

## SISTEMA DE AUXÍLIO A ANÁLISE E DIAGNÓSTICO A PARTIR DO ELETROCARDIOGRAMA

por

A. PERKUSICH<sup>1</sup>, M.L.B. PERKUSICH<sup>2</sup>, G.S. DEEP<sup>3</sup>, M.E. de MORAIS<sup>4</sup>, e A.M.N. LIMA.<sup>4</sup>

**RESUMO** - Neste trabalho apresenta-se o desenvolvimento e a implementação de um sistema para auxílio a análise do ECG utilizando microcomputador. O sistema incorpora facilidades para processamento do sinal de ECG e um sistema especialista para auxílio na análise de arritmias.

### INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da tecnologia de instrumentação tem levado ao aumento da complexidade e precisão dos sistemas de medição (Sztipatovits, 1988). Como consequência direta do aumento da complexidade surge a necessidade dos usuários disporem de ferramentas mais eficientes para auxiliar a análise e interpretação dos dados experimentais. Uma solução natural para contornar os problemas acima citados é integrar as técnicas de processamento digital de sinais e as ferramentas de inteligência artificial, notadamente os sistemas especialistas (Waterman, 1986), aos sistemas de medição com o objetivo de auxiliar na tarefa de analisar e interpretar os resultados de um experimento de medição.

Na área de diagnóstico médico, onde o desenvolvimento dos sistemas de instrumentação biomédica é notório, dois aspectos devem ser considerados. O primeiro relaciona-se com desenvolvimento dos sistemas médicos computadorizados com objetivo de aumentar o desempenho da análise dos dados experimentais através da agregação de facilidades para processamento de dados e capacidade de reações inteligentes (Papp, 1988). O segundo aspecto a ser considerado é a necessidade de integrar-se aos sistemas de consulta médica utilizando inteligência artificial existentes (Kulikowski, 1988) alguma capacidade para

---

<sup>1</sup>-Professor Assistente, Departamento de Eletrônica e Sistemas, CT, UFPE, Recife, Pernambuco.

<sup>2</sup>-Coordenação de Pós Graduação em Informática, Departamento de Informática, UFPB, Campina Grande Paraíba.

<sup>3</sup>-Professor Titular, Departamento de Engenharia Elétrica, CCT, UFPB, Campina Grande, Paraíba, C.P. 10004, 58100.

<sup>4</sup>-Professor Adjunto, LAC/LEI/DEE/CCT/UFPB, Campina Grande Paraíba.

processamento dos sinais medidos. A análise destes dois aspectos leva à necessidade de desenvolver-se sistemas de instrumentação onde uma abordagem utilizando processamento digital de sinais e sistemas especialistas possam ser integrados.

Com o objetivo de investigar-se o desenvolvimento de sistemas com as características descritas, optou-se pelo desenvolvimento de um sistema inteligente para auxílio à análise e ao diagnóstico a partir do sinal eletrocardiográfico (ECG) descrito em Perkusich (1989) e Deep (1987).

## DESCRIÇÃO DO SISTEMA

A seguir descrevem-se os módulos de software do sistema como apresentados em Perkusich (1989). Todos os módulos são implementados utilizando linguagem C e Prolog.

### Gerenciamento do Sinal

**Aquisição do Sinal de ECG** -- O módulo para aquisição do sinal de ECG é implementado em linguagem C. A temporização da aquisição dos dados é feita a partir do relógio em tempo real do microcomputador. A rotina de aquisição a partir das informações sobre a derivação a ser amostrada e discretizada e do número de amostras (tempo de amostragem) executa o controle de um amplificador de ECG com chaveamento eletrônico e um conversor A/D. As amostras do sinal são armazenadas em uma estrutura de dados contendo informações sobre: derivação, número de amostras e sinal digital. A frequência de amostragem pode ser programada pelo usuário, neste trabalho a taxa de amostragem está definida em 200 Hz.

**Gerenciamento de Banco de Dados** -- O gerenciamento do banco de dados é implementado em linguagem C, utilizando modelo relacional. As relações existentes no banco de dados dizem respeito a: dados cadastrais como número, nome, idade, sexo e peso do paciente; dados de histórico: indicação clínica de exames, dor pré-cordial, arritmia de pulso e origem do paciente (ambulatório, CTI, etc); e, dados de histórico de ECG: contendo número do paciente, data, hora, número de amostras por derivação, e o sinal digital obtidos das derivações, bem como uma base de fatos, descrita a seguir.

**Processamento do Sinal de ECG** -- Neste módulo são implementadas as funções de processamento do sinal de ECG, extração de parâmetros, e criação de uma base de fatos para o sistema especialista, em linguagem C.

Os algoritmos de filtros digitais implementados (Pan, 1985) visam: filtrar o ruído impulsivo, devido a atividade muscular e interferência da linha de alimentação; e, corrigir a linha base do sinal de ECG.

Implementou-se ainda os algoritmos para detecção de QRS e PVC (Hamilton, 1986).

O filtro passa baixa é implementado pela equação de diferenças:

$$y(n) = 2y(n-1) - y(n-2) + x(n) - 2x(n-6) + x(n-12)$$

O filtro passa alta é implementado pela equação de diferenças:

$$y(n) = x(n) - (y(n-1) + x(n) - x(n-32)) / 32$$

A equação de diferenças para o derivador é:

$$y(n) = (2x(n) + x(n-1) - x(n-3) - 2x(n-4)) / 8$$

O sinal na saída do derivador é então elevado a quadrado e executa-se a média temporal de 32 amostras. Após a detecção do QRS (Hamilton, 1986) determina-se a frequência cardíaca e a regularidade do ritmo cardíaco, além da detecção de PVC.

### Interface Homem-Máquina

A interface homem-máquina é baseada em menus e janelas, de modo a prover flexibilidade de operação. A interface provê ainda acesso a recursos gráficos para visualização e impressão do ECG. Na figura 1 apresenta-se a impressão do sinal após o processamento descrito no item anterior.



Figura 1. Tela do Módulo de Processamento

## Módulo de Análise

O módulo de análise constitui-se de 6 blocos: Interface, Editor de Regras, Base de Conhecimentos, Núcleo, Diagnósticador e Justificador. A seguir descrevem-se estes blocos:

**Interface** -- Este bloco foi implementado em linguagem C e é composto basicamente por menus de extração e janelas de exibição. Inicialmente apresenta-se um menu principal que mostra todas as opções que o sistema oferece, a saber: Editar Regras, Executar, Listar (dados informados), Sair.

A medida em que o usuário vai fazendo suas seleções outros menus ou janelas serão apresentados.

**Editor de Regras** -- O editor de regras foi implementado em linguagem C e constrói regras de produção do tipo:

REGRA(NÚMERO\_DA\_REGRA, SE <PREMISSA> ENTÃO <CONSEQUENTE>)

As premissas constam de qualificadores com as seguintes estruturas: **dado(atributo)**, e **diagnóstico**.

Os consequentes constam de escolhas com as seguintes estruturas: perguntas definidas pelo usuário, **diagnóstico** e **dado(atributo)**.

Além da construção das regras, o editor também constrói 3 arquivos: arquivo de influência, arquivo de contagem e arquivo de prioridades. O arquivo de influência armazena seus dados em estruturas do tipo: **influência(dado(atributo), N)**. O arquivo de contagem armazena seus dados em estruturas do tipo: **contagem(contador,N)**. O arquivo de prioridades armazena seus dados em estruturas do tipo: **prioridade(prior,N)**. A razão para a construção destas tabelas serão descritas quando falar-se do Núcleo do Sistema.

Inicialmente, o operador deverá incluir escolhas e qualificadores para depois construir as regras. O editor apresentará uma janela onde será mostrado passo a passo como a regra esta sendo montada. Também apresentará um menu onde serão mostrados os qualificadores para que estes possam ser selecionados e assim formar as premissas das regras. A cada seleção feita será apresentado um menu onde deverá ser selecionado o conectivo das premissas, e enquanto as premissas não forem fechadas o menu de qualificadores será apresentado para mais seleções. A seguir será apresentado um menu onde o operador deverá selecionar que tipo de consequente a regra terá. Feita a seleção, outro menu será apresentado com os dados correspondentes. Feita a seleção o editor perguntará se o operador deseja incluir mais regras.

**Base de Conhecimentos** -- A base de conhecimentos armazena o conhecimento obtido diretamente do especialista ou de manuais de eletrocardiografia na forma de regras de produção como mostrado acima. Estas regras são construídas utilizando-se o Editor de Regras

descrito acima.

A premissa pode conter **conjunções(,)**, **disjunções(;)** e **negações(not)** das estruturas **dado(atributo)** e/ou **diagnóstico**.

O conseqüente pode conter perguntas formuladas diretamente pelo usuário, dados armazenados em estruturas do tipo **dado(atributo)** e **diagnósticos** armazenados na estrutura **diagnóstico**.

Estas regras são verificadas contra uma coleção de fatos sobre um determinado paciente. Se um conjunto de fatos satisfaz as premissas de uma regra, as ações especificadas pelo conseqüente serão acionadas. Essa ação ou conjunto de ações do conseqüente poderão modificar o conjunto de fatos na base de conhecimento, por exemplo adicionando novos fatos aos já existentes. Se um diagnóstico for premissa de uma regra ele será excluído da estrutura **diagnóstico** para facilitar a obtenção do diagnóstico final.

**Núcleo** – Este bloco foi implementado em linguagem Prolog. O mecanismo de inferência utilizado para provar as regras foi o encadeamento progressivo usando-se contagem regressiva de regras (Araribóia, 1989). Supondo que existam as seguintes regras na base de conhecimentos:

```
regra(R1, se ritmo(regular), frequencia(maior_que_100))
então taquicardia sinusal.
regra(R2, se ritmo(regular), frequencia(menor_que_60))
então bradicardia sinusal.
```

A contagem regressiva de uma regra é o número de condições que ainda devem entrar no contexto antes que as ações sejam executadas. As informações sobre contagem de regras são fornecidas pelo arquivo de contagem, e as informações sobre as regras cujas contagens são influenciadas pela inserção de um fato no contexto são fornecidas pelo arquivo de influência ambos gerados pelo Editor de Regras. Exemplos destas informações:

```
contagem(2,R1). contagem(2,R2).
influencia(ritmo(regular),R1).
influencia(ritmo(regular),R2).
influencia(frequencia(maior_que_100),R1).
influencia(frequencia(menor_que_60),R2).
```

Inicialmente o núcleo lê o arquivo de regras, o arquivo de contagem, o arquivo de influência e o arquivo de fatos. Sempre que um fato for colocado no contexto, a contagem das regras influenciadas por tais fatos são atualizadas. Assim, quando **frequencia(maior\_que\_100)** for colocado no contexto a contagem de **R1** será diminuída de 1. E sempre que a contagem tornar-se nula, a regra será marcada, ou seja, a seguinte sentença é colocada na base de dados: **Executável(N)**, onde **N** é o número da regra cuja contagem é 0. Terminada a fase de leitura dos fatos todas as regras marcadas serão executadas pelo seguinte engenho de inferência:

execute :- executavel(N), regra(N, se Conds então Ações),

**Diagnosticador** – Este módulo foi implementado na linguagem Prolog e tem por objetivo gerar o diagnóstico final. Este módulo busca tudo o que estiver na estrutura diagnóstico e elabora a partir daí a impressão do laudo final.

**Justificador** – O justificador apresenta dois tipos de justificativas: **como e por que**.

-Como explica ao usuário em que o sistema baseou-se para alcançar uma conclusão(diagnóstico), ou seja, ele apresenta ao usuário quais premissas foram utilizadas;

-Por que é uma opção oferecida ao usuário sempre que o sistema deseja saber alguma informação. Ela irá explicar ao usuário porque o sistema deseja saber àquela informação.

## CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um sistema de aquisição e auxílio à análise e ao diagnóstico a partir do ECG. A implementação no estágio atual somente tem capacidade de tratar com alguns tipos de arritmias. Os testes efetuados utilizaram um conjunto de sinais de ECG gerados a partir de um simulador, junto ao NETEB/UFB.

A abordagem adotada neste trabalho criou a oportunidade de investigar e verificar a excelência da solução proposta. O estágio atual de implementação do sistema proposto, qual seja, criar-se um sistema integrado para processamento digital de sinais e inteligência artificial com o objetivo de automatizar os procedimentos de análise e interpretação de dados experimentais dentro da área de instrumentação eletrônica, no caso específico da instrumentação biomédica.

O módulo de processamento de ECG mostrou-se bastante eficiente como pode-se observar pelos resultados visualizados na figura 1.

Evidentemente, que a nível de diagnóstico e detecção de características importantes do sinal de ECG necessita-se ampliar a base de conhecimentos e introduzirem-se outras técnicas automáticas para detecção de padrões. Deve ficar claro que diversas moléstias cardíacas podem ser diagnosticadas a partir do ECG. Isto é notoriamente importante quando o ECG é utilizado concomitantemente com outras metodologias, como ecocardiografia. Obviamente que um sistema que considera as diversas possibilidades da cardiologia do ponto de vista clínico resultaria em um sistema de grande escala.

Fica evidente ainda que a solução mais interessante do ponto de vista de diagnóstico médico é a adoção de um sistema com características multi-especialista, onde bases de conhecimento diferentes devem ser desenvolvidas para domínio de problema. No caso deste trabalho construiu-se uma ferramenta que visa auxiliar a detecção de arritmias.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, CNPq, pela concessão de bolsas de estudo e pesquisa aos autores do trabalho. Ao DEE/UFPB e DES/UFPE pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho. Agradecem também ao Prof. Luiz Carlos Carvalho do Departamento de Fisiologia e Patologia da UFPb, pesquisador do NETEB/UFpb, pelo fornecimento dos sinais de ECG utilizados neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- DEEP, G.S. PERKUSICH, A., PERKUSICH M.L.B. e VARANI, M.L. (1977), "Amplificador de ECG com Chaveamento Eletrônico: Aplicação a um Sistema Automático de Aquisição e Análise", Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Engenharia Biomédica, Vol. 6, Nº 2, pp. 298-305.
- HAMILTON, P.S., e TOMPKINS, W.J. (1986), "Quantitative Investigation of QRS Detection Rules Using the MIT/BIH Arrhythmia Database", IEEE Trans. on Biomedical Engineering, Vol. BME-33, Nº 12, December, pp. 1157-1165.
- KULIKOWSKI, K. (1988), "Artificial Intelligence in Medical Consultation Systems: A Review", IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, junho, pp. 34-39.
- PAN, J., e TOMPKINS, W.J. "A Real Time QRS Detection Algorithm", IEEE Trans. on Biomedical Engineering, Vol. BME-32, Nº 3, March, pp. 230-236.
- PAPP, Z. et alli (1988), "Intelligent Medical Instruments", IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, junho, pp. 18- 23.
- PERKUSICH, A., DEEP, G.S., PERKUSICH, M.L.B. E VARANI M.L. (1989), "An Expert ECG Acquisition and Analysis System", Proc. IMTC/89, IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Washington, D.C., 25-27 Abril, pp. 184-189.
- SZTIPANOVITS, J. e KARSAI, G. (1988), "Knowledge-Based Techniques in Instrumentation", IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, junho, pp. 13-17.
- WATERMAN, D.A. (1986), A Guide to Expert Systems, Addison-Wesley Publishing Company.
- ARARIBOIA, G. (1989), Inteligência Artificial: um Curso Prático, Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda.

## SYSTEM FOR ANALYSIS AND DIAGNOSTIC AID USING ECG

**ABSTRACT** - This Paper presents the development and implementation of a microcomputer based system for ECG analysis. The system has facilities for digital ECG signal processing and an Expert System for aid arrhythmia analysis.