

DC offset을 보정한 나선 주사 초고속 자기공명영상의 재구성 알고리즘

안창범*·김휴정*·오창현**·김치영*

광운대학교 전기공학과*, 고려대학교 응용전자공학과**
(1998년 3월 25일 접수, 1998년 5월 16일 채택)

Improved Reconstruction Algorithm for Spiral Scan Fast MR Imaging with DC offset Correction

C.B. Ahn*, H.J. Kim*, C.H. Oh**, C.Y. Kim*

*Dept. of Electrical Engineering, Kwangwoon University,
**Dept. of Applied Electronic Engineering, Korea University
(Received March 25, 1998, Accepted May 16, 1998)

요 약 : 초고속 자기공명 영상 기법의 일종인 나선 주사 영상의 재구성을 위하여 k-공간에서 극좌표와 직각 좌표계를 기초로한 재구성방법들을 분석하였다. 나선 주사 영상의 재구성은 나선 궤적상에서 측정된 데이터를 극좌표나 직각 좌표계로 변환시키기 위하여 보간 기술들이 사용된다. 나선 주사 영상의 다양한 재구성 알고리즘들을 시험하여 보았고, 재구성된 영상의 질을 비교하였다. 본 연구진이 제안한 투영 영역에서 dc-offset보정을 한 향상된 재구성 알고리즘이 시뮬레이션을 통하여 가장 우수한 것으로 나타났다. 또한, 기존의 재구성 방법들에서 나타났던 영상 artifact도 제안된 방법에서는 완전히 사라짐을 확인할 수 있었다.

Abstract : Reconstruction aspects of spiral scan imaging for ultra fast magnetic resonance imaging(MRI) have been investigated with polar and rectangular coordinates-based reconstructions. For the reconstruction of the spiral scan imaging, acquired data in spiral trajectory should be converted to polar or rectangular grids, where interpolation techniques are used. Various reconstruction algorithms for spiral scan imaging are tested, and reconstructed image qualities are compared with computed phantom. An improved reconstruction algorithm with dc-offset correction in projection domain is proposed, which provides the best reconstructed image quality from the simulation. Image artifact with existing algorithms is completely removed with the proposed method.

Key words : Spiral scan imaging, Ultra fast MR imaging, Reconstruction algorithm, Magnetic resonance imaging.

서 론

초고속 영상은, 일반적인 자기공명영상방법들로는 보통 수분대에서 10여분이상이 소요되는 자기공명영상을 100ms이내에 얻는 기술로서, 최근 많은 관심을 끌고있는 분야이다. 나선 주사 영상[1,2]은 초고속 자기공명영상의 일종으로서 Echo planar imaging(EPI)[3]과 같이 gradient echo를 이용한 영상기법이

다. 나선 주사영상은 k-공간상에서 스캔 궤적이 나선형태로 나타나며 와전류의 영향이 작고, 혈류와 관련한 artifact가 줄어들고[4], 균등한 방향의 point spread function(PSF)을 갖는 등 많은 실험적인 장점을 가지고 있다. 본 논문에서는 나선 주사 초고속 영상방법에 대하여 간단히 검토 한 후, dc-offset을 보정한 향상된 나선 주사 재구성 방법을 제안하였다[5]. 본 연구진이 제안한 dc-offset을 보정한 재구성 방법과 기존의 Fourier 보간법을 이용하여 일차원 FFT한 후 filtered backprojection하여 재구성하는 방법, 직각좌표에서 가장 가까운 4점의 데이터를 보간하여 재배치 한 후 이를 이차원 FFT하여 재구성하는 방법 등을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 비교 분석하였으며, 제안한

본 연구는 통상산업부에서 시행한 중기 거점 기술 개발 사업과 1998년도 광운대학교 학술연구비 지원을 받았다.

통신지자 : 안창범, (139-701) 서울시 노원구 월계동 447-1 광운대학교 전기공학과, Tel. (02)940-5148, Fax. (02)909-3159, E-mail : cbahn@daisy.kwangwoon.ac.kr

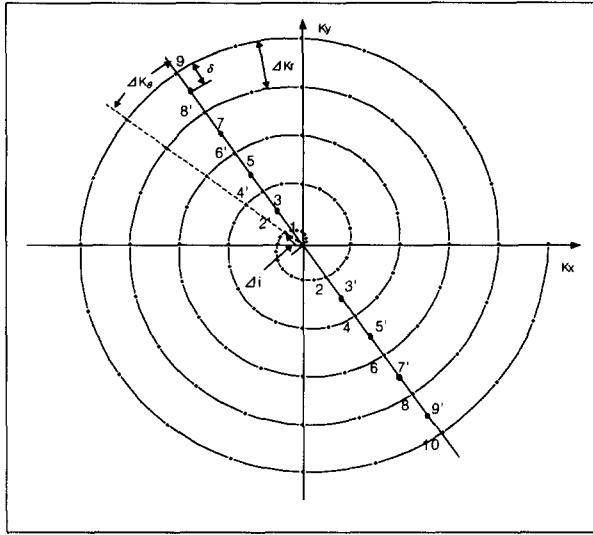


그림 1. K-space에서의 나선궤적. 나선영상에서 얻어지는 데이터의 위치는 k-space에서 원점을 시작으로 나선궤적을 이루게 된다
 Fig. 1. Spiral scan trajectory in k-space. The acquired data points are on a spiral trajectory in k-space

방법의 향상된 성능을 확인하였다[6].

나선 주사 영상

이차원 자기공명영상에서 spin 밀도를 $I(x, y)$, x, y 방향으로 가해지는 경사자계를 G_x, G_y 라 할 때, 자기공명신호는 아래와 같이 주어진다.

$$S(t) = \iint I(x, y) \exp \left[i\gamma \left\{ \int G_x(t') x dt' + \int G_y(t') y dt' \right\} \right] dx dy \quad (1)$$

여기에서 γ 는 gyromagnetic ratio이다. (1)식의 변수를 아래와 같이 치환하면,

$$\begin{aligned} k_x(t) &= \gamma \int_0^t G_x(t') dt' \\ k_y(t) &= \gamma \int_0^t G_y(t') dt' \end{aligned} \quad (2)$$

(3)식을 얻게 된다.

$$S(k_x(t), k_y(t)) = \iint I(x, y) \exp[i(k_x(t) \cdot x + k_y(t) \cdot y)] dx dy = \hat{f}[I(x, y)] \quad (3)$$

(3)식에서 sampling 되는 데이터 점을 $S(k_x(t), k_y(t))$ 로 나타

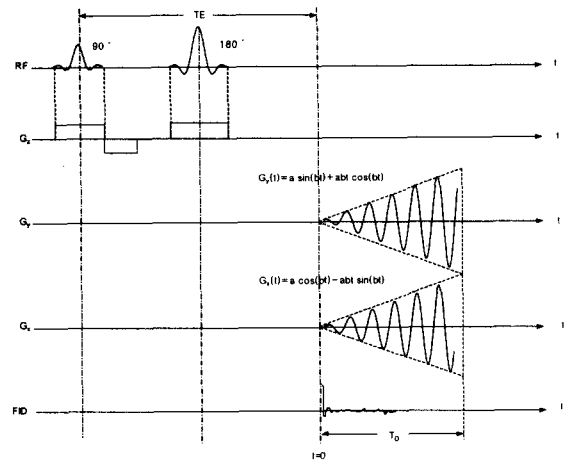


그림 2. 나선 주사 영상을 위한 pulse sequence. 나선궤적의 데이터를 얻기 위하여 G_x, G_y 의 oscillating 경사자계를 가해주고 자기공명신호를 T_D 시간동안 받는다
 Fig. 2. Pulse sequence for the spiral scan imaging. In order to acquire data in spiral trajectory, two oscillating gradient fields are applied and FID signal is received during T_D interval

낼 수 있으며, 재구성 영상은 이들의 이차원 Fourier 변환을 통하여 얻어진다.

그림 1의 나선 주사 영상의 궤적을 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} k_x(t) &= \gamma \cdot a \cdot t \cdot \cos(b \cdot t) \\ k_y(t) &= \gamma \cdot a \cdot t \cdot \sin(b \cdot t) \end{aligned} \quad (4)$$

여기에서 a 와 b 는 나선궤적의 radial 방향의 확장속도와 각속도를 결정하는 상수로써 재구성하려는 영상의 pixel 크기에 따라 Nyquist sampling 이론에 의하여 결정된다. 이러한 궤적을 얻기 위하여 가해져야 하는 경사자계는 (2)식으로부터

$$\begin{aligned} G_x(t) &= a \cos(bt) - abt \sin(bt) \\ G_y(t) &= a \sin(bt) + abt \cos(bt) \end{aligned} \quad (5)$$

(5)식을 이용하여 이차원 나선 주사 영상을 위한 pulse sequence를 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서 보듯이 경사자계의 파형이 완만하게 변화하기 때문에 와전류의 효과가 줄어든다. 그림 1에서 나타낸 것과 같이 각도와 radial방향의 sampling 간격을 Δk_θ 와 Δk_r 이라 하면, Nyquist sampling 이론에 따라

$$\begin{aligned} \Delta k_\theta &= b \Delta T = \frac{2\pi}{N_\theta} \\ \Delta k_r &= \gamma a N_\theta \Delta T = 2\delta = 2 \left(\frac{2\pi}{4N_r \Delta \gamma} \right) = \frac{\pi}{N_r \Delta \gamma} \end{aligned} \quad (6)$$

이 때, ΔT 는 analog-to-digital converter(ADC)의 sampling간격이고, N_θ 는 나선궤적에서 회전 회수이고, N_r 는 한 회전당 sampling 개수이다. $\Delta \gamma$ 은 재구성된 영상에서 pixel크기이고, δ 는 k-space상에서 conjugate symmetric filling을 고려한 radial

방향의 effective sampling 간격이다. 나선궤적의 데이터 위치는 극좌표(γ, θ)에서 동심원에 가까우며, 한 사분면에서 radial 방향으로 sampling은 등간격이고, 원점대칭인 사분면의 sampling 위치의 사이에 놓여 있다. 따라서, radial 방향의 전체 sampling 개수는 $2N_s$ 대신에 $4N_s$ 이 된다. Complex conjugate symmetric 성질을 이용하여 radial 방향으로 등간격의 sampling 값을 얻을 수 있고, 이것을 radial 방향으로 일차원 FFT를 하면 projection 데이터가 얻어진다. 이 때 얻어지는 projection 데이터는 k-space 원점에 대하여 θ 각($\theta = \theta_i$)에 따라 Δ_i 만큼 shift되어 있는 신호의 Fourier 변환이므로 ($\Delta_i = \delta \cdot \frac{i}{N_s/2}, i = 0, 1, \dots, \frac{N_s}{2} - 1$) 이것을 보정하기 위하여 $\exp(-jk_r \Delta_i)$ 을 곱한 후 filtered backprojection을 하여 영상을 재구성한다.

DC-offset 보정

나선데이터의 위치는 극좌표와 비슷하기 때문에 나선데이터를 극좌표로 재배열하여 영상을 재구성 할 수 있다. 기존의 영상 재구성 방법은 첫 단계로 나선궤적으로 얻은 데이터들은 conjugate symmetric 성질을 이용하여, 좌표의 3,4사분면에 있는 데이터를 각각 radial 방향으로 원점 대칭인 1,2사분면에 재배열을 한다. 두 번째 단계로, 3,4사분면에 zero로 데이터를 채운 다음, N-point ($N=4N_s$) 일차원 fast Fourier 변환을 한다. 세 번째 단계로, 각 radial 방향의 데이터에 $\exp(-jk_r \Delta_i)$ 를 곱하여 shift term을 보정하여 준다. Shift를 보정한 Fourier 변환 데이터에서 실수부를 취하면, radial 방향 projection 데이터를 얻을 수 있다. 이렇게 얻은 projection 데이터를 filtered backprojection하면 재구성 영상을 얻을 수 있다.

기존의 재구성 방법에서, shift term을 보정하여 얻은 projection 데이터는 k-space의 원점 부근의 데이터가 비어 있게 되어 offset을 야기시킨다(그림 3). 이 부분은 주파수 영역에서 DC성분에 해당되며, Δ_i 가 θ 각도에 따라 달라지므로 각 방향에 대한 projection 데이터는 서로 다른 offset을 갖게 된다. 이러한 가변 offset은 재구성영상에서 artifact를 야기시킨다(그림 7(a) 참고). 예를 들면, 사각형 phantom에서 기존의 알고리즘으로 projection 데이터를 얻게 되면 그림 4에서와 같이 radial 방향의 각도($45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ$)에 따라 offset이 서로 다른 projection 데이터가 얻어지게 된다.

본 논문에서는 기존의 재구성 방법에서 발생하는 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 projection 데이터에서 dc-offset을 보정하는 향상된 재구성 알고리즘을 제안하였다[5]. 제안한 알고리즘은 k-space에서 데이터가 비어 있는 부분($2\Delta_i$)이 sampling interval δ 보다 작은 경우($0^\circ \leq \theta < 90^\circ$)와 δ 보다 큰 경우($90^\circ \leq \theta < 180^\circ$)에 대하여 아래와 같이 dc-offset을 보정하였다.

1) $2\Delta_i < \delta$ 인 경우

Radial 방향의 각도가 $0 \leq \theta < \pi/2$ 인 경우로, dc성분 구간에서

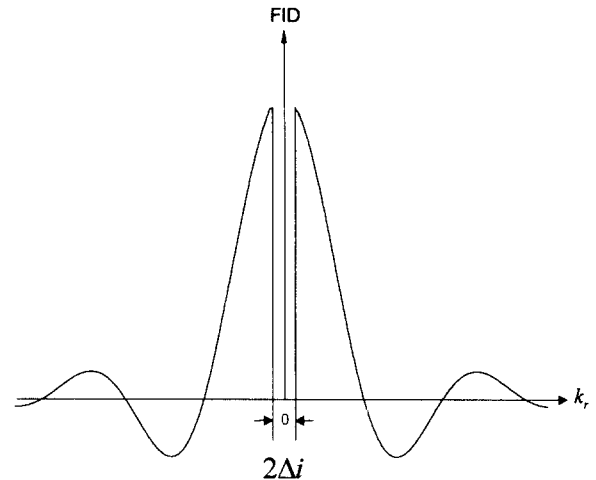


그림 3. $\exp(-jk_r \Delta_i)$ 를 곱하여 shift term을 보정한 radial 방향 데이터. DC 성분 구간에서 sampling 간격은 $2\Delta_i$ 가 된다

Fig. 3. Data arrangement in radial direction after time shift by multiplication of $\exp(-jk_r \Delta_i)$. Note that the sampling interval at dc is $2\Delta_i$.

의 sampling 간격 ($2\Delta_i$)이 나머지 구간에서의 sampling 간격 δ 보다 좁다. 따라서, 그림 5의 빗금 친 부분만큼의 offset의 값을 projection 데이터에서 빼줌으로써 보정을 한다.

$$\text{Offset}^i = S_i(0) \cdot (\delta - 2\Delta_i) \quad (7)$$

여기에서 $S_i(0)$ 는 θ 각이 θ_i 일 때 ($\theta_i = \frac{\pi}{N_s/2} \cdot i, i = 0, 1, \dots, \frac{N_s}{2} - 1$) radial 방향의 데이터 set의 첫 번째 데이터를 나타낸다.

2) $2\Delta_i > \delta$ 인 경우

Radial 방향의 각도가 $\pi/2 < \theta \leq \pi$ 인 경우로, dc성분 구간에서의 sampling 간격 ($2\Delta_i$)이 나머지 구간에서의 sampling 간격 δ 보다 넓다. 따라서, 그림 6에서 보인 빗금 친 부분의 면적만큼 dc성분이 모자라는 경우로 아래의 식으로 주어지는 offset의 값을 projection 데이터에 더하여 줌으로써 보정을 한다.

$$\text{Offset}^i = S_0(0) \cdot (2\Delta_i - \delta) \quad (8)$$

여기에서 $S_0(0)$ 는 k-space 상에서 나선궤적으로 sampling되는 첫 번째 원점($\theta = 0^\circ$)의 데이터이다.

그림 4에서 보인 projection 데이터를 제안한 알고리즘을 적용하여 dc-offset 보정을 한 후의 결과를 그림 7에 나타내었다. 그림 7에서 보듯이 그림 4의 dc-offset이 보정되었음을 알 수 있다. 45° 와 135° 의 projection 데이터에서 양쪽 끝 부분이 조금 굵은 선은 실제 데이터가 아닌 interpolation으로 자기공명 신호를 추정하는데서 오는 에러에 의한 것으로 offset과는 무관한 것이다. dc-offset을 보정한 projection 데이터를 filtered backprojection을 하여 영상을 재구성하면 기존의 방법에 의하여 재구성된 영상에서 보이던 artifact가 사라짐을 확인할 수 있다.

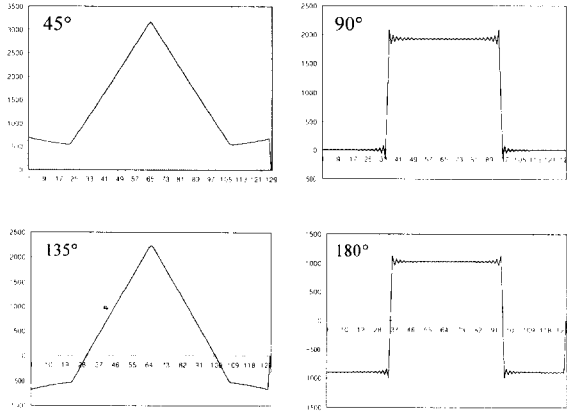


그림 4. 사각형 phantom에서 dc-offset보정이 되지 않은 projection 데이터. Radial 방향에 따라 서로 다른 offset을 보이고 있다
 Fig. 4. Projection data for a rectangular phantom without dc-offset correction. Varying dc-offsets are observed in the projection data depending on the view angles

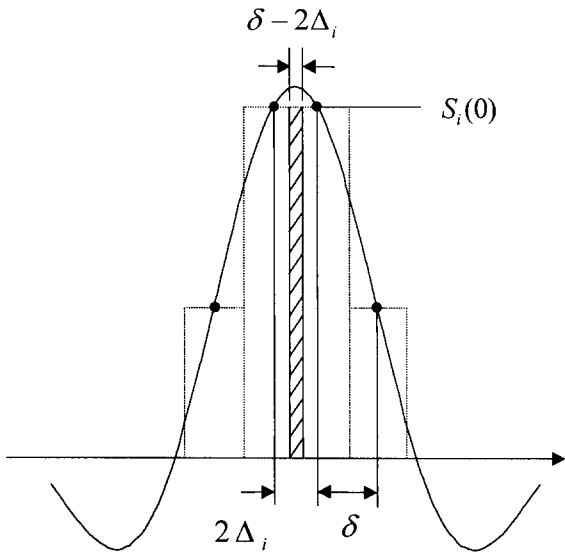


그림 5. $2\Delta_i < \delta$ 일 경우 dc-offset교정. DC 구간에서 sampling간격이 좁아지므로 데이터 값이 겹치는 부분이 생기는데, 이 부분을 빼줌으로써 보정을 해준다
 Fig. 5. DC-offset correction when $2\Delta_i < \delta$. Sampling interval at the origin is shorter than other sampling intervals in the radial direction in k-space. The amount of overlapping area should be subtracted for correction

그림 8은 기존의 방법과 제안한 dc-offset을 수정한 방법에 의한 재구성 영상을 나타내고 있다. 또한, 두 영상의 차이를 보다 잘 관찰하기 위하여 두 영상의 수평단면과 대각선단면을 보였으며, 원영상과 재구성한 영상과의 차이를 오차 영상으로 나타내었다. 그림 8에서 볼 수 있듯이 기존의 영상재구성 방법은 θ 에

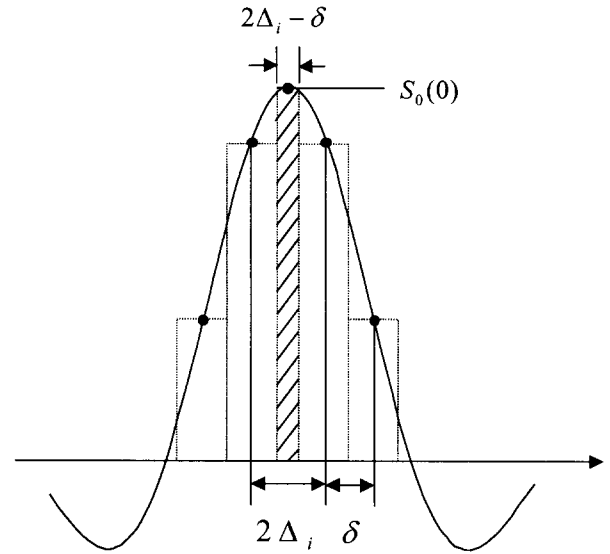


그림 6. $2\Delta_i > \delta$ 일 경우 dc-offset교정. DC성분 구간에서 sampling간격이 넓어지므로 데이터 값이 모자라는 부분이 생기는데, 이 부분을 나선궤적의 첫 번째 원점 데이터 $S_0(0)$ 값을 이용하여, 보정하여 준다
 Fig. 6. DC-offset correction when $2\Delta_i > \delta$. Sampling interval at the origin is longer than other sampling intervals, and the missing areas should be added for correction

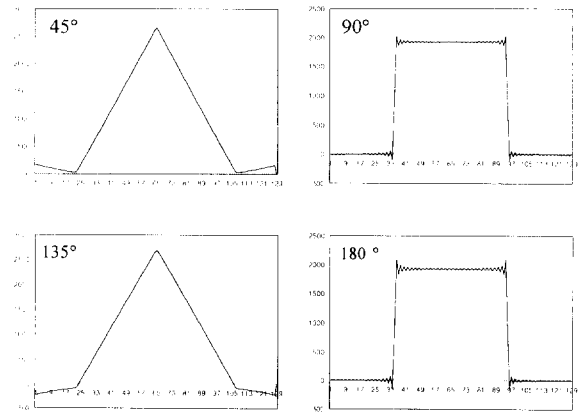


그림 7. 사각형 phantom에서 dc-offset보정이 된 projection 데이터. 4가지의 다른 방향(45°, 90°, 135°, 180°)에 대한 projection 데이터에서 offset보정이 이루어졌음을 확인할 수 있다
 Fig. 7. Projection data for a rectangular phantom with dc-offset correction. DC-offset are corrected in the projection data

따라 Δ_i 의 크기가 바뀔으로써 projection 데이터에서 dc-offset이 달라지기 때문에 재구성영상의 오른쪽 아래와 왼쪽 위에 artifact가 발견된다. 반면에 제안한 dc-offset 보정을 한 재구성

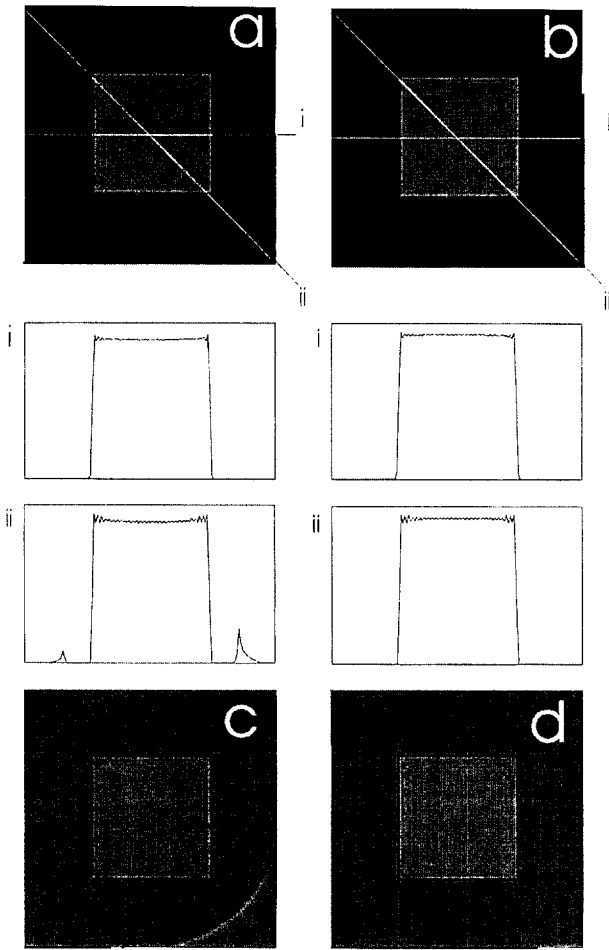


그림 8. 기존의 방법과 dc-offset을 보정한 방법의 재구성 영상의 비교. (a) 기존의 재구성 방법. (b) dc-offset을 보정한 방법. (a)와 (b)의 오차 영상을 (c)와 (d)에 나타내었으며, 또한 영상의 수평(i)과 대각선(ii) 단면을 보였다

Fig. 8. Reconstructed images without and with dc-offset correction. (a) Reconstructed image by existing reconstruction method without dc-offset correction, (b) reconstructed image by the proposed reconstruction algorithm with dc-offset correction. Error images are shown in (c) and (d), respectively. Horizontal (i) and diagonal (ii) profiles are also shown

방법에서는 이런 artifact가 사라져 완벽한 재구성이 이루어짐을 알 수 있다. 여러 영상에서도 영상의 artifact가 완벽하게 사라졌음을 확인할 수 있다. 또한, 대각선 단면에서도 제안한 알고리즘에 의한 재구성 영상의 사각형 내부가 보다 더 평탄한 것을 알 수 있다. 개선된 재구성 알고리즘의 전체 과정을 그림 9에 나타내었다.

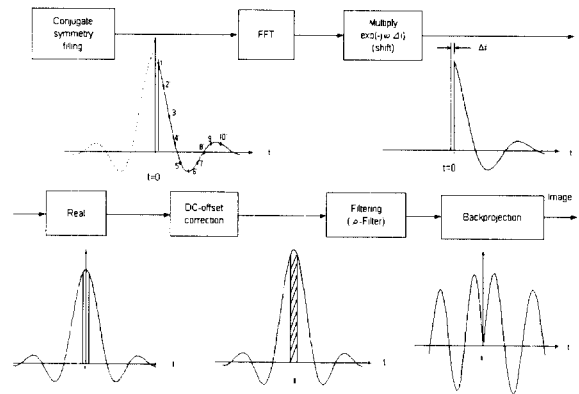


그림 9. DC-offset 보정을 포함한 제한한 영상 재구성 알고리즘의 전체 과정

Fig. 9. Proposed reconstruction procedures with dc-offset correction

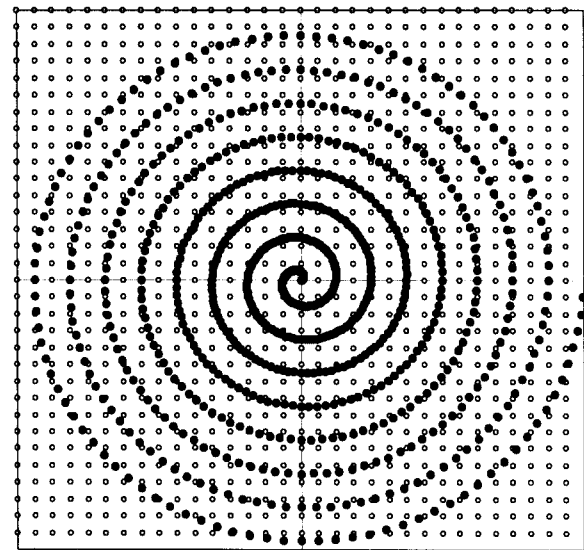


그림 10. 직각좌표와 나선궤적 데이터

Fig. 10. Acquired data points in k-space by the spiral scan imaging are shown with the Cartesian grids

나선 주사 영상 재구성 알고리즘 비교

본 논문에서는 다양한 재구성 알고리즘을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 비교하였다. 본 연구에서 비교한 알고리즘들은 나선 데이터를 직각좌표 또는 직각좌표로 재배열하였고, linear, bilinear, Fourier interpolation 등을 사용하였다. 재배치가 된 데이터

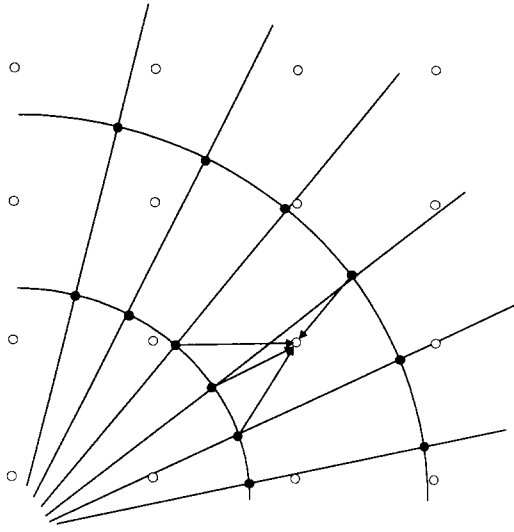


그림 11. 직각좌표(○)에서 가장 가까운 4점의 나선궤적상의 데이터(●)로 수행한 bilinear interpolation
 Fig. 11. Bilinear interpolation is used for the arrangement of spiral data to Cartesian grids. Four nearest data points on the spiral trajectory are shown by solid circles and rectangular grids are shown by white circles

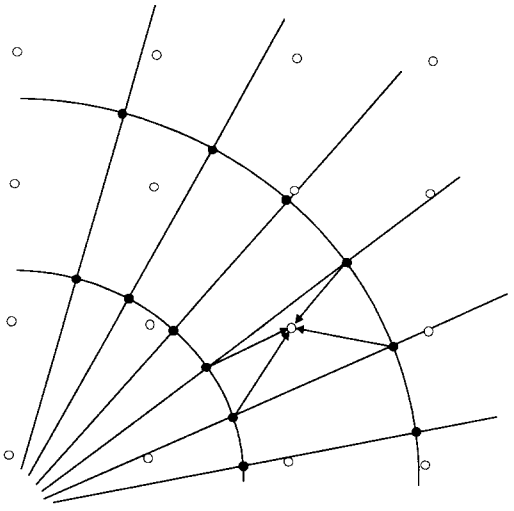


그림 12. 직각좌표(○)를 둘러싼 가장 가까운 4점의 나선궤적 위의 데이터(●)로 bilinear interpolation
 Fig. 12. Bilinear interpolation using the nearest 4 data points enclosing the rectangular grid is used for the arrangement of spiral data to rectangular grids. The Cartesian grids are shown by white circles, and sampling points on the spiral trajectory are shown by solid circles

는 각각 filtered backprojection과 이차원 FFT를 사용하여 재구성을 하였다.

비교된 알고리즘은 간단히 기술하면 아래와 같다.

(1) Arrangement of spiral data to polar grids with Fourier interpolation along radial direction with dc-offset correction & filtered backprojection (proposed algorithm)

본 연구진에 의하여 제안된 방법으로 기존의 Fourier interpolation방법에 dc-offset보정을 하여 projection 데이터를 구한 후 filtered backprojection으로 영상을 재구성하였다.

(2) Arrangement of spiral data to polar grids with Fourier interpolation along radial direction without dc-offset correction & filtered backprojection (existing algorithm[1])

기존의 Fourier interpolation 방법으로 dc-offset 보정을 하지 않은 상태로 영상을 재구성하였다.

(3) Arrangement of spiral data to polar grids with linear interpolation along radial direction & filtered backprojection

나선궤적의 데이터를 극좌표로 변환하기 위하여 radial방향으로 일차원 linear interpolation을 한 후 일차원 FFT를 하여 projection 데이터를 만들어 filtered backprojection으로 영상을 재구성하였다.

(4) Conversion of spiral data to Cartesian grids by a bilinear interpolation with nearest 4 data points & 2D FFT

나선궤적에서의 데이터의 위치와 interpolation하고자하는 직각좌표는 그림 10에서 보듯이 상당한 차이가 있다. 나선궤적 위의 데이터 값으로부터 직각좌표 위의 데이터 값을 얻기 위해서 각각의 직각좌표에서 가장 가까운 4곳의 나선궤적 위의 데이터를 찾은 후 이들 데이터와 interpolation 하고자 하는 좌표와의 거리의 역에 비례하는 가중치로 bilinear interpolation을 하였다.(그림 11) 직각좌표로 재배치된 나선 데이터는 이차원 FFT를 통하여 재구성 영상을 얻게 된다.

(5) Conversion to Cartesian grids by a bilinear interpolation with nearest 4 data points enclosing Cartesian grids & 2D FFT

그림 12와 같이 나선 데이터의 radial방향에 따라 직각좌표를 둘러싼 가장 가까운 4개의 데이터 ($\theta = \theta_n, \theta_{n+1}$)를 이용하여 직각좌표로 bilinear interpolation하였다. 그리고 이것을 이차원 FFT를 하여 영상을 재구성하였다.

이들 알고리즘의 성능을 살펴보기 위하여 컴퓨터시뮬레이션을

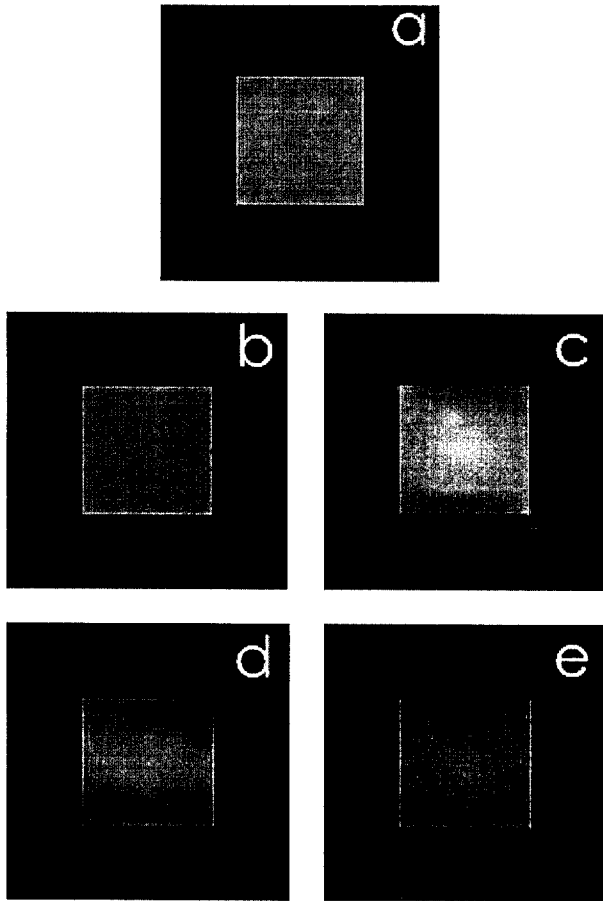


그림 13. 다양한 재구성 알고리즘을 이용하여 재구성한 영상들. (a) Fourier interpolation에서 dc-offset을 보정하여 재구성한 영상(제안한 방법) (b) Fourier interpolation에서 dc-offset을 보정하지 않고 재구성한 영상 (c) Linear interpolation을 사용하여 극좌표로 재배치하여 재구성한 영상 (d) 직각좌표에서 가장 가까운 4곳의 데이터로 interpolation하여 재구성한 영상 (e) 직각좌표를 둘러싸는 가장 가까운 4곳의 데이터로 interpolation하여 재구성한 영상

Fig. 13. Reconstructed images by various algorithms. (a)1-D Fourier interpolation, dc-offset correction, and filtered backprojection (proposed method), (b) 1-D Fourier interpolation and filtered backprojection, (c) 1-D linear interpolation and filtered backprojection, (d)bilinear interpolation with 4 nearest data points and 2-D FFT, (e) bilinear interpolation with 4 nearest data points enclosing the rectangular grid and 2-D FFT

위한 사각형 phantom을 수학적으로 만들었다(그림 13참고). 전체 영상의 크기는 128×128 이고, 8bit gray level을 사용하였으며, 가운데 사각형의 크기는 60×60 이고 gray level은 128로 할당하였다. 이 phantom으로부터 나선케릭의 데이터를 sinc함수를 이용하여 얻었다. 재구성 방법을 비교하기 위하여 앞에서 기술한 5가지 재구성 알고리즘으로 영상을 재구성하여 그림 13 a-e에 보였다. 또한, 재구성 알고리즘의 차이를 보기 위하여 원 영상과 재구성 영상과의 차이를 그림 14에 나타내었다. 그림 13과 그림 14에서 볼 수 있듯이 극좌표에서 재구성된 영상들(a-c)이 직각좌표에서 재구성된 영상들(d-e)보다 우수함을 알

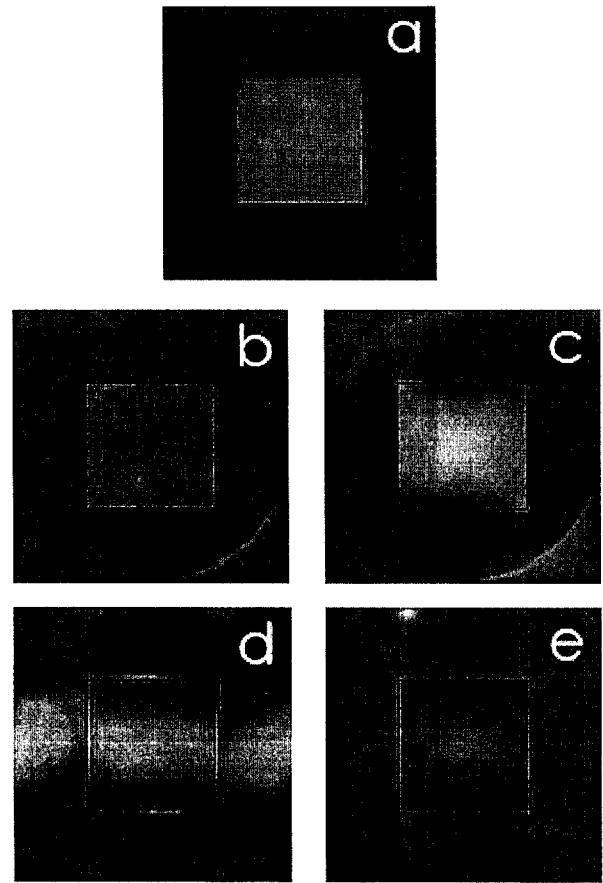


그림 14. 그림 13에서 보인 재구성 영상들에 대한 오차영상. 제안한 방법(a)에 의한 오차영상의 intensity가 가장 작고 artifact도 없음을 알 수 있다

Fig. 14. Respective error images for the reconstructed images shown in Fig. 13. The error image by the proposed algorithm shows the lowest intensity and no image artifact

수 있다. 이것은 나선케릭이 직각좌표보다 극좌표에 유사하기 때문인데, 나선 케릭상의 데이터를 극좌표로 변환하기 위해서는 radial방향의 일차원 interpolation으로 충분하지만, 직각좌표로 변환하기 위해서는 보다 복잡한 이차원 bilinear interpolation이 요구되고, 따라서 interpolation 에러도 더 커지게 된다. 본 논문에서 제안한 Fourier interpolation을 한 후 dc-offset을 보정하여, 극좌표에서 재구성한 영상이 다른 재구성 영상에 비하여 가장 우수한 화질을 제공하며 평탄 영역과 에지 영역 모두에서 뛰어난 재구성을 제공함을 확인할 수 있다.

결론

최근 들어 자기공명영상에서 가장 큰 관심을 끌고있는 초고속 영상기법의 하나인 나선 주사영상의 재구성 방법을 연구하였다. DC-offset 보정을 통하여 극좌표에서 재구성하는 방법을 본 논문에서 제안하였고, 향상된 성능을 확인하였다. 제안한 dc-off-

set 보정 방법은 나선 데이터를 극좌표로 Fourier interpolation 을 사용하여 변환할 때 원점에서 sampling 간격과 다른 곳에서 sampling 간격과의 차이에서 dc-offset이 발생하는 것을 보정하는 알고리즘이다. 제안한 재구성 방법과 기존의 극좌표 또는 직각좌표로 나선 데이터를 재배치하여 재구성하는 방법들을 수학적으로 만든 phantom에 대해 시뮬레이션 해본 결과 극좌표에 기초한 재구성 방법이 직각좌표에 기초한 방법보다 뛰어난 영상을 제공함을 알 수 있었다. 더욱이 본 논문에서 제안한 Fourier interpolation 및 dc-offset 보정을 통한 filtered back-projection에 의한 재구성 영상이 평탄 및 에지 영역 모두에서 뛰어난 화질을 제공함을 확인 할 수 있었다. 또한 제안한 알고리즘을 통하여 얻은 재구성 영상에서는 기존의 알고리즘에 의한 재구성 영상에서 볼 수 있었던 영상 artifact도 완전히 사라짐을 확인 할 수 있었다.

참 고 문 헌

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. Nalcioglu, 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.H. Oh, and C.Y. Kim, "Reconstruction aspects of spiral scan magnetic resonance imaging", Proc. SPIE, Medical Imaging vol.3336, in press, 1998.
6. 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, pp2003, 1997.