

AUTOMAÇÃO, CONTROLE E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

PARTE I: UMA VISÃO INTEGRADA

Paulo G. Cohn, Mamede L. Marques
Centro Tecnológico para Informática
Instituto de Automação
C.P. 6162 - 13081 Campinas - São Paulo

Fernando A.C. Gomide
Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Elétrica
C.P. 6101 - 13081 Campinas - São Paulo

RESUMO: Este trabalho está concentrado na aplicação de técnicas e procedimentos heurísticos nos diversos níveis de controle inerentes à Automação Industrial Integrada. Ao invés de ser apresentada uma prospecção ou um tutorial completo sobre o assunto, é mostrado como a inteligência artificial aplicada pode ser incorporada à automação e ao controle em seus diferentes níveis. Exemplos de aplicações em perspectiva são incluídos para ilustrar possíveis desenvolvimentos futuros.

ABSTRACT: Heuristic procedures and techniques are discussed and related with the several control levels implicit in Integrated Control Systems. It is not intended to present a survey or even a tutorial about the subject. Instead, it is shown how artificial intelligence techniques can be incorporated into automation, control and integrated systems areas. Examples for future developments and applications are also suggested.

1. INTRODUÇÃO

É hoje evidente que a tecnologia dos computadores, associada ao rápido progresso da Engenharia de Programas, das técnicas e metodologias de Modelagem, Otimização, Controle, bem como das técnicas de Processamento Digital de Sinais, da Comunicação Digital e da Inteligência Artificial vem provocando mudanças dramáticas em todos os aspectos da indústria em todo mundo. As tecnologias da informação vêm, desde 1950, abrindo novas perspectivas, preconizando uma nova revolução: a Automação Industrial Integrada e Inteligente, Fig. 1.1

A Automação Industrial Integrada e Inteligente é caracterizada por Sistemas de Informação e Controle Integrado, onde a palavra controle é aqui considerada em um contexto mais amplo para representar todos os aspectos de decisão associados à operação de uma indústria, indo do controle de processos ou de máquinas, à gestão e administração. Sistemas de Informação e Controle Integrado são redes interconectadas de sistemas de controle e de informação baseados em computadores. Os sistemas individuais, ou subsistemas que compõem a rede, compartilham dados, informação e conhecimento uns com os outros através de vias de comunicação de alta velocidade. Eles executam

tarefas de acordo com uma hierarquia funcional multinível, esquematizada na Fig. 1.2 [Gomide & Andrade Netto, 1986].

A Inteligência Artificial, independentemente de seu impacto semântico, pode auxiliar a Automação Industrial de várias formas, uma vez que suas técnicas podem ser associadas a funções referentes aos níveis hierárquicos da Fig. 1.2. Estas técnicas proporcionam uma unificação na execução das tarefas pelo compartilhamento da informação e do conhecimento entre os vários subsistemas. Sistemas especiais, uma das atividades mais importantes da Inteligência Artificial Aplicada, podem ser usados em quase todos os passos do ciclo de fabricação de um produto, incluindo o projeto, a engenharia, o planejamento de produção, o gerenciamento de produção e sua programação. Além disso, eles podem ser aplicados no diagnóstico de máquinas e processos, na supervisão, monitoração e controle.

Interpretações e definições de Inteligência Artificial compreendem um amplo espectro conceitual. Consequentemente, não nos detemos a definições formais. Sob o ponto de vista pragmático, a Inteligência Artificial (IA) simplesmente representa um conjunto de técnicas para a solução de problemas numa forma às vezes mais adequada daquela disponível com

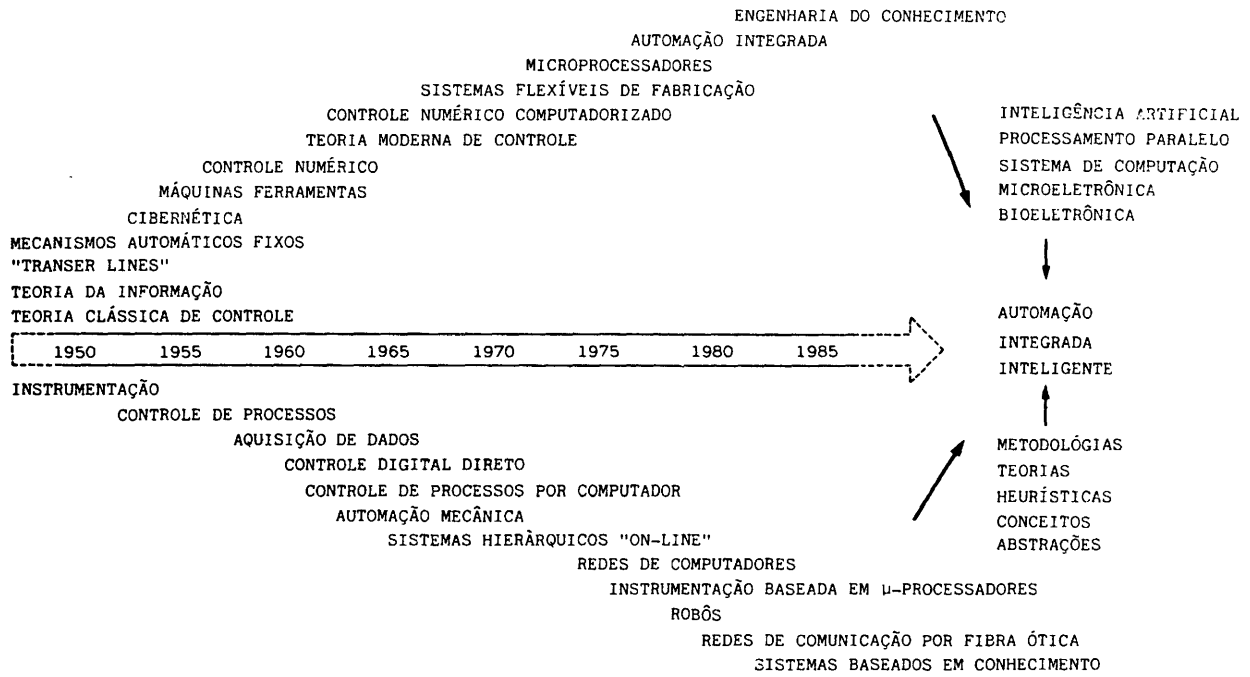


Fig. 1.1: O caminho para a Automação Industrial Integrada Inteligente - AI³

NÍVEIS		MISSÃO	ESCOPO	ESCALA DE TEMPO
5	GERENCIAMENTO	GESTÃO DA COMPANHIA	OPERAÇÃO DA COMPANHIA	ANOS E MESES
4	PLANEJAMENTO	GERENCIAMENTO DA FÁBRICA, USINA, ETC.	OPERAÇÃO DA FÁBRICA, USINA, ETC.	MESES E SEMANAS
3	COORDENAÇÃO	GERENCIAMENTO DO PROCESSO	OPERAÇÃO DAS ÁREAS	SEMANAS E DIAS
2	SUPERVISÃO	SUPERVISÃO DO PROCESSO	OPERAÇÃO DAS UNIDADES	HORAS E MINUTOS
1	CONTROLE DIGITAL DIRETO	CONTROLE DE PROCESSO OU DE MÁQUINAS	OPERAÇÃO DO PROCESSO	MINUTOS E SEGUNDOS

Fig. 1.2: Estrutura funcional de sistemas de informação e controle integrado

programas convencionais. Um programa convencional é tipicamente baseado em soluções algorítmicas, nas quais um número finito de passos explícitos produz a solução para um problema específico. Este procedimento é tipicamente determinístico. Por outro lado, a IA está, basicamente, relacionada com o processa-

mento simbólico da informação, estando o símbolo associado a valores numéricos e não numéricos. Os símbolos podem, por exemplo, representar um conceito sobre o processo ou uma condição a ele relacionada. Os programas, na IA, manipulam as relações entre tais símbolos e, pela aplicação de procedimentos de inferên-

cia, chegam a conclusões lógicas a partir das relações. Os procedimentos de inferência possibilitam raciocínios não-determinísticos: as conclusões obtidas são determinadas de acordo com os conhecimentos embutidos no sistema e os dados relevantes ao contexto.

Uma das mais importantes características dos problemas da automação e controle, no que se refere à aplicação das técnicas e metodologias da IA, é seu caráter bem definido quanto aos objetivos e escopo. Apesar disso, a programação simbólica e a facilidade de trabalhar com conhecimentos heurísticos, que caracterizam os sistemas especialistas, os tornam, às vezes, mais atraentes que outros sistemas mais convencionais. Por exemplo, um Sistema Especialista (SE) pode ser construído para a monitoração de alarmes em um processo particular, parte de uma indústria. O SE é então dirigido para o processo particular, dentro de um ambiente especificado. Dentro destes limites, certas classes de comportamento podem ser entendidas. Uma outra característica é o efeito do tempo, pois enquanto o SE realiza suas inferências, outros fenômenos estão ocorrendo no processo, podendo causar diferentes problemas. Situações onde o tempo é importante, a rapidez na aquisição de dados, na inferência e na obtenção de uma ação é um fator fundamental. Devido principalmente a estas características, a automação adquire em alguns pontos um perfil distinto daquelas áreas tradicionalmente associadas com a IA. Evidentemente, este novo perfil cria novas oportunidades, novos desafios, proporcionando novas concepções e gerações de sistemas para o controle automático e a automação industrial de um modo geral.

Este trabalho concentra-se na aplicação de sistemas baseados em conhecimento na automação industrial, indo do controle, monitoração e supervisão ao planejamento, programação e sequenciamento da produção. Um dos objetivos é mostrar como estes diferentes sistemas podem coexistir dentro de uma mesma estrutura funcional.

Não é nosso objetivo apresentar uma revisão bibliográfica, muito menos um tutorial sobre o assunto. Ao invés, são apresentadas e discutidas algumas considerações sobre como a inteligência artificial pode ser incorporada à automação e ao controle em seus diferentes níveis. Também não pretendemos ser completos, mas apresentar fundamentos, exemplos e citar aplicações como motivação a um estudo mais profundo e formal.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: Nos próximos itens são apresentados os fundamentos e técnicas associadas à Inteligência Artificial. A seguir é feita uma descrição das funções de controle associadas aos diversos níveis, estabelecendo um relacionamento das funções com técnicas relevantes da IA tais como: representação do conhecimento, mecanismos de inferência, tipos de conhecimento que contribuem para a execução das funções. O item 4 oferece alguns exemplos de aplicações em perspectiva. Os itens finais apresentam as conclusões e as referências, respectivamente.

2. O NÚCLEO BÁSICO DA IA

2.1. Buscas

Um problema pode ser definido como a necessidade de transformar uma situação dada (estado inicial) numa situação desejada (solução) usando um conjunto de operadores ou regras de acordo com uma estratégia. Ao aplicar algum dos operadores ao estado inicial vamos obter um novo estado que poderá ser ou não um estado final. Esse esquema de especificação de problemas é denominado de "espaço de estados". Geralmente os espaços de estados são representados graficamente através de grafos, nos quais os nós correspondem aos estados e os arcos aos operadores.

Partindo dessa definição de problema, pode-se dizer que os processos para resolver problemas são estratégias para tentar encontrar alguma sequência de operadores que transforme o estado atual num estado desejado. Essas estratégias geralmente são combinações de técnicas específicas da área de aplicação e "busca": uma técnica geral de exploração do espaço de estado [Rich, 1983].

O problema crítico da busca é a quantidade de tempo computacional e de memória necessários para encontrar uma solução. A procura exaustiva em problemas não triviais raramente é viável já que o número de estados possíveis de se gerar ao aplicar os operadores, aumenta exponencialmente em função do número de operadores disponíveis. Esse fenômeno é chamado de explosão combinatória.

A eficiência da busca também merece atenção. Vários métodos têm sido desenvolvidos e, deles, os métodos heurísticos, isto é, aqueles que se baseiam em conhecimentos da aplicação e em intuições sobre ela, são de interesse especial.

O objetivo de um procedimento de busca é descobrir um caminho dentro do espaço de estados que vá da configuração inicial até um estado final desejado. Essa busca pode proceder em duas direções: para a frente, a partir dos estados iniciais e para atrás, a partir dos estados finais.

Para determinar qual estratégia deve ser usada num certo sistema, devem ser considerados os seguintes fatores:

a) Existem mais estados iniciais ou desejados? É mais interessante partir do conjunto menor e seguir no sentido do maior e mais fácil de ser atingido.

b) Em qual sentido é maior o fator de ramificação (o número médio de nós que pode ser alcançado diretamente a partir de um nó)? É desejável proceder no sentido que tenha o menor fator de ramificação.

c) O sistema terá capacidade de justificar seus processos de raciocínio para um usuário? Se esse for o caso, é importante proceder no sentido que seja parecido à forma de raciocínio do usuário.

A maioria das técnicas de busca desenvolvidas podem ser usadas para procurar para frente ou para trás. Na técnica de análise de

meios a extremos a busca é um processo de redução da diferença entre o estado atual e o estado desejado e, portanto, às vezes o raciocínio é para frente e outras vezes o raciocínio é para trás.

As principais técnicas de busca existentes são as seguintes:

GERAÇÃO E TESTE - a partir do estado inicial aplicar alguma sequência de operadores até chegar a um estado final e testar se esse estado final é uma solução do problema. Se for uma solução, terminar; se não for, então começar outra vez com uma nova sequência de operadores. Esta técnica também é conhecida como busca em profundidade já que é gerado um caminho completo até um estado final antes de ser testada a validade da solução.

MÉTODOS DE SUBIDA - esta técnica é uma variante da técnica anterior na qual o teste dá uma realimentação para orientar o gerador de estados. São métodos do tipo gradiente.

BUSCA EM AMPLITUDE - todos os nós de um nível são gerados antes de passar ao próximo nível.

"BEST-FIRST SEARCH" - esta técnica combina as vantagens das técnicas de profundidade e amplitude. Em cada passo é escolhido o nó mais promissor entre os gerados até o momento de acordo com alguma função heurística.

REDUÇÃO DE PROBLEMAS - os problemas são decompostos em conjuntos de sub-problemas mais simples de serem resolvidos e o conjunto de soluções desses sub-problemas compõe a solução global do problema original.

SATISFAÇÃO DE RESTRIÇÕES - a meta é encontrar algum estado do problema que satisfaça um certo conjunto de restrições.

ANÁLISE DE MEIOS A EXTREMOS - em cada passo é calculada a diferença entre o estado atual do problema e o estado desejado. A idéia é encontrar operadores que reduzam essa diferença.

Destas, as primeiras quatro são técnicas para percorrer grafos OR, e as últimas três são para percorrer grafos AND-OR.

2.2. Representação do Conhecimento e Modelagem

A pesquisa de Inteligência Artificial envolve a construção de programas capazes de realizar tarefas tais como conversar, planejar, jogar xadrez e analisar estruturas moleculares. Quando falamos sobre pessoas que fazem essas coisas sempre falamos sobre o que nós imaginamos que eles devem saber para poder fazê-las. Em outras palavras, nós tentamos descrever a inteligência de uma pessoa em termos dos conhecimentos que ela possui. Esses conhecimentos podem ser de diversos tipos e, em conjunto, compõem estruturas muitíssimo complexas [Barr & Feigenbaum, 1981].

Qualquer sistema inteligente deve ter conhecimentos sobre os objetos relevantes de seu domínio, as suas propriedades e as suas relações com outros objetos. Eles também devem ter noções sobre os acontecimentos que possam ocorrer ou que já tenham acontecido,

também o que fazer quando ocorram acontecimentos novos. Além disso, o sistema deve ter conhecimento sobre os próprios conhecimentos, ou seja, ele deve saber qual é a extensão desse conhecimento, qual é a sua origem, o grau de confiabilidade das suas informações e a importância relativa de certos fatos.

Uma das áreas de pesquisa mais importantes da IA é a de representação do conhecimento. Uma representação do conhecimento é uma combinação de estruturas de dados e procedimentos de interpretação que são usados dentro dos sistemas para melhorar o seu comportamento inteligente. Nesta área tem-se desenvolvido várias classes de estruturas de dados e procedimentos que permitem uma manipulação "inteligente" dessas estruturas de dados para fazer inferências.

O critério mais importante para analisar e comparar os diferentes esquemas de representação de conhecimento é o uso que será feito desse conhecimento. Em todos os sistemas de IA, o conhecimento é usado em três estágios: aquisição de conhecimentos novos, recuperação de fatos e raciocínio com esses fatos.

Vários esquemas de representação de conhecimentos têm sido desenvolvidos para diversas aplicações, oferecendo vantagens em um outro estágio do seu uso, dependendo da aplicação. Desses esquemas os mais importantes são: lógica, procedimentos, redes semânticas, regras de produção, dependências conceituais, "frames" e roteiros.

A lógica, que é o estudo matemático e filosófico mais antigo sobre a natureza do raciocínio e do conhecimento, foi um dos primeiros esquemas de representação usados em IA.

A lógica se preocupa com a forma das expressões e com a determinação do seu valor de verdade através de uma manipulação sintática de fórmulas. O poder de expressão de um sistema baseado em lógica é resultado de uma construção. Começa-se com uma noção simples (como veracidade ou falsidade) e, com a inclusão de outras noções (como conjunção e predicados), se desenvolve uma lógica mais expressiva, com possibilidade de representar idéias mais complexas.

Além de conhecimentos estáticos, ou seja, fatos sobre objetos, eventos e suas relações, os sistemas de IA também devem saber como usar esses conhecimentos, como encontrar fatos importantes, fazer inferências, etc. A melhor forma de representar esse tipo de conhecimento é através de procedimentos [Barr & Feigeibaum, 1981].

Os trabalhos mais recentes combinam representações declarativas e representações "por procedimentos", visando obter a facilidade de modificação dos sistemas declarativos (especialmente a lógica) e o raciocínio direto dos primeiros sistemas de representação por procedimentos. A idéia desta abordagem é representar conhecimentos declarativos junto com instruções para o seu uso. O enfoque dos últimos trabalhos sobre representação por procedimentos tem sido o de encontrar formas melhores de representar informações de controle.

As redes semânticas são formalismos de representação de conhecimentos que usam uma notação consistente de nós e arcos. Tanto os nós quanto os arcos podem ter nomes ou etiquetas. Geralmente, os nós representam objetos, conceitos ou situações de aplicação, e os arcos representam as relações entre eles [Barr & Feigenbaum, 1981].

A maneira mais usual de raciocinar usando redes semânticas baseia-se na equiparação de estruturas: constrói-se um fragmento de rede que represente o objeto que está sendo procurado e depois o fragmento é comparado com a rede armazenada no banco de dados para ver se o objeto existe.

No esquema de regras de produção, os conhecimentos são representados através de pares condição-ação chamados regras de produção ou simplesmente produções.

Uma produção é uma expressão da forma "se tal condição existe então esta ação é apropriada". Durante a execução do sistema, se a parte esquerda de uma produção for satisfeita ela pode disparar, isto é, a ação indicada pelo lado direito é executada.

As regras de produção capturam, num esquema manejável de representação, os conhecimentos sobre o que fazer numa certa situação. Apesar desse tipo de conhecimento ser basicamente de procedimentos, o formalismo de regras de produção tem várias das vantagens dos esquemas declarativos, principalmente a modularidade. Além disso, a estrutura das produções é muito parecida com o modo das pessoas falarem sobre como resolvem os seus problemas. Por esses motivos, o esquema de representação através de regras de produção tem sido muito usado como base para o desenvolvimento de sistemas especialistas, sendo que atualmente, a maioria deles utiliza uma variação de tal esquema.

Uma vez escolhida a técnica de representação que vai ser usada num certo sistema, outro problema a ser resolvido é a escolha do vocabulário que será usado dentro do formalismo. Por exemplo, numa representação baseada em lógica, quais predicados serão usados? Numa rede semântica, que tipos de nós e arcos devem existir? A pesquisa de primitivas semânticas se encarrega desse problema: estabelecer o vocabulário de representação [Barr & Feigenbaum, 1981].

A teoria de dependências conceituais está baseada na noção de primitivas semânticas. A idéia fundamental desta teoria é a de poder representar todos os tipos de ações através de um pequeno número de primitivas. Os sistemas baseados nesta teoria tomam como entrada textos escritos em alguma linguagem natural e constroem uma "conceituação" deste texto.

Os elementos primitivos que compõem as conceituações não são palavras, e sim conceitos; eles refletem um nível de conhecimento que está por baixo da linguagem, não a própria linguagem. Portanto, as representações de textos em dependências conceituais são independentes da linguagem.

A dependência conceitual tem sido usada por sistemas que traduzem, respondem perguntas e derivam conhecimento, a partir dos seus textos de entrada, já que este esquema é independente da linguagem, com facilidade de se parafrasear.

Existe bastante evidência para acreditar que os seres humanos usam conhecimentos adquiridos em experiências prévias ao interpretar situações novas; certos objetos e sequências de fatos são típicos de certas situações. Em IA, esse tipo de conhecimentos tem sido representado através de "frames" e roteiros [Barr & Feigenbaum, 1981].

Os "frames" são estruturas compostas de "slots", que são as unidades elementares onde são armazenados conhecimentos sobre situações prévias. Os "frames" são usados para representar objetos. Por exemplo, um "frame" simples para o conceito genérico de cadeira poderia ter "slots" para o número de pernas e o estilo do encosto. O "frame" de uma cadeira específica teria os mesmos "slots", herdados do "slot" genérico, mas com conteúdos mais detalhados.

Os roteiros são estruturas parecidas aos "frames", projetadas especificamente para representar sequências de acontecimentos.

Quando se sabe que um certo roteiro é apropriado para uma certa situação, ele pode ser muito útil para prever a ocorrência de certos acontecimentos que não foram mencionados explicitamente. Além disso, os roteiros também podem ser úteis para indicar como os acontecimentos mencionados se relacionam entre si. Por exemplo, qual é a relação entre o fato de alguém pedir um bife e o fato de alguém comer um bife?

Em geral, as sequências típicas de acontecimentos, representadas por roteiros, podem ser úteis na interpretação de uma sequência específica observada.

2.3. Raciocínio e Solução de Problemas

Um problema central na pesquisa de IA é o de como fazer para que os computadores tirem conclusões automaticamente a partir de fatos conhecidos. A solução de problemas é o processo de desenvolvimento de uma sequência de ações para chegar a uma meta [Cohen & Feigenbaum, 1981].

Os primeiros trabalhos desta área foram orientados para prova de teoremas matemáticos e de lógica proposicional. Estes trabalhos eram vistos como exercícios de especialistas em solução de problemas. Posteriormente, foi desenvolvido o método de resolução que aparentava ser suficientemente poderoso para possibilitar a construção de um solucionador de problemas completamente geral, descrevendo os problemas através de lógica de primeira ordem e deduzindo soluções através de um procedimento geral de provas. Porém os resultados foram um pouco desapontadores, já que o espaço de estados gerado pelo método de resolução cresce exponencialmente com o número de fórmulas usadas para descrever o problema. Algumas heurísticas independentes da aplicação foram

propostas, mas eram muito fracas e não se obtiveram resultados satisfatórios.

Apesar dos desapontamentos, o interesse em técnicas para o raciocínio de sentido comum continua vivo, graças a uma classe importante de problemas para os quais não se tem encontrado outro método de solução. Nessa classe, incluem-se aqueles problemas para os quais não existem descrições completas em termos dos objetos, propriedades e relações relevantes a ele e, portanto, não podem ser resolvidos por avaliação simples.

Algumas das técnicas principais de solução de problemas já foram apresentadas na seção sobre busca. Outra técnica importante para certas aplicações como jogos e robótica é a de planejamento.

Em termos comuns, planejamento significa decidir sobre um curso de ação antes de atuar; um plano é, portanto, uma representação de um curso de ação.

A falta de planejamento pode resultar em soluções não ótimas e, nos casos em que as metas não são independentes, a falta de planejamento antes da atuação pode até impedir que se chegue à solução do problema.

Os planos podem ser usados para monitorar o progresso durante a solução de problemas e para detectar erros antes de que causem muito prejuízo. Isso é especialmente importante se o solucionador de problemas não é o único ator dentro do seu ambiente e se o ambiente pode mudar de maneiras imprevisíveis.

2.4. Linguagens e Sistemas de IA

Além dos próprios computadores, as ferramentas mais importantes da IA são as linguagens de programação em que se concebem e implementam seus programas. Atualmente, os pesquisadores de IA desenvolvem suas próprias linguagens com características projetadas para lidar com os problemas da IA. As linguagens da IA têm tido um papel central na sua história, servindo a duas funções importantes: em primeiro lugar, elas possibilitam a implementação e modificação conveniente de programas que demonstram idéias da IA; segundo, elas são veículos de pensamento, já que permitem que os usuários se concentrem em conceitos de níveis superiores [Barr & Feigenbaum, 1981].

A primeira e fundamental idéia das linguagens de programação para IA foi a de usar o computador para manipular símbolos arbitrários, não somente números.

Os problemas de IA se caracterizam pelo fato de que as suas soluções não dependem da aplicação de métodos de cálculo rigorosos e predeterminados. A abordagem desses problemas é através de programas que constroem raciocínios baseados em conhecimentos prévios. Com essa filosofia de solução de problemas, tornou-se necessária a criação de novos tipos de linguagens de programação diferentes das linguagens procedimentais já existentes.

Do ponto de vista da IA, as linguagens procedimentais apresentam uma série de inconvenientes.

O mais evidente é que, com elas, somente podem ser criados programas quando se conhece claramente o método específico de solução do problema, ou seja, um algoritmo.

O segundo inconveniente das linguagens procedimentais é que o programador é obrigado a fazer um programa diferente, ou um fragmento de programa, para cada tipo de questão suscetível de ser colocada pelo usuário futuro.

Esses inconvenientes serviram de base para a definição das características desejáveis das linguagens de programação de IA, ou seja, codificação não procedimental e generalidade.

Praticamente todos os programas que estão sendo desenvolvidos atualmente na área de IA estão sendo escritos em alguma linguagem não procedimental, principalmente LISP (nos Estados Unidos) e PROLOG (na Europa e no Japão).

3. TECNOLOGIAS DE IA

3.1. Sistemas Especialistas

Na década dos 70, ficou claro para os pesquisadores de IA que, para conseguir que seus sistemas resolvessem satisfatoriamente problemas reais, era necessário incorporar neles grandes quantidades de conhecimentos sobre o problema. Isto levou-os à criação do campo da "Engenharia do Conhecimento", que procura formas de usar conhecimentos periciais na solução de problemas. A tecnologia resultante desse campo de estudos, chamada de sistemas peritos, atualmente está começando a ser usada em aplicações comerciais.

Um sistema especialista é um programa inteligente que usa conhecimentos e procedimentos de inferência na solução de problemas que normalmente só podem ser resolvidos por peritos humanos. Esses conhecimentos e procedimentos de inferência podem ser vistos como um modelo de perícia dos melhores praticantes da área [Gevarter, 1982b]. Sua arquitetura básica pode ser vista na Fig. 3.1.

As bases de conhecimentos dos SE constam de fatos e heurísticas. Os fatos são aquelas informações amplamente divulgadas e de domínio público, enquanto que as heurísticas são aquelas regras de bom senso e suposições razoáveis que são mais particulares e que caracterizam o nível de perícia na tomada de decisões dentro de uma área.

A base de conhecimentos contém os fatos e heurísticas associados com a área; o controle ou interpretador de regras é um procedimento de inferência para resolver problemas; a base de dados global é uma memória de trabalho onde se armazena a informação sobre o estado atual do sistema.

Idealmente, existem três modos de uso de um sistema especialista:

- a) obter soluções de problemas - usuário cliente;
- b) melhorar ou aumentar os conhecimentos do sistema - usuário instrutor;

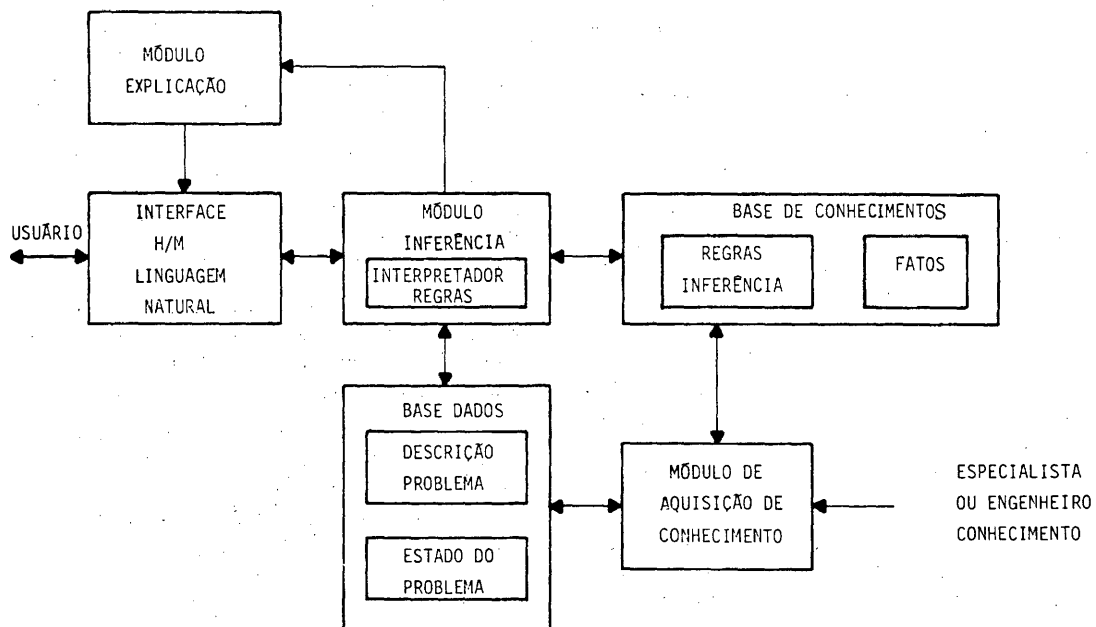


Fig. 3.1: Arquitetura básica de um sistema especialista

c) colher conhecimentos da base para serem usados por humanos - usuário aluno.

A principal diferença entre os sistemas especialistas e os programas convencionais é que nos SE existe uma clara separação entre os conhecimentos gerais sobre o problema (base de conhecimentos), a informação sobre o problema atual (dados de entrada), e os métodos de aplicação de conhecimentos gerais ao problema (interpretador de regras), enquanto que nos programas convencionais os conhecimentos e métodos estão misturados, tornando difíceis as modificações do sistema.

Um SE pode ser modificado simplesmente adicionando ou tirando regras da base de conhecimentos, já que o programa em si é somente um interpretador de regras.

É importante deixar claro que os sistemas que possuem conhecimento profundo sobre o seu domínio de aplicação são chamados de sistemas peritos, isto é, são sistemas que possuem perícia em uma determinada área. Os sistemas que não possuem conhecimento profundo mas que atuam com conhecimento em seu domínio de aplicação são chamados de sistemas especialistas, isto é, são sistemas que possuem conhecimento que os tornam especialistas em uma determinada área, porém não atuam com perícia nas mesmas.

O nível de profundidade do conhecimento destes sistemas está diretamente relacionado com o seu domínio de atuação. É a aplicação, portanto, que determinará se o sistema será um especialista ou um perito.

3.2. Programação Automática

Programação automática é a automatização de alguma parte do processo de programação. Como aplicação da Inteligência Artificial, essa pesquisa tem alcançado algum sucesso com

sistemas experimentais que ajudam os programadores a manipular grandes programas, ou que produzem pequenos programas a partir de alguma especificação do que deverão fazer (que não seja o próprio código). Tais especificações poderiam ser exemplos do comportamento desejado de entrada/saída ou uma especificação em "linguagem alto nível", por exemplo, Português. Porém, a importância da pesquisa em programação automática vai muito além de aliviar a tarefa dos programadores humanos. De certa forma, toda a inteligência artificial é uma procura de métodos apropriados de programação automática.

Atualmente, os programadores têm que especificar e lidar com muitos detalhes e suas relações. Além disso, têm que lidar com ambientes de programação que talvez não sejam naturais para a maneira como eles concebem os problemas que querem resolver com os seus programas. O software, hoje em dia, é caro e pouco confiável. Raramente se produzem programas dentro do orçamento e do cronograma e, frequentemente, o produto final, quando é entregue, não satisfaz às especificações.

Para ajudar a aliviar esses problemas, a programação automática visa uma reestilização da maneira como o programador especifica o programa desejado. Essa reestilização permitiria ao programador pensar no problema num nível superior, mais natural, sem ter que manter a pista de quantidades assustadoras de detalhes.

3.3. Visão de Máquina

Visão de máquina é a tarefa de processar informações com o objetivo de compreender uma cena a partir de suas imagens projetadas. Para facilitar o esclarecimento das metas e métodos na pesquisa em visão, ela é dividida em

três áreas: processamento de sinais, classificação e compreensão [Cohen & Feigenbaum, 1981].

PROCESSAMENTO DE SINAIS - os processadores de sinais transformam uma imagem de entrada numa outra imagem que tenha certas propriedades desejadas, como, por exemplo, uma melhor razão de sinal para ruído ou melhoras que facilitem a inspeção humana dos detalhes. A expressão "processamento de imagens" é muito usada para designar esta área.

CLASSIFICAÇÃO - as técnicas de classificação são usadas para classificar imagens em categorias predeterminadas. Estas técnicas frequentemente são chamadas de "reconhecimento de padrões" ou "classificação de padrões".

COMPREENSÃO - dada uma imagem, um programa de compreensão de imagens constrói uma descrição, não somente da própria imagem, mas também da cena que ela retrata.

Existem vários níveis de processamento de informação em visão computacional. No nível inferior, se faz a extração das características primárias, como mudança de intensidade e orientação dos elementos das bordas. Este nível é chamado de visão de baixo nível ou processamento preliminar. Depois disso, são extraídas as características de nível superior, tais como linhas e regiões, informações das formas, tais como orientação da superfície e oclusão. Às vezes, esse nível de processamento é chamado de processamento intermediário ou segmentação. Os processos de visão de alto nível, ou processamento posterior, tratam com os objetos e se apóiam em conhecimentos específicos da área para construir descrições de cenas.

3.4. Linguagem Natural

As formas de comunicação mais usadas pelas pessoas são a fala e a escrita em alguma linguagem "natural" como Português ou Inglês. Se os computadores pudessem entender o que as pessoas querem dizer quando escrevem ou falam sentenças em Português, os sistemas seriam mais simples de se usar e se encaixariam com mais naturalidade nas vidas das pessoas [Barr & Feigenbaum, 1981].

Os pesquisadores de IA desenvolvem programas partindo da idéia de que a linguagem humana é uma habilidade cognitiva complexa que envolve vários tipos de conhecimentos: a estrutura das sentenças, o significado das palavras, um modelo da pessoa que escuta, as regras de conversação, e um corpo extenso e compartilhado de informações gerais sobre o mundo. A tática geral da IA tem sido a de modelar a linguagem humana através de um sistema baseado em conhecimentos para processamento de comunicação, e criar programas que implementam esses modelos.

Atualmente, o processo de interpretação de linguagem natural é dividido em três partes:

a) **Análise sintática.** As sequências de palavras são transformadas em estruturas que mostram como elas se relacionam entre si.

b) **Análise semântica.** Associa-se um significado às estruturas sintáticas geradas.

c) **Análise pragmática.** A estrutura que representa o que foi dito é reinterpretada para de terminar o que realmente se queria dizer. Por exemplo, a sentença: "você sabe que horas são?" deveria ser interpretada como um pedido para dizer a hora.

Muita pesquisa tem sido feita sobre a interpretação de linguagem falada. Os primeiros sistemas desenvolvidos foram chamados de sistemas de reconhecimento de fala. Estes primeiros sistemas possuíam um pequeno vocabulário de palavras onde armazenavam uma representação do padrão acústico de cada uma delas. Os sinais falados da entrada eram analisados e comparados com os padrões armazenados, e o padrão mais parecido era escolhido.

4. AS FUNÇÕES DE CONTROLE E A IA

Um dos elementos importantes para os sistemas baseados em conhecimento na automação industrial é o tempo. De acordo com a Fig. 1.2, as funções de controle do primeiro nível da hierarquia são usualmente executadas em intervalos de segundos a minutos, enquanto que as ações correspondentes ao nível de gerenciamento são executadas em intervalos de meses a anos.

No nível mais simples de controle, a saída do processo deve ser mantida dentro de limites aceitáveis em torno de um valor de referência. As decisões devem ser rápidas o suficiente para que as ações de controle possam restaurar o estado do processo quando ocorrem perturbações. Neste caso, Regras de Produção do tipo SE <condição> ENTÃO <ação> são apropriadas para a representação do conhecimento devido a várias razões (simplicidade da representação, dos mecanismos de inferência associados, facilidade de aquisição), além do fato de que, às vezes, constituem o único conhecimento relativo ao problema que está disponível. O mecanismo de inferência aplicável envolve o acesso a uma descrição da situação corrente (a partir, por exemplo, da aquisição de dados via sensores), uma busca em uma árvore rasa através de todas as regras, até que seja encontrada aquela que se aplique a esta situação, e a aplicação da ação correspondente. Este mecanismo de inferência é o mais simples possível, uma vez que a cadeia de raciocínio terá o comprimento de uma única inferência. No entanto, cabe lembrar que a decisão deve ser rápida, justificando métodos simples e concisos na representação do conhecimento e na inferência.

Um exemplo típico é o da sintonização automática de controladores digitais industriais do tipo PID. Controladores deste tipo já estão disponíveis [Higham, 1986; Alves Silva et alii, 1987]. Por exemplo, o procedimento apresentado em Alves Silva et alii (1987) baseia-se no fato de que um operador (humano), ao sintonizar uma malha de controle, jamais menta

liza o modelo matemático do processo para tomar suas decisões quanto aos ajustes dos ganhos proporcional, integral e derivativo. Quando muito, ele avalia parâmetros típicos, como atraso de transporte e a constante de tempo do processo, para estimar valores iniciais para os ganhos do controlador. Ajustes finais posteriores são realizados pela modificação dos ganhos iniciais, sendo estas modificações integralmente baseadas na sua experiência e sensibilidade, a partir do reconhecimento de um padrão operacional. O procedimento procura, então, emular as ações do operador, fazendo com que o controlador tome todas as decisões que o operador tomaria, toda vez que o desempenho do sistema deixa de atender os requisitos operacionais desejados. Em termos de implementação, a idéia é a seguinte: o usuário caracteriza o comportamento desejável da variável controlada através da especificação de valores máximos para grandezas típicas, tais como sobre-elevação e amortecimento, Fig. 4.1.

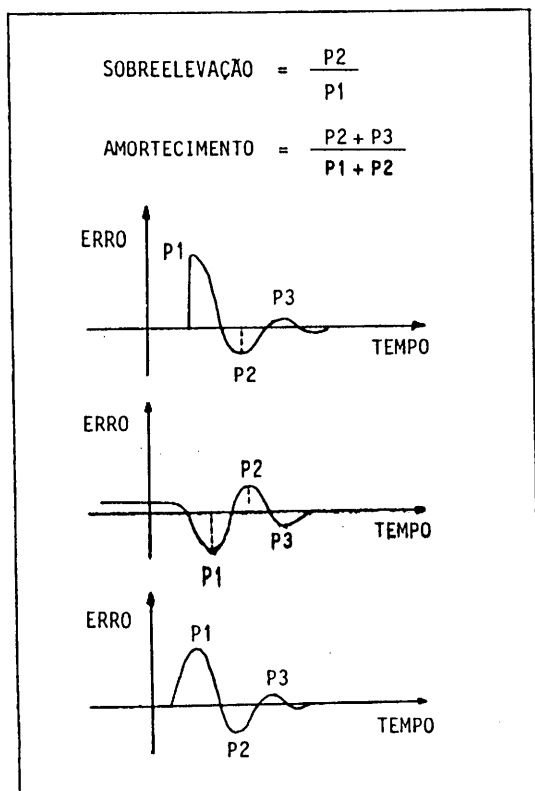


Fig. 4.1: Sobreelevação e amortecimento

A Fig. 4.2 mostra, em Prolog-código, o procedimento básico desenvolvido [Alves Silva et alii, 1987]. Por estar fora do escopo deste trabalho, os detalhes do procedimento serão apresentados em outra oportunidade.

No nível seguinte de controle, supervisão, as tarefas típicas incluem a monitoração, o diagnóstico de falhas, e a otimização operacional do sistema. Na monitoração, um dos

```

autoajustavel:-
    inicializacao,
    adaptacao.

adaptacao:-
    modo_adaptativo,
    monitora_erro_e_setpoint(Carga, Setpoint),
    muda_ganhos(Carga, Setpoint),
    ajusta_ganhos(Carga, Setpoint),
    gera_controle_e_deteta_saturacao,
    !,
    adaptacao.

muda_ganhos(Ganhos1, Ganhos2):-
    Ganhos1 -> Ganhos2,
    !,
    mudanca(Ganhos1 -> Ganhos2).

muda_ganhos(_, _).

ajusta_ganhos(Carga, Setpoint):-
    operacao_nao_normal,
    muda_ganhos(Setpoint, Carga),
    armazena_ganhos,
    (espera_esgotada -> bloco_de_espera;
     deteta_pico;
     (controle_oscila ->
      monitorar_variavel_controle;
      (sucesso_picos -> calcula_parametros,
       (ajuste_grosso ->
        ajuste_preliminar;
        (ajuste_fino -> ajuste_fino));
       gera_controle_e_deteta_saturacao))).

ajusta_ganhos(_, _).
  
```

Fig. 4.2: Procedimento heurístico de sintonização

procedimentos típicos é a emissão e o tratamento de alarmes. Usualmente, nos sistemas tradicionais, um operador deve reconhecer a ocorrência e tomar decisões cabíveis. Isto é, quando um operador é confrontado com um ou mais alarmes, ele deve determinar o mais rápido possível as causas dos alarmes e a melhor ação a ser implementada. Algumas vezes no entanto, a situação é tal que informações adicionais, orientação de peritos, e tempo para avaliar estratégias são necessários. Por exemplo, muitos alarmes são acionados devido a sensores defeituosos, desligados.

Para evitar uma resposta imprópria, um sistema especialista pode fornecer ao operador o conhecimento necessário, um julgamento da ocorrência, e sugerir sua decisão com a precisão e velocidade de um computador. A Fig. 4.3 mostra o display de uma estação de monitoração, identificando os alarmes e emitindo uma mensagem ao operador, sugerindo uma ação [Croff, 1985]. Nesta ilustração, a conclusão de sistema especialista que trata de ocorrências de alarmes detetou 3 deles, sendo que, na realidade, somente um é preponderante, pois os outros 2 são decorrências do primeiro. Este fato é detetado, a partir de regras de produção, pelo mecanismo de inferência.

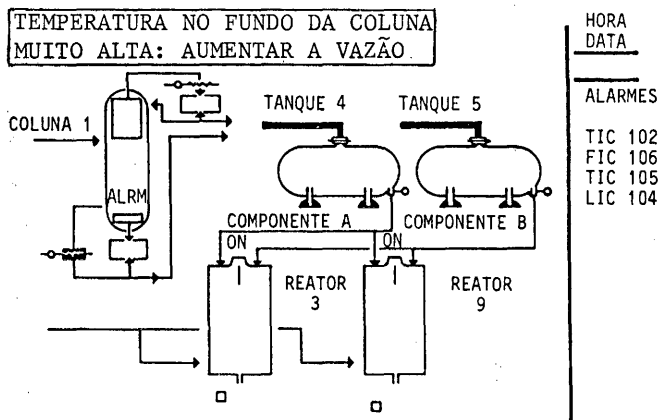


Fig. 4.3: Monitoração inteligente de alarmes

Observe que, embora as limitações temporais sejam menos restritivas, quando comparadas com as dos controladores do primeiro nível, as regras de produção são utilizadas devido a necessidades análogas às dos controladores, pois uma ação deve ser realizada o mais rápido possível. Isto também implica em mecanismos de inferência simples o suficiente para serem executadas rapidamente e eficientemente.

Um outro exemplo típico de monitoração envolve o processo de vaporização de cloro. O cloro líquido é injetado no vaso pela direita, aquecido para produzir vapor de cloro, deixando o vaso pela frente superior. O nível de líquido no vaso é controlado pelo ajuste da vazão do vapor até que o cloro seja vaporizado na mesma taxa em que entra no vaso. Um sinal errôneo, indicando um nível baixo para o controlador de nível, pode reduzir a vazão do vapor, com o consequente preenchimento do vaso até seu limite. Esta situação pode ser desastrosa se a linha de vapor é também preenchida com cloro líquido. No entanto, os dados disponíveis poderiam ser analisados para detectar o sinal errôneo e alertar apropriadamente o operador. Um sistema especialista poderia ajudá-lo emitindo uma mensagem, a partir do conhecimento englobado em regras de produção do tipo:

```
SE a vazão do vapor é menor que a razão vapor/cloro vezes a vazão de vapor de cloro
E a saída do controlador de nível é maior que 80%
E o alarme de baixa está presente
E o nível não está crescendo
E a vazão de cloro líquido é maior que a vazão de vapor de cloro
E o desvio padrão da vazão do vapor é menor que 5%
ENTÃO enviar a seguinte mensagem:
o sinal de nível para o controlador está provavelmente errado. Fechar a válvula de alimentação de cloro imediatamente.
```

Este exemplo ilustra alguns pontos importantes. A situação pode ser tal que o conhecimento necessário esteja bem acima daquele usualmente associado ao operador. Uma análise correta da informação disponível é crucial em casos onde o tratamento de um sintoma, ao invés da causa do problema pode aumentar o risco de um acidente. Quando a ação recomendada contradiz o que é indicado pela instrumentação, é necessário que o sistema forneça explicações sobre suas decisões, para que o operador aceite as recomendações. Neste caso, apesar das regras de produção também propiciarem um meio adequado para a representação do conhecimento, o mecanismo de inferência deve ser mais elaborado, pois além da detecção e da ação recomendada, ele deveria inferir as razões pelas quais ele chegou a tal conclusão. Métodos de busca para frente e para trás são típicos nesta situação.

Um exemplo adicional servirá para ilustrar outra face frequentemente presente em sistemas de controle baseados em conhecimento. Para implementar um sistema de controle baseado em um sistema especialista, deve ser determinado um modo de traduzir regras empíricas qualitativas de especialistas em forma apropriada para o uso pelo computador. Suponha, por exemplo, que um sistema esteja monitorando variáveis do tipo temperatura, composição, vazão e velocidade. Considere uma regra de produção do tipo:

```
SE a percentagem de um elemento está "um pouco alta"
E a velocidade está "normal"
ENTÃO diminuir a vazão de ar e reduzir "um pouco" a vazão de combustível.
```

Neste caso, é necessário relacionar termos como "um pouco alta" com quantidades mensuráveis, para que a regra fornecida pelo especialista possa ser aplicada pelo operador. Isto pode ser feito relacionando graficamente as quantidades medidas com o grau de pertinência a conjuntos nebulosos do tipo "um pouco alto" e "normal". É importante que extensões de conceitos matemáticos convencionais, aqui o de conjunto, sejam utilizados. No caso, utiliza-se de subconjuntos nebulosos [Zadeh, 1965], pois este conceito permite uma transição gradual da pertinência até a não pertinência em um conjunto particular. Sob o ponto de vista formal, é necessário que seja considerada uma lógica nebulosa [Kaufmann, 1975] como alternativa à lógica clássica de dois valores.

Observe que, até agora, regras de produção têm sido frequentemente citadas como um meio apropriado para a representação de conhecimento. Existem situações onde isto não necessariamente ocorre, como veremos a seguir.

Diagnóstico de Falhas é um caso onde regras de produção podem não ser suficientes para a representação do conhecimento. Para ser executada, esta função requer o conhecimento tanto dos componentes do processo, suas interações, seus comportamentos, os sensores e os sistemas de controle a ele conectados, como os materiais que fluem através do mesmo. Este conhecimento pode ser apropriadamente agrupa-

do e representado pelas estruturas chamadas de "frames". Os "frames" podem também conter regras. Regras e "frames" podem coexistir facilmente. Regras são mais apropriadas para representar conhecimento que é heurístico ou específico a condições locais. Por outro lado, "frames" são apropriados para representar informações genéricas, proporcionando uma maior flexibilidade. No entanto, são mais exigentes sob o ponto de vista computacional, pois demandam mais esforço de programação e mecanismos de inferência muito eficientes.

Finalmente, vamos considerar um caso onde a otimização operacional está envolvida. Frequentemente, métodos de otimização formais exigem a obtenção de um modelo do processo. Uma das técnicas disponíveis envolve a identificação dos parâmetros de um modelo do processo, via, por exemplo, estimadores do tipo máxima verossimilhança recursivo [Söderström et alii, 1983]. Na inicialização dos algoritmos de identificação é necessário fornecer valores iniciais dos parâmetros, valores iniciais das matrizes de covariância, ordens das equações a diferenças, fatores de esquecimento, atrasos de transporte, períodos de amostragem. Além desta inicialização, durante a utilização do algoritmo é necessário monitorá-lo de forma a, por exemplo, alterar os valores iniciais para permitir a adaptação do modelo a variações no ponto de operação. A inicialização e a monitoração do estimador é uma tarefa difícil para os não iniciados em identificação, inviabilizando sua aplicação em muitos casos. Para executar estas, dentre outras tarefas, é necessário utilizar do conhecimento de especialistas na área. Sistemas Supervisores para identificação de processos tornam-se necessários para auxiliar o usuário na obtenção dos modelos para a consequente otimização para operação do processo de acordo com uma ou várias funções objetivos. O resultado da otimização usualmente é traduzido em valores de referência para os controladores do primeiro nível da hierarquia. Um exemplo de tal supervisor é fornecido por Santa Bárbara et alii, cuja estrutura lógica é mostrada na Fig. 4.4. Este sistema supervisor armazena o conhecimento na forma de regras de produção. As inferências são realizadas via procedimentos de busca para frente para obtenção de um diagnóstico do comportamento do estimador. Procedimentos de consulta são usados para, através da análise das regras que levaram ao diagnóstico, explicitar ao usuário a linha de raciocínio ou as razões que levou o sistema a chegar a uma conclusão (e.g. divergência). Este supervisor também pode ser visto como um sistema de produção no sentido de Nilsson (1980).

Antes de prosseguir, alguns comentários sobre, de novo, o fator tempo. Em situações, como a monitoração, onde o processamento da informação e as inferências devem ser executados em tempo-real, torna-se crítica a escolha de procedimentos de representação do conhecimento e de busca por uma solução. Na maioria das vezes, estamos tratando com sistemas dinâmicos, onde eventos ocorrem de forma aleatória e com frequências variáveis. Além do

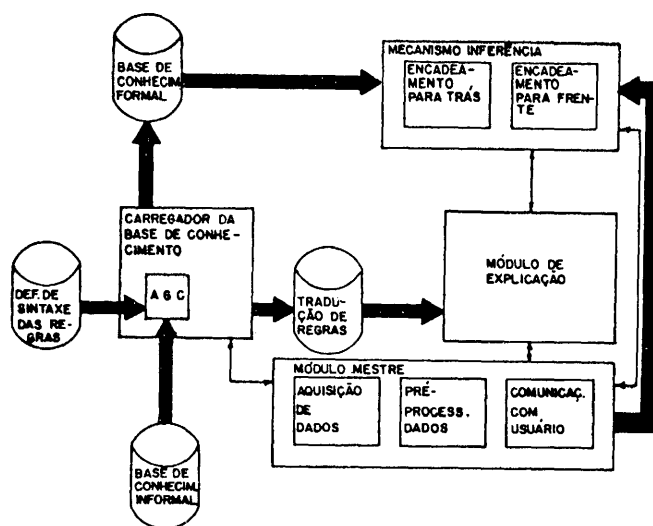


Fig. 4.4: Estrutura lógica do sistema supervisor

mais, os estados atingidos pelos sistemas podem variar consideravelmente (como por exemplo em situações de emergência) fazendo com que conclusões obtidas em um certo instante sejam ou parcialmente válidas ou totalmente invalidadas em instantes posteriores. Estes aspectos trazem dificuldades no desenvolvimento dos sistemas baseados em conhecimento para aplicações com restrições temporais severas, pois, além do desempenho computacional, o fator tempo deve ser considerado também no estabelecimento do mecanismo de inferência. Em certos casos, o intervalo de tempo para obter uma decisão deve ser pequeno para fornecer respostas rápidas, ao passo que decisões complexas requerem intervalos de tempo maiores. Diferentemente dos sistemas em tempo real convencionais, onde uma interrupção pode colocar uma tarefa que vinha sendo executada em uma fila para execução posterior, é necessário considerar também interrupções lógicas, as quais, além de possuírem funções análogas às convencionais, poderiam também causar um cancelamento completo da inferência que vinha sendo feita e iniciar uma inferência relativa a uma nova situação ou problema. Este pode ser o caso onde, ao executar uma das funções do nível de supervisão tal como identificação do processo para posterior otimização, ocorra situações de emergência que exigem respostas rápidas. Evidentemente, em situações de emergência, otimização deixa de ter sentido. A estabilidade e a segurança do sistema são certamente prioritárias. Por outro lado, é também evidente que, casos onde as restrições temporais são fracas ou inexistentes, o grau de liberdade no desenvolvimento é maior, sendo os fatores envolvidos similares aos sistemas baseados em conhecimentos comuns em outras áreas.

Os níveis superiores da hierarquia envolvem as funções de coordenação, planejamento e gerenciamento ou gestão. Na programação da produção, uma das subfunções básicas do nível

de coordenação, as técnicas de inferência podem incluir métodos típicos de programação matemática, combinados por procedimentos heurísticos onde, principalmente, os problemas não são facilmente modelados formalmente. Uma

célula flexível de fabricação, Fig. 4.5, por exemplo, apresenta dificuldades para um tratamento puramente formal da programação da produção. Embora o problema de sequenciamento de lotes para produção tenha sido extensivamente

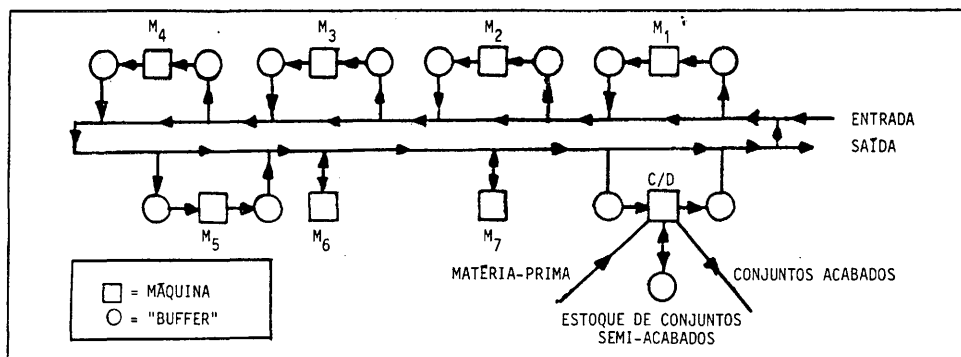


Fig. 4.5: Célula flexível de fabricação

estudado, os resultados obtidos não são passíveis de aplicação a programação de células flexíveis porque o número de peças de cada lote produzido por unidade de tempo depende da condição do carregamento: a combinação de lotes processados ao mesmo tempo. Então, o tempo requerido para processar um lote inteiro não é conhecido até que o programa de produção seja completado [Bruno et alii, 1987]. A construção de um programa de produção envolve uma série de decisões sobre a introdução de um novo lote na célula que já está produzindo uma determinada combinação de lotes. Estas decisões são baseadas em estimativas dos efeitos da introdução do novo lote no desempenho da célula (utilização das máquinas, comprimento das filas, taxa de produção de outros lotes, etc.). Conseqüentemente, são necessários modelos para avaliação de desempenho tais como modelos de fluxo em redes. A vantagem de um modelo deste tipo é que estimativas de medidas de desempenho podem ser obtidas por algoritmos heurísticos eficientes. Por outro lado, métodos de programação matemática tais como programação linear são importantes na geração de protótipos de programas de produção. Relaxação de restrições é importante na criação de programas alternativos. Então, uma combinação de métodos formais e heurísticos, combinados com regras de produção (não confundir o termo produção no sentido usual) configuram uma arquitetura de um sistema baseado em conhecimento para a geração de programas de produção. Métodos de inferência à frente, ou mesmo os mais simples são candidatos naturais. Contudo, na eventualidade de uma reprogramação "on-line" da produção, isto é, a modificação do programa de produção quando na ocorrência de eventos inesperados (quebra de uma máquina, falta de uma matéria-prima quando requisitada) pode ser conveniente a utili-

zação de um modelo mais complexo para que, por exemplo, rotas alternativas de produção possam ser cogitadas. Uma combinação de "frames" e regras pode ser útil para uma representação, embora demande mecanismos mais complexos de inferência.

Os níveis de planejamento e de gerenciamento envolvem decisões dentro do contexto econômico, estratégico, e da fábrica, planta industrial ou um processo complexo qualquer. O planejamento econômico significa, por exemplo, a colocação da planta em uma situação coerente com objetivos econômicos da organização a que pertence. A modelagem de um ambiente econômico não é uma tarefa fácil e, sob alguns aspectos, possui algumas semelhanças com a tarefa de modelagem do processo a ser controlado no que se refere à complexidade, relações e mecanismos pouco entendidos e à presença de perturbações exógenas. No estabelecimento de estratégias apropriadas para o futuro, os elementos que tomam decisões podem necessitar de ajustar parâmetros levando em consideração o comportamento da economia ou considerar o efeito de modelos econômicos diferentes. Ainda mais, via sistema de apoio a decisões, estes elementos frequentemente estão interessados na criação de cenários para comparar o efeito dos diferentes modelos, ou diferentes cenários para um mesmo modelo. Desta forma, um sistema baseado em conhecimento para o suporte na tomada de decisões pode utilizar, além de modelos formais e conceituais (via "frames", redes semânticas), regras também como modelos, envolvendo longas cadeias de inferência, utilizando métodos de busca para frente. Contudo, regras poderiam também ser utilizadas para expressar restrições que as soluções geradas devem obedecer. Neste caso, métodos de busca para trás podem ser necessá-

rios para identificar o espaço de decisão dentro do qual planos possíveis possam ser gerados. Uma vez articulados os planos estratégicos, as decisões correspondentes devem ser inseridas na fábrica de forma a compatibilizar as estratégias com a produção. Isto envolve uma decomposição dos planos estratégicos a um nível muito maior de detalhe, talvez até o ponto de gerar planos e programas de produção (funções dos níveis de planejamento e coordenação). Esta técnica pode ser baseada no paradigma dos refinamentos sucessivos e em inferência direcionada pelo algoritmo [Sacerdoti, 1974].

A Tabela 1 resume os principais fatores

envolvidos nas discussões desta seção e seu relacionamento com os diversos níveis funcionais de controle.

Cabe ressaltar que nos níveis funcionais mais altos da hierarquia de controle, onde o raciocínio é feito levando em consideração entidades mais abstratas, torna-se pertinente o uso de interfaces em linguagem natural que permita uma interação mais flexível entre o usuário e o sistema. Base de Dados inteligentes são também importantes devido às características adaptativas dos dados (constante atualização e introdução de informação e conhecimento) e seu acesso pelo usuário.

TABELA 1 Aspectos da IA e seus relacionamentos com as funções de controle

NÍVEIS FUNCIONAIS	TIPOS DE CONHECIMENTO	TIPOS DE INFERÊNCIA	TIPOS DE REPRESENTAÇÃO	INFLUÊNCIAS
GERENCIAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> . Companhia . Economia, Mercado . Plano Estratégico 	<ul style="list-style-type: none"> . Busca Heurística . Satisfação Restrições . Simulação . Busca para Frente 	<ul style="list-style-type: none"> . Redes Semânticas . "Frames" . Regras de Produção . Lógica Nebulosa 	<ul style="list-style-type: none"> . Adaptação . Autorganização
PLANEJAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> . Demanda . Estratégias Mercado . Fábrica 	<ul style="list-style-type: none"> . Busca Heurística . Busca em Amplitude . Satisfação Restrições . Simulação 	<ul style="list-style-type: none"> . Redes Semânticas . "Frames" . Regras de Produção . Lógica Nebulosa 	<ul style="list-style-type: none"> . Autorganização . Replanejamento . Cenários de Desempenho
COORDENAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> . Conjunto de Unidades . Fluxo de Produção . Fluxo de Materiais . Qualidade do Produto 	<ul style="list-style-type: none"> . Busca Heurística . Satisfação Restrições . "Best-First Search" . Simulação 	<ul style="list-style-type: none"> . Regras de Produção . "Frames" . Lógica Nebulosa 	<ul style="list-style-type: none"> . Reprogramação da Produção . Refinamentos na Estratégia de Produção . Otimização
SUPERVISÃO	<ul style="list-style-type: none"> . Conjunto de Processos . Operação do Conjunto . Condições Operação . Falhas/Diagnósticos 	<ul style="list-style-type: none"> . Busca em Amplitude . Busca para Frente . Busca Retroativa . Busca para trás 	<ul style="list-style-type: none"> . Regras de Produção . "Frames" . Lógica Nebulosa 	<ul style="list-style-type: none"> . Reconfiguração do conjunto . Anunciação de Alarmes . Testes e Diagnósticos . Otimização Operacional
CONTROLE DIGITAL	<ul style="list-style-type: none"> . Processo, Máquinas . Lógica de Operação 	<ul style="list-style-type: none"> . Busca para Frente . Busca Direta 	<ul style="list-style-type: none"> . Regras de Produção . Tabelas . Lógica Nebulosa 	<ul style="list-style-type: none"> . Tratamento de Alarmes . Monitoração

5. AUTOMAÇÃO, CONTROLE E A IA: APLICAÇÕES EM PERSPECTIVAS

5.1. Automação da Manufatura e Controle de Processos [Special Report, 1985; Efstathion, 1985]

a) Engenharia de Projeto: Projeto do produto usando modelagem interativa de sólidos para reconhecimento de formas e definição de peças ou partes - Projeto e simulação via métodos dos elementos finitos - Documentação de projetos e análise de configurações.

b) Planejamento de Fabricação: Planejamento de processos de fabricação a partir de sistemas especialistas que utilizam as características das partes como entrada e correlaciona estas características ao processo de fabricação, às sequências operacionais, gerando pla-

nos de fabricação.

c) Inspeção Auxiliada por Computador.

d) Geração de "Lay-Outs" de Fábricas Otimizados.

e) Controle da Fabricação: Planejamento das Necessidades de Materiais (MRP) - programação da produção - controle de célula flexível de fabricação e de centros de trabalho - Supervisão e Monitoração.

f) Automação de Fábrica: Comando numérico, robótica, manuseio de materiais, montagem, inspeção, processamento de materiais.

5.2. Engenharia Auxiliada por Computador [Proceedings of the IEEE, 1984]

a) Estações de trabalho heurísticas para CAD

de sistemas de controle.

b) Sistemas especialistas para apoio a decisões.

c) Simulação baseada em regras heurísticas.

5.3. Comando e Controle [Aström, 1986; Proc. of 3rd IFAC, 1985]

a) Controladores e compensadores baseados em procedimentos heurísticos.

b) Controladores adaptativos - Identificação de sistemas.

c) Otimização combinatorial - otimização estática.

d) Controle Multivariável no domínio do tempo e da frequência, filtros.

e) Processamento de sinais, etc.

6. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram discutidos alguns tópicos relacionados com a automação, o controle e algumas de suas conexões com a área de inteligência artificial aplicada. Não foi intenção esgotar o assunto, muito menos apresentar uma prospecção ou um tutorial sobre o assunto. Ao invés, foram analisadas e discutidas algumas das características e exemplos ilustrativos de possíveis relações entre as diversas áreas, bem como dos efeitos destas relações. Estas discussões foram colocadas dentro de uma perspectiva integrada, uma vez que a automação industrial caminha para os sistemas integrados visando o Controle Integrado da Manufatura e o Controle Integrado de Processos. Naturalmente, muito do que foi aqui apresentado poderá ser traduzido para diferentes contextos, de forma a incluir processos não industriais tais como: transporte, comunicação, geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, sistemas aeroespaciais e outros.

Acreditamos, no entanto, que o leitor tenha encontrado motivações suficientes para explorações futuras em um campo rico em oportunidades e novos desafios, além daqueles que a automação e o controle normalmente nos traz.

Na segunda parte deste trabalho, exemplos práticos detalhados serão apresentados, de forma a complementar muito dos tópicos aqui discutidos com relação a aplicações nos diversos níveis hierárquicos de controle.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves Silva, M; Gomide, F. & Amaral, W. (1987). "Um Sistema Especialista para a Auto-sintonia de Controladores Industriais do Tipo PID". 4º Simposio de Inteligência Artificial, UFU, Uberlândia.

Aström, K. (1986). "Auto-Turning, Adaptation

and Expert Control". *Automatic Control Conference*.

Barr & Feigenbaum, E.A. (1981). *The Handbook of Artificial Intelligence*. Lo Altos, California, William Kaufmann, Inc., vol. 1 e 2.

Bruno, G.; Elia, A. & Lapace, P. (1987). "A Ruled-Based System to Schedule Production". *Computer*, vol. 19, nº 7.

Cohen, P. & Feigenbaum, E.A. (1981). *The Handbook of Artificial Intelligence*. Los Altos, California, William Kaufmann, vol. 3.

Coughnour, D. & Koppel, L. (1978). *Análise e Controle de Processos*. Guanabara Dois, RJ.

Croff, K. (1985). "Artificial Intelligence in Process Control". *Mechanical Engineering*.

Efstathion, J. (1985). "Knowledge-Based Systems for Industrial Control". *Computer Engineering Journal*.

Gevarter, B.W. (1982). *An Overview of Expert Systems*. Washington, DC, National Bureau of Standards.

Gomide, F. & Andrade Netto, M.L. (1986). *Introdução à Automação Industrial Informatizada*. Editorial Kapely, Buenos Aires, Argentina.

Higham, E. (1986). "Expert Systems in Self-Turning Controllers". *The Chemical Engineer*.

Kaufmann, A. (1975). *Introduction to the Theory of Fuzzy Subsets*. Academic Press.

Nilsson, N.J. (1980). *Principles of Artificial Intelligence*. Tioga Pub. Co.

Proceedings of the IEEE, (1984), vol. 72, nº 12.

Proceedings of the 3rd IFAC Symposium on Computer Aided Control Engineering (1985) Copenhagen.

Rich, E. (1983). *Artificial Intelligence*. New York, Mac-Graw Hill.

Sacerdoti, E. (1974). "Planning in a Hierarchy of Abstraction Spaces". *Artificial Intelligence*, nº 5.

Sanoff, S. & Wellstead, P. (1985). "Expert Identification and Control". *Proceedings IFAC Symp. Identification and System Parameter Estimation*, York, UK.

Santa Bárbara, A.; Fontanini, W., Amaral, W. & Gomide, F. (1986). "Um Supervisor Inteligente para Identificação de Sistemas". *Anais do 6º CBA, SBA, Belo Horizonte*.

Shinsky, F. (1979). *Process Control Systems*. Mac-Graw Hill.

Söderstrom, Torsten, Ljung, Lennart, (1983). *Theory and Practice of Recursive Identification*. MIT Press.

Special Report, "Artificial Intelligence: a Tool for Smart Manufacturing. AM.

Zadeh, L. (1965). "Fuzzy Sets". *Information and Control*, 8.