INE5633 Sistemas Inteligentes

Prof. A. G. Silva

19 de agosto de 2014

Principais linhas de pesquisa

- **Simbólica:** comportamento inteligente global é simulado, sem considerar os mecanismos responsáveis
- **Conexinista:** inspirada em neurônios biológicos, conectividade, aprendizagem
- **Evolutiva:** da evolução biológica (método de otimização com restriçõe variáveis ou desconhecidas)

Abordagens históricas

- **Clássica (1956-1970)**
  - Objetivo: simular a inteligência humana
  - Métodos: solicionadores gerais de problemas e lógica
  - Motivo do fracasso: subestimação da complexidade computacional dos problemas
- **Romântica (1970-1980)**
  - Objetivo: simular a inteligência humana em situações pré-determinadas
  - Métodos: formalismos de representação de conhecimento adaptados ao tipo de problema, mecanismos de ligação procedural visando maior eficiência computacional
  - Motivo do fracasso: subestimação da quantidade de conhecimento necessária para tratar mesmo o mais banal problema de senso comum
- **Moderna (1980-1990)**
  - Objetivo: simular o comportamento de um especialista humano ao resolver problemas em um domínio específico
  - Métodos: sistemas de regras, representação da incerteza, conexionismo
  - Motivo do fracasso: subestimação da complexidade do problema de aquisição de conhecimento

Resolução de problemas

- **Aplicações**
  - Coleta de informações
  - Linguagem natural
  - Interpretação de regras
  - ...
- **Noções iniciais de problemas**
  - Problema: Escopo? Objetivos?
  - Exemplo: Jogo de xadrez – Estado inicial do tabuleiro! Movimentos permitidos! Situações que representam vitória!
  - Procedimento: prosseguir de forma coerente e genérica para quaisquer situações dentro do problema, evitando um número muito elevado de especificações
  - Solução para problemas como o jogo de xadrez: **espaço de estados**
  - Cada estado corresponde à situação atual do problema e movimentações entre estados feitas à procura da solução ótima
  - ...

Representação de problemas

- Descrição de um problema a ser resolvido
- Identificação de sua natureza – caminha ótimo ou estado desejado
- Modelo de resolução com base em um problema real
- Decisão sobre a metodologia de resolução, a partir de uma avaliação da situal atual descrita
- Formulação de um objetivo a partir de um conjunto de dados que satisfaçam o problema
- Decisão sobre as ações e estados a considerar na resolução
- Formulação da abstração, conservando apenas informações pertinentes

Resolução de problemas

- Realização da varredura (busca) da solução examinando várias sequências de ações possiveis
- Estratégia de controle para que a busca econtre uma solução **satisfatória**
- Formação do espaço de soluções admissíveis (regras para iniciar com um elemento neste espaço e obter outro elemento no espaço de resultados)
- Controle que especifica a operação a ser aplicada, em momento oportuno, para obtenção da solução

Formalismos

- Abordagem axiomática para a formulação e resolução de problemas
- Problemas podem ser vistos como sistemas com algum grau de formalização
- Propriedades de formulação e geração de respostas
- **Definição de um sistema formal**
  - Conjunto de elementos abstratos, sob um contexto, manipulados por regras puramente sintáticas que geram outras instâncias sob este conjunto de símbolos
  - Representação de um certo aspecto da realidade, com base em uma representação abstrata

Requisitos de um sistema formal

- Um sistema formal típico é representado pela quádrupla:

$$\Psi_{SF} \; = \; (\; \{W_i\} \; , \Sigma \; , \; \{Axiomas\} \; , \; \{Regras\} \;)$$

- Os três tipos mais conhecidos de sistemas formais são:
  - **Geradores:** produção de palavras, somente a partir dos axiomas
  - **Reconhecedores:** – admitem outras palavras como entradas e verificam se pertencem ou não ao sistema formal, sem produzir palavras de saída
  - **Transdutores:** transformam palavras de entrada em palavras de saída

Resumo de um sistema formal

- Um conjunto de *símbolos* finito, chamado de alfabeto: Σ
- Um procedimento para formação de *palavras* W_i do sistema, a partir de Σ
  1. As palavras $W_i \subset \Sigma^*$, onde Σ^* é o conjunto de todas as palavras possíveis de serem geradas por meio de aplicação das regras de dedução do sistema formal sobre Σ, inclusive a palavra vazia
  2. Um conjunto de *axiomas*, todos como palavras do sistema. Não há regras sobre um conjunto de axiomas. Estes podem ou não serem palavras deriváveis do próprio sistema
  3. Um conjunto de *regras de dedução*, nas quais novas palavras podem ser deduzidas de um conjunto finito. Por exemplo:

$$U_1 \;\&\; U_2 \;\&\; \cdots \;\&\; U_p \;\rightarrow\; W_1 \;\&\; W_2 \;\cdots\; \&\; W_n$$

     onde U_i e W_j são palavras do sistema; a fecha $\rightarrow$ significa que o conjunto W_j pode ser derivado de U_i; o operador &, neste caso, é a concatenação entre duas palavras (exemplo: $ab\&ba \equiv abba$)

Definições complementares I

- Um sistema formal é também conhecido por *sistema axiomático* ou por uma *teoria*
- O procedimento de formação de palavras é definido por um estrutura sintática ou *gramática* de palavras, se configurando em *sentenças bem-formadas* de símbolos (uma vez que deduções foram realizadas e novas palavras são admitidas pelo sistema)
- Uma *prova* é um sequência finita de palavras W_0, W_1, ..., W_r, no qual cada palavra W_i encontrada é um axioma ou foi deduzida de uma palavra precedente W_j. A obtenção de W_j a partir de W_i é representada por $W_i \vdash W_j$, tal que $i < j$. A nova palavra W_j obtida a partir de W_i foi derivada por meio de regras operacionais válidas para o sistema em questão (um exemplo desta definição são os sistemas lógicos)

Definições complementares II

- Um *teorema* é uma palavra "w" para a qual existe uma prova tal que $W_r \rightsquigarrow w$, expresso por $W_r \vdash w$. Um teorema pode ser entendido como uma sucessão de fórmulas validas geradas a partir de outras fórmulas com aplicações das regras inferenciais e equivalências lógicas. Ou seja, uma secessão de palavras, geradas pelo sistema: $W_0 \vdash W_1 \vdash W_2 \vdash \cdots \vdash W_r \vdash w$. Por definição, todo axioma é um teorema.
- Uma *regra de dedução* tambem é chamada de regra de *derivação* ou de *inferência*. Em um princípio de hierarquia, uma palavra arbitrária (sequência de símbolos) pode ou não ser derivável como um teorema:

$$\text{teorema} \subset \text{palavras} \subset \text{sequência de símbolos}$$

Definições complementares III

- As *regras* são de dois tipos:
  - **Produção:** atuam sobre as palavras, considerando-as como entidades completas ou inteiras, e gerando novas formações
  - **Reescrita:** atuam sobre partes das palavras, gerando uma palavra conhecida pelo sistema, onde $w \subseteq \Sigma^*$. As regras são aplicadas da esquerda para a direita. $a \rightarrow b$, leia-se "a leva a b". Exemplo: em relação à expressão aritmética "$x - x = 0$", sob a forma de regra, uma expressão do tipo "$x - x \rightarrow 0$" é consistente tanto do lado esquerdo como do lado direito.

Exemplo de sistema formal

- Em um sistema formal Σ_{SF}, com as definições abaixo:
  1. **Alfabeto:** $\Sigma = \{a, b, \Box\}$;
  2. **Palavras:** qualquer sequência válida que tenha apenas símbolos do alfabeto
  3. **Axiomas:** $a\Box a$ (apenas um)
  4. **Regras de produção e reescrita para formação de palavras:**
     - **Regra #1 (de produção):** $X\Box Y \rightarrow bX\Box Yb$
     - **Regra #2 (de produção):** $X\Box Y \rightarrow \Box$
     - **Regra #3 (de reescrita):** $\Box \rightarrow a\Box a$
- As letras X e Y não são símbolos do alfabeto deste sistema, sendo normalmente conhecidas como *variáveis*, uma vez que podem substituir os símbolos a ou b ou $\Box$. O simbolo $\Box$ possui o mesmo valor sintático de a ou b, embora possa ser um operador deste sistema, com regras especificas de reescrita do tipo: $a\Box a \rightarrow aa$; $a\Box b \rightarrow bb$; $b\Box a \rightarrow bb$; ...

Exemplo: verificar se a palavra $b^7a\square ab^7$ pertence ao sistema

- Considere como palavra de partida o axioma "$a\square a$" e busque uma derivação valida, como a seguir:

$$a\square a \xrightarrow{\#1} ba\square ab$$

$$ba\square ab \xrightarrow{\#1} bba\square abb$$

$$\xrightarrow{\#1} \ldots \xrightarrow{\#1}$$

$$\underbrace{bb\ldots b}_{6}\, a\square a\, \underbrace{b\ldots bb}_{6} \xrightarrow{\#1} \underbrace{b\ldots bba}_{7}\, a\square a\, \underbrace{b\ldots bb}_{7}$$

- Notação: $a\square a \overset{*}{\vdash} b^7a\square ab^7$

Exemplo: dada a palavra $b^7 a\Box ab^7$, é possível encontrar o simbolo $\Box$

- Neste caso, há uma proposta contrária a anterior
- Uma sequência de regras que é uma das soluções ao problema é dada por:

$$b^7 a\Box ab^7 \xrightarrow{\#2} b^7\Box b^7$$
$$b^7\Box b^7 \xrightarrow{\#2} b^6\Box b^6$$
$$\xrightarrow{\#2} \dots \xrightarrow{\#2}$$
$$b\Box b \xrightarrow{\#2} \Box$$

Exemplo: os axiomas seriam demonstráveis entre si?

- Uma palavra, por especulação de um axioma, por exemplo $a\square a$, é derivável?
- Em outras palavras, este axioma, que é uma verdade pressuposta do sistema, é derivável a partir de si próprio?
- Solução:

$$a\square a \xrightarrow{\#2} \square$$

$$\square \xrightarrow{\#3} a\square a$$

- Logo, este axioma é consistente em seu sistema
- Contudo, é importante notar que há palavras como "$bba\square bbb$" ou "$bba\square bba$" que não podem ser derivadas deste sistema
- Há muitas palavras não verdadeiras neste sistema

Considerações sobre formalização

- A formalização apresentada é típica para sistemas computacionais em geral (redutíveis a um tratamento de símbolos)
- Exemplo: regras de tradução em varias fases do projeto de construção de compiladores
- A resolução de problemas em IA tende a se resumir em manipulações de símbolos, sob rigor matemático

Atividade final

- Linguagem adequada de processamento simbólico com paradigma lógico: PROLOG
- Acessar o site da linguage http://www.swi-prolog.org/
- Efetuar pequenos testes iniciais