

# Redução de ghost em imagens de MR adquiridas pelo método EPI

Bruno C. Marini

(financiado pela FAPESP - Processo FAPESP No 2007/00930-7)

Graduação, Instituto de Computação - UNICAMP

nszeek@gmail.com

Marcelo V. W. Zibetti

Pós-doc, Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica - UNICAMP

marcelo.zibetti@terra.com.br

Gabriela Castellano (Orientadora)

Docente, Instituto de Física Gleb Wataghin - UNICAMP

gabriela@ifi.unicamp.br

## Resumo

*Este trabalho visou o estudo do artefato de Nyquist-Ghost (também conhecido como N/2-Ghost), característico de imagens de ressonância magnética (MR) adquiridas através do método de echo planar imaging (EPI), assim como a implementação de um método para sua correção. Para isso foram estudados vários métodos da literatura para a correção desse artefato, e foi feita uma implementação combinando alguns deles. O método implementado reduziu notavelmente o artefato nas imagens testadas.*

## 1. Introdução

O método de EPI de aquisição de dados de MRI é muito mais rápido que os métodos convencionais de MR. Isto é útil em casos em que se necessita de alta resolução temporal, que é o caso dos experimentos de ressonância magnética funcional (fMRI), para estudo do funcionamento do cérebro.

O método de EPI [7] difere dos convencionais por preencher todo o espaço-k de aquisição dos dados com uma única excitação dos spins da amostra. Para apressar ainda mais a aquisição, o espaço-k é varrido em zig-zag (Figura 2), ao invés de seguir a varredura raster convencional (Figura 1). Essa varredura em zig-zag gera o artefato con-

hecido como Nyquist-Ghost. Isso se deve a que na aquisição das linhas do espaço-k (dados complexos), geralmente ocorre um erro de fase. Nas aquisições convencionais, como todas as linhas são adquiridas na mesma direção (p.ex., da esquerda para a direita), este erro de fase se torna comum a todo o espaço e aparece como um fator de escala global, que não afeta a reconstrução. Porém na aquisição EPI, linhas ímpares (adquiridas p.ex., da esquerda para a direita) terão fases diferentes das linhas pares (adquiridas da direita para a esquerda). Essa diferença de fase entre as linhas pares e ímpares dos dados causa o artefato tipo Ghost.

Em MR, o sinal medido  $S(p, q)$  pode ser escrito como:

$$S(p, q) = \sum_{l, m} I(l, m) e^{-\frac{i2\pi lp}{N_x}} e^{-\frac{i2\pi mq}{N_y}}, \quad (1)$$

onde  $k_x = p\Delta k_x$  e  $k_y = q\Delta k_y$  são as coordenadas do espaço-k;  $x = l\Delta x$  e  $y = m\Delta y$  são as coordenadas no espaço da imagem; e  $\Delta k_x = 1/(N_x\Delta x)$  e  $\Delta k_y = 1/(N_y\Delta y)$ .  $I(l, m)$ , que representa a imagem, é a magnetização da amostra, que depende da densidade de prótons e dos tempos de relaxação do tecido imageado [2]. Como mostra a Equação 1, esta imagem pode ser obtida do sinal medido fazendo a transformada de Fourier (FT) inversa deste sinal [1].

Considerando um erro de fase  $\varphi$  que se alterna entre as linhas pares e ímpares, podemos

re-escrever a Equação 1 como [9]:

$$S'(p, q) = \begin{cases} \sum_{l,m} I(l, m) e^{-\frac{i2\pi lp}{N_x} - \frac{i2\pi mq}{N_y} - i\varphi}, & q \text{ par} \\ \sum_{l,m} I(l, m) e^{-\frac{i2\pi lp}{N_x} - \frac{i2\pi mq}{N_y} + i\varphi}, & q \text{ ímpar} \end{cases} \quad (2)$$

Utilizando as propriedades de ortonormalidade da transformada de Fourier, é possível mostrar que a imagem  $I'$  reconstruída a partir de  $S'$  está relacionada à imagem  $I$  ideal (sem artefato) por [9]:

$$I'(l, m) = I(l, m) \cos \varphi + iI(l, m - \frac{N_y}{2}) \sin \varphi, \quad (3)$$

onde  $N_y$  é o número de pixels da matriz de imagem na direção de codificação de fase. Nesta equação, o primeiro termo representa a imagem “verdadeira”, com intensidade reduzida por um fator  $|\cos \varphi|$ ; e o segundo termo corresponde ao ghost de Nyquist, cuja intensidade é dada por  $I|\sin \varphi|$  e que está deslocada por  $N_y/2$ , ie, pela metade do tamanho da matriz de imagem na direção  $y$ . Exemplos deste artefato, junto com as respectivas imagens corrigidas (com o artefato reduzido), podem ser vistos nas Figuras 3, 4 e 5.

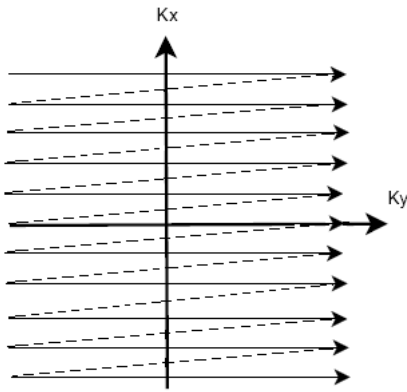


Figura 1. Aquisição regular

## 2. Métodos

A linguagem escolhida para a implementação do programa para a redução do artefato foi C pois esta é, em geral, mais rápida que as demais [3].

O método inicial escolhido para a redução do ghost foi o de Buonocore [8]. Neste método, ao invés de usar os dados do espaço-k para reconstruir a imagem via FT, duas imagens são reconstruídas, uma utilizando somente as linhas ímpares do espaço-k (e preenchendo as linhas pares com zeros antes de realizar a FT), e outra a partir das

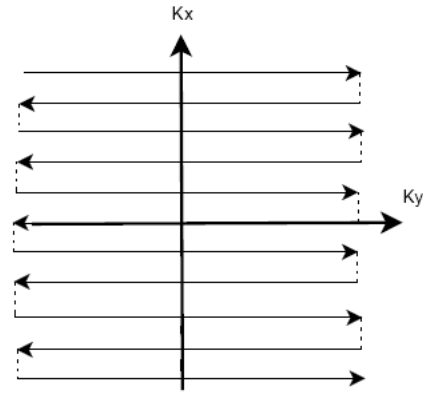


Figura 2. Aquisição EPI no espaço-k

linhas pares do espaço-k (preenchendo as ímpares com zeros). Desse modo, obtém-se duas imagens com ghost, mas um dos ghosts é positivo e o outro é negativo [8]. Se não houvesse erros de fase nas linhas pares e ímpares, então na região do objeto (região da imagem onde não há ghost) a diferença de fase entre as imagens par e ímpar seria zero. No caso em que não há sobreposição do ghost com a imagem, bastaria adicionar essas imagens ímpar e par e teríamos uma imagem corrigida. No caso de haver erros de fase, este pode ser detectado nas regiões de equivalência entre as imagens como uma diferença de fase. Pode-se, então, aplicar a correção em uma das imagens antes de realizar a soma entre elas, adicionando a nova fase em cada ponto  $(x, y)$ .

Quando o ghost se sobrepõe ao objeto de interesse, que é o caso mais comumente encontrado, ao invés de calcular uma diferença de fase para cada ponto da imagem, calcula-se uma diferença de fase média  $\varphi(x)$  para cada linha  $x$  da imagem, onde a média é feita somente sobre as linhas que se encontram numa região (definida pelo usuário) que contém apenas o objeto (região sem ghost). A correção de fase então é feita no meio do caminho entre o espaço-k e o espaço da imagem, ie, aplica-se a FT apenas na direção de leitura [2], e faz-se a correção nessa “imagem” semi-transformada, multiplicando-se as linhas pares por  $e^{-i\varphi(x)}$  e as linhas ímpares por  $e^{i\varphi(x)}$ .

No entanto, vemos que este método requer que o usuário selecione uma região de interesse na imagem. Como queríamos reduzir ao máximo a interação com o usuário, estudamos os métodos encontrados em [4], [5] e [6], e implementamos uma combinação destes com o método de [8].

Na implementação feita, calcula-se primeiro uma região de interesse automaticamente, onde

deveria estar a imagem “verdadeira”. Para isso, reconstrói-se a imagem normalmente aplicando a FT nos dados colhidos do espaço-k, gerando uma imagem  $F_{org}$  (com ghost). Como as imagens em questão são todas imagens de crânio (já que são para estudos do cérebro), a região de interesse (onde fica o crânio) é aproximadamente circular. Esta então é achada calculando-se o centro de massa da imagem  $F_{org}$ , e selecionado um círculo de diâmetro apenas menor que a menor dimensão da imagem, com centro no centro de massa da imagem ( $C_x, C_y$ ) (usamos diâmetro  $D = \min(W/1.25, H/1.25)$ , onde  $W$  e  $H$  são as dimensões da matriz de imagem). Uma vez que temos essa região de interesse podemos aplicar o método de correção. Para isso, reconstruem-se as imagens par e ímpar como no método de Buonocore,  $F_{even}$  e  $F_{odd}$ . Estas imagens (complexas) são multiplicadas por uma fase composta de duas componentes, uma de zero ordem e uma de primeira ordem, e somadas para obter a imagem final:

$$F = F_{even}^{ft} e^{2\pi i(n_1+n_2x)} + F_{odd}^{ft} e^{-2\pi i(n_1+n_2x)}. \quad (4)$$

Para reduzir o ghost, queremos que os valores de  $F$  fora do círculo (fora da região da imagem “verdadeira”) sejam nulos. Portanto o método de correção é basicamente uma busca global pelas variáveis  $n_1$  e  $n_2$  que façam com que o valor de  $E$  seja mínimo, onde  $E$  é calculado como:

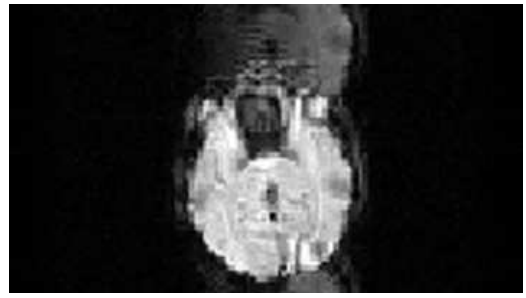
$$E = \sum_{x \in H} \sum_{y \in W} \sqrt{F_{real}(x, y)^2 + F_{img}(x, y)^2}. \quad (5)$$

### 3. Resultados

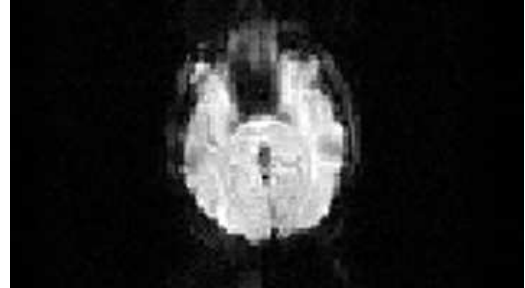
As Figuras 3, 4 e 5 mostram algumas das imagens testes, com ghost, e as respectivas imagens com o ghost reduzido, utilizando o método implementado.

### 4. Discussão e conclusões

Este trabalho teve por objetivo o estudo do artefato de Nyquist-Ghost em imagens de MR adquiridas pelo método de EPI, e a implementação de um método para a correção deste artefato. O método implementado, na linguagem C, foi uma combinação de diversos métodos existentes na literatura para a redução desse artefato, devido a que buscou-se um método que fosse simples e que tivesse a mínima interação possível com o usuário. Os resultados alcançados foram satisfatórios, percebe-se uma clara redução do artefato nas imagens testadas.

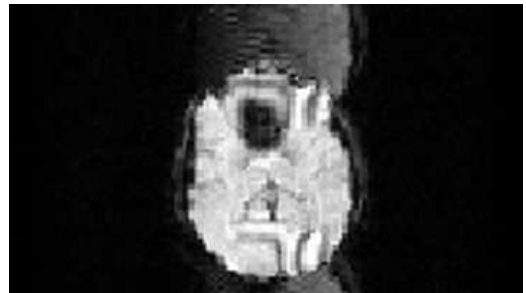


(a) Imagem original.



(b) Imagem corrigida.

**Figura 3. Exemplo de imagem corrigida 1.**



(a) Imagem original.

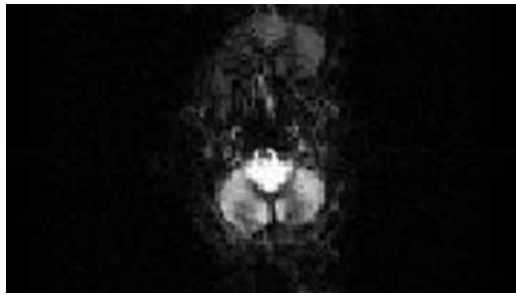


(b) Imagem corrigida.

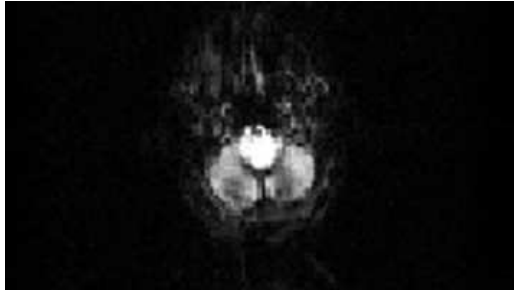
**Figura 4. Exemplo de imagem corrigida 2.**

### Referências

- [1] E. O. Brigham. The Fast Fourier Transform and its Applications. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1988.



(a) Imagem original.



(b) Imagem corrigida.

**Figura 5. Exemplo de imagem corrigida 3.**

---

- [2] S. A. Huettel, A. W. Song, G. McCarthy. Functional Magnetic Resonance Imaging. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, USA, 2004.
- [3] W. H. Press et al. Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing, 2<sup>a</sup> ed. Cambridge University Press, 1992.
- [4] K. J. Lee. Image-Based EPI Ghost Correction Using an Algorithm Based on Projection Onto Convex Sets (POCS), 2002.
- [5] K. J. Lee. Image-based ghost reduction in interleaved EPI by method of generalised projections (MGP).
- [6] K. J. Lee. Image-based EPI ghost artifact reduction using iterative phase correction.
- [7] Robert L. De La Paz. Echo-planar Imaging.
- [8] Michael H. Buonocore, Lisheng Gao. Ghost Artifact Reduction for Echo Planar Imaging Using Image Phase Correction.
- [9] Bernstein MA, King KF, Zhou XJ. Handbook of MRI Pulse Sequences. Elsevier Academic Press, 2004.