

Sistemas de Produção e Sistemas Especialistas

Jerusa Marchi

jerusa.marchi@ufsc.br

Inteligência Artificial

Departamento de Informática e Estatística

INE - UFSC

Sistemas de Produção

- Propostos por Post (1936) - Sistemas de Post
 - Método para processamento de dados
 - Consiste em um conjunto de **regras de produção** para a especificação sintática de transformações sobre cadeias de caracteres

<condição> → <ação>

- Nome genérico para todos os sistemas baseados em regras de produção

Sistemas de Produção

Componentes

- Conjunto de regras de produção
 - pares ordenados ($LE \rightarrow LD$), onde LE e LD são cadeias de caracteres
- Memória de trabalho
 - seqüência de caracteres
- Interpretador - aplicador das regras
 - Se LE está na memória de trabalho, substitui LE por LD
 - Passa para a próxima regra
 - Aplica as regras (loop) até não haver mais regras aplicáveis

Sistemas de Produção

Exemplo: Remoção de espaços em branco, parágrafos e sinais de pontuação

● Conjunto de regras:

1 : $_ \rightarrow \bullet$

2 : $\P \rightarrow \bullet$

3 : $. \rightarrow \bullet$

4 : $\bullet\bullet \rightarrow \bullet$

● Conteúdo da Memória de Trabalho

Tudo__vale_a_pena\PSe_a_alma_não_é_pequena.

Sistemas de Produção

Exemplo: Remoção de espaços em branco, parágrafos e sinais de pontuação

Tudo__vale_a_pena¶Se_a_alma_não_é_pequena. \Rightarrow_1
Tudo●_vale_a_pena¶Se_a_alma_não_é_pequena. \Rightarrow_2
Tudo●_vale_a_pena●Se_a_alma_não_é_pequena. \Rightarrow_3
Tudo●_vale_a_pena●Se_a_alma_não_é_pequena● \Rightarrow_1
Tudo●●vale_a_pena●Se_a_alma_não_é_pequena● \Rightarrow_4
Tudo●vale_a_pena●Se_a_alma_não_é_pequena● \Rightarrow_1
Tudo●vale●a_pena●Se_a_alma_não_é_pequena● \Rightarrow_1
Tudo●vale●a●pena●Se_a_alma_não_é_pequena● \Rightarrow_1
Tudo●vale●a●pena●Se●a_alma_não_é_pequena● \Rightarrow_1
Tudo●vale●a●pena●Se●a●alma_não_é_pequena● \Rightarrow_1
Tudo●vale●a●pena●Se●a●alma●não_é_pequena● \Rightarrow_1
Tudo●vale●a●pena●Se●a●alma●não●é_pequena● \Rightarrow_1
Tudo●vale●a●pena●Se●a●alma●não●é●pequena●

Sistemas de Produção

Exemplo: Multiplicação unária

● Conjunto de regras:

$$1 : \times 1* \rightarrow B*$$

$$5 : 1B \rightarrow B1$$

$$2 : 1 \times 11 \rightarrow 1A \times 1$$

$$6 : 2B \rightarrow B1$$

$$3 : 1A \rightarrow A21$$

$$7 : *A \rightarrow *$$

$$4 : 2A \rightarrow A2$$

$$8 : *B \rightarrow *$$

● Conteúdo da Memória de Trabalho

$$*11 \times 11*$$

Sistemas de Produção

Exemplo: Multiplicação unária

$*11 \times 11*$	\Rightarrow_2	$*11A \times 1*$	\Rightarrow_3
$*1A21 \times 1*$	\Rightarrow_1	$*1A21B*$	\Rightarrow_3
$*A2121B*$	\Rightarrow_5	$*A212B1*$	\Rightarrow_6
$*A21B11*$	\Rightarrow_7	$*21B11*$	\Rightarrow_5
$*2B111*$	\Rightarrow_6	$*B1111*$	\Rightarrow_8
$*1111*$			

Sistemas de Produção

- Redescobertos em 1955 por Newell e Simon (Carnegie-Melon)
 - Logic Theorist e General Problem Solver
 - Uso de regras de produção para representar conhecimento
 - A inteligência envolve o uso e a manipulação de vários *sistemas simbólicos*, antes restritos aos limites do cérebro humano, mas agora possíveis de serem implementados em um computador digital
 - Sistema de símbolos físicos

Sistemas de Produção

Sistema de Símbolos Físicos

“[...] consiste em um grupo de entidades, chamadas símbolos, que são padrões físicos que podem ocorrer como componentes de um outro tipo de entidade chamada expressão (ou estrutura de símbolos). Assim, uma expressão é composta de um número de instâncias (ou marcas) de símbolos relacionados de alguma forma física (como por exemplo, uma instância ao lado da outra). Em um determinado momento, o sistema conterá uma coleção destas expressões. Além destas, o sistema também contém uma coleção de processos que operam nas expressões para produzir outras expressões: processos de criação, modificação, reprodução e destruição. Um sistema de símbolos físicos é uma máquina que produz ao longo do tempo uma coleção progressiva de expressões. Tal sistema existe em um mundo de objetos mais amplo do que apenas estas próprias expressões.”

Sistemas de Produção

- Um computador é um *sistema de símbolos físicos*, como o cérebro humano e exibe propriedades iguais as do ser humano, cujo comportamento ele foi programado para simular.
 - Memória de longo prazo → Conjunto de regras
 - Memória de curto prazo → Memória de trabalho
 - Processador cognitivo → Interpretador
- Hipótese do Sistema de Símbolos Físicos
 - Um sistema de símbolos físicos tem os meios necessários e suficientes para a ação inteligente em geral

Sistemas Especialistas

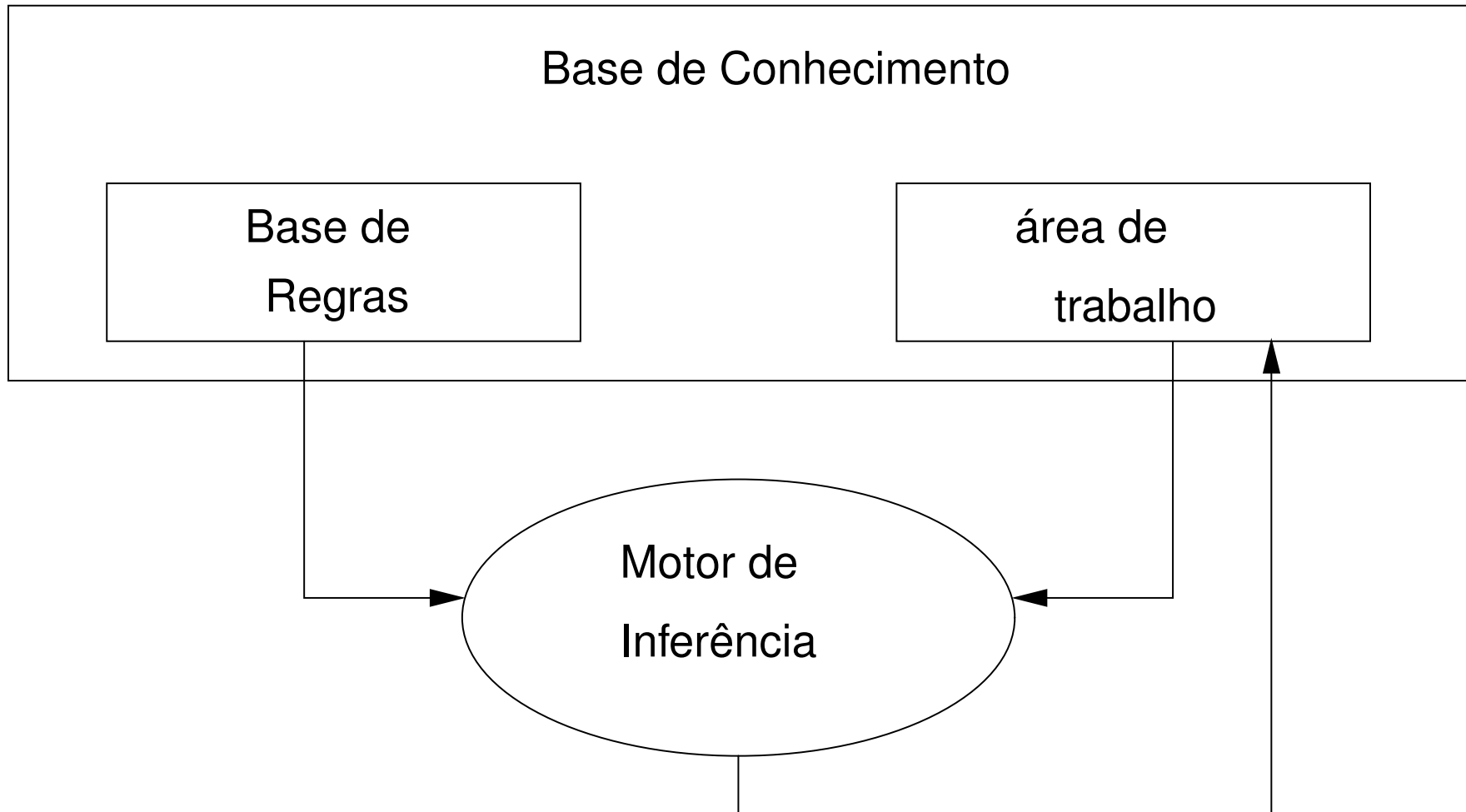
- E. Feigenbaum - 1970 - Palestra na Carnegie-Melon
 - lança o desafio de desenvolver soluções para problemas do mundo real
 - apresenta informações sobre o DENDRAL
 - Sistemas Especialistas
 - Regras como método de representação de conhecimento
 - Objetivo: reproduzir o comportamento de especialistas humanos na resolução de problemas de um domínio específico no mundo real

“an expert system is an intelligent computer program that uses knowledge and inference procedures to solve problems that are difficult enough to require significant human expertise for their solution.”

E. Feigenbaum, 1982

Sistemas Especialistas

Arquitetura de um Sistema Especialista



Arquitetura de um Sistema Especialista

- Base de Conhecimento
 - Área ou Memória de Trabalho
 - memória volátil que muda constantemente durante a operação do SE
 - no modelo de Post: seqüência de caracteres
 - no modelo generalizado: qualquer tipo de estrutura de dados (respeitando um **método de representação de conhecimento**)
 - Base de Regras
 - “perguntas” à memória de trabalho
 - no modelo de Post: comparação de caracteres
 - no modelo generalizado: variáveis a serem instanciadas, testadas ou comparadas

Arquitetura de um Sistema Especialista

- Motor de Inferência
 - emula a habilidade de tomada de decisão (metodologia e atuação) de um especialista humano
 - controla a atividade do sistema através de ciclos
 1. Correspondência de dados: seleção das regras que satisfazem a descrição da situação atual
 2. Resolução de conflitos: escolha das regras que realmente serão executadas
 3. Ação: execução das regras, modificando a memória de trabalho
 - O ciclo se repete até que nenhuma regra possa ser disparada ou até que todos os objetivos tenham sido testados

Ciclo do Motor de Inferência

- Correspondência de dados
 - uma regra é considerada aplicável se há valores na memória de trabalho corrente para todas as variáveis da regra
 - busca em espaço de estados
- Resolução de conflitos
 - pode-se disparar uma ou mais regras
 - a escolha da(s) regra(s) é feita aplicando-se estratégias para resolução de conflito
 - sistemas implementam mais de uma estratégia

Ciclo do Motor de Inferência

- Estratégias para resolução de conflitos:
 - Seleção ao acaso - escolha aleatória de uma regra
 - Seleção por ordenação - escolhe a primeira regra aplicável em ordem de apresentação na base de regras (Prolog). Problema: este tipo de seleção deve ser levada em conta quanto da construção da base de regras.
 - Seleção por especificidade - seleciona a regra cujas condições são mais específicas. Uma condição é dita *mais específica* se satisfaz mais itens da memória de trabalho.
 - Seleção por tempo decorrido - seleciona uma regra aplicável baseado no quanto recentemente ela foi utilizada ou seleciona uma regra que casa com a última atualização da memória de trabalho.

Ciclo do Motor de Inferência

- Estratégias para resolução de conflitos:
 - Seleção por não repetição - não seleciona uma regra que já tenha sido usada com os mesmos valores da memória de trabalho (evita loops).
 - Seleção por prioridades estáticas - escolhe a regra que tem maior prioridade. Esta prioridade é setada estaticamente durante a inclusão da regra na base de regras.
 - Seleção por confiabilidade - escolhe a regra mais confiável. O grau de confiabilidade pode ser atribuído pelo especialista no momento de concepção da regra.

Ciclo do Motor de Inferência

- Ação: modos de raciocínio
 - Raciocínio guiado por objetivos (encadeamento para trás ou regressivo)
 - idéia: partindo de um objetivo, encadear regras até encontrar fatos que admitam a prova
 - Problemas típicos: diagnóstico
 - Raciocínio guiado por dados (encadeamento para frente ou progressivo)
 - idéia: aplicar *Modus Ponens*, acrescentando novas sentenças a memória de trabalho, até não ser mais possível fazer nenhuma inferência adicional
 - Problemas típicos: planejamento, projeto, classificação, predição

Modos de Raciocínio

- Guiado por objetivos ou Encadeamento para trás
 - A expressão-objetivo é colocada inicialmente na memória de trabalho
 - O sistema tenta casar as *conclusões* das regras com o objetivo, selecionando uma regra e colocando suas *premissas* na memória de trabalho
 - No próximo passo as premissas tornam-se os objetivos a serem casados com conclusões de regras.
 - O processo continua de forma retroativa até que todos os objetivos na memória de trabalho sejam verificados, indicando quais hipóteses são verdadeiras.

Modos de Raciocínio

- Guiado por objetivos ou Encadeamento para trás
 - Corresponde ao processo de testes de hipóteses na solução humana de problemas
 - O processo pode ser feito pedindo informação ao usuário, sempre que o sub-objetivo não casa com nenhuma regra.
- Exemplo:
 - Objetivo: **problema = falta de combustível** (memória de trabalho)
 - Regra: Se **não carro pega e marcador de combustível marca vazio** então **problema = falta de combustível**
 - Perguntas ao usuário:
 - O carro pega? (sim/não)
 - O marcador de combustível marca vazio? (sim/não)

Modos de Raciocínio

- Guiado por dados ou Encadeamento para frente
 - A parte esquerda da regra (premissa) é comparada com a descrição da situação atual (dados), contida na memória de trabalho
 - A regra que satisfaz a descrição tem a sua parte direita (conclusão) executada (procedimentos e/ou inclusão de novos fatos na memória de trabalho)
 - ações possíveis: adicionar um dado, remover um dado ou modificar um dado
 - No próximo passo as conclusões tornam-se dados a serem casados com premissas de regras
 - O processo continua até que nenhuma regra possa ser disparada
- Menos intuitivo para os seres humanos

Modos de Raciocínio

- Guiado por dados ou Encadeamento para frente
- Exemplo:
 - Dados: **prato = massa e prato = carne ao molho madeira** (memória de trabalho)
 - Regra1: Se **prato = massa e prato = carne ao molho madeira** então **sabor = forte**
 - Regra2: Se **sabor = forte** então **vinho = tinto seco**

Onde usar Sistemas Especialistas

- Sistemas Especialistas (SEs) baseados em regras de produção se adaptam a domínios com as seguintes características:
 - mal estruturados
 - bem delimitados
 - os fatos que descrevem o conhecimento são parcialmente independentes
 - os métodos de solução são constituídos por ações independentes
 - há uma separação nítida entre conhecimento e ação

Aplicações

- Interpretação: formar conclusões de alto nível a partir de dados brutos observados
- Predição: prever conseqüências prováveis de situações disponíveis
- Diagnóstico: determinar a causa do mau funcionamento com base nos sintomas observáveis, sugerindo o tratamento
- Configuração: encontrar uma configuração de componentes do sistema que alcance os objetivos de desempenho e, simultaneamente, satisfaça as restrições do projeto.
- Planejamento: estabelecer uma seqüência de ações que alcançarão um conjunto de objetivos, dadas certas condições iniciais e restrições

Aplicações

- Monitoramento: comparar o comportamento observado de um sistema com o seu comportamento esperado, avaliando o desempenho
- Instrução: dar assistência ao processo de educação em domínios técnicos
- Controle: controlar o comportamento de um sistema, pode incluir “subsistemas” para interpretação, monitoramento, diagnóstico, planejamento, etc.

Ou seja, SE podem ser aplicados a vários domínios de conhecimento, tais como:

- medicina, matemática, engenharias, química, geologia, computação, economia, direito, educação, administração, etc.

Vantagens e Desvantagens dos SEs

- Automação
 - Disponibilidade
 - Redução de custos
 - Permanência
 - Explicação
 - Respostas rápidas
 - Estável, não emocional
 - Fornece respostas completas

Vantagens e Desvantagens dos SEs

● Desenvolvimento de SW

- Modularidade - regras independentes, fácil modificação/inclusão de novas regras
- Alta granularidade - estrutura de controle simples, sem hierarquia
- Naturalidade - uso de linguagem natural
- Desenvolvimento seqüencial (ciclo de vida em cascata)
- Ineficiência em tempo de execução (correspondência de dados)
- Complexidade do fluxo de controle que leva à solução do problema

Primeiros Sistemas Especialistas

- Dendral (1971) - Stanford
 - Domínio: química orgânica
 - Objetivo: inferir as estruturas moleculares de moléculas desconhecidas a partir da espectrometria de massa das ligações químicas presentes na molécula
 - Integração de 3 programas (Heuristic Dendral, Meta-Dendral e Congen) - 2 deles baseados em regras

Primeiros Sistemas Especialistas

- MYCIN (1976) - medicina
 - Objetivo: prover conselhos a respeito de diagnósticos e terapias de doenças infecciosas (bacteremia, meningite e cistite infecciosa)
 - 450 regras na base de regras

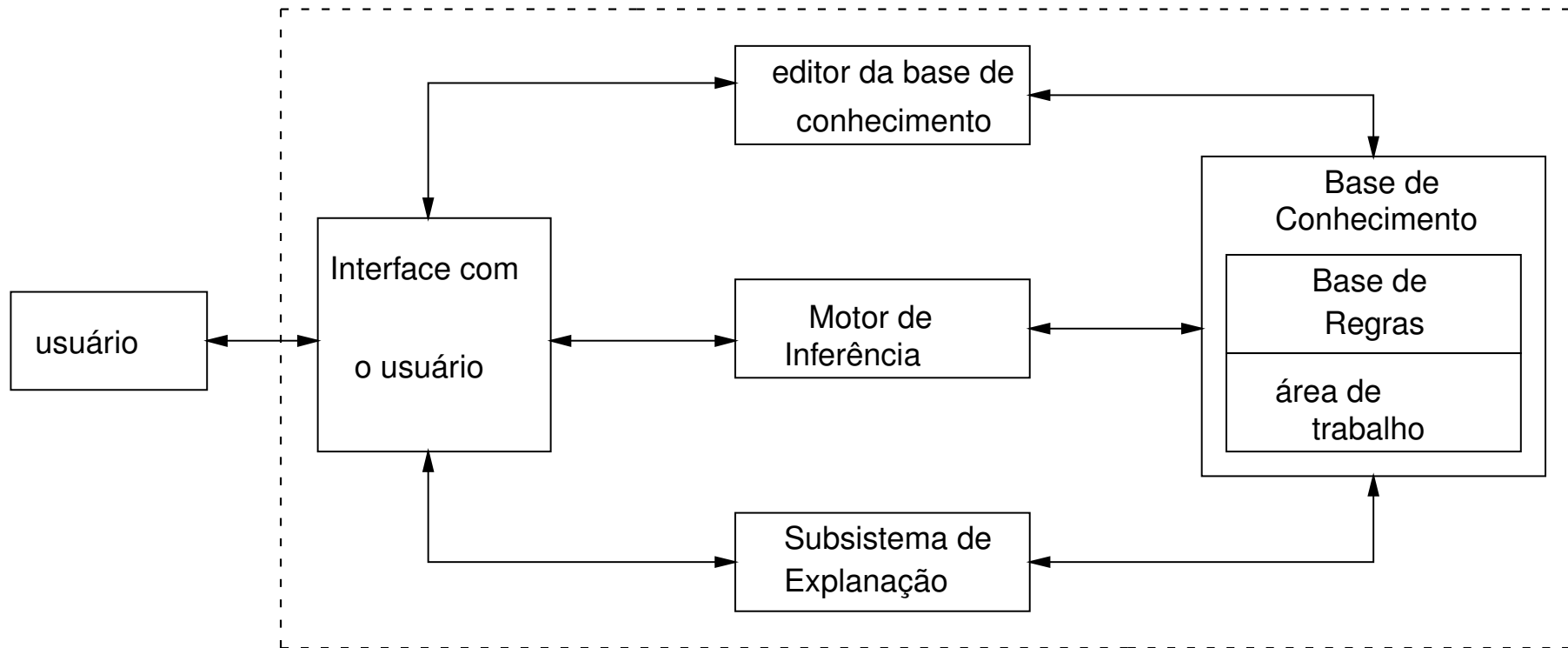
Primeiros Sistemas Especialistas

- PROSPECTOR (1978) - extração de minerais
 - Objetivo: determinar a correspondência entre dados de entrada (observações geológicas de superfície) e modelos que descrevem os tipos mais importantes de depósitos minerais
 - O conhecimento geológico é armazenado em uma rede semântica
 - A construção de modelos é auxiliada por uma rede taxonômica que correlaciona classe/elemento ou classe/subclasse dos minerais
- XCON/R1 (1982) - configuração de computadores
 - Redução significativa no tempo de configuração de um pedido
 - Extremamente lucrativo (chegando a uma acurácia de 98% contra 70% dos especialistas humanos)

Sistemas Especialistas

- A chave para o bom desempenho de um SE está no conhecimento armazenado em sua Base de Conhecimento
- Este conhecimento deve:
 - ser obtido junto a um especialista humano do domínio
 - ser representado de acordo com regras formais
- O que é necessário:
 - uma ferramenta que define o formato do conhecimento, da memória de trabalho e das regras e outros aspectos operacionais (arcabouço de SE)
 - conhecimento do domínio (aquisição de conhecimento)

Arcabúços de SE



Arcabúços de SE

- Interface com o usuário: simplifica a comunicação do usuário com o sistema. Pode ser do tipo pergunta e resposta, orientada a menu ou gráfica.
- Editor da base de conhecimento: ajuda o programador a localizar e corrigir erros, bem como na inclusão ou remoção de conhecimento da base.
- Subsistema de explanação: permite que o programa explique o raciocínio ao usuário, justificando suas decisões (necessidade de mostrar o caminho pelo qual se chegou a solução)
- Base de Conhecimento: contém o conhecimento acerca do domínio de aplicação.
- Área de trabalho: contém as informações sobre a consulta atual os fatos, conclusões e outras informações importantes.
- Motor de Inferência: mecanismo de controle do sistema que avalia e aplica as regras de acordo com as informações da memória de trabalho

Aquisição de Conhecimento

- Área da Engenharia do Conhecimento
 - processo de compreender e organizar o conhecimento de várias fontes
- parte mais sensível no desenvolvimento de um SE
- A dificuldade advém da falta de uma metodologia eficiente, confiável e padrão para extração e organização do conhecimento das várias fontes
- exemplo (mau):
 - irrigador → grama molhada
 - grama molhada → chuva
 - irrigador → chuva (?)

Aquisição de Conhecimento

- Responsabilidade do Engenheiro de Conhecimento
 - agente responsável por todas as atividades de construção de um SE
 - deve ter conhecimento:
 - do domínio de aplicação
 - de técnicas de análise e projeto de sistemas e de IA
 - de estratégias para a aquisição do conhecimento (psicologia)
 - além disso precisa:
 - ter habilidade verbal avançada (usar linguagem adequada e coerente com o domínio)
 - ter habilidades interpessoais (ser amável, desenvolver empatia pelo especialista, ser paciente e tolerante)
 - se demonstrar interessado pelo domínio de aplicação
 - não deve apontar as inconsistências do especialista diretamente, fazendo uso de estratégias para elucidá-las

Aquisição de Conhecimento

Fontes de Conhecimento:

- documentadas
 - livros e manuais
 - documentários (filmes)
 - gráficos, diagramas
- não documentadas
 - conhecimento empírico do especialista humano

Técnicas de Aquisição de Conhecimento

- Técnicas Manuais
 - são as mais utilizadas
 - fundamentam-se na psicologia e análise de sistemas
 - o Eng. de Conhecimento usa o conhecimento adquirido em fontes documentadas nas entrevistas com o especialista (vocabulário, jargões, etc.)
 - uso de gravadores, filmadoras e questionários para coletar as informações
 - o Eng. de Conhecimento acompanha o processo de raciocínio do especialista em casos reais (anteriores ou *in loco*)

Técnicas de Aquisição de Conhecimento

● Técnicas semi-automáticas

- geralmente são utilizadas em conjunto com as técnicas manuais
- ideia: utilização de ferramentas computacionais que auxiliam o engenheiro de conhecimento a codificar a BC.
- acelera o processo de construção da BC, permitindo que o engenheiro e o especialista tenham respostas mais rápidas, pois à medida que a Base vai sendo construída ela pode ser testada, detectando prematuramente possíveis erros.

● Técnicas automáticas

- processo pelo qual o conhecimento é adquirido automaticamente
- exemplos: mineração de dados, aprendizado de máquina, etc.

Problemas da fase de AC

- dificuldade do especialista em verbalizar seu conhecimento (conhecimento tácito)
- despreparo do Eng. de conhecimento
- o especialista sente medo ou pensa estar sendo avaliado
- dificuldade em comprometer o especialista com o SE (pelo fato de serem profissionais extremamente valiosos e requisitados)
- conhecimento que aflora em situações reais
- amostragem (quantos casos devem ser estudados ou presenciados)
- comunicação entre especialista, eng. do conhecimento e programador

SE: Considerações Finais

- Representação de Conhecimento
 - o formalismo escolhido deve ser suficientemente expressivo (lógica)
 - facilidade de uso
 - hoje: suporte a um único formalismo de representação
 - formalismos híbridos (?)
 - conhecimento incerto
 - hoje: medida numérica que representa a “confiança” do especialista
 - Lógica nebulosa ou método Bayesiano (?)

SE: Considerações Finais

- Aquisição de Conhecimento
 - difícil de adquirir, atualizar (inconsistências - necessidade de integrá-lo à base)
 - hoje: uso de técnicas manuais
- Manutenção
 - necessidade de atualização constante (um SE não aprende sozinho)
 - dificuldade para atualizar (pouco tempo do especialista humano)

Construindo um SE

Processo (para um SE médico para escolha de tratamento):

- Crie um modelo causal
 - Determine quais são os sintomas possíveis, as doenças, os tratamentos e os resultados.
 - Desenhe arcos entre eles, indicando que doenças causam cada um dos sintomas e que tratamentos aliviam os sintomas de cada doença
- Simplifique até chegar a um modelo de decisão qualitativa
 - Remover variáveis que não estão envolvidas em decisões de tratamento (podem ser divididas, reunidas para corresponder as intuições do especialista)

Construindo um SE

- Atribua probabilidades
 - as probabilidades podem vir de BD de pacientes, de estudos encontrados na literatura ou de avaliações subjetivas do especialista
- Verifique e refine o modelo
 - Executar testes com casos (conhecidos)
- Execute a análise de sensibilidade
 - verifica se a melhor solução é sensível a pequenas mudanças nas probabilidades.
 - Se pequenas mudanças levam a decisões significativamente diferentes, talvez compense gastar mais recursos para reunir dados melhores.
 - Se todas as variações levarem à mesma decisão, o usuário terá mais confiança em que essa é a decisão correta

Referências Bibliográficas

- G. Bittencourt, *Inteligência Artificial: Ferramentas e Teorias*, 3ª Edição, Editora da UFSC, Florianópolis, SC, 2006 (cap. 5)
- J. Giarratano and G. Riley, *Expert Systems: Principles and Programming*, PWS Publishing Company, Boston, MA, 1993 (cap. 1,6 e 7)
- R. Brachman and H. Levesque, *Knowledge Representation and Reasoning*, Elsevier, 2004 (cap. 7)
- E. Rich and K. Knight, *Artificial Intelligence*, 2ª Edição, McGraw-Hill, 1991 (cap. 1)
- H. Gardner, *A Nova Ciência da Mente*, Editora EDUSP, 2003 (cap. 3)
- Notas de aula:
 - Prof. Guilherme Bittencourt - <http://www.das.ufsc.br/~gb/>