

INTELIGENCIA ARTIFICIAL E O CONTROLE DE PROCESSOS*

Mauricio G. Solar F.^{1/2} Sueli B. T. Mendes¹

¹COPPE/UFRJ

Programa de Engenharia de Sistemas e Computação

Centro de Tecnologia - COPPE - UFRJ - Caixa Postal 68511

Rio de Janeiro - RJ - CEP 21945 - Brasil

Endereço Eletrônico: cos99288@UFRJ (BITNET)

²USACH

Universidad de Santiago de Chile

Departamento de Ingenieria Informática - Casilla 10233 - STGO

Avda. Ecuador 3659 - Estación Central - Santiago de Chile

FAX: (562) 6811422

RESUMO

O trabalho apresenta a implementação do hardware e do software de um Sistema Especialista (SE) numa aplicação de automação e controle de processos. Detalha-se o esquema do software (mecanismos de inferências e representação do conhecimento) e do hardware sob o qual foi desenvolvido o SE.

O sistema especialista desenvolvido têm como objetivos melhorar a qualidade, segurança e eficiencia dos processos controlados, o que diminui o desgaste físico dos operadores, portanto são diminuídos os riscos de falhas humanas.

* Este trabalho foi parcialmente financiado pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL-Rio) e pelo CNPq.
CEPEL: Depto. de Eletrônica - Caixa Postal 2754

Rio de Janeiro - RJ - CEP 21941 - Brasil

1. INTRODUÇÃO

Os pesquisadores da área de IA [1] indicam a existência de quatro classes de Sistemas Especialistas (SE) [2]:

- 1.- **Sistemas Consultores:** onde a entrada é dada pelo homem e a saída do sistema é para o homem;
- 2.- **Controladores Inteligentes:** entrada do sistema é dada pelo homem e a saída é através de sensores (encontrado nas indústrias automatizadas);
- 3.- **Classificação Inteligente de Dados de Sensores:** entrada dada por sensores e a saída do sistema é para o homem;
- 4.- **Dispositivos Realmente Autônomos:** entrada e saída através de sensores, onde as ações são baseadas nos dados dos sensores.

O uso de técnicas heurísticas em **Controladores Inteligentes** [3] têm um duplo objetivo:

- o controle supervisor tem um raciocínio heurístico para tomar decisões dos resultados obtidos por métodos heurísticos ou analíticos;
- o controle direto interpreta os dados dos sensores para tomar decisões de controle.

A solução adotada para implementar o SE para controlar processos em tempo real é um **Controlador Inteligente**. Este Controlador necessita de uma entrada, que é dada por outro SE em configuração de processos [4]. A entrada consiste de um arquivo de comandos (Base de Dados, BD) que contém as instruções que devem ser executadas durante o processo.

Este Software de automação de processos efetua três tarefas básicas: aquisição, análise e apresentação dos dados do processo.

Para a realização destas tarefas foi implementada uma Interface Homem-Máquina (IHM) com a qual o operador pode interagir para acompanhar o processo [5]. Este sistema interpreta e executa as operações lidas da BD de entrada. A BD contém o código em alto nível das operações que devem ser efetuadas na execução do processo. Cada operação em alto nível é traduzida em comandos de baixo nível que são enviados para os equipamentos climáticos ou para os instrumentos de medição. Estes comandos consistem na configuração dos equipamentos climáticos e instrumentos de medição. Os equipamentos climáticos são os encarregados de manter as condições climáticas de temperatura, pressão e umidade do processo para permitir o controle. Os instrumentos envolvidos em cada etapa permitem a monitoração dos sinais de interesse.

No final da execução tem-se toda a informação referente à evolução do processo armazenadas em diferentes BDs, tais como monitoração dos equipamentos (temperatura, pressão e umidade), monitoração dos instrumentos (tensão, corrente, frequência, etc.), alarmes ocorridos e comandos executados.

Todo o controle do processo é efetuado em base ao conhecimento representado [6], armazenado e manipulado [7] pelo SE.

Neste trabalho detalha-se o projeto de Automação de Testes de Equipamentos (ATE) desenvolvido e implementado no Laboratório de

Ensaio Climático do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL-Rio de Janeiro). A automação do sistema tem como objetivo desenvolver um sistema inteligente que auxilie o operador na supervisão, execução e controle dos Ensaio Climático (EC). O sistema de operação mostrado neste trabalho foi desenvolvido como um primeiro estágio do projeto para se obter uma base sob a qual avaliar o desempenho do sistema para continuar evoluindo incrementalmente com o desenvolvimento do sistema até integrar todos os equipamentos e instrumentos do laboratório.

2. AUTOMAÇÃO DOS ENSAIOS CLIMÁTICOS (EC)

O EC tem basicamente três fases principais: Configuração, Operação e Avaliação. A fase de Configuração tem como objetivo principal a especificação total do EC, no qual o especialista estuda e seleciona as normas que melhor se adaptam ao teste, segundo as características de funcionamento do objeto sob teste. Uma vez escolhidas as normas, deve-se selecionar os equipamentos climáticos e instrumentos de medição que sejam mais adequados ao teste. Em seguida é necessário configurar os parâmetros dos equipamentos climáticos e dos instrumentos envolvidos em cada etapa do ensaio, bem como a sequência e a característica destas etapas [5].

Uma vez especificado o EC com todas as suas etapas, é possível iniciar a segunda fase. A fase de Operação tem como objetivo principal adquirir os dados, acompanhar e gerenciar o desenvolvimento do EC, no qual deve-se monitorar, supervisionar e

controlar o processo, que normalmente durará alguns dias, mas podendo durar até semanas.

A terceira e última fase é a Avaliação do objeto testado. Nesta fase o objetivo é avaliar o comportamento do objeto durante o EC, verificando se os dados adquiridos estão dentro da faixa de aceitação das especificações do objeto.

O projeto de Automação de Testes de Equipamentos engloba as três fases envolvidas num EC, ou seja, Configuração, Operação e Avaliação. O objetivo principal a ser alcançado com a ATE é diminuir, tanto quanto possível, a "interferência física do homem" dentro de um sistema totalmente desenvolvido e integrado, onde a atuação humana passa a ser mais de supervisão.

A automação da fase de Operação dos EC's foi desenvolvida como um primeiro estágio da automação total do sistema. O "hardware" envolvido neste sistema é mostrado na figura 1, cuja descrição detalhada se encontra em [8].

2.1. Automação da Fase de Operação

O sistema de automação pode ser visto, em linhas gerais, como um sistema de supervisão e controle em tempo real que manipula uma grande quantidade de informações. O "software" envolvido na fase de Operação é estruturado em módulos que se relacionam em diversos níveis hierárquicos. O nível hierarquicamente mais alto é aquele onde todo o "hardware" do sistema é transparente para o

usuário. O nível mais baixo lida com as instruções que atuam diretamente sobre o "hardware" do sistema.

Este "software" foi organizado em três subsistemas independentes:

- .**Subsistema Gerente**: gerenciador dos processos. Encarregado de ler os comandos, interpretá-los e enviá-los aos outros subsistemas através de um módulo chamado **Identificador**;
- .**Subsistema TAC** (Terminal de Aquisição e Controle): usado como interface com os equipamentos. O TAC permite controlar de forma independente os equipamentos condicionadores climáticos [9];
- .**Subsistema GPIB** (General Purpose Interface Bus): usado como interface com os instrumentos. Esses instrumentos respondem ao padrão GPIB especificado pela Hewlett-Packard, também conhecido como barramento IEEE-488, amplamente usado na indústria.

Os três subsistemas (figura 2) estão ligados por um módulo de interface denominado módulo **Identificador**. A descrição detalhada deste módulo, bem como dos módulos TAC e GPIB, se encontram em [8].

2.2. Subsistema Gerente

O nível hierarquicamente mais alto corresponde ao subsistema Gerente, o qual é composto por uma IHM e um Gerenciador do Processo. A IHM permite ao operador acompanhar o andamento do processo, como, por exemplo, observar medidas obtidas, comandos executados, gráficos de acompanhamento, alarmes ocorridos, etc. Todas as informações apresentadas pela IHM são obtidas das

diferentes BD's, as quais são atualizadas em tempo real, ou seja, o operador do sistema sempre tem disponíveis as últimas informações do processo.

O nível seguinte diretamente relacionado com a IHM corresponde ao Gerenciador do Processo. O Gerenciador é quem determina, a partir da BD chamada Agenda, que contém a configuração completa do ensaio, as operações que devem ser efetuadas no andamento do processo.

A função do Gerenciador é:

- interpretar os comandos de configuração;
- servir de interface entre o Gerente e os subsistemas GPIB e TAC, construindo, a partir desses comandos, as mensagens a serem enviadas a estes subsistemas e recebendo as respectivas mensagens retornadas;
- gerenciar as BD's que armazenam as informações obtidas dos subsistemas.

Intérprete de Comandos

A interpretação dos comandos consiste em três fases: ler um comando da BD da Configuração (Agenda), verificar se não contém erros e preparar a mensagem para enviar aos subsistemas TAC ou GPIB. Estes comandos podem ser do tipo:

- Configurar um instrumento para fazer uma medida;
- Configurar um equipamento climático para atingir uma temperatura determinada;

- Iniciar uma operação no equipamento climático;
- Cancelar uma operação no equipamento climático;
- Perguntar pelo status atual em um equipamento climático;
- Perguntar qual o valor de uma medida em um instrumento;
- Indicar as ligações entre os instrumentos que se deve efetuar.

Interface com o Processo

A Interface com o Processo constrói uma estrutura de dados para ser enviada aos subsistemas TAC ou GPIB. As mensagens a serem enviadas têm uma estrutura única que identifica para qual subsistema elas se destinam, indicando o instrumento ou equipamento correspondente, com os dados que são necessários. Esta estrutura contém as seguintes informações:

- Identificador GPIB ou TAC;
- Identificação de instrumento ou equipamento;
- Tipo de operação que se deseja efetuar;
- Parâmetros da operação a realizar no instrumento ou equipamento;
- Início, duração e/ou término da operação.

Gerenciador de Bases de Dados (GBD)

A IHM exterioriza as informações provenientes das BD's, as quais são preenchidas dinamicamente em tempo real pelo GBD. O GBD se comunica com os dois subsistemas de aquisição de dados (TAC e GPIB) através da Interface com o Processo.

O subsistema TAC é usado para monitorar e controlar os equipamentos envolvidos no processo e o subsistema GPIB é usado como interface dos instrumentos com o sistema.

A cada vez que é enviada uma mensagem para qualquer um dos subsistemas, é retornada uma mensagem, na qual se tem informação a respeito do andamento do processo. O GBD armazena esta informação na BD correspondente. Existem quatro BD's, cada uma contendo informações específicas sobre o processo, que são as seguintes:

- ALARMES: armazena todos os alarmes ocorridos no transcurso do processo;
- TAC: armazena as medidas relativas aos equipamentos;
- IEEE: armazena as medidas obtidas dos instrumentos;
- ROTEIRO: armazena os comandos executados no processo.

2.3. Módulo Identificador

O módulo Gerente da Operação interpreta instruções de operações lidas de uma BD de entrada e as executa. Estas instruções contidas na BD são códigos em alto nível das operações a serem realizadas no ensaio. Cada operação codificada em alto nível é traduzida em comandos de baixo nível que são enviados para os subsistemas TAC ou GPIB. Estes comandos constituem a configuração dos equipamentos e dos instrumentos envolvidos em cada etapa, para permitir a monitoração e controle do EC.

O módulo Identificador recebe a mensagem enviada pelo Gerente e identifica se o comando de operação ou instrução pertence

ao subsistema GPIB ou TAC, passando o comando para o subsistema correspondente.

2.4. Subsistemas TAC e GPIB

O nível hierárquico imediatamente inferior ao do módulo Identificador contém os subsistemas GPIB e TAC, que determinam, a partir da mensagem recebida do módulo Identificador, o equipamento ou instrumento ao qual se destina o comando.

O subsistema TAC, coordenado pelo subsistema Gerente, é responsável, basicamente, pelo controle dos equipamentos condicionadores climáticos. Neste subsistema estão armazenados em forma distribuída os algoritmos de controle de cada equipamento.

O desenvolvimento deste sistema de automação está sendo realizado em etapas. Primeiramente, foi implementada a parte correspondente à automação de um único equipamento condicionador climático, no caso, uma Estufa. Atualmente está sendo desenvolvida a parte correspondente à automação de uma Câmara Climática, e assim progressivamente, até a integração completa de todos os equipamentos do laboratório.

O subsistema GPIB é o responsável pela recepção das mensagens destinadas aos instrumentos ligados ao barramento GPIB, pela identificação do instrumento ao qual a mensagem se destina, pelo envio das mensagens aos módulos correspondentes e pela recepção das respectivas respostas, encaminhando-as ao módulo

Identificador. Nesta fase do projeto estão sendo utilizados três instrumentos: um Osciloscópio, um Multímetro e um Sintetizador.

Cada instrumento e equipamento tem características próprias e, para fazer a interface adequada, existe um módulo de "software" correspondente a cada um, conforme indicado na figura 2 (instrumento 1, instrumento 2, ..., equipamento 1, equipamento 2, ...). Estes módulos recebem as instruções e as coloca em forma compatível com os parâmetros de cada instrumento ou equipamento, sendo este o nível hierarquicamente mais baixo.

3. POR QUE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL ?

O sistema de automação descrito neste trabalho é uma ferramenta de auxílio disponível para o especialista que lhe proporciona facilidades para verificação do andamento do processo.

No desenvolvimento da fase de Operação existe a necessidade de um grande conhecimento dos alarmes que podem ocorrer na execução de um processo. Além deste conhecimento, também é necessário conhecer as decisões que devem ser tomadas, com a finalidade, por exemplo, de analisar o alarme, o estado do processo e a condição em que está operando (onde se supõe existir algum problema), para efetuar uma determinada ação. Este processamento de alarmes é um conhecimento armazenado na forma de regras (SE ... ENTÃO ...).

Outro conhecimento especializado que deve estar presente nesta fase corresponde às características dos equipamentos

condicionadores climáticos e às características dos instrumentos usados para a aquisição de dados. Este conhecimento, pelo fato de ser bem estruturado, foi representado na forma de frames [6].

Detecta-se aqui a existência de um domínio de conhecimento muito raro e de alto custo. Raro, pelo fato de que os especialistas humanos são escassos e, quando disponíveis, têm pouco tempo livre, dado que cada ensaio tem uma grande duração no tempo. Embora os especialistas sejam muito eficientes em seu trabalho, a possibilidade de confusão causada por muitas solicitações conflitantes os torna mais vulneráveis a erros do que um sistema baseado em computador. O alto custo é uma questão de tecnologia, dado que, com o advento dos microcomputadores pessoais, é possível implementar SE's com um custo relativamente baixo.

Com a ATE pretende-se atingir o objetivo de diminuir os erros no controle de um ensaio, deixando ao especialista mais tempo para outras tarefas, evitando erros que podem invalidar um ensaio depois de ter sido executado durante algumas semanas.

4. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

O SE foi desenvolvido sob o sistema operacional com primitivas em tempo real, chamado Núcleo do Sistema Operacional (NSO), desenvolvido pelo CEPTEL para propósitos de controle [9]. O nível hierarquicamente mais alto na estrutura do software, o subsistema Gerente, foi desenvolvido em Turbo Prolog [10], para o qual foi necessário desenvolver uma interface em assembler 8086

para permitir a comunicação com a linguagem PLM-86, com a qual foram desenvolvidos os níveis mais baixos na hierarquia do software, os subsistemas TAC, GPIB e os módulos dos instrumentos e equipamentos.

A linguagem Turbo Prolog foi escolhido pela eficiência e velocidade na execução de programas em Prolog [11].

O PLM-86 foi escolhido por ser uma linguagem de alto nível com facilidades de baixo nível e possuir uma grande portabilidade entre os produtos da Intel.

Uma grande vantagem, importante de mencionar, é a facilidade de integrar novos instrumentos e novos equipamentos ao sistema. Esta facilidade deve-se principalmente à forma na qual foi definido a base de conhecimento. Este conhecimento está representado na forma de frames, e todas as operações sobre esses frames está disponível dentro do sistema.

O SE implementado permitiu testar através de alguns Ensaios Climáticos, o bom desempenho no controle de processos em tempo real. O sistema conseguiu controlar, monitorar e supervisionar eficientemente durante vários dias alguns EC's. Este SE respondeu satisfatoriamente às necessidades do projeto do CEPEL. Nesta afirmação está inserida uma grande implicação: a viabilidade da aplicação de técnicas de Inteligência Artificial no controle de processos.

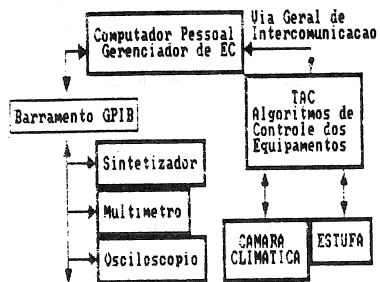


Figura 1: Hardware envolvido na ATE.

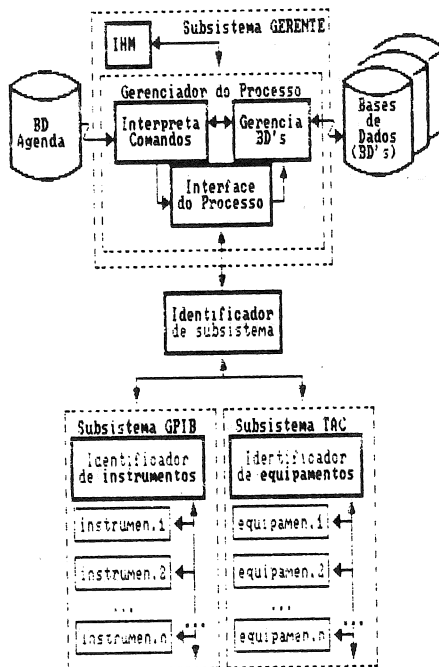


Figura 2: Esquema do Software da fase de Operação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LEINWEBER, D., "Expert Systems in Space", IEEE Expert, 1987.
- [2] HAYES-ROTH, F., D. WATERMAN & D. LENAT, Building Expert Systems, vol.1, Addison-Wesley, London, 1983.
- [3] ASTROM, K.J., "Toward Intelligent Control", IEEE Control Systems Magazine, pp 60-64, April 1989.
- [4] SOLAR F., M., O. APPEL, M. AMORIM & SUELI T. MENDES, "Um Sistema Especialista para Configurar Testes e Ensaios Climáticos", 6^o Simpósio Brasileiro em IA, Rio de Janeiro, Novembro 1989.
- [5] SOLAR F.,M., Metodologia de Desenvolvimento de um Configurador de Testes Automáticos com Técnicas de Inteligência Artificial, Tese de M. Sc. da COPPE/UFRJ, Agosto 1989.
- [6] MINSKY, M., A framework for representing knowledge, in The Psychology of Computer Vision, McGraw-Hill, 1975.
- [7] KELLER, R., Expert System Technology: Development & Application, Prentice-Hall, New Jersey, 1987.
- [8] ALBUQUERQUE, A., E. MENDONÇA, Sistema de Automação do Laboratório de Ensaios Climáticos do CEPTEL, Escola de Engenharia, Depto de Eletrônica, UFRJ-RJ, Janeiro 1989.
- [9] Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), Sistemas Digitais Distribuídos para a Automação de Usinas e Subestações, Vol. I - Manual do Hardware, 1988.
- [10] BORLAND INTERNATIONAL, Turbo Prolog ver. 2.0 User's Guide, 1988.
- [11] WONG, W., "Prolog: A Language for Artificial Intelligence", PC Magazine, October 1986.