

UM SISTEMA DE APOIO À DECISÃO NO DIAGNÓSTICO MÉDICO

por

R.J. Machado, R.B. Chaves, L.R.H. Araújo, F.M. Varejão
IBM - Estrada da Canoa, 3520 - Rio de Janeiro - 22610 - Brasil

RESUMO: Neste trabalho descreve-se um sistema de apoio ao diagnóstico médico que baseia-se na regra de Bayes e apresenta as seguintes características : elevada precisão de diagnóstico, eficiência computacional, generalidade para aplicação em diferentes domínios da área médica, facilidade de uso, capacidade de trabalhar com dados parciais, suporte a decisões de modo iterativo. A extração do conhecimento é obtida diretamente de casos concretos de pacientes armazenados em um banco de dados. Além disso, mostra-se a aplicação do sistema na área de doença coronariana.

INTRODUÇÃO

Será apresentado um sistema especialista com o objetivo de apoiar o médico nas decisões relacionadas com o diagnóstico diferencial, o planejamento de exames, o prognóstico e a seleção de terapia na assistência do paciente. Este sistema pode ser amplamente aplicável em postos de saúde, ambulatórios, pronto-socorros e hospitais, sendo capaz de melhorar e facilitar as decisões médicas, de reduzir o custo da assistência ao paciente evitando exames desnecessários e de estender a disponibilidade deste conhecimento às comunidades carentes ou remotas. Além disso, o sistema pode ser aplicado em educação e pesquisa médica.

Grande parte da base de conhecimento é adquirida diretamente de casos concretos de pacientes armazenados em um banco de dados. Objetivando-se extrair o máximo de informação dos dados do paciente, é analisada uma aplicação da regra de Bayes, considerando-se as dependências e interações entre sintomas. Neste ensejo, foi desenvolvida uma técnica para a formação de aglomerados ("clusters") de variáveis interdependentes e algoritmos eficazes para calibração, teste e inferência no sistema.

Com o intuito de ilustrar a utilização do sistema e de analisar o desempenho na classificação diagnóstica foi implementado um sistema para diagnose da doença aterosclerótica coronariana, a qual representa uma das principais doenças fatais que aflige a humanidade. Atualmente, a propedêutica cardiológica dispõe de inúmeros métodos diagnósticos, caracterizados por diferenças em termos de poder informativo (sensibilidade e especificidade), custo financeiro e risco (morbidade e mortalidade), o que associado às diversas indicações terapêuticas, faz com que a decisão médica se torne da mais alta relevância.

DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Arquitetura do Sistema

A arquitetura do sistema segue a estrutura clássica de sistemas de apoio à decisão (Sprague(1982)), compondo-se de um subsistema de diálogos, um subsistema de dados e um subsistema de modelos

(figura 1). Buscou-se com esta arquitetura: uma integração completa entre modelos e dados, dar suporte a todas as fases do processo de tomada de decisão, facilidade de uso e interação, além de uma generalidade de aplicação em diferentes domínios da área médica.

O subsistema de diálogos envolve o uso de terminal de vídeo e impressora, sendo a interação com o usuário realizada através de apresentação de menus e da técnica de perguntas e respostas. O subsistema de dados é formado por uma base de dados e um sistema gerenciador capaz de suportar a criação, atualização, eliminação, recuperação e proteção dos dados. O subsistema de modelos é formado por uma base de modelos e um sistema gerenciador responsável pela criação, calibração, teste, aplicação e atualização destes modelos. O sistema utiliza dois tipos principais de modelos: modelos estatísticos de classificação e geradores heurísticos de planos de investigação.

Modelos estatísticos de classificação

O método de inferência adotado para as decisões de diagnóstico diferencial, prognóstico e seleção de terapia é baseado no teorema de Bayes. O objetivo do modelo bayesiano de classificação é alocar o paciente sob análise, de acordo com os sinais, sintomas e resultados de exames (descritores) apresentados, a uma e apenas uma classe, dentre um conjunto finito de classes diagnósticas ou prognósticas. Este modelo assume, portanto, que cada paciente pertence a uma única categoria bem definida, sendo adequado para situações em que o número de categorias a serem discriminadas é limitado e pequeno. O método bayesiano vem recebendo aceitação crescente em função do sucesso de sua aplicação em problemas de diagnóstico médico (De Dombal(1973) e (2)).

O método bayesiano requer, para a estimação das probabilidades condicionais, um volume de dados que cresce exponencialmente em número com a quantidade de descritores. Tendo em vista a impossibilidade de se obter, na prática, dados que satisfaçam a esta necessidade de estimativas, tornou-se popular adicionar ao modelo a pressuposição de independência dos descritores. Com este enfoque, os parâmetros do modelo (probabilidades condicionais conjuntas) são calculados através do produto das probabilidades marginais dos descritores individuais, reduzindo-se drasticamente a necessidade de dados pelo modelo. Por outro lado, é natural esperar-se que numa situação complexa como é o diagnóstico médico, ocorram muitas interações entre os descritores. O modelo com pressuposição de independência, por violar esta característica, pode reduzir substancialmente o desempenho do sistema bayesiano de classificação.

Reconhecendo-se as limitações apresentadas anteriormente, desenvolveu-se um algoritmo que incorpora as interdependências entre os descritores sem recair no problema da explosão combinatorial das estimativas. Para tanto, foi utilizado o modelo de Aglomerados de Descritores Interdependentes proposto por Norusis e Jacques(1975). Este modelo baseia-se na formação de aglomerados de variáveis descritoras interdependentes, os quais passam a ser tratados como novas variáveis descritoras complexas mutuamente independentes.

Os aglomerados para cada classe diagnóstica são determinados diretamente do banco de dados de treinamento utilizando um procedimento baseado em testes estatísticos de hipótese de associação entre sintomas e no método de ligação simples entre variáveis associadas.

O modelo de aglomerados de descritores foi aperfeiçoado no sistema através do emprego de uma representação esparsa dos parâmetros e da construção de algoritmos especiais para calibração e inferência. A eficiência computacional e o espaço de memória requerido nesta abordagem passam

a depender polinomialmente do tamanho do banco de dados de treinamento, não sendo afetados, em situações práticas, pelo crescimento exponencial do número de probabilidades condicionais quando consideramos interações mais fracas entre sintomas.

Objetivando-se comparar o desempenho dos modelos bayesianos pressupondo independência com a técnica de aglomerados, ambos foram implementados no sistema para diagnóstico da doença coronariana.

Geradores de Planos de Investigação

Para suportar as decisões de planejamento de exames, o sistema usa um modelo gerador de planos capaz de determinar a melhor sequência de exames para um paciente específico, de acordo com a estratégia de investigação selecionada pelo médico e a precisão requerida para o diagnóstico. O gerador de planos de investigação proposto baseia-se na visualização do problema de planejamento de exames como um problema de busca do caminho de custo mínimo em um grafo de espaço de estado. A representação do estado do problema é feita através do conjunto de exames já realizados no paciente até o momento, o que conduz à formação de um grafo de estado do tipo comutativo. Os estados objetivo são definidos como aqueles em que já existe informação suficiente sobre o paciente para identificar uma doença com precisão maior ou igual que um limiar pré-estabelecido pelo usuário. Uma abordagem semelhante de representação do problema de geração de plano de investigação pode ser encontrada em Alperovitch(1974).

Para determinação do plano de investigação diagnóstica emprega-se o algoritmo A* (Hart and Nilsson(1968)) de busca heurística, que garante a obtenção do caminho ótimo fazendo o melhor uso da informação heurística disponível. A busca é realizada de acordo com uma estratégia selecionada pelo médico, tal como, mínimo custo financeiro, mínima morbidade, mínima mortalidade, mínimo tempo de obtenção de resultados, mínimo sofrimento, etc. Alternativamente, o sistema também permite usar estratégias compostas através da combinação das utilidades de vários dos atributos de custo de acordo com a teoria de utilidades multi-atributos.

A informação heurística para orientação da busca no gerador de planos é baseada em informação estatística sobre o emprego no passado de cada tipo de exame em pacientes com determinado perfil probabilístico de doença. A figura 2 mostra o esquema de utilização do modelo gerador de planos de investigação diagnóstica. Como pode-se observar, o gerador de planos de investigação exige como pré-requisito as probabilidades a posteriori das classes diagnósticas, calculadas com base na informação corrente disponível sobre o paciente e obtidas através de um modelo de classificação diagnóstica.

O sistema é iterativo na medida que, executada parte de um plano de investigação, os resultados obtidos podem ser realimentados no sistema para reavaliação das probabilidades das classes diagnósticas e a determinação de um novo plano de exames do ponto atual para a frente.

Ambiente de Programação do Sistema

O sistema foi desenvolvido e testado num computador IBM 4381 através dos softwares : VM-CMS, VS-APL, APLDI-II e GSADM. O GSADM (Gerenciador de Sistemas de Apoio a Decisão Médica) é uma ferramenta para geração de sistemas de apoio à decisão que permite ao médico construir

diretamente sistemas especialistas que utilizem a técnica apresentada para outras áreas da medicina.

APLICAÇÃO DO SISTEMA

Área Médica Selecionada - Doença Coronariana

A aplicação do sistema à doença aterosclerótica coronariana além de nos propiciar lidar com uma doença de grande importância social, nos ofereceu a oportunidade de trabalhar com :

- Um espectro de problemas de diagnóstico diferencial com diferentes níveis de complexidade de discriminação.

- Variáveis prognósticas tais como tipo de tratamento e tempo de sobrevivência.

- O diagnóstico final de certeza para cada paciente, obtido através do exame de cateterismo cardíaco (cineangiogramia).

Os modelos construídos objetivam prever os resultados da cineangiogramia (um exame caro e de alto risco) a partir de dados da anamnese e de exames não invasivos, evitando a sua realização em muitos casos.

Descrição da Base de Dados

O sistema utiliza como base de dados 142 casos de pacientes com suspeita de doença coronariana que realizaram o cateterismo cardíaco no Instituto de Assistência aos Servidores do Estado do Rio de Janeiro. O trabalho de coleta foi realizado retrospectivamente por residentes médicos supervisionados por um cardiologista. Pacientes com anormalidades adicionais outras que não hipertensão arterial foram afastados. Os pacientes foram avaliados através de 36 variáveis descritoras provenientes da anamnese e de exames não invasivos como raios-X torácico, exame de laboratório, eletrocardiograma, ergometria e ecocardiografia.

Apresentação dos modelos

Foram construídos os seguintes modelos de classificação

- 1 - Indicação de presença de vasos com lesões significativas (2 classes).
- 2 - Número de vasos lesados (0, 1, 2, 3 vasos lesados)
- 3 - Identificação dos vasos coronarianos lesados (8 classes)
- 4 - Função ventricular (normal ou alterada)
- 5 - Tipo de tratamento (clínico ou cirúrgico)

O modelo 3 é o mais complexo abrangendo as seguintes classes diagnósticas :

- Sem doença.
- Estenose na coronária direita.
- Estenose na coronária descendente anterior.
- Estenose na coronária circunflexa.
- Estenose nas coronárias direita e descendente anterior.
- Estenose nas coronárias direita e circunflexa.
- Estenose nas coronárias circunflexa e descendente anterior.
- Estenose nos três vasos.

Os modelos 1 e 2 derivam do modelo 3 por aglutinação das classes diagnósticas, representando problemas de menor complexidade de discriminação. Os modelos foram calibrados e testados na modalidade "O Banco de Dados como Universo" e "O Banco de Dados como Amostra de um Universo Estacionário". Na primeira modalidade todos os casos são usados tanto para a calibração como para teste do sistema. Naturalmente isto produz melhores resultados, os quais podem ser interpretados como o desempenho que seria atingido caso tivéssemos um banco de dados de tamanho infinito. Na segunda modalidade 90 casos foram aleatoriamente selecionados para calibração dos modelos de classificação e os 52 casos restantes usados para teste.

RESULTADOS OBTIDOS

Sumarizamos na Tabela 1 os resultados dos testes com o modelo de Existência de Lesões Significativas em Artérias Coronárias (modelo 1) e o modelo de Identificação dos Vasos Coronarianos Lesados (modelo 3), implementados na versão baseada na pressuposição de independência e na versão baseada em aglomerados de descritores interdependentes. Os resultados correspondem a testes realizados na modalidade "O Banco de Dados como Amostra do Universo Estacionário" sendo apresentadas a taxa de classificações corretas e a estatística chi-quadrado relativa a testes de hipótese de associação entre os diagnósticos produzidos pelos modelos e os reais. Informações e resultados adicionais podem ser encontrados em Machado(1985).

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, podemos constatar que a maioria dos dados médicos usados no estudo da doença coronariana, quando analisados isoladamente, apresentam baixo valor diagnóstico. A agregação dessas informações através do modelo bayesiano de classificação com pressuposição de independência, permite-nos obter elevados graus de decisões corretas em situações de discriminação relativamente simples, tais como no modelo 1.

Para situações mais complexas, como a identificação dos vasos lesados (modelo 3), o desempenho revela-se insatisfatório, não havendo associação significativa entre os diagnósticos do modelo e os diagnósticos reais. Note-se, no entanto, que este desempenho se situa na faixa que atingem os cardiologistas armados do mesmo nível de informação (cerca de 30 %). Consegue-se demonstrar que mesmo nesta complexa situação é possível extrair quantidades adicionais de informação dos dados médicos através de modelos mais sofisticados capazes de explorar as interações entre os sintomas, ampliando dessa forma significativamente o desempenho do sistema.

Como principais vantagens o sistema apresenta capacidade de trabalhar com dados parciais, elevada precisão no diagnóstico, robustez quanto a registros incompletos, sendo flexível para uso em vários domínios da área médica e de fácil uso. Outras características a serem enfatizadas são a capacidade de aprendizado automático e a eficiência computacional.

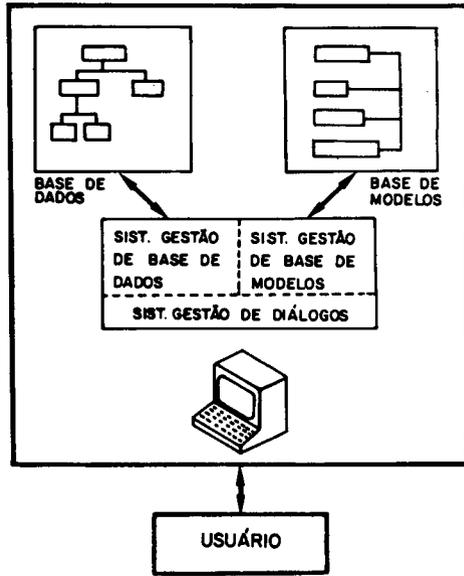


Figura 1 - Arquitetura do sistema de apoio ao diagnóstico médico

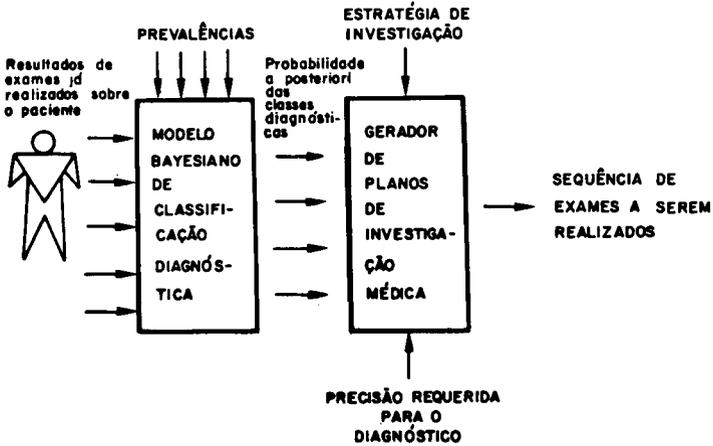


Figura 2 - Modelos de classificação diagnóstica e geração de planos de investigação

Modelo	Pressuposição de Independência		Aglomerados de Descritores Interdependentés	
	Taxa de Classif. Corretas	Chi-Quadrado	Taxa de Classif. Corretas	Chi-Quadrado
Existência de lesões significativas	92,31%	29,43% **	94,31%	37,14% **
Identificação dos vasos lesados	34,62%	55,20% *	51,92%	132,61% *

* Não significativo a 20%.

** Significativo a 0,1%.

TABELA 1

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - ALPÉROVITCH,A., LELLOUCH,J. (1974)
"Methods for Aiding Medical Decision: Application to Diagnosis of Round Application to Diagnosis of Round Intra-Thoracic X-Rays Picture". Computers and Biomedical Research 7, 127-141.
- 2 - "Clinical Information Science in Leeds 1969-1985 - A Review".
University of Leeds
- 3 - DE DOMBAL,F.T. (1973)
"Surgical Diagnosis Assisted by a Computer". Proc. R. Soc. Lond. B 184, 433
- 4 - MACHADO, R.J. (1985)
Sistemas de Apoio à Decisão Médica - Diagnóstico Diferencial e Geração de Planos de Investigação. Tese D.Sc. - COPPE-UFRJ
- 5 - HART,P.E., NILSSON,N.J. (1968)
"A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths". IEEE Trans. Systems Science and Cybernetics. vol. SSC-4. 2, 100-107.
- 6 - NORUSIS, M.J., and JACQUES, J.A. (1975)
"Diagnosis". II. "Diagnostic Models Based on Attribute Clusters: A Proposal and Comparisons". Computers and Biomedical Research 8, 173
- 7 - SPRAGUE, R.H., CARLSSON, E.D. (1982)
Building Effective Decision Support Systems. Prentice Hall

A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR MEDICAL DIAGNOSIS

ABSTRACT - We show an expert system with the objective of aiding physicians in decisions concerning differential diagnosis, test planning, prognosis and therapy selection. This system acquires its knowledge directly from concrete patient cases stored in its database.

Aiming to extract the maximum information from patients data, we investigate a Bayes' rule application, considering the dependences and interactions between symptoms. A technique to form clusters of interdependent patient variables was developed. The clusters are treated as mutually independent complex variables. The application of this approach to coronary artery diseases diagnosis allowed significant gains in classification performance, when compared with bayesian models using the conditional independence assumption.

Computationally efficient algorithms for training and inference were developed based on a sparse representation of joint conditional probabilities. The work and memory space of these algorithms depend on the training data set size, being not affected, in practical situations, by the exponential growth of the number of parameters experienced when weaker interactions between symptoms are considered.

Moreover, we implemented an algorithm for creation of medical investigation plans based on heuristic programming techniques, capable to select the best sequence of tests to a specific patient.

Finally, a shell was developed to permit an easy and flexible implementation of decision support systems for different medical diagnosis problem domains.