

DC offset을 보정한 Spiral Scan Fast Imaging의 재구성

안창범*, 김휴정*, 오창현**, 이흥규***, 이윤**

*광운대학교 전기공학과, **고려대학교 응용전자공학과, ***메디슨 MRI 연구소

Reconstruction of the Spiral Scan Fast Imaging with DC offset Correction

C.B. Ahn*, H.J. Kim*, C.H. Oh**, H.K. Lee***, Y. Yi**

*Dept. of Electrical Engineering, Kwangwoon University,

Dept. of Applied Electronic Engineering, Korea University, *Medison MRI Research Center

서론

초고속영상은 일반적인 MR imaging 방법으로 영상을 얻기 위해서 보통 수분 대에서 10여분이상이 소요되는 자기공명영상을 100ms이내에 얻는 기술로서, 자기공명영상에서 많은 관심을 보이는 분야이다. Spiral scan imaging[1,2]은 ultra fast MR imaging으로서 Echo planer imaging(EPI)[3]와 같은 gradient echo imaging의 종류이다. 또한, k-space 상에서 스캔 궤적이 spiral궤적으로 eddy-current영향이 작고, flow-related artifact가 줄어들고[4], 균등한 방향의 PSF를 갖는 등 많은 실험적인 장점을 가지고 있다. 본 논문에서는 spiral scan fast 영상방법에 대하여 간단히 review 한 후, DC offset을 보정한 새로운 spiral scan 재구성 방법을 제안하고 시뮬레이션을 통하여 제안한 방법의 향상된 성능을 비교, 확인하였다.

Spiral scan 영상

이차원 자기공명영상에서 가해지는 경사자계를 G_x , G_y 라 할 때 아래와 같이 $k_x(t)$, $k_y(t)$ 을 정의하면

$$\begin{aligned} k_x(t) &= \gamma \int_0^t G_x(t') dt' \\ k_y(t) &= \gamma \int_0^t G_y(t') dt' \end{aligned} \quad (1)$$

sampling 되는 데이터 점을 $s(k_x(t), k_y(t))$ 로 나타

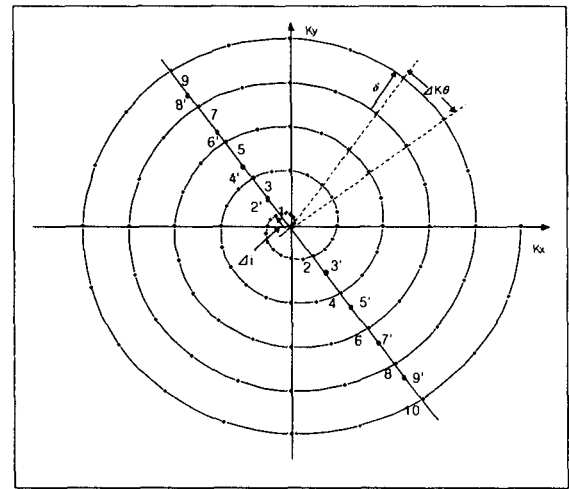


그림 1. Spiral scan trajectory in k-space

낼 수 있으며, 재구성 영상은 이들의 이차원 Fourier 변환을 통하여 얻어진다. Spiral scan 영상의 궤적은 아래의 식으로 주어진다.

$$\begin{aligned} k_x(t) &= \gamma \cdot a \cdot t \cos(b \cdot t) \\ k_y(t) &= \gamma \cdot a \cdot t \sin(b \cdot t) \end{aligned} \quad (2)$$

이러한 궤적을 얻기 위하여 가해주어야 하는 경사자계는 (1)식으로부터

$$\begin{aligned} G_x(t) &= a \cos(bt) - abt \sin(bt) \\ G_y(t) &= a \cos(bt) + abt \sin(bt) \end{aligned} \quad (3)$$

Spiral scan 영상의 k-space 궤적 및 pulse

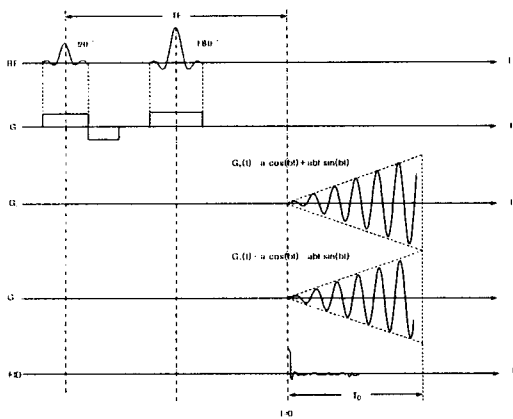


그림 2. Pulse sequence for spiral scan imaging sequence를 그림 1,2에 나타내었다.

Spiral scan 재구성 알고리즘

Spiral궤적의 데이터 위치는 극좌표 (r, θ) 에서 동심 원에 가까우며, 한 사분면에서의 r 방향으로 sampling포인트는 등간격이고, 원점대칭인 사분면의 sampling위치 사이에 놓여 있다. Complex conjugate symmetric 성질을 이용하여 r 방향으로 등간격의 sampling값을 얻을 수 있고, 이것을 radial 방향으로 1D FFT를 하면 projection 데이터가 얻어진다. 이 때 얻어지는 projection 데이터는 k-space 원점에 대하여 θ 각에 따라 Δ_i 만큼 shift 되어 있으므로 $(\Delta_i = \delta \cdot \frac{i}{N_\theta}, i = 0, 1, \dots, N_\theta - 1)$ 이것을 보정하기 위하여 $\exp(-j\omega\Delta_i)$ 을 곱하여 shift를 시킨 후 filtered backprojection을 하여 영상을 재구성한다. 이것을 그림 3에 나타내었다.

DC offset 보정

기존의 Fourier interpolation을 하여 영상을 재구성하는 경우 shift term을 계산한 후 projection 데이터를 얻게 되는데 이 때 원점 부근에서 데이터가 비어 있게 된다.(그림 4) 특히 Δ_i 가 θ 에 따라 달라지는 관계로 재구성영상에서 artifact를 야기시킨다.(그림 7(a) 참고) 이 부분은 주파수 영역에서 DC성분에 해당되는 부분으로 이곳의 데이터를 보정 함으로서 재구성 영상을 향상시킬 수 있다. DC offset 보정은

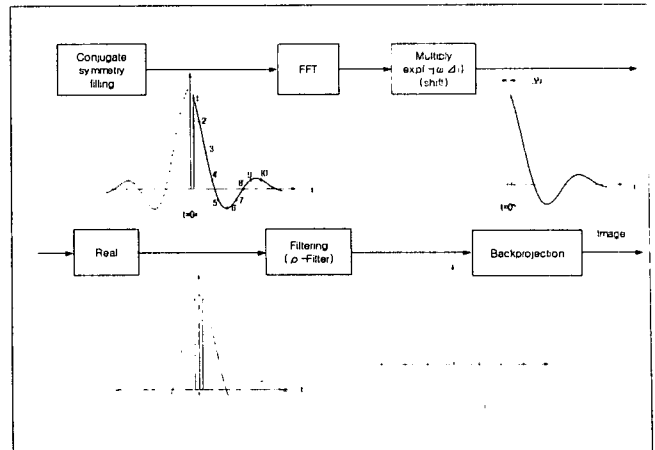


그림 3. Fourier radial interpolation & filtered backprojection (polar grid reconstruction)

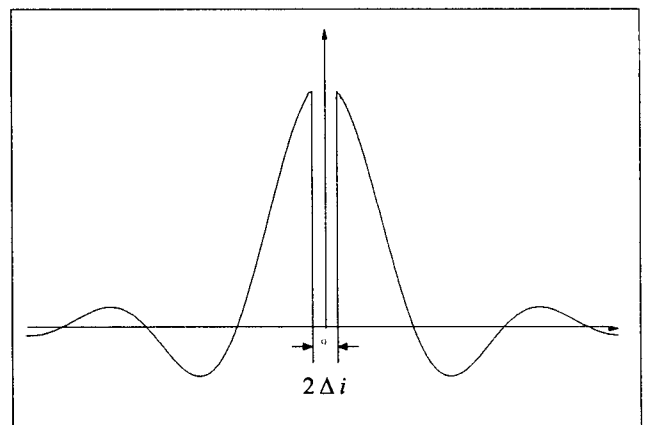


그림 4. Data after shift $(-j\omega\Delta_i)$

먼저 데이터가 비어 있는 부분 $(2\Delta_i)$ 이 sampling interval δ 보다 큰 경우(그림 5(a))와 작은 경우(그림 5(b))를 나누어 살펴본다.

i) $2\Delta_i > \delta$ 인 경우

그림 5(a)의 빗금친 부분의 면적만큼의 DC offset이 모자라는 경우로 아래의 식으로 주어지는 offset을 projection 데이터에 더하여 준다.

$$DC_{offset}^i = S_0(0) \cdot (2\Delta_i - \delta) \tag{4}$$

ii) $2\Delta_i < \delta$ 인 경우

그림 5(b)의 빗금친 부분의 면적만큼의 DC offset이 더 들어간 경우로 아래의 식으로 주어지는 offset을 빼준다.

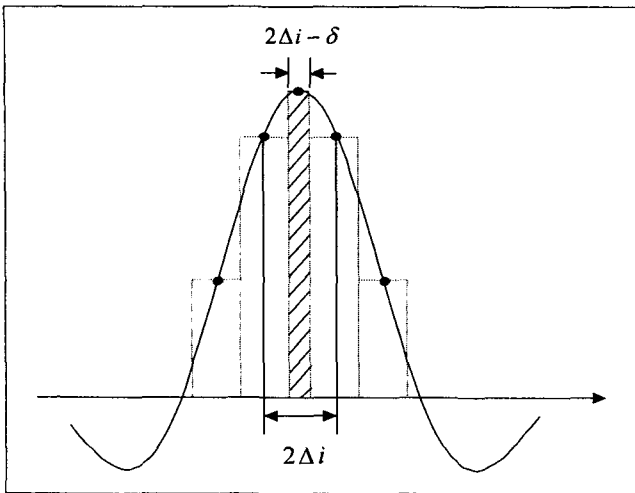


그림 5(a). $2\Delta i > \delta$ 일 경우

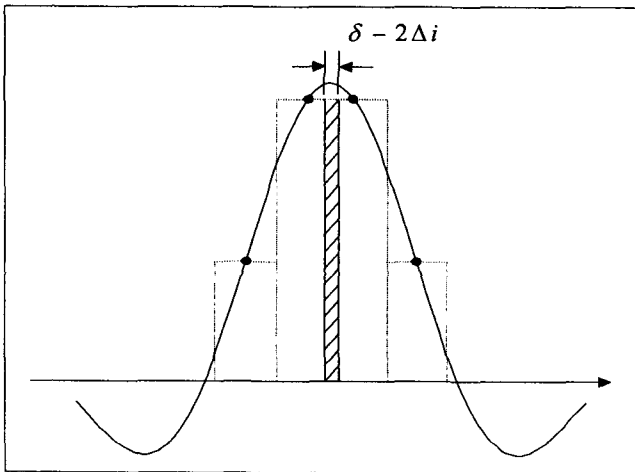


그림 5(b). $2\Delta i < \delta$ 일 경우

$$DC_{offset}^i = S_i(0) \cdot (\delta - 2\Delta i) \quad (5)$$

여기에서 $S_i(0)$ 는 θ 각이 θ_i 일 때 $(\theta_i = \frac{\pi}{N_\theta} \cdot i, i = 0, 1, \dots, N_\theta - 1)$ radial 데이터 set의 첫 번째 데이터를 나타낸다.

컴퓨터 시뮬레이션

제안한 알고리즘의 성능을 살펴보기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 phantom을 그림 6과 같이 만들었다. 전체 영상의 크기는 128×128 이고, 256 gray level을 사용하였으며, 가운데 사각형은 60×60 이고 gray level은 128이다. 이 phantom으로부터 spiral

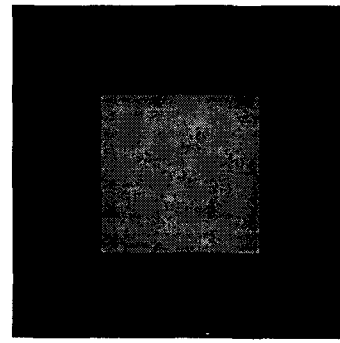


그림 6. Phantom image

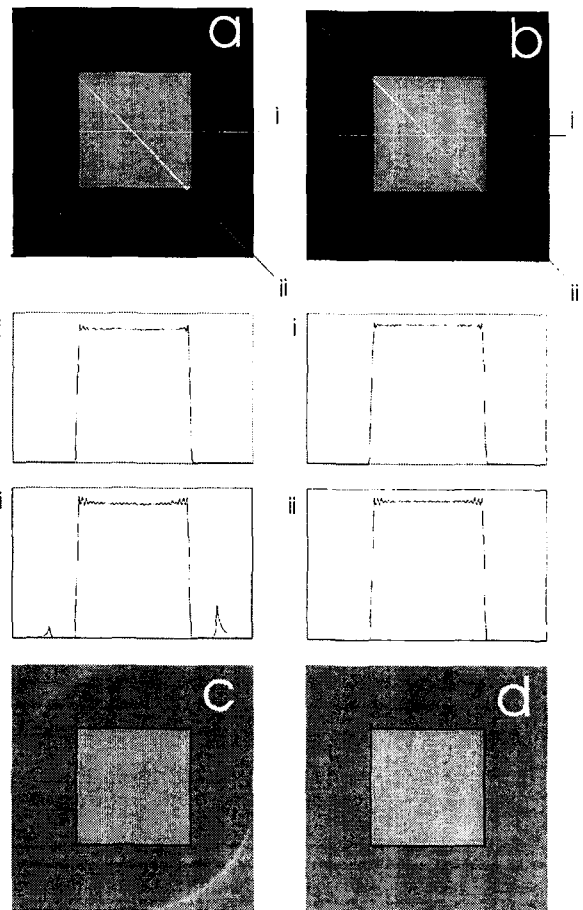


그림 7. (a) 기존의 재구성 방법 (b) DC offset으로 보정한 방법 i) 영상을 수평으로 자른 단면 ii) 영상을 대각선으로 자른 단면 (c) 기존의 구성 방법의 오차 영상 (d) DC offset으로 보정한 방법의 오차 영상

궤적의 데이터를 Sinc함수를 이용하여 spiral궤적의 데이터를 얻었다. 그림 6의 phantom을 기존의 방

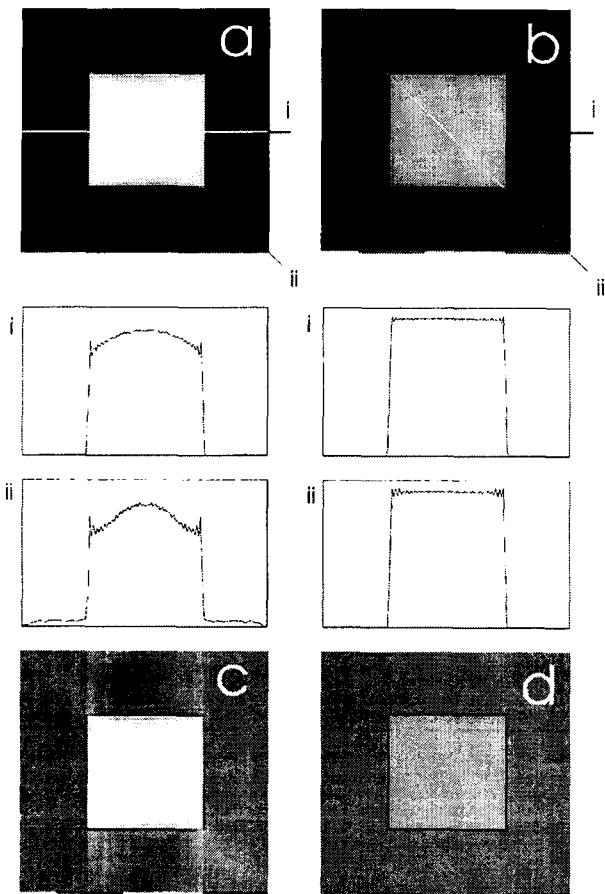


그림 8. (a) Rectangle grid interpolation의 방법으로 재구성한 영상 (b) 제안한 DC offset을 보정한 polar coordinate에서 재구성한 방법 i) 영상을 수평으로 자른 단면 ii) 영상을 대각선으로 자른 단면 (c) Rectangle grid interpolation방법의 오차 영상 (d) 제안한 방법의 오차 영상

법[1]과 DC offset을 보정한 향상된 알고리즘에 의하여 재구성된 영상을 그림 7(a),(b)에 나타내었으며 재구성된 영상의 수평단면과 대각선단면을 아래에 나타내었다. 또한 원영상과 재구성한 영상과의 오차 영상을 그림 7(c),(d)에 나타내었다. 그림 7에서 볼 수 있듯이 기존의 영상재구성 방법은 θ 에 따라 Δt 의 크기가 바뀌므로써 projection 데이터에서 DC offset이 달라지는 것을 고려하고 있지 않으므로 재구성영상의 오른쪽 아래와 왼쪽위에 ring의 일부가 나타나는 artifact가 발견된다. 반면에 제안한 DC offset 보정을 한 재구성 방법에서는 거의 완벽한 재구성이 이루어 짐을 알 수 있다. 그림 8에는 기존

의 rectangle grid interpolation을 하여 2차원 FFT에 기초를 한 재구성 영상과 제안한 재구성 알고리즘을 비교하였다.[5] 그림 8(a),(b)는 재구성 영상과 그림 8(c),(d)은 오차 영상이다. 재구성된 영상의 수평단면과 대각선단면을 보여주고 있다. 그림 8에서도 볼 수 있듯이 DC offset을 보정하여 polar coordinate에서 재구성한 영상이 평탄영역이 우수하며 background영역에서도 거의 완벽한 재구성이 이루어짐을 알 수 있다.

결론

본 논문에서는 최근 들어 자기공명영상의 가장 큰 관심분야인 초고속영상기법의 하나인 spiral scan영상을 DC offset 보정을 통하여 polar coordinate에서 재구성하는 방법을 제안하였고 성능을 확인하였다. DC offset 보정을 포함한 제안한 방법이 기존의 방법들에 비하여 뛰어난 재구성을 제공하는 것을 확인하였다.

참고문헌

1. C.B. Ahn, J.H. Kim, and Z.H. Cho, "High-Speed Spiral-Scan Echo Planar NMR Imaging-I," IEEE Trans. Med. Imag. vol.5, pp.1-6, 1986
2. C.B. Ahn, C.Y. Rew, J.H. Kim, O. Nalcioğlu, and Z.H. Cho, Proc. SMRM, pp.935-936, 1985
3. P. Mansfield, "Multi-planar image formation using NMR spin echoes," J. Phys. C, vol. 10, pp.155-158, 1977
4. C.H. Meyer, B.S. Hu, D.G. Nishimura, and A.Macovski, "Fast Spiral Coronary Artery Imaging," Magn. Reson. Med. vol.28, pp.202-213, 1992
5. C.B. Ahn, H.J. Kim, C.Y. Kim, W.S. Ryu, D.J. Park, H.K. Lee, C.H. Oh, and Y. Yi, "Comparison of Reconstruction Algorithms for Spiral Scan Imaging," ISMRM. vol.3, pp.2003, 1997

Acknowledgement

본 연구는 G7 의료 공학 기술 개발 사업의 지원을 받았음.