro segmento que foi também retirado das aplicações e passado ao controle dos sistemas operacionais foi à interface gráfica ou seja as "GUI - Graphical User Interface", que criaram facilidades e padronizações na forma de interagir com o usuário. Delineava neste momento um ramo de estudo científico sobre Interface-Homem Computador.

Mais recentemente e ainda em andamento as pesquisas relacionadas à integração de sistemas ("EAI - Enterprise Application Integration") levaram na criação de padrões no Gerenciamento de Fluxo de Trabalho para automação de processos, ou seja o "Workflow", onde podemos citar como exemplo: "WfMC - Workflow Management Coalition" e "OMG - Object Management Group". Em tais ambientes a gestão relacionada aos "menus" das aplicações ficam do lado externo das mesmas, mais propriamente no "Servidor de Workflow".

Em última instância de segmentação das aplicações computacionais estão os aspectos relacionados a "inteligência humana". Neste contexto o "conhecimento humano", representado em linguagem de representação, a cerca de um "mundo", que delimita um domínio para o problema a ser resolvido, ficam residente em uma Base de Conhecimento. Os mecanismos de inferência ou seja de raciocínio lógico ficam em "componentes computacionais" com função específica para execução de raciocínio lógico. Desta forma os diversos aspectos de "inteligência humana" são retirados/segmentados das aplicações computacionais e os SRL - Sistemas de Raciocínio Lógico passam a ser um exemplo deste avanço e que poderá aproximar a forma de "Raciocínio Computacional" da forma de "Raciocínio Humanos" o que poderá levar a solução de problemas ainda insolúveis com o aproveitamento desta proximidade.

Com este enfoque a "**tese de Church-Turing**", que diz: "**Se o ser humano pode, por que não a máquina?**", tende a ser uma verdade científica mais palpável.

19. Glossário

No contexto de Sistemas de Raciocínio Lógicos temos diversas terminologias que devem ser explicitadas para evitar ambigüidades:

- **Linguagens de Representação do Conhecimento:** Representa asserções ou afirmações sobre o mundo, o qual funciona como uma restrição de domínios para restringir a complexidade;
- **Sentenças:** Expressas em linguagens de representação do conhecimento e possuem uma sintaxe especificando-as de maneira bem-formada.
- **Semântica:** Expressa o "significado" destas sentenças;
- **Inferência ou processo de raciocínio** Derivação de novas sentenças a partir de sentenças antigas;
- **Base de Conhecimento - BC**
 - Conhecimento ontológico formado por regras, redes semânticas, etc. onde pode citar como exemplo "o homem é um animal";
 - Regras que são a estrutura de inferência, exemplo. "Todo animal tem uma mãe";
 - Fatos, por exemplo: "existem muitos meninos abandonados";
 - Heurísticas que são usadas para resolução de conflitos, como por exemplo: "prefira a regra disparada mais recentemente";

- **ASK (pergunte)** É uma função responsável pela Estratégia de Inferência ou raciocínio;
- **TELL (informe)** Adiciona conhecimento a Base de Conhecimento - BC;
- **FECTH** É responsável pela busca de Sentenças S na BC;
- **STORE** Adiciona cada conjunto de Sentenças S na BC.

20. Referências

O presente trabalho foi fruto de consulta nas referências relacionadas abaixo, [1] , [2] e [3], para as quais devem-se todos os créditos no que tange aos acertos e os deméritos relacionados a erros e imperfeições credita-se ao autor.

Referências

- [1] Symon Haykin. Redes neurais - princípios e prática. Bookman, 2001.
- [2] Solange Oliveira (organização). Rezende. Sistema inteligentes fundamentos e aplicações. In RECOPE-IA, editor, *Advances in Computer Science*, pages 1–80. RECOPE-IA Rede Cooperativa de Pesquisa em Inteligência Artificial, 2004.
- [3] Peter Russel, Stuart; Norvig. *Artificial Intelligence. A Modern Approach*. Prentice-Hall Inc., 15th edition, 2004.