

MICRODENSITÔMETRO PARA ANÁLISE DE IMAGEM

U. Winking, A.F. Frère

RESUMO -- O presente trabalho descreve um sistema digitalizador de alta resolução e precisão comandado por microcomputador para a coleta e armazenamento de dados obtidos de filmes radiológicos.

INTRODUÇÃO

Um digitalizador, ou microdensitômetro, é definido por Castleman (1979) como um dispositivo capaz de: dividir a imagem do filme em elementos de imagem endereçando cada um destes individualmente, medir os níveis de cada pixel quantizando esta medida contínua produzindo, assim, um número inteiro e copiar este conjunto de inteiros em um dispositivo armazenador de dados.

O digitalizador para poder fazer tal processamento, deve ter uma certa estrutura global formada pelas partes descritas a seguir. Uma fonte de luz que emita no filme radiológico um feixe de luz para que através da relação luz incidente / luz transmitida seja lida a densidade de cada ponto. O foco é responsável pelo tamanho do elemento de imagem, quanto menor for maior será a precisão da imagem total, devendo entretanto ter uma área igual ou menor do que o intervalo entre os pontos digitalizados.

A luz que passa pelo filme é coletada e transformada em um sinal elétrico via um transdutor. Este sinal analógico é tratado por circuitos eletrônicos e transformado em um sinal que então deverá ser gravado na memória do microcomputador.

A última parte de um digitalizador é o sistema mecânico que proporciona o deslocamento do filme sobre o feixe de luz, para que todos os elementos de imagem possam ter suas densidades óticas lidas.

Este sistema de varredura do filme deve ter, para não colocar em risco o projeto, um deslocamento com alta precisão e com isto a porcentagem de erro, causada por eventuais folgas, deve ser muito pequena. Entretanto quanto menor for o valor métrico de deslocamento requerido pela frequência de amostragem, maior será o peso do erro nos resultados obtidos.

Além da precisão dos deslocamentos realizados no filme radiológico o sistema de varredura deve apresentar uma grande precisão geométrica. Esta precisão geométrica deve ser garantida para que a matriz de dados obtida tenha sempre a mesma distância entre pontos de colunas e linhas que a formam. Se o sistema não tiver tal precisão geométrica, a matriz imagem resultante não poderá trazer informações aceitáveis. Para que a precisão geométrica e de deslocamento possam ser garantidas, o digitalizador necessita de um sistema de controle

que posicione o sistema de varredura numa origem sendo que todos os deslocamentos e medidas sejam efetuadas a partir desta.

O microdensitômetro desenvolvido e apresentado neste trabalho para analisar imagens oriundas de filmes radiológicos preenche todos os quesitos descritos.

O menor deslocamento conseguido com este sistema é de 25 micrômetros com erro de 1%, ou seja, 0,25 microns. O feixe de luz é da mesma ordem do deslocamento, portanto não causando sobreposições nas leituras. Todo o sistema é comandado por microcomputador compatível com a linha IBM-PC, via "software" específico, a faixa de leitura do sistema de aquisição de dados é de 0 à 3D, sendo que o microdensitômetro mede a densidade ótica "D", correspondente ao enegrecimento do filme, como o logaritmo da razão entre a intensidade de luz incidente I_0 pela transmitida I , ficando $D = \log (I_0/I)$.

REALIZAÇÃO

O microdensitômetro desenvolvido é do tipo mesa plana de coordenadas X-Y. Optou-se por este sistema por apresentar uma grande precisão geométrica com grau de dificuldade menor na construção do que para o tipo tambor rotativo, embora o espaço ocupado seja substancialmente menor.

O corpo deste digitalizador consiste de um microscópio tipo Pictoval, do qual foram aproveitados o sistema de captação, de concentração e a fonte de luz, para gerar o feixe necessário no sistema. O feixe tem um diâmetro de foco no filme radiológico de 25 microns, conseguido graças ao sistema de concentração. Este diâmetro de foco, igual ao deslocamento mínimo obtido com o sistema de varredura, garante a inexistência de sobreposições de elementos de imagem e portanto a precisão de leitura. Ou seja, a densidade ótica de um pixel não faz parte da densidade ótica do elemento de imagem vizinho, o que leva à individualidade de cada pixel no endereçamento dos mesmos.

A luz que atravessa o elemento de imagem do filme em estudo é captada pelo sistema ótico do microscópio e mandada para a janela do transdutor.

O transdutor utilizado é uma fotomultiplicadora tipo RCA 931-A que atua com boa resposta na faixa da luz visível. Esta fotomultiplicadora tem nove estágios de amplificação de emissão secundária. Cada gradiente de tensão nos estágios intermediários é suprido por fontes de tensão individuais formadas por um divisor resistivo conectado à uma fonte de alta tensão. A tensão máxima de alimentação é de 1250 V com corrente de anodo máxima de 1,0 miliampère. A resposta máxima da fotomultiplicadora está na faixa de 400 nanômetros de comprimento de onda sendo que tem uma perda de 10% da sensibilidade de trabalho para a faixa de 450 a 600 nanômetros. Nesta faixa se situa a luminosidade de pico da luz do microscópio que é de 560 nanômetros. A resposta deste transdutor é do tipo logarítmico. Uma vez que a resposta da fotomultiplicadora apresentou um nível muito alto para densidades baixas no filme radiológico, foi possível reduzir o valor da tensão de alimentação.

O sinal analógico na saída do transdutor passa então por um amplificador logarítmico tipo ICL 8048 para a melhoria da sensibilidade do sistema nas densidades mais elevadas, obtendo assim uma faixa de trabalho que varia de 0 à 3D.

A resposta do Chip ICL 8048 é por sua vez amostrada pelo circuito amostrador - retentor LF 398. Com este circuito a amostragem do sinal analógico é realizada quando a mesa está parada, após um deslocamento padrão escolhido e antes do início de outro deslocamento, garantindo a leitura da densidade ótica

do elemento de imagem exatamente durante a parada da mesa. Assim a frequência de amostragem, gerada pelo programa de controle, é definida de tal maneira que a leitura é realizada apenas nos intervalos onde os motores de passo que acionam a mesa estão em repouso. Este sistema de amostragem garante portanto, que somente serão lidos os pixels distanciados do deslocamento escolhido.

O sinal analógico já amostrado, é então convertido em uma palavra digital de 8 bits através do conversor analógico - digital ADC 0800. O conversor utilizado é um conversor analógico - digital monolítico de 8 bits que usa tecnologia MOS de canal P. A conversão é feita usando a técnica de aproximações sucessivas onde a voltagem analógica é comparada com a tensão nos pontos de ligação de uma rede resistiva interna ao chip. Quando a voltagem de um dos pontos de ligação coincide com a tensão desconhecida, a conversão está completa e as saídas dão uma palavra binária complementar de 8 bits que corresponde a tensão desconhecida. Com este tipo de conversor, a faixa de densidade do sistema é dividida em 256 níveis de cinza e cada conversão é efetuada em 50 microsegundos. Ao término da conversão é gerado um sinal de fim de conversão que mandado ao programa de controle, habilita a leitura dos dados digitais nas saídas do ADC e então proporciona outro deslocamento. Na frequência máxima de trabalho são possíveis de serem feitas 18.000 conversões por segundo, sem que ocorram erros de conversão. Como o sistema desenvolvido não ultrapassa esta taxa tem-se assegurada a precisão nas conversões dos dados. Os dados digitais fornecidos pelo conversor analógico - digital devem ser armazenados em memória para futuros processamentos. Para que isto possa ser possível, tem-se a necessidade de uma interface para transportar os dados para a memória do microcomputador.

Uma vez que todo o sistema é controlado por "software" a interface do tipo paralela foi desenvolvida com base no circuito integrado 8255A da Intel. O 8255A é um dispositivo de interface periférica programável (PPI) desenvolvido para uso em sistema de microcomputador. Ele possui 24 pinos de I/O os quais podem ser programados individualmente em 2 grupos de 12 pinos e, por causa desta configuração funcional, não necessita de lógica externa para completar o interfaciamento de dispositivos ou estruturas periféricas. Esta interface possui somente uma lógica formada por um 74LS138 e um 74LS32 que geram o sinal de habilitação de funcionamento do 8255A.

No 8255A as portas PA0 à PA7 são usadas como entrada dos dados fornecidos pelo ADC 0800. As portas PB0 à PB7 são destinadas à saída de dados, onde PB0 fornece o pulso de relógio para o funcionamento do motor de passos de linha (direção X) e PB2 para o motor de passos de coluna (direção Y), PB1 fornece o sinal da direção de giro do motor de linha e PB3 a direção de giro do motor de coluna. As portas PC0 a PC3 são destinadas à entradas de dados e PC4 a PC7 à saída de dados, onde PC0 recebe o sinal da micro-chave de posicionamento da mesa na origem em X, PC1 de origem em Y e PC7 fornece o pulso de retenção de linha para o amostrador - retentor LF 398. Esta interface também foi utilizada para que o "software" desenvolvido possa fazer o controle de deslocamento do sistema de varredura. No caso, só o programa não faria tal controle, se não fossem tomados os devidos cuidados com outros fatores para garantir a precisão desejada como: deslocamentos iguais de 25 microns (ou múltiplos deste) e posicionamento geométrico perfeito nas sucessivas linhas e colunas do sentido da varredura mecânica.

Para garantir os deslocamentos iguais de 25 microns, foram utilizados neste projeto motores de passo que, quando bem projetados nas suas faixas de trabalho, tem um deslocamento quase constante entre passos, podendo entretanto apresentar um erro em cada passo dado. Para que este erro seja minimizado resolveu-se trabalhar da seguinte forma:

- Para cada deslocamento linear padrão de 25 microns na mesa de coordenadas, o motor de passo dá um a volta completa. Assim o erro dos passos intermediários é anulado na somatória por volta dada. A precisão do deslocamento então é completada por uma caixa de redução e um fuso de rosca polida e de folga zero.

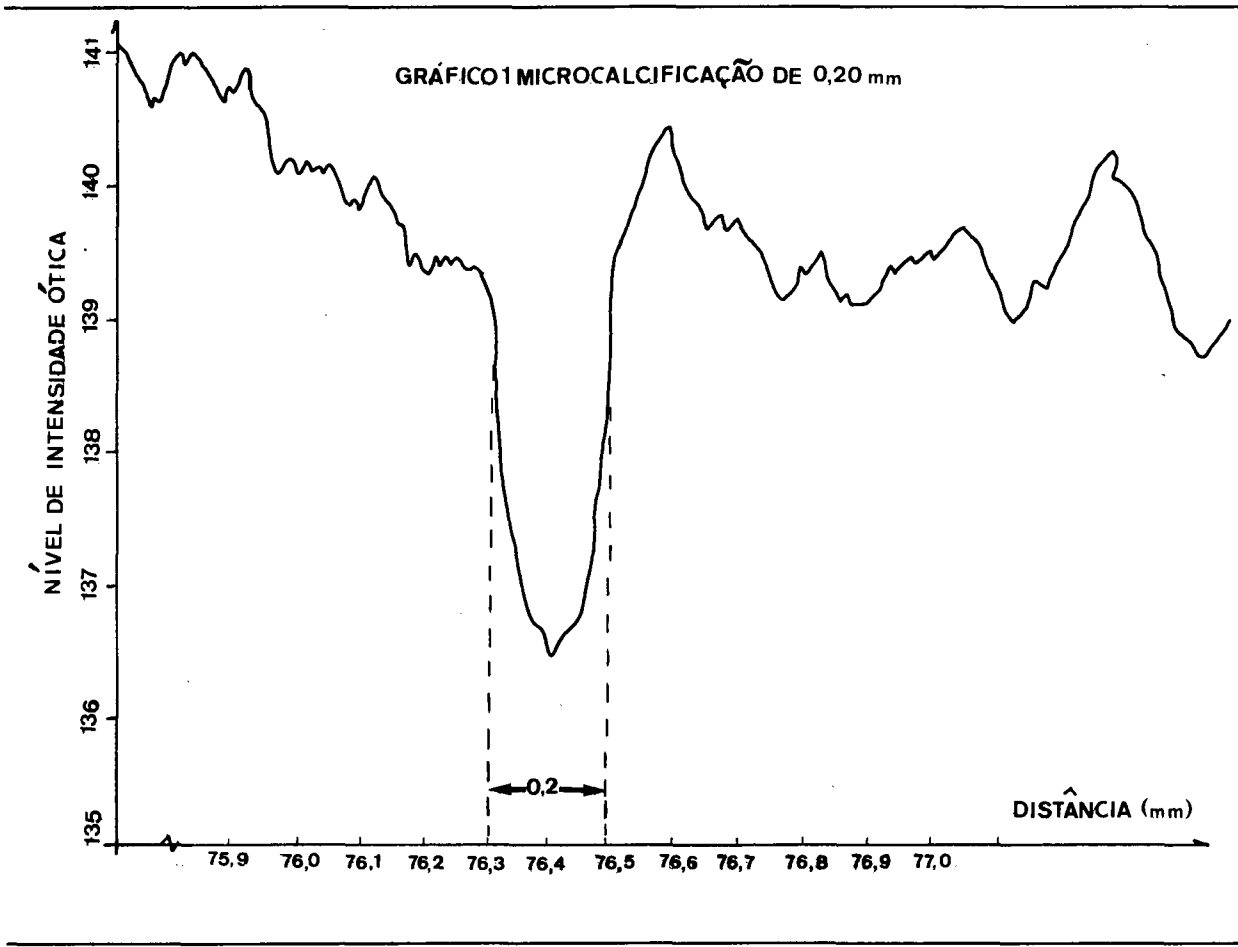
- A frequência experimentalmente escolhida para dar os pulsos no motor de passos é a mais baixa possível. Isso possibilita que nenhum pulso e de outra forma, nenhum passo, seja perdido quando o motor receber 200 pulsos para o deslocamento padrão de 25 microns. Para deslocamentos múltiplos deste movimento padrão, o número de pulsos mandado ao motor também será multiplicado pelo mesmo fator. Desta forma tem-se grande probabilidade que para cada pulso seja dado um passo. Para garantir a precisão de deslocamento, resolveu-se, com base na teoria dos encoders, projetar um disco ótico simplificado para gerar um pulso a cada passo dado. Portanto somente quando um contador acoplado à saída do disco ótico tiver contado 200 pulsos reais (ou múltiplos), dá-se sequência às etapas posteriores, tais quais, mandar pulsos de retenção de linha para o LF 398, "start" para o ADC 0800, entre outros. A cada passo do motor é gerado um pulso pelo acoplador ótico, quando a totalidade dos pulsos correspondendo a um passo foi dada, o contador programável 74LS193 gera um pulso que é mandado ao microcomputador, avisando-o que o deslocamento desejado foi realizado. Caso isso não tenha ocorrido, o programa habilitará o motor a dar passos a mais até o contador chegar ao número esperado.

Para o perfeito posicionamento geométrico, deve ser definida primeiramente a origem do sistema. Esta origem é demarcada fisicamente através de chaves de precisão que ao serem acionadas geram um sinal de nível alto que é mandado ao microcomputador. Para que o sistema de varredura encontre a origem, o programa desenvolvido possui uma subrotina que faz os motores de passo, um de cada vez, voltar todo o fuso passo a passo. Para cada retorno do deslocamento, o programa, via interface paralela, lê se a chave gerou um sinal ou não. Em caso negativo, o motor dará mais um passo de retorno até que o sinal de origem em X seja detectado. Assim ocorrendo, o mesmo processo será feito para a direção Y com o segundo motor. Uma vez a mesa posicionada na origem, as leituras são sempre feitas deste ponto para o final da chapa radiográfica nos dois sentidos ortogonais. Após cada linha lida, o motor de passo de linha é reposicionado na origem e um passo é dado pelo motor que desloca as colunas. No final das leituras os dois motores são reposicionados na origem. Com este processo garante-se que a matriz de dados originária das leituras tem todos os pontos de linha ou coluna sempre no mesmo eixo.

O "software" de apoio e controle deste sistema foi confeccionado em Turbo C e tem por objetivo comandar todo o funcionamento do microdensitômetro, onde se entende: deslocar e posicionar a mesa de coordenadas no ponto de origem do sistema, deslocar a mesa nas direções X e Y no passo padrão escolhido, realizar os controles de posicionamento, fazer a habilitação dos circuitos amostrador - retentor e conversor analógico - digital, fazer a leitura dos dados nas portas do ADC 0800 colocando-os num arquivo pré-estabelecido e no final de todas as leituras reposicionar a mesa no ponto de saída. Como última parte integrante do microdensitômetro desenvolvido tem-se o sistema de varredura, ou seja, a mesa de coordenadas com o sistema mecânico de acionamento.

O acionamento é feito através de dois motores de passo de 1,8 grau por passo, alimentados por 5 V e corrente máxima de trabalho de 1,9 amperes. O deslocamento propriamente dito é feito via uma redução da rotação do motor ao fuso que aciona a mesa. Este fuso é de rosca polida com folga ajustável para se chegar ao valor zero.

A mesa é feita de um quadro de alumínio, no qual o filme radiológico é



acomodado e esticado para sempre manter-se na horizontal sem formação de saliências e possibilitar a mesma posição para leituras sucessivas. Os rolamentos que dão a mobilidade ao sistema estão dentro de luvas e correm sobre tubos de aço inox para evitar desgastes e corrosões e assim nunca afetar a precisão do sistema que pode ter um erro de 1%.

RESULTADOS E CONCLUSÕES

Primeiramente verificou-se a precisão do deslocamento nos eixos X e Y através da inserção de coordenadas de leituras nos eixos ortogonais no programa de controle. Estes deslocamentos foram medidos através de um micrômetro, onde o erro de deslocamento não foi superior à 1%.

Para verificar a precisão geométrica utilizou-se um filme sem informações com um quadrado opaco de 1 centímetro quadrado de área, colado na região central. Após digitalização desta região, com deslocamentos de 25 microns, conseguiu-se uma matriz imagem de 400 x 400 pontos que não apresentou deformações geométricas.

A seguir, com o sistema desenvolvido, foi possível a digitalização e consequentemente obter a localização e os níveis de intensidade ótica de todas as simulações de microcalcificações de 0,20; 0,32; 0,40 e 0,54 milímetros introduzidas num fantoma. Todas as microcalcificações após a digitalização foram reconhecidas com facilidade. Os resultados são obtidos em forma gráfica. Um exemplo está mostrado no gráfico 1, que representa a distribuição dos níveis de intensidade para a microcalcificação de 0,20 milímetros, que não é visível a olho nú, localizada a uma distância de 76,4 milímetros do ponto de referência, ou seja, a origem do sistema.

As ótimas performances do aparelho desenvolvido proporcionaram sua utilização em programas de digitalização de imagens mamográficas. Nas imagens mamográficas a malignidade do tumor pode ser avaliada por sua forma e pela quantidade de microcalcificações associadas. Como este diagnóstico não é sempre fácil, devido ao pouco contraste apresentado pelos tecidos mamários e o reduzido tamanho das microcalcificações, a digitalização e análise destas imagens pode ser um auxílio importante.

O microdensitômetro possui outras aplicações dentre as quais pode-se destacar também a análise de amostras biológicas, através da digitalização das mesmas em substituição ao filme radiológico.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à FAPESP pelo apoio.

BIBLIOGRAFIA

CASTLEMAN, K.R. - "Digital Image Processing" - Prentice-Hall Signal Processing Series - Alan V. Oppenheim, Series Editor 1979.

MICRODENSITOMETER FOR IMAGE ANALYSIS

This work describes a high resolution and accurate microcomputer controlled microdensitometer to collect and memorize data from radiological films.