



1º Congresso Brasileiro de Redes Neurais

Escola Federal de Engenharia de Itajubá
Itajubá. 24 a 27 de outubro de 1994

APLICAÇÃO DE REDES NEURAIAS À AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS CARDIOVASCULARES

EDSON PACHECO PALADINI
DEPTO. DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

RESUMO

O presente trabalho desenvolve uma aplicação de Redes Neurais para o diagnóstico de sistemas cardiovasculares. O processo utilizado consiste na análise de imagens obtidas do paciente em observação. Resultados preliminares mostram que a rede projetada para resolver o problema atende adequadamente ao que requer-se de diagnósticos desta natureza.

1. INTRODUÇÃO

O século XX tem assistido a um considerável incremento no conhecimento que a ciência médica tem desenvolvido a respeito do funcionamento do sistema cardiovascular e dos males mais usuais que o envolvem. Este desenvolvimento está ligado à estruturação de métodos avançados de diagnóstico cardíaco, um processo sempre complexo. As pesquisas nesta área hoje não mais apontam para ações que tentam classificar um paciente em algum tipo de doenças conhecidas: os médicos modernos desenvolvem uma avaliação exaustiva e objetiva da anatomia, fisiologia, prognose e do planejamento do tratamento (Skorton et al., 1991:1).

O processo do diagnóstico ainda começa com a obtenção do histórico do paciente e o desenvolvimento de exames físicos, usualmente acompanhados de eletrocardiogramas e

raios-X do tórax. Baseado nestas informações iniciais, o médico faz um diagnóstico preliminar e formula hipóteses, cuja confirmação e extensão dependem de uma bateria de ferramentas básicas de diagnóstico, que incluem análise bioquímica do sangue e urina; registros de eletrocardiograma feitos com o paciente em repouso, e, a seguir, submetido a exercícios graduais, bem como o estudo das cavidades cardíacas. Tendem a acompanhar esta avaliação a análise de imagens do coração e do sistema de vascularização, obtidas por sofisticados métodos como a ecocardiografia. Com exceção da eletrocardiografia e dos testes eletrofisiológicos, os procedimentos mais comuns para a execução do diagnóstico estão relacionados com os métodos de obtenção de imagens. Assim, a captura de imagens cardíacas tem se tornado no mais importante elemento na formulação de modernos diagnósticos cardiovasculares (Skorton, et al., 1991: 2).

2. PROCESSOS DE CAPTURA E ANÁLISE DE IMAGENS CARDÍACAS

Os métodos de captura de imagens do coração e das áreas que o cercam permitem que o médico visualize a anatomia cardíaca e determinam elementos quantitativos do sistema cardíaco, como a determinação do tamanho, forma e estrutura das cavidades cardíacas (ventrículos e átrios), o diâmetro das válvulas e dos folículos, bem como as artérias coronárias. A seguir, atenta-se para as funções valvulares e das cavidades, incluindo a avaliação das funções sistólicas e diastólicas com o estudo da severidade da estenose valvular (regurgitação).

Até recentemente, os métodos de produção de imagens cardíacas estavam restritas a estas duas áreas - anatomia e funções. Na década de 80, progressos em laboratório e processos experimentais foram efetivados, realçando três novos objetivos de utilidade clínica indiscutível: a perfusão, metabolismo e características básicas do miocárdio (Skorton, D. & Collins, S., 1985:803). Hoje, quando enfatiza-se a minimização de efeitos graves causados pela isquemia aguda do miocárdio (TIMI, 1989:690), os médicos desejam informações precisas relativas à perfusão do miocárdio. Idealmente, esta informação incluiria estimativas dos níveis de perfusão do paciente em repouso, submetido a tratamento farmacológico ou de stress físico e durante os processos de isquemia aguda (Marcus, M. et al., 1987:97). Em um nível mais básico, tem-se procurado determinar aspectos relevantes ligados aos problemas cardíacos no metabolismo do miocárdio (Grover, 1986:290). Finalmente, os médicos buscam informações referentes à composição do tecido miocárdial, o que inclui a identificação de deposição anormal de colágenos, ferro, amilóides ou outras substâncias, delineamento da natureza das massas intracardíacas e identificação dos miocárdios cronicamente isquêmicos.

Estes aspectos mostram que os objetivos da captura e análise das imagens cardíacas é amplo e a relevância que a ciência médica confere à avaliação destas imagens, pela diversidade de análises a fazer e pela complexidade dos descritores do sistema (Skorton, et al., 1991:4). Esta relevância tem contribuído para o desenvolvimento de técnicas quantitativas com

tal finalidade e produzido inúmeros trabalhos nesta área (ver, por exemplo, Collins, et al., 1988). Em particular, na área de processamento de imagens, existem estudos que analisam níveis de cinza de imagens monocromáticas de áreas específicas do sistema cardiovascular e já se analisam imagens digitalizadas do coração através de funções contínuas ou de matrizes de representação dos níveis de cinza (Feagle, S. & Skorton, D., 1991:72).

3. APLICAÇÃO DO MODELO AOS PROCEDIMENTOS DE AVALIAÇÃO DO SISTEMA CARDIOVASCULAR

O modelo de análise aqui proposto envolve a utilização de uma rede neural e de um modelo posterior de Reconhecimento Analítico de Padrões. A idéia do processo é utilizar uma "imagem original", que seria o padrão, e um conjunto de imagens sucessivas, que mostram a evolução do quadro clínico do paciente. Isto mostra a natureza dinâmica do processo. O uso do modelo pode conferir uma base objetiva e quantitativa para esta análise, o que auxilia grandemente o diagnóstico a ser processado e minimiza muitos dos problemas que a chamada avaliação "perceptual", hoje largamente empregada pelos médicos, ainda traz. Considera-se, em geral, que os momentos mais cruciais do julgamento (que determina a formulação do diagnóstico) ocorre na percepção de imagens que representam situações de contínuo movimento (Franken, E. A. & Berbaum, K. S., 1991:88). Esta situação é aqui adequadamente tratada.

Em função das características do modelo e do problema a ser considerado, a primeira aplicação proposta (que ora se desenvolve) diz respeito, especificamente, à avaliação dos elementos determinantes da função ventricular sistólica e da função ventricular diastólica.

Em linhas gerais, esta é a motivação da aplicação em questão: A precisão das informações acerca das funções ventriculares é essencial para a avaliação de pacientes com doenças cardíacas. Compreende-se, assim, porque a maioria das técnicas que envolvem imagens dos sistemas cardiovasculares hoje em uso tenha, entre seus objetivos principais, a análise da estrutura dos ventrículos e das funções sistólica e diastólica por eles desempenhada (Marcus, M. & Dellsperger, K. C., 1991:24).

O status funcional e as características anatômicas dos ventrículos são importantes em muitos aspectos. Em primeiro lugar, o prognóstico para um paciente com quase qualquer tipo de doença cardíaca (disfunções coronarianas, disfunções valvulares, cardiomiopatia e problemas devidos à hipertensão do coração) é influenciado pela situação atual do desempenho dos ventrículos. Note-se que a taxa anual de mortalidade de pacientes por imperfeições das funções do ventrículo esquerdo chega a 20% (Mock, 1992:562). Em segundo lugar, o mecanismo responsável por sintomas clínicos e sinais de falhas cardíacas por congestão pode ser uma disfunção de um ou de ambos os ventrículos, particularmente em termos dos movimentos sistólico ou diastólico (ou ambos). Pesquisa feita nos Estados Unidos mostra que, em 30% dos adultos com problemas cardíacos, a origem da doença está em alterações da função diastólica do ventrículo esquerdo (Braunwald, 1988: 471).

Por fim, certas falhas funcionais ou especificidades de cada um dos ventrículos do paciente são essenciais para o correto diagnóstico do problema cardíaco que o acomete, como o aneurisma ventricular e vários tipos de estenoses (Marcus, M. & Dellsperger, M., 1991:25). Assim, a informação precisa sobre a estrutura e a função dos ventrículos é fundamental para o diagnóstico, já que pode, com frequência, identificar a causa precisa da doença do paciente.

Se a questão acima não parece suscitar dúvidas entre os médicos envolvidos com pacientes cardíacos, já a definição da natureza da precisão da informação é uma questão que desperta controvérsias. O que se sabe, concretamente, é que a forma dos elementos cardíacos, os movimentos dos ventrículos (que são diferentes de um para o outro) e a anatomia ventricular são aspectos a considerar em qualquer avaliação. Uma análise precisa de imagens que represente tais elementos, assim, é de importância indiscutível para o tratamento do paciente.

Muitos destes aspectos podem ser tratados no âmbito do modelo aqui proposto. Considere-se um pequeno exemplo: O movimento do ventrículo esquerdo, durante a sístole, envolve cinco movimentos específicos: (1) translação; (2) rotação; (3) "torcedura"; (4)

movimento tipo sanfona e (5) movimento da circunferência endocardial em torno do centro da cavidade ventricular. Estes movimentos não são uniformes. Por exemplo, o movimento tipo sanfona é extremamente assimétrico.

Os dois movimentos mais importantes são o da superfície endocardial (5) e o tipo sanfona (4). Eles podem influenciar todo o funcionamento do ventrículo (Chairman, 1973:1043). Eles são detectáveis por ecocardiografia bidimensional, ventriculografia com contraste ou tomografia computadorizada, entre outros métodos.

A ocorrência de problemas cardíacos pode, com frequência, causar um aumento desproporcional de um ou mais componentes do movimento do ventrículo esquerdo. Nenhum método (dentre aqueles em uso hoje) pode medir a contribuição específica de cada um dos movimentos primários do ventrículo esquerdo; nenhum, por exemplo, capta o movimento de torcedura (Marcus, M. & Dellsperger, M. D., 1991:26). A prática clínica, entretanto, raramente considera os três primeiros movimentos; já praticamente todos os métodos enfatizam os dois últimos.

Desta forma, parece ser relevante considerar dois problemas específicos aqui: como concentrar a análise em mais de um movimento e como avaliá-los. Uma primeira maneira de enfrentar o problema consiste em dispor de várias imagens da área ventricular esquerda, e, a seguir, associar a elas matrizes de níveis de cinza. Segundo alguns testes experimentais desenvolvidos, pode-se proceder da seguinte forma: inicialmente aplica-se, às imagens, um estudo baseado na rede neural proposta. O resultado da aplicação da rede classifica as imagens em grupos que apresentam valores adequados a um parâmetro. A seguir, considerando-se que pode-se tratar de imagens de alguma forma similares, aplica-se, a cada grupo, um segundo modelo, analítico, de Reconhecimento de Padrões, que define intervalos dentro dos quais as imagens estão variando. Por fim, um terceiro modelo, também analítico, é utilizado para determinar áreas específicas de variações relevantes.

Um caso prático é útil para ilustrar esta aplicação. Um paciente chega ao médico queixando-se de dores no peito, febres constantes e

pequenos problemas respiratórios. O médico, então, utiliza-se de um roteiro de perguntas pré-elaboradas e, através das respostas, suspeita da ocorrência de massas intracardíacas, como algum tipo de tumor.

São obtidas, após o questionamento, imagens do coração do paciente em duas posições: a primeira, seguindo o grande eixo, mostra os lados esquerdo e direito do coração (ressaltando o ventrículo e o átrio de cada lado); a segunda, mostra as quatro cavidades (imagem frontal). Como não há protuberâncias à vista, o paciente é liberado, devendo voltar 10 dias mais tarde para novos exames.

Transcorrido um mês, o paciente retorna queixando-se de problemas respiratórios mais agudos. Foram feitas novas imagens e que passaram a ser acompanhadas com mais atenção. Na análise das imagens do movimento de sístole, a aplicação da rede neural identificou variações inaceitáveis; estes valores foram mais significativos no movimento de diástole. Assim, pode-se concluir que, pela posição das alterações observadas, o problema devia estar entre os ventrículos, em particular, no esquerdo. O paciente foi internado, e foram obtidas novas imagens.

Digitalizada em ambiente monocromático, com 16 níveis de cinza, estas imagens possibilitaram que a rede identificasse várias alterações. O uso de um modelo que utiliza distância entre matrizes delimitou as áreas com maiores variações. Novas imagens analisadas pela rede neural mostraram a evolução da massa intra-cardíaca (variações mais acentuadas) 5 dias após a internação do paciente, confrontando apenas o movimento de diástole. Estas informações permitiram confirmar o diagnóstico: o paciente porta um tumor cardíaco, conhecido como mixoma, aparecendo no ventrículo esquerdo durante a diástole e restrito ao átrio esquerdo durante a sístole. Trata-se de um tumor benigno; entretanto, pelo porte do tumor no caso do paciente em questão, o procedimento requerido é cirurgia imediata.

A partir de exemplos como o acima listado, foram simuladas situações adequadas ao problema e encontrou-se alguns resultados satisfatórios. A aplicação, porém, foi prejudicada por um problema específico: a falta de um dispositivo de digitalização adequado a imagens produzidas em vídeo ou fotos pouco nítidas. A

imersão do sistema em meio denso trouxe, também, diversos problemas para a captura da imagem.

4. PROJETO DA REDE

A partir da análise processada em um conjunto de imagens, cuja avaliação da variabilidade é conhecida, o programa, com a utilização de uma rede neural, determina se uma imagem particular apresenta, para suas características básicas, variações compatíveis com seu "projeto" original.

Como se tratam de análises monocromáticas, o programa avalia tais variações através dos níveis de cinza da imagem em estudo, fornecidas à rede na fase de treinamento. Serão consideradas "conforme os padrões" as imagens que apresentarem valores compatíveis de variações com as imagens utilizadas para treinamento. Os níveis de cinza das imagens são representados sob forma matricial. Para a operação do programa, os agentes de decisão devem selecionar imagens que são julgadas, a priori, como portadoras de variações aceitáveis e as que mostram variações incompatíveis com a natureza do processo clínico, evidenciando as diferenças entre elas.

Existem várias técnicas para a montagem de uma rede neural. No caso da atual aplicação, observou-se grande facilidade de treinamento, classificação de itens como forma básica de operação e convergência para valores específicos. Além disso, a rede deve trabalhar no sentido de minimizar seus erros, enfatizando as características que possam conduzir a uma decisão correta quanto às variações observadas. Para tanto, torna-se importante criar dispositivos favoráveis à minimização de desvios. Assim, deve ser estruturado um modelo com forte e permanente realimentação, de forma que, sempre que se avance no sentido da obtenção do resultado da decisão, possa-se retornar às informações básicas para checar a validade da operação de toda a rede e, em particular, de decisões específicas obtidas - ou seja, permanente atualização de dados. Decorre daí a sugestão de uso de uma rede "backpropagation".

Em termos conceituais, a rede utiliza a técnica do "gradiente descendente" (Lawrence, 1992:239), adequada para casos onde se busca o tipo de minimização de erros como a descrita acima. A rede estruturada tem 3 camadas,

sendo a primeira representada pelos dados de entrada $X(i)$, ou seja, valores da propriedade da imagem associadas a cada pixel i . Anota-se a saída da rede por $O(j)$ e constrói-se, ainda, uma camada intermediária $H(k)$. A camada de entrada está ligada à camada intermediária por pesos $w(i,j)$, do ponto de entrada i para o ponto da camada intermediária j . Daí para a camada de saída, são utilizados pesos $v(j,k)$. Foram adicionadas duas unidades-fantasma para limiares, que originam as ligações extras $w(n+1,j)$ e $v(m+1,k)$.

Os valores dos pesos w e v são inicializados por uma subrotina, ALEAT, que gera números aleatórios entre -0.01 e 0.01 . Foram fixados os seguintes valores básicos $x(n+1) = 1.0$ e $h(m+1) = 1.0$

A seguir, inicia-se a fase de treinamento, onde pares de entradas e saídas (x,y) são apresentados à rede, ou seja, x representa o vetor de entradas e y representa o vetor das saídas desejadas. Utiliza-se uma função de ativação exponencial (Knight, 1990:68):

$$h(j) = 1 / (1 + \exp(- \sum_{i=1}^{n+1} [w(i,j) \cdot x(i)])) \quad (j \text{ varia de } 1 \text{ a } m; S \text{ é o somatório}).$$

Por sua vez, da camada intermediária para a camada final tem-se:

$$o(j) = 1 / (1 + \exp(- \sum_{i=1}^{m+1} [v(i,j) \cdot h(i)])), \quad (j \text{ varia de } 1 \text{ a } t).$$

Obtém-se, assim, a saída proposta pela rede e pode-se definir uma estratégia para minimizar o erro entre a saída proposta pela rede (o) e a saída desejada (y). Utilizando a técnica do gradiente e a regra da cadeia a função de ativação tem-se:

$$d(j) = o(j)(1 - o(j))(y(j) - o(j)) \quad (j \text{ varia de } 1 \text{ a } t).$$

Pela "backpropagation":

$$f(j) = h(j)(1 - h(j)) \left(\sum_{i=1}^n [d(i) \cdot v(j,i)] \right)$$

O ajuste de pesos é feito da camada intermediária para a camada final $(A(v(i,j))) = q \cdot d(j) \cdot h(i)$, i varia de 1 a $m+1$ e j varia de 1 a n e da camada inicial para a camada intermediária $(A(w(i,j))) = q \cdot f(j) \cdot x(i)$, i varia de 1 a $m+1$ e j varia de 1 a n . q é a taxa de aprendizagem e seu valor foi fixado em 0.35 (Knight, 1990:68).

O valor do erro a cada interação diminui se as imagens apresentam variações aceitáveis. Quando tornam-se inferiores a um dado limite, a rede está treinada, e os pesos são adequados para a classificação desejada. Parte-se, então, para o processo de avaliação das imagens.

8. CONCLUSÕES

Nos testes do modelo foram processadas cerca de 15.000 imagens, para cerca de 300 situações. Foram observados dois tipos de erros: (1) imagens portadoras de variações aceitáveis classificadas como portadoras de variações relevantes e (2) imagens inadequadas classificadas como perfeitas. Em 3000 imagens utilizadas como amostra, 99.85% foram corretamente classificadas, havendo erro em apenas 0.15% delas.

Em geral, observa-se um bom desempenho do programa, embora considere-se uma restrição básica de operação: não são feitas análises detalhadas dos pixels, mas apenas uma avaliação global da imagem. Pelo uso de um modelo baseado em distâncias, porém, pode-se localizar áreas problemáticas e desenvolver-se um diagnóstico mais preciso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Braunwald, E. Clinical manifestations of heart failure. In: Heart Disease. Philadelphia, Saunders Company, 1988.
- Chairman, B. Left ventricular wall motion assessed by using a fixed external reference system. Circulation, Vol. 48. (1043-50). 1973.
- Collins, S. M. and Skorton, D. J. (Eds.) Cardiac Imaging and Image Processing. New York, McGraw-Hill Book Company, 1986.
- Feagle, S. R. & Skorton, D. J. Quantitative Methods in Cardiac Imaging. in: Cardiac Imaging. London, Saunders Co, 1991.
- Franken, E. A. & Berbaum, K. S. Perceptual Aspects of Cardiac Imaging. in: Cardiac Imaging. London, Saunders Co., 1991.
- Grover, M. K. Identification of impaired metabolic reserve in patients with significant coronary artery stenosis by atrial pacing. Circulation, Vol. 74. Págs. 281-300. 1986.

- Knight, K. Connectionist Ideas And Algorithms. *Communications of the ACM*. Vol. 33, N. 11. 1990. P. 59-74.
- Lawrence, J. (Ed.) *Introduction to Neural Networks and Expert Systems*. Nevada City, CA. California Scientific Software. 1992.
- Marcus, M. L.; Wilson, R. F. & White, C. W. Methods of measurement of myocardial blood flow in patients. *Circulation*, Vol. 76. (245). 1987.
- Marcus, M. & Dellsperger, K. C. Determinants of Systolic and Diastolic Ventricular Function. in: *Cardiac Imaging*. London, Saunders, 1991.
- Mock, M. B. Survival of medically treated patients in the coronary artery surgery study registry. *Circulation*, Vol. 66. (562-590) 1992.
- Skorton, D. J.; Marcus, M. L.; Schelbert, H. R. & Wolf, G. L. *Cardiac Imaging*. Philadelphia, W. B. Saunders Co., 1991.
- Skorton, F. J. & Collins, S. M. New directions in cardiac imaging. *Annual International Medical*. Vol. 102, Págs. 795-840, 1985.
- TIMI Study Group: Comparison of invasive and conservative strategies after treatment with intravenous tissue plasminogen activator in acute myocardial Infarction. *New England Journal of Medicine*. Vol. Vol. 320. Págs. 618-700, 1989.