

Sistema automático de alinhamento para avaliação do ponto focal no centro do campo de equipamentos mamográficos

Automatic alignment device for focal spot measurements in the center of the field for mammography

Marcelo A. C. Vieira, Alex O. Watanabe, Paulo D. Oliveira Jr., Homero Schiabel

Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP) – São Paulo (SP), Brasil

Resumo

Alguns procedimentos realizados em controle de qualidade de aparelhos mamográficos como, por exemplo, avaliação do ponto focal, o alinhamento prévio do equipamento de medição com o feixe central de raios X. No entanto, a etapa de alinhamento nesses procedimentos é, muitas vezes, a mais difícil de ser realizada e a que necessita de mais tempo para ser cumprida. Além disso, pode ocorrer que o operador se exponha à radiação durante esse processo. Dessa forma, esse trabalho apresenta um sistema automático de alinhamento para equipamentos mamográficos que permite localizar o raio central do feixe de raios X e, imediatamente, se alinhar com ele, deslocando-se automaticamente ao longo do campo. O sistema consiste de uma mesa móvel bidirecional, acoplada a uma placa CCD para aquisição de imagens radiográficas digitais. A partir da análise computacional de uma imagem radiográfica obtida em uma posição qualquer do campo, o seu posicionamento sob o feixe de raios X é determinado. Com isso, um sistema mecânico de deslocamento em duas direções perpendiculares, controlado eletronicamente por um microcontrolador via comunicação USB, faz com que o sistema se alinhe automaticamente com o raio central do feixe de radiação. Todo o processo de alinhamento é automático, rápido e preciso, sem exposição do operador à radiação, o que permite uma economia considerável de tempo na realização de procedimentos de controle de qualidade para mamografia.

Palavras-chave: mamografia, controle de qualidade, dispositivo de alinhamento, ponto focal.

Abstract

Some quality control procedures used for mammography, such as focal spot evaluation, requires previous alignment of the measurement equipment with the X-ray central beam. However, alignment procedures are, in general, the most difficult task and the one that needs more time to be performed. Moreover, the operator sometimes is exposed to radiation during this procedure. This work presents an automatic alignment system for mammographic equipment that allows locating the central ray of the radiation beam and, immediately, aligns with it by dislocating itself automatically along the field. The system consists on a bidirectional moving device, connected to a CCD sensor for digital radiographic image acquisition. A computational analysis of a radiographic image, acquired at any position on the field, is performed in order to determine its positioning under the X-ray beam. Finally, a mechanical system for two moving directions, electronically controlled by a microcontroller under USB communication, makes the system to align automatically with the radiation beam central ray. The alignment process is fully automatic, fast and accurate, with no operator exposure to radiation, which allows a considerable time saving for quality control procedures achievement for mammography.

Keywords: mammography, quality control, alignment device, focal spot.

Introdução

A importância do controle de qualidade em sistemas de imagem radiológica tem sido muito reconhecida. Por um lado devido à necessidade de se garantir a segurança do exame executado, e por outro, para produzir imagens que

apresentem qualidade suficiente para um diagnóstico médico confiável¹. Diante disso, no Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde estabeleceu, em 1998, uma portaria (MS-SVS-453/98) regulamentando os procedimentos e ensaios para avaliação da segurança e qualidade de equipamentos de radiodiagnóstico².

Correspondência: Marcelo Andrade da Costa Vieira, Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de São Paulo - EESC/USP, Av. Trabalhador São-carlense, 400, Centro, CEP: 13566-590 - São Carlos, SP - Brasil – E-mail: mvieira@sc.usp.br

Dentre os vários parâmetros que devem ser avaliados durante as rotinas de controle de qualidade, existem alguns que devem ser aferidos no centro do campo de radiação, pois as características do feixe variam significativamente em função da sua localização no campo³. Com isso, alguns procedimentos em controle de qualidade prevêem a localização exata do raio central do feixe de raios X e o alinhamento prévio do equipamento de medição com o centro do campo¹⁻³.

O tamanho do ponto focal é um dos parâmetros que devem ser avaliados periodicamente nos programas de controle de qualidade. É considerado um parâmetro de extrema importância, principalmente em mamografia, por estar diretamente relacionado com a resolução espacial do sistema de imagem. Existem vários métodos para a avaliação deste parâmetro e, em todos eles, há necessidade do alinhamento com o feixe central^{4,5}. No entanto, é justamente essa etapa de alinhamento que acaba, muitas vezes, se tornando a mais difícil de ser realizada e a que necessita de mais tempo para ser cumprida, devido à dificuldade prática do procedimento⁵⁻⁷. Além disso, em alguns casos, pode ser necessário que o operador se exponha à radiação durante este processo.

Assim, esse trabalho apresenta um dispositivo que realiza a etapa de alinhamento automaticamente,

visando facilitar os procedimentos de controle de qualidade para equipamentos mamográficos. O sistema consiste de uma mesa móvel bidirecional, movimentada por motores de passo que são controlados por um microcontrolador. Essa mesa pode ser colocada em uma posição qualquer do campo e uma imagem radiográfica de um dispositivo de verificação de alinhamento deve ser obtida naquela posição, utilizando um sensor CCD odontológico. A partir dessa imagem, um aplicativo computacional desenvolvido calcula a posição relativa do sistema em relação ao centro do campo. Esse valor é transmitido, via comunicação USB, para o microcontrolador acoplado à mesa bidirecional, que determina o movimento dos motores de passo de modo que a mesa fique perfeitamente alinhada com o raio central do feixe de raios X.

Com isso, o tempo necessário para a realização dos procedimentos de controle de qualidade que necessitam de um alinhamento prévio torna-se bem menor do que o tempo gasto normalmente, pois a etapa de alinhamento é realizada de forma rápida, precisa e automática, sem a exposição do operador à radiação.

Material e Métodos

Base móvel do sistema de alinhamento

Foi projetada e construída uma base móvel bidirecional para a realização do alinhamento (Figura 1a). A base, construída de alumínio, foi montada sobre trilhos com rolamentos e se desloca por um guia e um fuso em cada uma das direções. Na extremidade de cada fuso estão acoplados os dois motores de passo, de forma que a cada volta completa do motor a base se desloca 2,0 mm na direção correspondente. Os motores de passo utilizados são do tipo unipolar, com 200 passos por volta. Assim, o deslocamento da base é de 0,01 mm por passo do motor. A base possui dimensões de 210 mm de largura (eixo x), 160 mm de comprimento (eixo y) e 110 mm de altura. O deslocamento máximo da base sobre os guias é de 110 mm para ambos os eixos.

Essa base deve ser posicionada no mamógrafo de modo que o eixo x fique perpendicular ao eixo catodo-anodo do equipamento mamográfico. Uma característica importante a se observar é que o eixo x fica posicionado no canto direito (externo) da base inferior, conforme mostrado na Figura 1b. Isso foi feito pois os mamógrafos só possuem meio campo de radiação, já que eles têm colimadores internos para garantir que os raios X atinjam apenas a mama da paciente. Dessa forma, nos aparelhos mamográficos, o centro do campo fica próximo à extremidade da base onde a mama é posicionada durante o exame. Como a mesa de alinhamento deve se deslocar sobre essa base móvel até se alinhar com o raio central do feixe, a base da mesa também foi deslocada para garantir o equilíbrio do sistema.

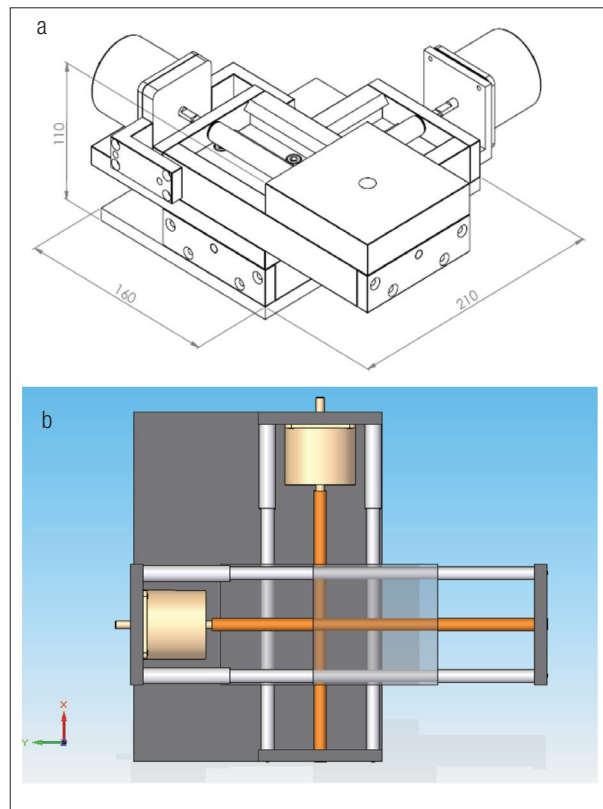


Figura 1. Base móvel para a mesa de alinhamento. (a) vista de perfil com as dimensões da mesa. (b) vista superior mostrando o deslocamento do eixo x para o canto direito da base inferior.

Cálculo do desalinhamento

Após o posicionamento da base móvel no aparelho mamográfico, uma imagem radiográfica de um dispositivo de verificação de alinhamento deve ser obtida naquela posição. Dessa forma, a posição relativa do sistema em relação ao centro do campo é calculada, e o número de passos necessários para que a mesa fique alinhada com o raio central do feixe é enviado aos motores.

Foi utilizado um dispositivo de verificação de alinhamento (DVA) da *Nuclear Associates (Cardinal Health, Cleveland, EUA)* pertencente ao kit de avaliação de ponto focal modelo *Multipurpose Focal Spot/HVL Test Stand 07-622*. Esse dispositivo é composto por uma peça cilíndrica de acrílico que em seu interior contém cinco esferas de tungstênio. A disposição das esferas é ilustrada na Figura 2. Quando posicionada no centro do campo, a imagem desse dispositivo mostra a esfera central exatamente no centro do quadrado formado pelas outras quatro esferas inferiores.

Para obtenção da imagem radiográfica digital do DVA na posição inicial da mesa de alinhamento, foi utilizada uma placa CCD odontológica intra-oral da *Gendex, modelo Visualix eHD*. A placa é de aquisição direta via porta USB, possui dimensão de 37,5 x 25,5 mm com tamanho de *pixel* de 19,5 μm e 4096 níveis de cinza (12 bits). Foi construída também uma mesa suporte para o posicionamento do DVA e da placa CCD no campo de radiação. Essa mesa garante que o DVA e o sensor CCD fiquem alinhados e paralelos entre si. Além disso, a distância entre eles pode ser variada utilizando cilindros móveis de suporte e, dessa forma, a magnificação em que a imagem é obtida pode ser alterada sem comprometer o alinhamento e o paralelismo. A Figura 3 mostra uma imagem da base móvel, da mesa, do sensor CCD e do DVA em um equipamento mamográfico para a realização do alinhamento.

O cálculo da posição inicial da mesa é feito a partir de análise computacional da imagem radiográfica do DVA utilizando um aplicativo computacional desenvolvido em linguagem Java (Figura 4). A posição da projeção da esfera central, na imagem, em relação às outras quatro esferas inferiores depende da localização, em relação ao raio central do feixe, que o dispositivo foi posicionado.

A Figura 5 ilustra a geometria de exposição no processo de formação da imagem do DVA, utilizada pelo aplicativo computacional para o cálculo do desalinhamento inicial do sistema (Un) em uma das direções. O mesmo procedimento é usado para o cálculo de (Un) na outra direção.

As medidas representadas por (d_1) e (h) são referentes ao DVA (3 e 12 mm respectivamente). As distâncias d_1 e d_2 representam a distância da projeção da esfera central em relação às suas esferas adjacentes na imagem radiográfica obtida com a placa CCD naquela determinada posição. Assim, obtendo todas essas informações anteriores via análise computacional da imagem, é possível determinar a distância Un do sistema ao raio central do feixe, utilizando a Equação 1

$$Un = \frac{d_2 - \left(\frac{m \cdot d_1}{2} \right)}{m' - m} \quad (1)$$

onde m é a magnificação relativa às quatro esferas inferiores e m' referente à esfera central superior.

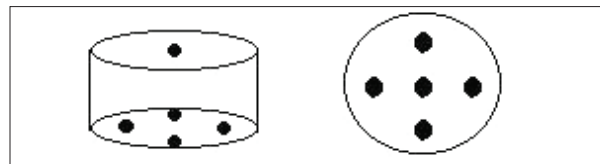


Figura 2. Dispositivo de verificação de alinhamento (DVA).

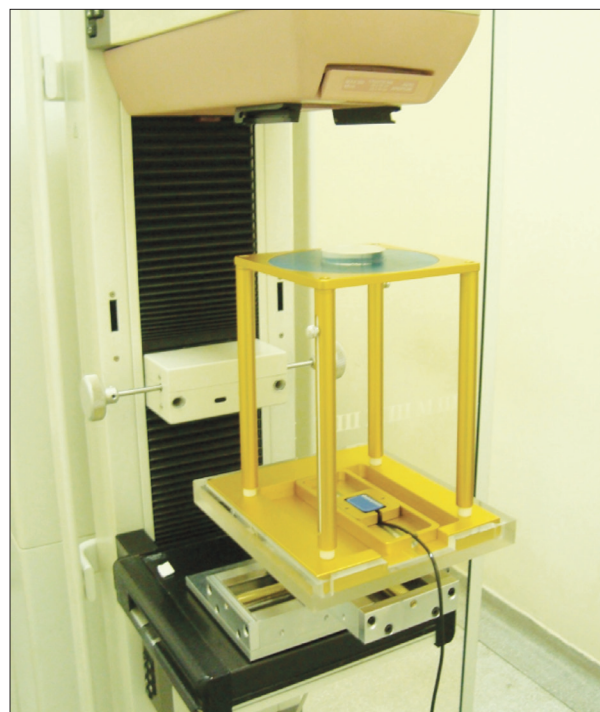


Figura 3. Base móvel bidirecional, mesa suporte, placa CCD e DVA colocados em um mamógrafo para o alinhamento.

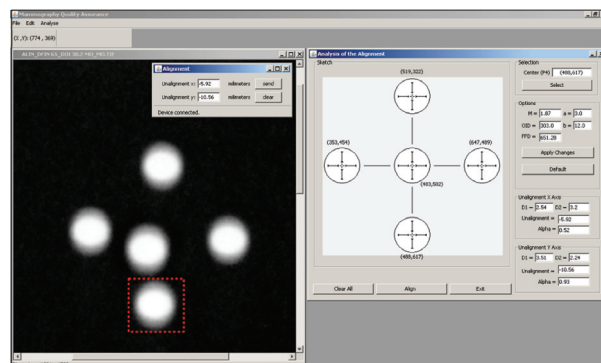


Figura 4. Tela do aplicativo computacional desenvolvido para o cálculo da posição do sistema em relação ao centro do campo.

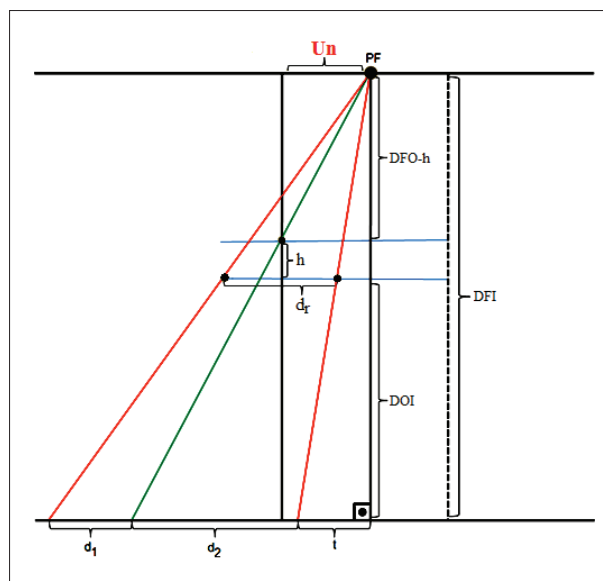


Figura 5. Demonstração do cálculo geométrico proposto para aferir o desalinhamento do DVA em relação ao centro do campo

Finalmente, após o cálculo do desalinhamento em ambas as direções, o aplicativo computacional envia pela porta USB os valores ao microcontrolador que está ligado aos motores de passo. O microcontrolador envia a informação de número de passos e sentido de giro aos motores e a mesa se alinha automaticamente ao raio central do feixe de raios X. Foi utilizado um microcontrolador PIC, da *Microchip*, modelo 18F4550.

Resultados

O dispositivo eletrônico de controle dos motores de passo da base móvel tem, além do microcontrolador, quatro botões que realizam o movimento da mesa em ambas as direções e sentidos. Isso permite que um alinhamento prévio seja feito manualmente pelo usuário, se desejado, antes da exposição aos raios X.

Para verificar o funcionamento do sistema de alinhamento desenvolvido, foram realizados testes experimentais em um equipamento mamográfico *Lorad Mill*. Os testes foram realizados da seguinte forma: inicialmente, o sistema de alinhamento foi colocado no equipamento mamográfico e, utilizando os botões de movimentação, a mesa foi posicionada em uma região aleatória do campo. O DVA foi posicionado na mesa, juntamente com a placa CCD e uma imagem radiográfica foi obtida nessa posição. O aplicativo computacional fez a análise da imagem e os valores dos desalinhamentos em ambas as direções foram calculados. Esses valores foram enviados ao circuito de controle da mesa via comunicação USB. Finalmente, o microcontrolador envia o número de passos necessários para os motores para que eles movimentem a mesa de modo a posicionar o sistema no

Tabela 1. Resultados experimentais obtidos com o sistema de alinhamento proposto. Os sinais positivo e negativo indicam a direção do desalinhamento.

Teste	Distância em X			
	Inicial		Final	
	mm	°	mm	°
1	- 9,19	1,07	-0,84	0,10
2	+6,09	0,73	+1,05	0,12
3	-27,90	3,24	+0,23	0,03

Teste	Distância em Y			
	Inicial		Final	
	mm	°	mm	°
1	- 6,96	0,81	-0,06	0,01
2	+15,46	1,85	-0,57	0,07
3	+29,37	3,41	-1,47	0,17

centro do campo. Uma nova imagem do DVA foi obtida para verificação do alinhamento final e validação do sistema desenvolvido.

Esse procedimento foi repetido diversas vezes, posicionando o sistema em diferentes posições do campo e alguns resultados obtidos são apresentados na Tabela 1. Os valores dos desalinhamentos iniciais são referentes às primeiras imagens com o DVA. Já os valores dos desalinhamentos finais são referentes à segunda aquisição de imagem, ou seja, depois que o alinhamento automático já havia sido executado pelo sistema. Os valores são mostrados em milímetros e em graus, já que a norma NEMA XR5 estabelece um desalinhamento máximo de $0,5^\circ$ para as medidas de ponto focal⁴.

Discussão e conclusões

Os resultados mostram que o dispositivo desenvolvido nesse trabalho permite o alinhamento de um sistema de aquisição de imagem com o centro do campo de equipamentos mamográficos. A Tabela 1 indica que, para todos os casos, o sistema foi capaz de se alinhar com o feixe central de radiação, dentro dos limites especificados pela norma, em apenas um disparo do tubo de raios X. Esse sistema tem aplicação prática para a realização de qualquer procedimento de controle de qualidade onde há o requisito de alinhamento, mas a sua principal aplicação é na medida do tamanho do ponto focal. Para essa avaliação, o alinhamento é fundamental para a realização do procedimento de medição e é justamente a etapa mais difícil e demorada quando realizada manualmente.

A placa CCD intra-oral também pode ser utilizada na aquisição da imagem da projeção do ponto focal no centro do campo (após o alinhamento) e também para a medida de função de transferência de modulação (MTF) do equipamento, conforme demonstrado em trabalho prévio⁹. Dessa forma, o sistema de alinhamento

apresentado, juntamente com uma câmara de fenda para obtenção da imagem da projeção do ponto focal, compõem um sistema completo de avaliação da resolução espacial de equipamentos mamográficos utilizando um procedimento mais simples e rápido do que os convencionais.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à FAPESP pelo apoio financeiro.

Referências

1. Hendee WR, Chaney EL, Rossi RP. Radiologic Physics, Equipment and Quality Control. Chicago: Year Book Medical Publishers; 1997.
2. Brasil. Ministério da Saúde. Secretária de Vigilância Sanitária. Portaria nº453: Diretrizes de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico. Brasília; 1988.
3. Doi K. Field characteristics of geometric unsharpness due to the x-ray tube focal spot. *Med Phys*. 1977;4(1):15-20.
4. National Electrical Manufacturers Association (NEMA) Standards Publication No. XR 5: Measurement of dimensions and properties of focal spots of diagnostic x-ray tubes, NEMA, Washington, DC, 1992.
5. Rong XJ, Krugh KT, Shepard SJ, *et al*. Measurement of focal spot size with slit camera using computed radiography and flat-panel based digital detectors. *Med Phys*. 2003; 30(7):1768-75.
6. Tang S, Barnes GT, Tanner, RL. Slit camera focal spot measurement errors in mammography. *Med Phys* 1995; 22(11 Pt 1):1803-14.
7. Vieira MAC, Schiabel H, Escarpinati MC. Using a film scanner as a microdensitometer for optical transfer function and focal spot measurements. In: SPIE MI 2003: Physics of Medical Imaging. 2003;5030:1061-8.
8. Vieira MAC, Oliveira Jr. PD, Escarpinati MC, Schiabel H. Determinação da função de transferência de equipamentos mamográficos em qualquer posição do campo utilizando sensor CCD odontológico. In: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica; 2008.