

다중 Echo를 이용한 Single Scan Inhomogeneity Field Mapping

김치영*, 한수영*, 정관진**, 오창현***, 이윤***, 안창범*

*광운대학교 공과대학 전기공학과, **메디슨 MRI 연구소, ***고려대학교 전자 및 정보공학부

Single Scan Inhomogeneity Field Mapping using Multiple Echo

C. Y. Kim*, S. Y. Han*, K. W. Jung**, C. H. Oh***, Y. Yi***, and C. B. Ahn**

*Dept. of Electrical Engineering, Kwangwoon University, **Medison MRI Research Institute,

***Dept. of Electronic and Information Engineering, Korea University

ABSTRACT

In this paper, we describe a field measurement technique using multiple gradient echo method. For this purpose, a differential phase map is used between two images obtained in a single scan. The phase map is further processed to unfold phase folding ($2n\pi$).

The inhomogeneity map is used to correct image distortion along readout gradient direction.

Some experimental results obtained at 1.0 Tesla whole body MR system are shown with the proposed technique.

서 론

Static magnetic field 특성은 magnet 고유의 homogeneity, 설치 조건, 그리고 개체자체의 자화율에 의해 결정되는데, inhomogeneous static magnetic field는 영상의 왜곡, 신호의 손실, 위상오차, 그리고 해상도를 떨어뜨리는 원인이 된다.

고속 영상기법으로 널리 사용되는 Echo Planar Imaging(1) (EPI)이나 Spiral scan imaging(2)에서는 field inhomogeneity(3, 4)의 영향을 많이 받게 된다. 그러므로, field inhomogeneity를 측정할 필요가 있고 이를 이용하여 영상의 왜곡을 보정할 수 있다.

본 논문에서는 single scan differential phase mapping(5)을 이용하여 field map을 계산하고, field map을 이용하여 왜곡된 영상을 보정하였다.

방 법

그림 1은 본 실험에서 이용한 single scan differential phase mapping pulse sequence를 보인 것이다. 이 pulse sequence를 이용하여 2개의 영상을 동시에 얻게 되는데, 첫 번째 영상은 TE에서 얻게 되고, 두 번째 영상은 ΔT 만큼 뒤에서 얻게 된다. 이 두영상의 위상차를 계산하여 field map을 구하게 된다. Post processing을 용이하게 하기 위해 raw data를 받아 재구성하였다.

Field inhomogeneity에 의한 영상에서의 artifact를 제거하기 위해 그림 1의 pulse sequence를 이용하

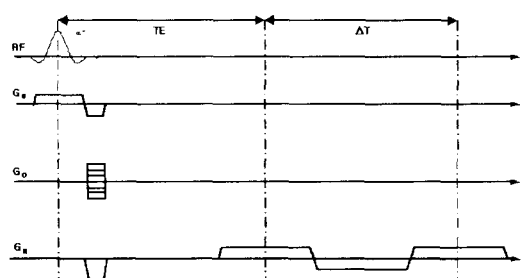


그림 1. 다중 echo를 이용한 Single Scan Inhomogeneity Field Mapping을 위한 pulse sequence

여 얻어진 두 영상의 위상을 구하고, 구해진 위상의 차이를 가지고 field map을 만든다. 이때에 field map의 위상이 $-\pi$ 에서 π 사이가 넘어가는 경우에는 위상에 대한 제대로 된 data를 얻을 수 없으므로 제대로 된 data를 얻기 위해 보정한다. 이렇게 보정된 field map을 이용하여 pixel shift 양을 계산하고 pixel shift 양을 이용하여 영상을 보정한다. 이 전체 과정의 block diagram을 그림 2에 나타내었다.

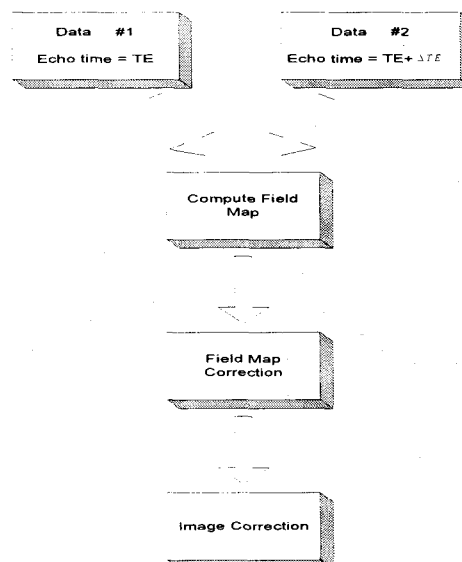


그림 2. Field map의 계산과 영상왜곡 보정과정

Field map의 계산

Pulse sequence로부터 얻은 data에서 두 위상의 차로써 field map을 구한다.(6) 여기서 위상과 field 사이의 관계에 의해 위상 data로부터 field data를 얻는다. 이것을 수식으로 나타내면

$$E_1(x, y, z) = \frac{1}{\gamma \Delta T} \arctan\left[\frac{IM\{S(x, y, z)\}}{Re\{S(x, y, z)\}}\right]$$

$$E_2(x, y, z) = \frac{1}{\gamma \Delta T} \arctan\left[\frac{IM\{S(x, y, z)\}}{Re\{S(x, y, z)\}}\right]$$

$$FieldData = E_2 - E_1 \quad \dots (식 1)$$

여기서, γ 는 gyromagnetic ratio 이다.

Correction

보정을 위해서는 먼저 field data와 그것의 pixel shift 양과의 관계를 설정해야 하는데 그것을 하기 위해 field data를 readout gradient의 크기로 나눠서 pixel shift 양을 계산하였다. 이것을 수식으로 나타내면 아래와 같다.

$$y' = y + E(x, y)/G_y \quad \dots (식 2)$$

위에서 계산된 pixel shift 양을 그대로 적용하여 pixel을 shift 시키게 되면 각 pixel의 data 차에 의해서 영상에 data가 없는 부분이 생기게 된다. 또한 왜곡에 의해 여러 곳의 data가 한 곳에 모인 경우도 있으므로 data가 없는 경우도 발생하게 된다. 따라서 이러한 것을 보정하기 위해 y 방향으로의 field 변화량을 y 방향의 gradient의 크기로 나눠서

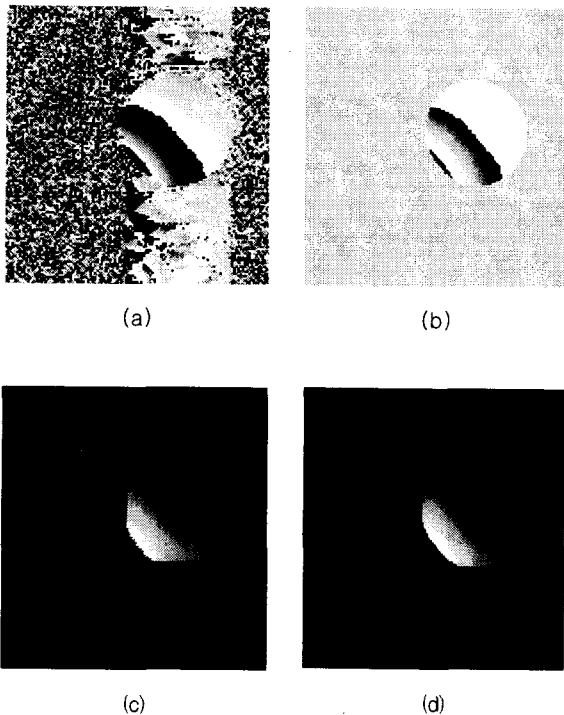


그림 3 Inhomogeneity field map
 (a) 보정 전 field map
 (b) 물체 주변의 noise를 제거한 field map
 (c) 가로 및 세로 보정 후의 field map
 (d) 최종 보정 후의 field map

그 값을 원래 값에 더함으로써 intensity 보정을 하였다. 이것을 수식으로 나타내면 식3과 같다.

$$W(x, y) = 1 + \{\partial E(x, y)/\partial y\}/G_y \quad \dots (식 3)$$

위의 두 방법을 병행하여 보정을 실행하였다. 이것을 수식으로 나타내 정리하면 아래와 같다.

$$S(x', y') = \rho(x, y)/W(x, y)$$

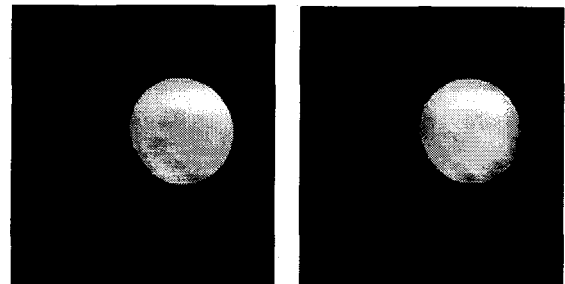
$$\begin{aligned} x' &= x \\ y' &= y + E(x, y)/G_y \end{aligned} \quad \dots (식 4)$$

$$W(x, y) = 1 + \{\partial E(x, y)/\partial y\}/G_y$$

여기서, G_y 는 readout 방향으로 인가된 선형 gradient의 기울기. ρ 는 amplitude.

실험 및 결론

Magnum 1T에 single scan differential phase mapping pulse sequence를 구현하여 실험을 수행하였다. 실험 parameter에서 TR은 50ms, TE는 10ms, ΔT 는 3.2ms, matrix size는 128*128로 하여 영상 획득 실험을 수행하여 field map 계산과 영상 보정을 수행하였다. 실험에 사용한 팬텀은 직경 10cm의 물통으로 정면에서 봐서 왼쪽 아래부분에 임의의 쇠조각을 붙여 왜곡된 영상을 얻었다. 이때 field map과 보정 결과는 그림 3과 그림 4와 같다. 그림 3에서는 실험에서 얻어진 data를 가지고 field data의 보정을 위해 알고리즘을 적용한 결과를 보여주고 있다. 긴 data acquisition time에 의해 나타나는 field data의 위상 겹침이 단계별로 수행되는 동안 보정됨을 보여주고 있다. 그림 4에서 field inhomogeneity에 의해 readout gradient 방향으로 생긴 영상의 왜곡이 제안된 보정 방법을 사용함으로써 보정되었음을 알 수 있다.



(a) 보정 전 영상 (b) 보정 후 영상
 그림 4. 보정 전과 후의 영상

이 보정 방법은 간단히 pixel shift 양과 field data 크기의 mapping 방법을 사용하여 주어진 pulse sequence에서 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다. 그리고 field map data의 위상 정보의 흐트러짐은 매우 다양하므로 그것의 보정 알고리즘은 매우 다양하게 나타날 수 있는데 여기서 보인 알고리즘도 일반적인 경우에 잘 적용될 수 있음을 알 수 있다.