

A UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS PERICIAIS EM ENGENHARIA CIVIL

L.M.C.SIMÕES (I)

SUMARIO: Nesta comunicação pretende-se fazer a abordagem das potencialidades e limitações de regras de produção, redes de inferência, redes semânticas e o desenvolvimento de sistemas integrados de inteligência artificial. Com base nestes conceitos, pode-se construir sistemas periciais dirigidos ao planeamento, projecto, diagnóstico e monitorização de resultados. Como exemplo de aplicações na indústria da construção, apresenta-se o programa SISMICO que se baseia numa rede de inferência e está escrito no utilitário "Decision Factor" que corre num IBM-PC compatível.

1. INTRODUÇÃO

Programas de computador convencionais são escritos de uma forma tal, só permitindo aos programadores que os possam compreender. Se um utilizador parar a execução de um programa e examinar o código, obtém com dificuldade informações que lhe permitam ter um quadro bem definido do que está a acontecer.

Os sistemas periciais comportam-se de um modo diferente: São altamente interactivos, permitindo ao utilizador parar em qualquer altura, perguntar porque lhe estão a ser feitas determinadas perguntas e a que conclusão é que se chegou com as respostas dadas. O próprio sistema pericial faz recomendações finais que embora possam não ser correctas, são as mais plausíveis em face das respostas dadas pelo utilizador. No quadro a seguir indicado estão representadas as diferenças mais significativas entre a programação convencional e simbólica.

PROGRAMAÇÃO CONVENCIONAL

Algoritmos
Base de dados com acesso numérico
Orientado para processamento numérico
Processo de "batch" sequencial
Explicação durante o cálculo não é possível

PROGRAMAÇÃO SIMBOLICA

Heurística
Base de conhecimento estruturada em símbolos numa memória de trabalho global
Orientado para processamento simbólico
Processo altamente interactivo
Explicação durante a execução é fácil

Quadro 1

(I) Eng.º Civil, Professor Associado
Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra

A utilização de técnicas de inteligência artificial tem em vista o desenvolvimento de metodologias que permitam aos computadores prestarem auxílio na forma de analisar problemas e tomar decisões. Estas técnicas, denominadas sistemas periciais com base no conhecimento, tem surgido em vários domínios tais como o planeamento e gestão de unidades industriais de fabrico de aviões, diagnóstico de doenças, localização de depósitos minerais, auxiliares de ensino, organização de estaleiros, interpretação de dados de ensaios geológicos, avaliação económica de propriedades.

2. HISTORIA RECENTE DOS SISTEMAS PERICIAIS

Apesar da história dos sistemas periciais não ter mais de trinta anos já se podem considerar três gerações com características distintas. Na primeira fase tentaram-se descobrir sistemas que tivessem capacidade para resolver problemas genéricos tal como faz um ser humano. Contudo, o nosso raciocínio é tão complexo que este tipo de investigação foi abandonada.

Numa segunda geração foram analisados problemas específicos, recorrendo-se de bases de dados, como é o caso dos programas de diagnóstico médico ou da prospecção de jazigos minerais. Actualmente vive-se num período de lançamento de "software" que permita a qualquer utilizador desenvolver o seu próprio sistema pericial. Esse tipo de "software" é caracterizado pelo esquema indicado na figura 1.

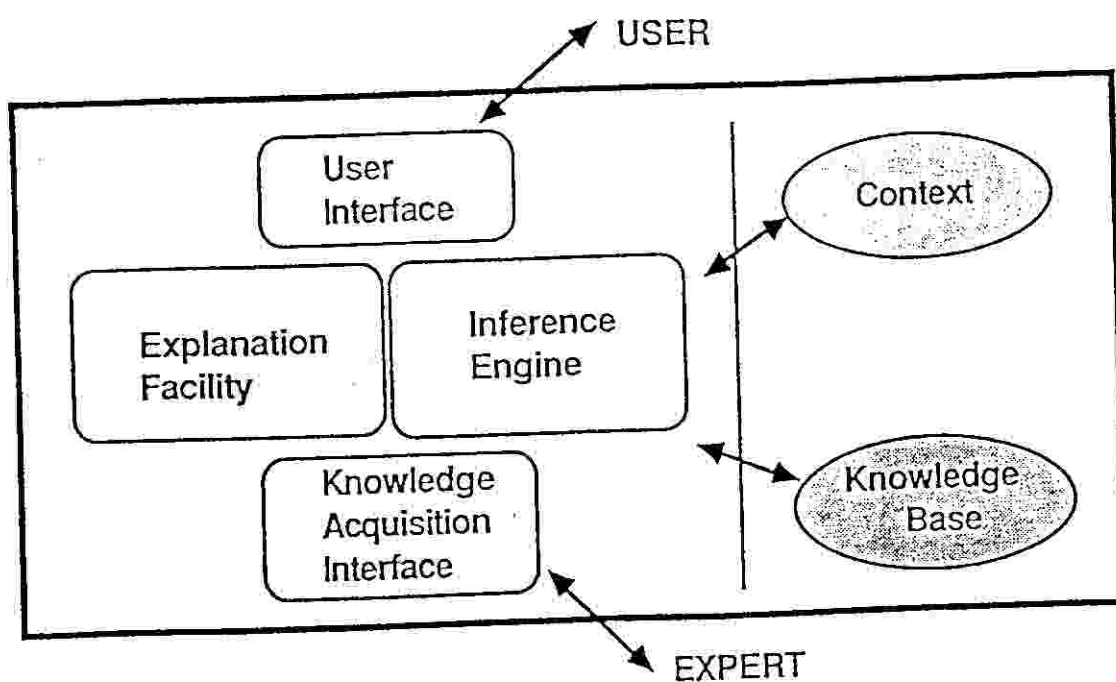


Figura 1

2-1. Linguagens

Em lugar da álgebra linear da programação convencional são definidas operações dentro do contexto do programa. As instruções operam não com números, mas com palavras. Pode ser utilizada qualquer tipo de linguagem semelhante a uma língua natural.

2-2. Enquadramento das aplicações

No caso do diagnóstico médico utiliza-se o raciocínio do especialista, reduzindo-se a um conjunto

de perguntas cujas respostas conduzem às possíveis enfermidades. Os sistemas periciais podem ser também utilizados para comparar as disparidades entre os resultados obtidos por diferentes programas de elementos finitos, permitindo chegar a um conjunto de conclusões sobre qual (ou quais) são os programas mais indicados para um determinado tipo de análise.

Em resumo, pode dizer-se que a construção do sistema pericial consiste em apreender a estratégia sob a forma de perguntas.

2-3. Linguagens de representação

Este tipo de linguagens, e além de palavras utiliza símbolos com os quais são realizadas operações. Deste modo, a informação numérica pode ser assimilada sob a forma de símbolos. Por exemplo, para o planeamento de uma obra o avanço de cada uma das tarefas pode ser traduzida por um contador com luzes de aviso.

É previsível, face à diminuição do custo do equipamento informático aliada às suas potencialidades crescentes que se caminhe para ambientes de inteligência artificial em que se possam colocar folhas de cálculo. As bases de dados relacionais a utilizar terão de ser integradas no sistema e o acesso de dados - ou factores particulares, respostas - tem de ser automatizado através das regras da base de conhecimento, que caracteriza o sistema pericial.

3. SISTEMAS PERICIAIS BASEADOS EM REGRAS DE PRODUÇÃO

À partida define-se o estado de que se parte e as operações lógicas. A partir do estado inicial pretende-se atingir o objectivo passando por estados intermediários.

As regras consistem em como se pode ou não passar de um estado *i* para o estado *j*. Por exemplo: Num jogo de xadrez cada posição do tabuleiro que pode ser atingido por um movimento de acordo com as regras do jogo é um estado. Cada um desses possíveis movimentos é uma regra para cada um dos estados que se vão modificando.

Num sistema pericial deste tipo pode ter-se:

ESTADO INICIAL	ESTADOS INTERMÉDIOS	ESTADO FINAL
Hipótese a ser testada	Varrer os diversos caminhos possíveis para testar as hipóteses mais elementares	Valor conhecido para a hipótese

ou então,

DADOS	RESULTADOS INTERMÉDIOS	EFEITO DESSE NOVO DADO
-------	------------------------	------------------------

A vantagem de um sistema deste tipo é que permite chegar a conclusões percorrendo as várias ligações entre regras. O espaço relativo a estados possíveis é variado até se chegar ao estado final.

Por exemplo,

Se $A \Rightarrow B$ e A for verdadeiro, conclui-se que B é verdadeiro.

A sintaxe utilizada inclui os operadores lógicos:

SE, OU, ENTÃO, DOUTRO MODO

3-1. Sistemas de regras simples

Neste tipo de sistema pericial os factos não-estruturados são ligados por palavras e não através da gramática. Assim, um Estado conduz a um Efeito, ou seja:

SE "facto A" (palavra) E "facto B" (palavra) ENTÃO "facto C" (palavra)

Os factos não têm sintaxe interna específica.

3-2. Factos estruturados

A cada facto (palavra) é atribuído um valor, ou seja:

"facto" ≈ O atributo DO objecto É valor
≈ A COR DO CÉU É AZUL

3-3. Factores de certeza

São utilizados para manipular a informação: Os factos são verdadeiros ou falsos com uma certa incerteza (factor de certeza fc):

SE facto A ENTÃO facto B é certo com factor de certeza fc

3-4. Mecanismo de Inferência

Um mecanismo de inferência e a estrutura que controla a ligação entre as regras. Os mecanismos mais comuns são designados cadeia anterior e cadeia posterior, respectivamente.

Definem-se quais os objectivos sobre o qual se pretende ter qualquer informação e o conhecimento é hierarquizado. A ordem segundo a qual as regras são executadas pode ser qualquer.

EXEMPLO DE CADEIA POSTERIOR

REGRAS	FACTOS INDICADOS PELO UTILIZADOR	FACTOS DEDUZIDOS
(1) Se A, B então C	H ?	G ? A ?
(2) Se A então G		G verdadeiro/falso
(3) Se A, D então E	A verdadeiro/falso	H verdadeiro/falso
(4) Se C, E então F		
(5) Se G então H		

Pretende-se apurar da veracidade de um facto. O sistema varre as relações até se chegar aos factos iniciais que permitem validar ou não o facto que se pretende conhecer.

Para se saber se H é verdadeiro, a partir da regra (5) tem-se que H é verdadeiro se G também o for. De (2) G é verdadeiro se A também o for. Como não há quaisquer regras de que A depende é necessário o utilizador fornecer o valor de A. A partir daqui deduz-se se G e H são ou não verdadeiros.

Se várias regras conduzirem à mesma conclusão, analisam-se todas essas hipóteses dentro da árvore combinatória constituída por essas conclusões.

COMENTARIO

É possível introduzir incerteza no modelo através da manipulação dos factores de certeza.

Existem duas metodologias aplicáveis respectivamente à modelação de sistemas mecânicos (probabilidades Bayesianas) e humanos (método assintótico). Além disso é possível o recurso a conjuntos difusos.

4. REDES DE INFERENCIA

O tipo de regras para este tipo de sistema pericial parte do geral para problemas mais específicos. Tem uma estrutura simples em árvore, estando representada a ideia principal no nível mais elevado. No segundo nível encontram-se as ideias-chave e a um nível inferior, existem as ideias concorrentes para cada ideia-chave. Claro está que este tipo de modelos fica mais preciso à medida que se vão acrescentando mais níveis.

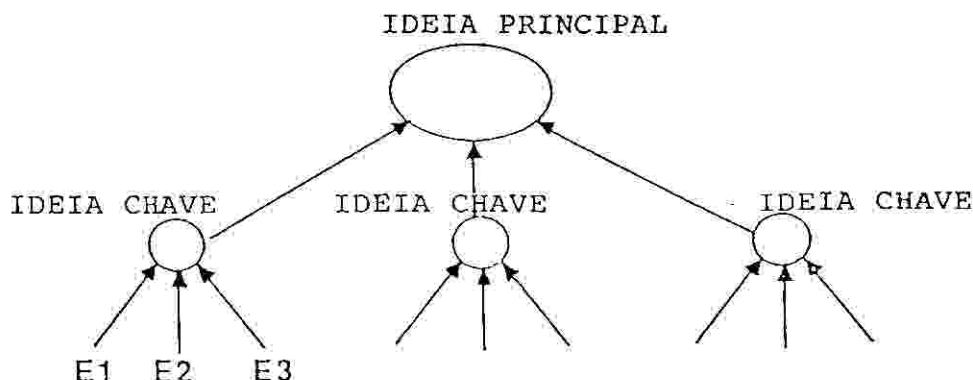


Figura 2

As ideias que necessitam de respostas de um nível inferior designam-se hipóteses. Ideias que não dependam doutras são chamadas factores. Em cada factor é feita uma afirmação a que o utilizador atribui um grau de confiança que vai variar desde Sim (maior valor positivo) até Não (valor mais negativo). A cada ideia é atribuído um peso que permite calcular a confiança associada a cada ideia.

As regras são do tipo:

SE "Facto" ENTÃO "Hipótese"

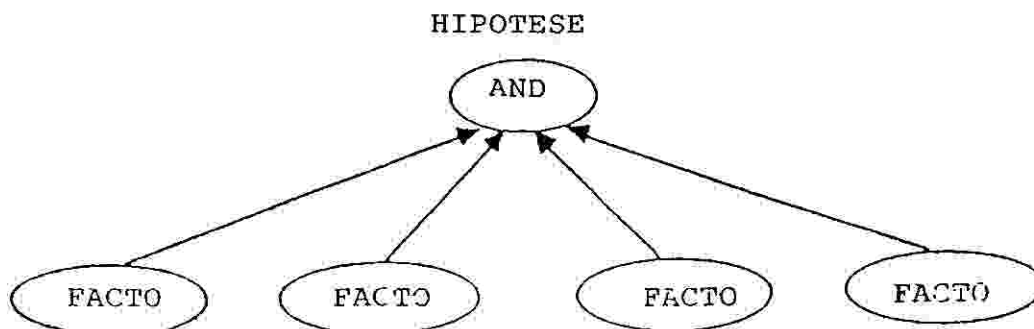


Figura 3

Outros operadores lógicos, tais como OU, E, DOUTRO MODO podem ser também utilizados.

4.1 Comparação entre redes de inferência e regras de produção

A semelhança entre os dois tipos de sistemas periciais reside no tipo de regras, que são idênticas em qualquer dos casos:

SE

ENTÃO

Enquanto a rede de inferência tem uma estrutura em árvore simples, todo o espaço é varrido nas regras de produção, o que conduz a um número muito superior de combinações possíveis. As ligações entre vários níveis são mais fáceis para sistemas periciais do tipo regras de produção.

Na rede de inferência não partem de cada nó mais de 3 a 8 ideias - número máximo de ideias que podem residir simultaneamente na memória de um cérebro humano - para não tornar o sistema demasiado pesado, o que permite utilizar o modelo com facilidade. Uma rede de inferência é mais difícil de actualizar em virtude das mudanças num lugar afectarem através dos pesos os resultados finais, mesmo que grande parte dos outros factores não sejam modificados.

No nível superior de uma rede de inferência existe um único objectivo que se está a avaliar. Claro está que esta estrutura simples pode ser modificada de modo a ser analisado mais do que um objectivo. Contudo, não são muitos os problemas que caem neste tipo de aplicações:

- Avaliação;
- Diagnóstico;
- Medicação;
- Reparação;
- Aprendizagem.

4-2. "Deciding Factor"

Trata-se de um utilitário que corre em IBM-PC que permite construir com facilidade um sistema pericial do tipo rede de inferência. Consta do EDITOR, que permite introduzir ou modificar o modelo, e o programa CONSULTANT que executa as sessões de perguntas e respostas e produz um relatório final da sessão. É com base neste programa que foi desenvolvido o programa SISMICO que a seguir se apresenta.

As funções são facilmente acedidas e modificadas através de um conjunto de menus e durante a sessão de perguntas são prestados esclarecimentos sobre o que se pretende concluir a partir daí, de modo a permitir uma resposta mais fundamentada. Além das propriedades já enunciadas para as redes de inferência, possui como característica a utilização de relações lógicas para cálculo do valor numérico associado a cada ideia a partir dos factores. Estas relações podem ser:

- ALL - Média dos valores numéricos atribuídos aos factores cada qual com o peso atribuído pelo programador (podendo ser facilmente modificados pelo utilizador);
- MOST - A maioria simples de respostas positivas ou negativas aos factores é suficiente para se chegar ao valor atribuído a uma ideia com um grau de certeza maior;
- BEST - Valor da ideia é o do factor mais positivo;
- WORST - Valor da ideia é o do factor mais negativo;
- C - ALL, MOST, BEST, WORST - Lógica condicional: só são respondidos os factores se for válida a hipótese especificada.

4-2. Programa SISMICO - avaliação do risco sísmico de um edifício

Para exemplificar uma rede de inferência, apresenta-se em seguida o modelo de decisão de um programa cuja finalidade é avaliar, tendo por base as respostas a um questionário, o risco de um determinado edifício quando sobre ele actua um sismo.

Modelo de Decisão:

É um edifício com grande risco aos sismos (MOST):

- a possibilidade de ocorrências sísmicas é elevada (MOST):
 - o movimento do solo é muito significativo;
 - o solo é muito macio;
 - o potencial de rotativa do solo é muito elevado (BEST):
 - o potencial de liquefação é muito grande;
 - o potencial de rotura é muito significativo;
 - o potencial de deslizamento é muito elevado (ALL):
 - a inclinação da curva de distribuição do solo é muito elevada;
 - as camadas de solo junto à superfície encontram-se sobre materiais com características diferentes;

- o edifício é vulnerável (MOST):
 - o material de construção é pouco resistente aos sismos;
 - a capacidade resistente de superestruturas diminuiu;
 - a qualidade de construção é fraca;
 - a estrutura do edifício não tem boas características resistentes aos sismos (BEST):
 - o edifício foi calculado aos sismos;
 - a estrutura é hiperestática;
 - há descontinuidades na rigidez vertical;
 - o projecto tem uma distribuição simétrica em planta;
 - o projecto tem uma distribuição irregular em planta (BEST):
 - o edifício tem cantos reentrantes de dimensões apreciáveis;
 - a capacidade resistente à torção é significativa;
 - o pavimento de um dos andares tem uma rigidez mal distribuída;
 - a massa do edifício e o sistema resistente aos sismos coincidem;
 - o projecto tem uma distribuição vertical irregular (BEST):
 - o edifício é simétrico na vertical;
 - variam de uma forma significativa os quocientes massa/rigidez entre andares adjacentes;

- o edifício é muito importante (BEST):
 - o edifício é um equipamento essencial;
 - o colapso do edifício vai provocar a ruína de outros;
 - o número de ocupantes do edifício é elevado ou os ocupantes do edifício não se podem movimentar;
 - o edifício tem mais que quatro andares;
 - a ruína do edifício vai ter consequências sociais importantes.

4-4. Validação do sistema pericial

É necessário validar os resultados de um sistema pericial de modo a provar que ele trabalha aceitavelmente. A validação interna é mais fácil de executar e consiste em:

- Avaliar um número significativo de casos (5-10);
- Verificar se não houve vício nas respostas e se a correlação entre o que se espera e os resultados obtidos é significativa;
- Ajustar os pesos, refinar a árvore ou recomeçar.

Para validar externamente um sistema pericial é necessário:

- Utilizar situações ocorridas para as quais sejam conhecidas as respostas;
- Se não existir uma abordagem sistemática do tema, utilizar modelos de simulação para gerar casos-tipo.

5. PROGRAMAÇÃO ORIENTADA PARA OBJECTOS E SISTEMAS ESTRUTURADOS

5-1. Redes Semânticas

Uma rede semântica é semelhante a um ambiente de inteligência artificial. Os objectos mais gerais estão à esquerda (ou a um nível) e os mais específicos à direita (a um nível inferior). A hierarquia é neste caso relativa a assuntos. Os atributos estão estruturados como características dos objectos em lugar de constituírem subclasses.

Esta forma mais completa de representar conhecimento, ou rede semântica, é um grafo orientado com representações. Os nós desse grafo representam ideias, objectos, acontecimentos ou conceitos e os arcos são as linhas que ligam esses nós. As representações são relações binárias, cuja orientação é transitiva e as relações são do tipo: é, tem, membro de. Utiliza-se uma taxonomia para a classificação dos objectos. Um membro pertencente a uma classe vai herdar as propriedades dos objectos a um nível superior mais gerais, ou seja:

Classes \Rightarrow Subclasses \Rightarrow Formas

A taxonomia do domínio prevê características hereditárias, classificação e partição em subconjuntos que se excluem mutuamente.

5-2. Sistemas estruturados

Trata-se de uma extensão de redes semânticas, que permite admitir valores calculados para os atributos que variam conforme as situações. Por exemplo, ao desenvolver um PERT na fase inicial toma-se a média ponderada dos tempos, mas à medida que o processo decorre passa a ser possível utilizar os valores correctos das durações das tarefas já executadas. Por outro lado, admitem-se objectos mais complexos e introduz-se a possibilidade de fazer simulações relativas a diversos cenários.

Cada objecto é estruturado a partir de conceitos genéricos para as diversas situações possíveis através de um conjunto de pares ordenados segundo uma hierarquia que esteja de acordo com a taxonomia:

OBJECTO	
Atributo 1	Valor referente ao atributo 1
Atributo 2	Valor referente ao atributo 2
Atributo 3	Valor referente ao atributo 3

Em sistemas estruturados verificam-se as seguintes propriedades referentes à hereditariedade:

1. Uma propriedade da classe não é herdada pelos membros pertencentes à classe (por exemplo: média e desvio padrão da classe)
2. O modelo prototipo é inicializado com valores médios, que podem ser modificados para se entrar com casos particulares.
3. Se o atributo i não tiver o seu valor designado, esse atributo é herdado pelos membros da classe.

As principais vantagens dos sistemas estruturados consiste na hierarquização dos objectos. Os atributos dos objectos podem ser indicados, herdados ou calculados. Os processos de inferência são constituídos pela hereditariedade, regras de inferência sendo preconizada a utilização de métodos de varrimento do domínio em situações mais complexas:

Quando a atributo toma um certo valor pode concluir-se daí um conjunto de regras escritas em linguagem natural que permita ao utilizador compreender como o sistema pericial "pensa". De notar que o problema de planeamento de obras não é um exemplo tão feliz como a taxonomia das espécies vegetais e animais porque em lugar da independência entre os ramos diferentes da árvore há grande hereditariedade de comportamento entre nós diferentes.

5.3 Técnicas de programação orientada para objectos

Este tipo de programa é executado a partir das mensagens que os subsistemas enviam uns aos outros. Este tipo de trabalho não obedece a regras mas à permuta de informações entre objectos. Cada um deles funciona localmente como uma subrotina de um programa convencional, mas que pode ser escrito numa linguagem natural (subsistema). Cada subsistema de um programa deste tipo é um decisor separado que procura junto de outros informações que preencham as suas incógnitas e envia os dados que até aí foram elaborados. Na figura 4 apresentam-se dois ecrãs do programa PLATFORM escrito em KEE e que é um exemplo desta técnica.

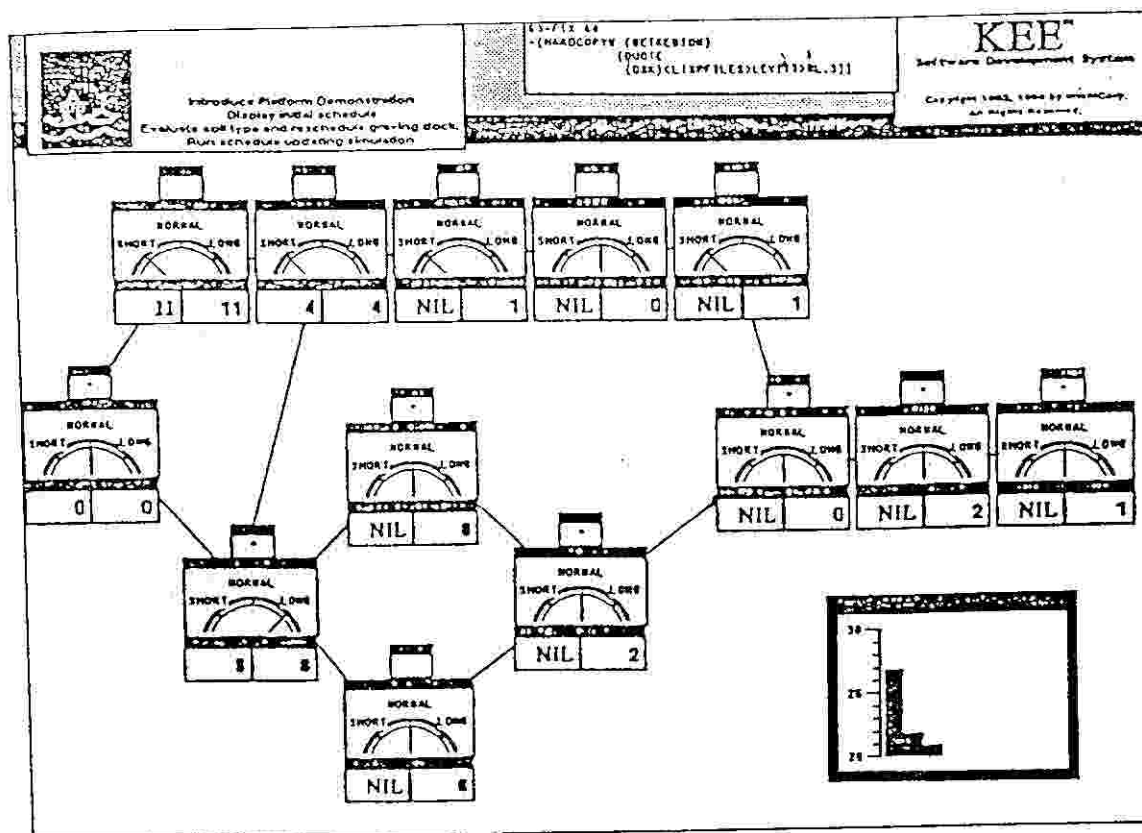


Figura 4

Este tipo de técnica, que é a mais sofisticada das utilizadas em sistemas periciais, baseia-se numa analogia com as formas de organização social. Têm uma relação muito próxima com as técnicas de inteligência artificial:

- São geradas funções autónomas e delegadas competências para as realizar;
- Para se exercer o controle no modelo são indicados os objectivos aos subsistemas, recebendo-se destes os dados relativos a resultados;
- Cada um desses subsistemas tenta atingir os objectos em termos dos recursos, restrições e perspectivas locais;
- É permitida a expansão dos subsistemas que atinjam os melhores resultados.

A programação orientada para objectos tem vantagens que consistem em facilitar a introdução futura de computadores cuja arquitectura possui um processamento paralelo. Por outro lado resolve os problemas de uma forma semelhante aqueles que envolvem sectores diversificados de organizações sociais:

- São geradas funções autónomas e é delegada a autoridade para as executar;
- O controle é mantido através dos objectivos que são transmitidos a um nível inferior;
- Cada uma das unidades descentralizadas interpreta objectivos;
- Recorrência nos processos de operação;
- Cada uma das unidades pode ser expandida, isto é: podem-se estudar diferentes comportamentos ou analisar situações extremas separadamente.

Esta estruturação têm fácil acesso ao protótipo, permitindo o refinamento sem grandes custos do sistema de processamento de conhecimento. O utilizador, ao conhecer os resultados dos subsistemas que são resolvidos independentemente, pode encaminhar a solução de acordo com a sua intuição e verificar os resultados daí decorrentes.

Contudo, estes sistemas ainda se encontram num estado de desenvolvimento sendo as suas aplicações limitadas. Em sistemas em que existe uma grande interdependência entre os subsistemas, a capacidade de controle e decisão destas técnicas não está muito aperfeiçoada. As mensagens trocadas entre os objectos não fica gravada, face ao grande número de interações. Por esse motivo, é muito mais difícil validar e corrigir o comportamento de um sistema deste tipo porque as relações são muito mais complexas. Além disso, não é possível justificar aos utilizadores o comportamento do sistema de um modo tão facilitado como é o caso das regras de produção e redes de inferência. Por último, a inexistência da gestão dinâmica da memória não permite despejar durante a execução do programa os resultados que já não interessam.

6. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Julga-se possível que a um prazo relativamente curto se verifique a multiplicação da utilização de sistemas periciais em casos de diagnóstico. É igualmente previsível uma redução dramática dos custos, acompanhada do aumento da capacidade de sistemas de inteligência artificial. Podem-se prever aplicações no campo de planeamento/projecto assistido por computador, de modo a facilitar a coordenação de tarefas acompanhada de um número de verificações e diagnósticos muito mais significativo do que as metodologias actualmente empregues.

BIBLIOGRAFIA

1. HARMON, P. e KING, D. "Expert Systems", J. Wiley (1985).
2. CAMPBELL, A. e FITZGERRELL, "The Deciding Factor User's Manual", Channelmark Corp. (1985).
3. INSIGHT 2 PLUS, Level 5 Research, USA (1986).
4. KOSTEM, C. N. e MAHER, M. L. , "Expert Systems in Civil Engineering", ASCE (1986).
5. GROSS, M., "Model Based Reasoning in the KEE and SimKit Systems", Intellinews, (1986).
6. MAHER, M. L. , "Expert Systems in Civil Engineering", ASCE (1987).