

Interleaved 나선 주사 영상

안창범, 김휴정, 신진교
 광운대학교 공과대학 전기공학과

Interleaved Spiral Scan Imaging

C. B. Ahn, H. J. Kim and J. K. Shin
 Department of Electrical Engineering, Kwangwoon University

ABSTRACT

In this paper, an interleaved spiral scan imaging is investigated for an ultra fast MR imaging. The interleaved spiral technique has relative advantage over single shot spiral imaging with improved resolution and less inhomogeneity-related artifact. An improved reconstruction algorithm is devised with DC-offset correction. Some preliminary experimental results are shown at 1.0 Tesla and 3.0 Tesla whole body MRI system.

서 론

최근 들어 자기공명영상은 초고속 영상 기법을 이용하여, 수백 내지 수십 ms 안에 영상을 얻음으로써 실시간에 가깝게 영상을 얻을 수 있다. 뿐만 아니라, 일반적인 자기공명영상방법들이 구조적인 영상만을 보여주는 반면, 초고속 영상방법은 기능적인 면까지 보여줄 수가 있는 기술로서, 자기공명 영상에서 많은 관심을 끌고있는 영상분야이다. 나선 주사 영상은 초고속 자기공명영상의 일종으로, k-space상에서 스캔 궤적이 나선형태로 나타나며 eddy-current 영향이 작고, 헬류와 관련된 artifact가 줄어들고, 균등한 방향의 point spread function(PSF)을 갖는 등 많은 실험적인 장점을 가지고 있다. Single-shot 나선 주사 영상의 경우 한번의 TR동안 영상을 얻기 때문에 고속으로 영상을 얻을 수 있는 장점이 있다. 그러나, 고해상도의 영상을 얻기 위해서는 긴 시간 동안 데이터를 얻어야 하는데, T2 이완 시간의 영향으로 인하여 resolution이 떨어지고 artifact가 증가하는 단점이 있다. 본 논문에서는 이런 문제점을 해결하기 위하여 interleaved 나선 주사 영상을 이용하여 데이터를 얻고, 이것을 재배열 한 후 Fourier interpolation을 이용하여 일차원 FFT를 하고, DC-offset을 보정한 후 filtered backprojection을 하여 재구성하는 방법을 제안하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 재구성 알고리즘을 검사하였고, 실험을 통하여 interleaved 나선 주사 영상의 장점을 확인하였다.

Interleaved 나선 주사 영상

Interleaved 나선 주사 영상은 90° 와 180° 의 RF를 인가한 후 한번에 한 슬라이스의 영상을 얻는 single-shot과는 달리, 한 슬라이스를 k-space에 위치가 서로 다른 나선 궤적의 데이터를 받은 후 이들을 합하여 영상을 재구성한다. 따라서 고해상도의 영상의 경우에도 T2 이완 시간 안에 모든 데이터를 받을 수 있는 장점이 있다. k-space에서 interleaved 나선 궤적으로 sampling 되는 데이터 점의 좌표를 $(k_x^i(t), k_y^i(t))$ 라 할 때, k_x^i, k_y^i 는 다음과 같다.

$$k_x^i = a \cos(bt + c_i) \quad (1)$$

$$k_y^i = a \sin(bt + c_i) \quad (2)$$

여기서 a 와 b 는 나선궤적의 radial 방향의 확장속도와 각 속도를 결정하는 상수로써 재구성하려는 영상의 pixel 크기에 따라 Nyquist 샘플링이론과 interleaving 개수에 의하여 결정된다. c_i (i 는 interleaving index)는 k-space에서 서로 다른 interleaved 나선궤적을 만들기 위한 delay 성분이다. 각각의 성분은 다음과 같이 주어진다.

$$a = \frac{\pi(\text{number of interleaving})}{\gamma N_\theta N_r \Delta r \Delta T} \quad (3)$$

$$b = \frac{2\pi}{N_\theta \Delta T} \quad (4)$$

$$c_i = \frac{\pi \cdot (i-1)}{(\text{number of interleaving})} \quad (5)$$

여기서, N_r 은 나선궤적에서 rotation 회수이다, 단, N_r 은 재구성 과정에서 conjugate symmetric 특성을 이용하기 때문에 (Interleaving의 개수 x 2)의 배수가 되어야 한다. N_θ 는 나선궤적 한 바퀴 당 샘플링 수이고, ΔT 는 시간 영역에서 샘플링 구간이며, Δr 은 재구성 영상에서의 pixel 크기를 나타낸다.

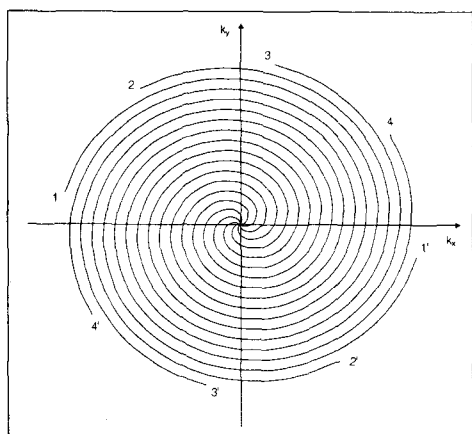


그림 1. k-space에서 4-interleaved 나선 궤적

Interleaved 나선 궤적을 반복 할 때마다 c 의 값을 바꾸어 가면서 정사자계 파형을 계산한다. 그림 1은 k-space에서의 interleaved 나선 궤적이다.

Interleaved 나선 주사 영상의 재구성

Complex conjugate symmetric 성질을 이용하여 나선 궤적으로 받은 데이터를 radial 방향으로 재정렬하는 과정에서 interleaved 나선 주사 영상의 경우 여러 번 받은 데이터를 한 번에 정렬해야 하는 과정을 거쳐야 한다. 예를 들어, 4-interleaved 나선 주사 영상일 경우 그림 1에서 1, 2, 3, 4 만 정사자계를 인가해 주고, 1', 2', 3', 4' 는 symmetric conjugation 특성을 이용하여 얻는다. 나선 궤적의 정렬 순서는 x축을 기준으로 반 시계 방향으로 회전하게 되고, 이 때 정렬되는 순서는 다음과 같다.

- 1, 4', 3', 2', 1', 4, 3, 2, ... ($0^\circ \leq \theta < 45^\circ$)
- 2, 1, 4', 3', 2', 1', 4, 3, ... ($45^\circ \leq \theta < 90^\circ$)
- 3, 2, 1, 4', 3', 2', 1', 4, ... ($90^\circ \leq \theta < 135^\circ$)

즉, interleaved 나선 궤적이 새로 시작하는 지점 (45°)에서 radial 방향으로 정렬되는 순서가 바뀐다. 뿐만 아니라, 각각의 interleaved 데이터는 N_r 을 interleaving의 개수로 나눈 수만큼 뒤로 이동하여 재정렬을 하게 된다(그림 2). 재정렬 된 데이터는 1D FFT를 한 후, shift term을 보정하여 얻은 projection 데이터를 filtered backprojection을 하여 영상을 재구성하게 된다.

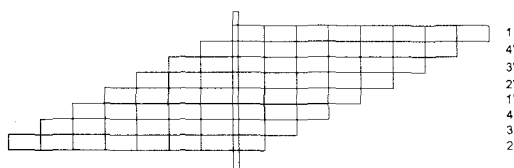


그림 2. 4-interleaved 나선 주사 영상의 재정렬 순서

Interleaved 나선 궤적 실험

Phantom을 제작하여 single-shot 나선 주사 영상과 4-interleaved 나선 주사 영상을 실험을 통하여 비교하였다. Echo Time(TE)는 48 ms이고, slice thickness는 3mm로 하였다. Single shot 나선 주사 영상은 64x64의 영상으로 32.32ms동안 데이터를 얻었다. 4-interleaved 나선 주사 영상은 repetition time(TR)을 2000ms로 하여 각각 64x64 영상과 128x128영상을 얻었다. 한번의 interleaved 동안에 데이터를 받는 시간은 각각 8.32ms와 32.64ms이다. 그림 4은 single shot 나선 주사 영상이고, 그림 5는 4-interleaved 나선 주사 영상이다. Interleaved 나선 주사 방법이 에지 영역이 우수하며, 고해상도 영상이 가능함을 알 수 있다.

결 론

초고속 영상기법 중의 하나인 나선 주사 영상을 이용하여, 고해상도 영상의 경우 데이터를 오래 받아야 하기 때문에 SNR이 떨어지는 문제점을 해결하기 위해 interleaved 나선 주사 영상 방법을 사용하여 backprojection 알고리즘을 이용하여 영상을 재구성하였다. 제안한 재구성 방법을 수학적으로 만든 phantom을 통하여 증명하였고, 실험을 통하여 에지 영역이 우수함을 확인 할 수 있었다.

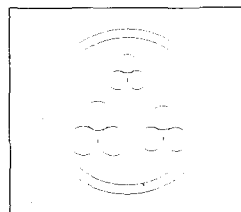


그림 3. 실험에 사용된 phantom. phantom의 내경은 100mm이고, 봉의 외경은 각각 8, 10, 15mm이고, 전체 길이는 150mm이다.

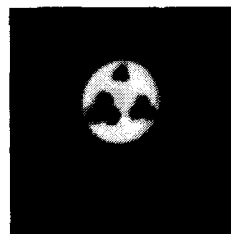


그림 4. Single shot 나선 주사 영상(64x64)

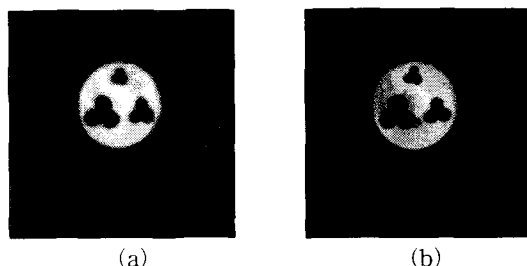


그림 5. 4-interleaved 나선 주사 영상. (a) 64x64 (b) 128x128