

Realce por contraste de microcalcificações em mamografias usando realce morfológico e elementos estruturantes não planos

Michael Wirth¹, Matteo Frascini², Jennifer Lyon¹

¹Universidade de Guelph, Guelph Canadá

²Dipartimento di Scienze Mediche - Università di Cagliari, Itália
mwirth@uoguelph.ca

Abstrato

Este artigo apresenta uma abordagem para melhorar o contraste de microcalcificações em mamografias usando um algoritmo de realce de contraste baseado em uma combinação de realce morfológico e elementos estruturantes não planos. Dado que as microcalcificações aparecem como pequenas cúpulas em um relevo 3D de uma mamografia, o realce é obtido usando elementos estruturantes que têm uma forma 3D.

1. Introdução

A mamografia desempenha um papel central no processo de detecção de anormalidades no rastreamento do câncer de mama. A mamografia é uma projeção de raios-x das estruturas 3D da mama obtida pela compressão da mama entre duas placas. As mamografias têm uma aparência inata "difusa" ou difusa devido, em parte, à sobreposição de densidades de diferentes tecidos mamários e às características diferenciais de atenuação de raios X (absorção) associadas a esses vários tecidos.

Um alto contraste é sempre necessário para diferenciar estruturas muito finas com pequenas diferenças de densidade, como microcalcificações. Uma microcalcificação é um pequeno depósito de cálcio semelhante a um grânulo que se acumulou no tecido mamário, aparecendo como um pequeno ponto brilhante em uma mamografia. Existe uma correlação distinta entre a presença de microcalcificações e a incidência de câncer de mama, o que indica que a detecção precisa de microcalcificações melhorará a capacidade de detectar massas malignas. O realce é o primeiro estágio no processo de detecção e classificação da microcalcificação.

Neste artigo propomos um algoritmo de realce baseado em análise morfológica. Primeiro isolamos a região da mama e usamos o pré-processamento morfológico para suprimir os artefatos de fundo, depois o realce morfológico (ME) é usado para melhorar o contraste das microcalcificações. Abordagens anteriores usando ME para melhorar a perspicácia das microcalcificações focaram no uso de pequenos quadrados [1] ou elementos estruturantes planos (SE) em forma de disco, que podem ser inadequados para a forma natural das microcalcificações. Investigamos uma nova abordagem para ME, baseada em elementos estruturantes não planos (escala de cinza), e comparamos nossos resultados com ME usando SE plana e técnicas tradicionais de aprimoramento usando imagens de vários bancos de dados.

2. Complexidades do aprimoramento da microcalcificação

Muitos fatores contribuem para as dificuldades na detecção de microcalcificações. As principais microcalcificações são pequenas e exibem uma ampla gama de variabilidade em relação à sua morfologia (Figura 1), tamanho e padrão de distribuição. Em segundo lugar, as microcalcificações estão frequentemente situadas em um fundo não homogêneo e, devido ao seu baixo contraste com o fundo, sua intensidade pode ser semelhante ao ruído ou outras estruturas (por exemplo, artefatos de filme, marcadores radiopacos). Se a região de fundo for composta por tecido adiposo o processo de identificação das microcalcificações é mais fácil do que se elas estivessem embutidas em tecido denso.

tecido fibroglandular. O aprimoramento das microcalcificações é um processo delicado que envolve melhorar o contraste e preservar a acuidade visual. Pouco realce pode impedir a detecção de pequenos picos de microcalcificação, enquanto muito realce pode aumentar significativamente a amplitude do ruído de fundo, levando a um grande número de detecções falsas.

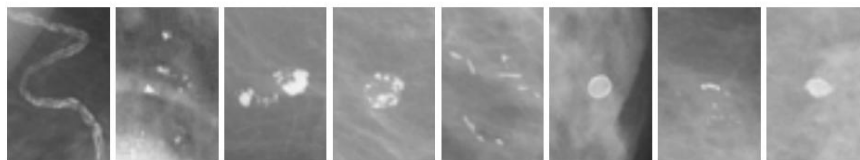


Figura 1. Alguns tipos de microcalcificação (da esquerda para a direita): vascular, redonda, pipoca, borda, bastonete, esférica, pontuada, distrófica

3. Aprimoramento morfológico

A noção de contraste pode ser definida aproximadamente como a diferença relativa de intensidade entre uma estrutura de imagem e seu fundo. O principal objetivo do aprimoramento ou nitidez de contraste é enfatizar detalhes finos em uma mamografia ou aprimorar detalhes borrados. O princípio do realce de contraste morfológico foi introduzido por Soille [2], como uma extensão para alternar contrastes. O realce de contraste morfológico é baseado na noção de cartola morfológica que foi proposta pela primeira vez por Meyer [3]. Um *top-hat* é um filtro residual que preserva esses recursos em uma imagem que pode caber dentro da *estrutura elemento* (SE) e remove aqueles que não podem. O realce do contraste morfológico é obtido calculando-se os chapéus superiores de área dupla em paralelo. A realização de uma abertura estrutural retira de uma imagem as regiões de alta intensidade, ou seja, feições que não podem acomodar o elemento estruturante. A *cartola por abertura* é definida como a diferença entre a imagem original e sua abertura em tons de cinza, utilizando o elemento estruturante B :

$$f_{top-hat} = f - f_B \quad (1)$$

Da mesma forma a *cartola* dupla fechando, f_{th} , é a diferença entre a escala de cinza fechando, B , usando o elemento estruturante B e a imagem original, f :

$$f_{th} = f_B - f \quad (2)$$

A *cartola por abertura*, produz uma imagem que contém todas as características residuais (ou seja, picos e cumes) removidas pela abertura. Adicionar esses recursos residuais à imagem original tem o efeito de acentuar as estruturas de alta intensidade (luz). O resíduo duplo (ou seja, vales e vales) obtido usando a *cartola por fechamento* é então subtraído da imagem resultante para acentuar estruturas de baixa intensidade (escuras):

$$f_{enh} = f + f_{th} - f_{top-hat} \quad (3)$$

4. Elementos Estruturantes Não Planos

Um *elemento estruturante* é um pequeno conjunto usado para sondar uma imagem. Tradicionalmente, a análise morfológica tem sido realizada usando elementos estruturantes *planos*, que possuem duas dimensões no caso de imagens bidimensionais. Por outro lado, os elementos estruturantes *não planos* (também conhecidos como escala de cinza ou SE volumétrico) são elementos estruturantes 3D, usados para sondar a "forma" de intensidade de

recursos na imagem, além de simplesmente forma. Sternberg [4] introduziu o conceito de SE não plano, porém há muito pouca aplicação de tal SE na literatura. Di Ruberto et al. [5] usam um SE em forma de hemisfério para aumentar a redondeza e a compactação dos glóbulos vermelhos em imagens de lâminas de sangue coradas. Um SE não plano tem uma aparência mais 3D. Por exemplo, considere um elemento estruturante não plano "em forma de bola" cujo raio no plano XY é 8 e cuja altura é 50. hemisfério, conforme mostrado na Fig.2.

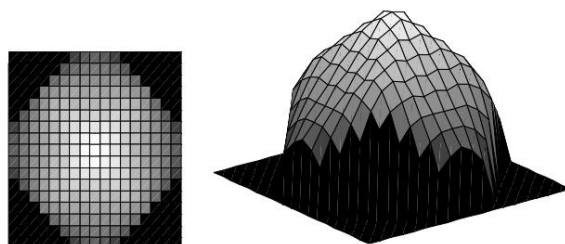


Figura 2. Um elemento estruturante não plano "em forma de bola"

5. Resultados

5.1 Avaliação de desempenho

O desempenho do esquema de aprimoramento é caracterizado por um processo de inspeção visual direta, medidas quantitativas, como aquelas baseadas na variação de fundo e região de detalhes, e medidas comparativas, como perfis de imagem. Uma comparação experimental é feita entre o realce morfológico usando elementos estruturantes não-planos e técnicas como o realce morfológico clássico e o algoritmo de equalização de histograma adaptativo limitado por contraste (CLAHE) [6]. A medida aqui utilizada é formada por duas figuras de mérito que representam uma estimativa da variância local de uma imagem [7]. A estimativa é realizada separadamente em regiões de detalhe (variância de detalhe, DV) e em regiões relativamente uniformes (variância de fundo, BV) de uma imagem. Aqui esperamos valores razoavelmente altos de DV nas imagens aprimoradas, enquanto o valor de BV deve permanecer baixo para indicar amplificação de ruído limitada.

5.2 Avaliação do SE não plano

Para ilustrar o processo, considere o exemplo mostrado na Figura 3 mostrando vários algoritmos de realce aplicados a uma mamografia contendo uma série de microcalcificações redondas (Figura 3a). A Figura 3b-d mostra os resultados obtidos usando o algoritmo CLAHE, realce morfológico tradicional com um elemento estruturante plano em forma de disco ($r = 5$) e nosso algoritmo usando um elemento estruturante não plano em forma de "bola" (altura = 50, $r = 17$) respectivamente. Os dados da Tabela 1 resumem as medidas quantitativas obtidas para as mamografias mostradas na Figura 3. O algoritmo de realce morfológico baseado em SE mostra uma melhora moderada no DV em relação ao algoritmo CLAHE, devido à forma do SE e comportamento localizado do algoritmo, no entanto, há uma amplificação perceptível do ruído de fundo. O aprimoramento usando o SE não plano oferece uma melhoria do DV em relação ao SE plano, ao mesmo tempo em que demonstra um aumento moderado no contraste das estruturas de fundo (e ruído). O CLAHE mantém a amplificação de ruído mais alta, indicativa de que o tecido mamário denso subjacente está sendo aprimorado.

Tabela 1: Medidas de desempenho para aprimoramento de microcalcificações

Algoritmo de Aprimoramento	DV	BV
Original (sem aprimoramento)	16887	8,2530
CLAHE (aprimorado)	59155	823.7258
SE Não Plano (morfologia)	196060	447.7684
Plano SE (morfologia)	92701	422.3583

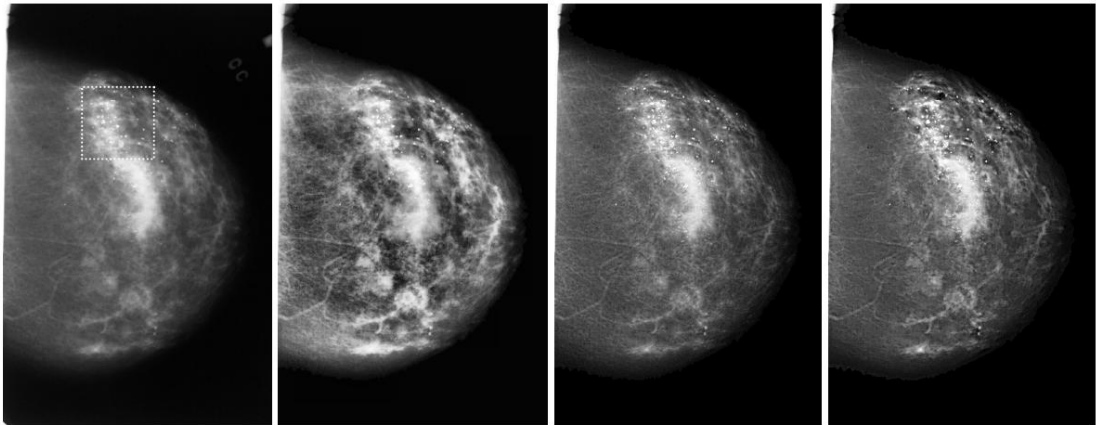


Figura 3. Realce de contraste de uma mamografia. (a) Mamografia original; (b) Aprimoramento com algoritmo CLAHE; (c) Realce morfológico usando um SE plano; (d) Realce usando realce morfológico com um elemento estruturante não plano

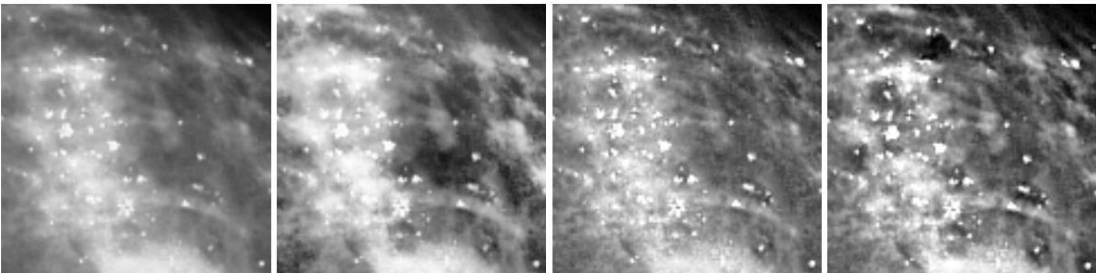


Figura 4. ROI de massa ampliada da Fig.1. (a) Mamografia original; (b) Aprimoramento com algoritmo CLAHE; (c) Realce morfológico usando um SE plano; (d) Realce usando realce morfológico com um elemento estruturante não plano

Os resultados quantitativos da Tabela 1 são comprovados pela revisão da região de interesse (ROI), contendo microcalcificações que foram extraídas de cada uma das mamografias da Figura 3 e ampliadas para mostrar detalhes (Figura 4). Aprimoramento usando

o algoritmo CLAHE (Figura 4b) revela que, embora as microcalcificações tenham sido aprimoradas, o mesmo aconteceu com o tecido denso circundante, obscurecendo efetivamente muitas das microcalcificações sobrejacentes. Ambas as técnicas de realce morfológico melhoraram a acuidade das microcalcificações, com o algoritmo baseado em SE não plano (Figura 4d) mostrando maior acentuação das microcalcificações do que o SE plano (Figura 4c).

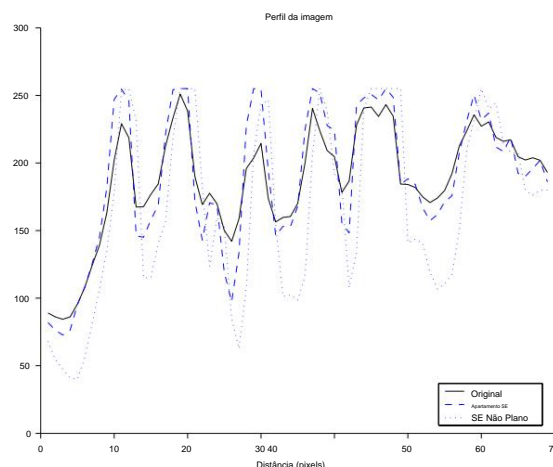


Figura 5. Perfis de elementos estruturantes planos versus não planos

O efeito do elemento estruturante não plano pode ser visualizado usando uma série de perfis obtidos através de uma série de microcalcificações da ROI na Figura 4. Os perfis resultantes para o SE original, plano e não plano são mostrados na Figura 5. que o SE não plano apresenta vales profundos, separando os picos das microcalcificações de forma mais eficaz do que o SE plano em forma de disco.

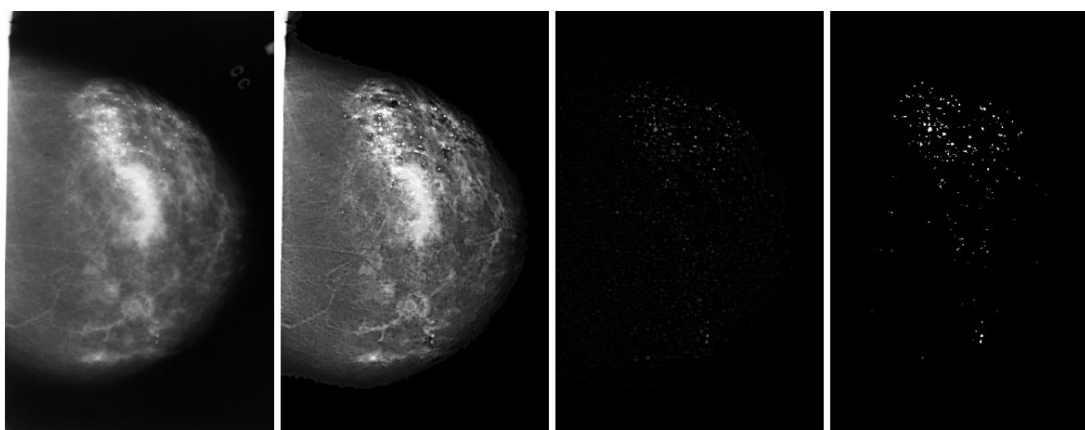


Figura 6. Extração de microcalcificações. (a) Mamografia original; (b) Após realce usando realce morfológico 3D; (c) Após a subtração do fundo; (d) Limiar de (c) para extrair microcalcificações potenciais.

A Figura 6 ilustra o uso do realce como precursor do processo de detecção de microcalcificação. A mamografia original (Figura 6a) é aprimorada usando o algoritmo proposto (Figura 6b) e o efeito de suprimir as estruturas lineares e o tecido fibroglandular (Figura 6c). A imagem resultante (Figura 6d) mostra as microcalcificações prospectivas extraídas por limiarização [8].

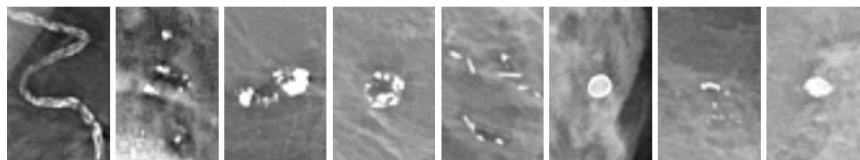


Figura 7. Tipos de microcalcificação após realce com o SE não plano (da esquerda para a direita): vascular, redondo, pipoca, aro, bastonete, esférico, pontuado, distrófico

A capacidade do algoritmo de se adaptar às mudanças no tamanho e na forma das microcalcificações é ilustrada pelo aprimoramento das microcalcificações na Figura 1. Os resultados mostrados na Figura 7 demonstram a acuidade melhorada em todas as microcalcificações.

6. Discussão e Conclusão

A aparência difusa das mamografias é causada em parte pela falta de componentes de alta frequência. Uma das advertências encontradas ao usar as técnicas tradicionais de aprimoramento é que elas invariavelmente aumentam o ruído enquanto melhoram o contraste, eliminando detalhes finos e nitidez das bordas. Um dos benefícios do realce de contraste morfológico é que ele permite que detalhes finos sejam preservados. O outro benefício dessa abordagem sobre os algoritmos de aprimoramento existentes é sua capacidade de ser adaptado para fins específicos. Este trabalho propôs um novo algoritmo para aprimoramento de imagens de estruturas em mamografias baseado no uso de SE não plano. Demonstramos que o método proposto é capaz de realçar microcalcificações sem ênfase no ruído ou sobre-acentuação do tecido de fundo.

7. Referências

- [1] J. Dengler, S. Behrens e JF Desaga, "Segmentação de microcalcificações em mamografias", IEEE Transactions on Medical Imaging, IEEE, 1993, pp.634-642.
- [2] P. Soille, "Uma nota sobre realce de contraste morfológico", Relatório Técnico. École des Mines d'Alès-EERIE. 1997.
- [3] F. Meyer, "Transformações de imagem iterativas para uma triagem automática de esfregaços cervicais", The Journal of Histochemistry and Cytochemistry, The Histochemical Society, p1979, p.128-135.
- [4] S. Sternberg, "Morfologia em escala de cinza", Visão Computacional, Gráficos e Processamento de Imagem, 1986, pp.333-355.
- [5] C. Di Ruberto, AG Dempster, S. Khan e B. Jarra, "Segmentação de imagens de sangue usando operadores morfológicos", na Conferência Internacional sobre Reconhecimento de Padrões, Barcelona, Espanha, IEEE, 2000, pp.397-400 .
- [6] SM Pizer, EP Aiburn, JD Austin, R. Cromartie, A. Geselowitz, T. Greer, B. Haar-Romeny, JB Zimmerman e K. Zuiderveld, "Adaptive histogram equalization and its variables", Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1987, pp.355-368.
- [7] A. Vanzo, G. Ramponi e GL Sicaranza, "Uma técnica de aprimoramento de imagem usando filtros polinomiais", em IEEE International Conference on Image Processing, IEEE, 1994, pp.477-481.
- [8] JN Kapur, PK Sahoo e AKC Wong, "Um novo método para limiarização de imagens em nível de cinza usando a entropia do histograma", Modelos Gráficos e Processamento de Imagens, Academic Press, 1985, pp.273-285.