

자동초점 조절 방식을 통한 나선주사 영상의 off-resonance 보정 알고리즘

강승원, 김판기, 조상흠, 안창범
광운대학교 전기공학과

Off-resonance Correction by Autofocus algorithm for Spiral Scan Imaging at 3Tesla MRI

Seung-won Kang, Pan-ki Kim, Sang-heum Cho, Chang-Beom Ahn
Dept. Electrical Engineering, Kwangwoon University

Abstract - 본 논문에서는 나선주사 영상에서 발생하는 off-resonance 현상에 의한 영상의 번짐을 보정하는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 공간상에서의 inhomogeneity와 chemical-shift 현상으로 생기는 off-resonance 효과는 공간의 자장의 세기에 비례한다. 현재 사용되고 있는 보정 방법에서의 절차를 간소화 하고 보다 효과적인 보정 알고리즘을 적용함으로써 보다 나은 Spiral scan 영상을 얻고자 하였다.

1. 서 론

Off-resonance 현상은 자기장의 inhomogeneity와 chemical-shift 현상 등에 의해 데이터 획득 과정에서 획득 시간에 비례하여 누적되어지는 추가적인 위상분에 의하여 영상의 번짐이 일어나는 현상이다. 이는 라모어 방정식(1)을 통해 알 수 있듯이 자기장의 세기에 비례하는 성분이다.

$$\phi = \omega t = \gamma B t \quad (1)$$

단, ω : 각속도, t : 시간, γ : gyromagnetic 계수,
 B : 자기장의 세기

고자장인 시스템일수록 더욱 문제가 될 수밖에 없다. 자기장의 세기와 비례하여 들어지는 위상분이 더욱 커지므로 영상의 번짐 현상은 더욱 심해지는 것이다. 이 때 영상의 번짐 현상은 마치 이미지의 초점이 흐려지는 것과 같은 결과를 보인다. 이 점을 착안하여 임의의 주파수로 보정한 여러 장의 영상 후보군을 생성하고 정해진 영역 별로 가장 높은 초점치를 기록한 블록을 선정하여 영상을 재구성함으로써 off-resonance 현상에 대한 보정효과를 얻을 수 있었다.

또한 기존의 보정 알고리즘에서 필수적인 공간상의 inhomogeneity map을 측정하는 절차가 필요 없으므로 그 과정에서 야기되는 오차에 무관 하고 보정시간의 단축으로 인한 이점을 얻을 수 있다.

2. 본 론

2.1 Off-resonance effect

z축 방향으로 순차화 되어 있는 object를 xy 평면으로 excitation 시켜서 FID신호를 획득하는 과정에서 T1, T2효과에 의해 spin들은 relaxation하게 된다. 이런 on-resonance 효과 이외에 inhomogeneity, chemical shift 에 의해서 공간상에서 주파수가 서로 달라지는 경향이 나타나게 된다. 이로 인해 해당공간의 phase가 data 획득과정에서 획득시간에 비례하여 누적되어 본래의 크기보다 커지거나 작아져서 영상의 번짐 현상이 일어나게 된다. 이를 off-resonance effect라 한다.

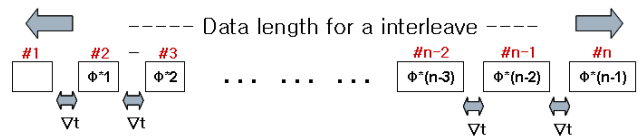
2.2 Off-resonance Correction(이하 ORC) 이론.

2.2.1 Frequency segmented ORC (FSORC)

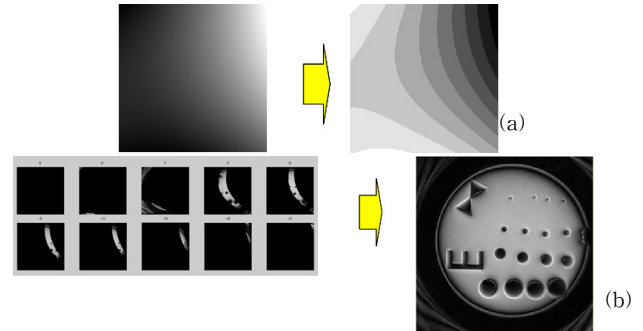
field의 inhomogeneity map을 측정하여 공간상의 phase 정보를 얻게 되고, 이를 이용하여 전체 영상을 몇 개의 영역으로 나눈 후, 그 영역의 대표 주파수로 보정하여 영상 reconstruction을 수행한다. 이때 주파수로 보정한다 함은 data에 대하여 data 획득 시간에 비례하여 누적되어 들어지는 phase 성분을 역으로 보정(2) 한다는 것이다. 그림1은 얻어지는 data의 형태를 나타내고 있고 각각의 data에 누적되어지고 있는 위상분을 표현하고 있다.

$$D_{original} = D_{real} * e^{j\phi n \nabla t} \quad (2)$$

$$D_{real} = D_{original} * e^{-j\phi n \nabla t}$$



ϕ : sampling interval 동안 off-resonance 에 의한 phase 변화량
<그림 1> FID data format, 샘플링 시간과 phase간의 관계

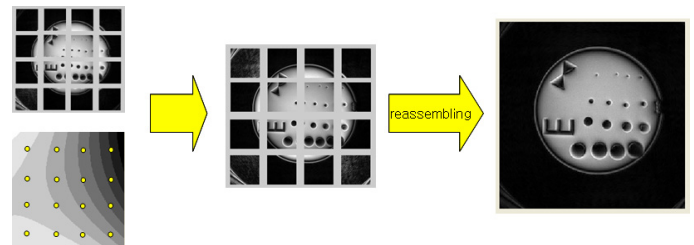


**<그림 2> FSORC algorithm
(a) phase map (b) image reconstruction**

이와 같은 과정을 거친 영상들을 최초 구해진 map에 의하여 재조합 하여 새로운 영상을 얻게 된다. 이와 같은 방법을 FSORC[1]라 한다. 그림2는 FSORC 과정을 나타내고 있다.

2.2.2 Block Region ORC (BRORC)

크기가 NxN인 영상을 MxM개로 분할하여 N/M x N/M 크기의 각각의 영상에 ORC를 수행하고 그 결과를 조합하여 새로운 영상을 얻는 방식이다.[2] 각 블록을 보정하는 주파수는 FSORC에서 사용되었던 inhomogeneity map에서의 해당 위치 주파수를 사용한다. 그림3은 BRORC 과정을 나타내고 있다.



<그림 3> BRORC algorithm

2.2.3 자동초점 조절 방식에 의한 ORC

본 논문에서 제안하는 방식으로써 field inhomogeneity map 정보가 필요 없는 보정 방식이다. 그림4에서 보는 바와 같이 off-resonance 보정이 된 영상은 그렇지 않은 영상에 비해 영상에서의 무늬가 분명함을 알 수 있다.

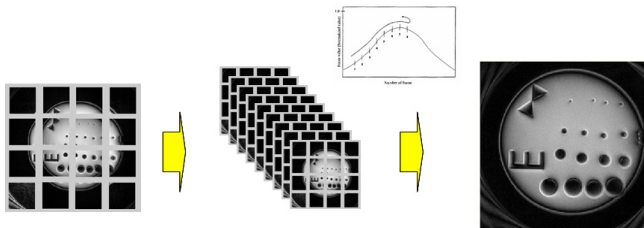


〈그림 4〉 보정되지 않은 영상(a)과 보정된 영상(b)

여기서 각 영상의 초점치를 측정하여 가장 높은 영상을 선택하여 결과 영상을 얻는 방식이다.

다음과 같은 절차로 진행되고 그림5에서 과정 중 생기는 영상을 표현하였다.

- 1) 영상을 임의의 개수의 블록으로 나눈다.
- 2) 임의의 주파수가 부여된 영상을 여러 개 reconstruction 한다.
- 3) 각각의 영상에서 해당되는 블록별로 초점치를 측정한다.
- 4) 같은 위치의 블록들 중 초점치가 가장 높은 블록을 선정한다.
- 5) 선정된 블록을 재조합 하여 결과 영상을 얻는다.



〈그림 5〉 자동초점 조절방식 ORC

초점치 측정방식으로는 laplacian 연산자를 사용하였다. 이는 영상의 고주파 성분에 대해 고역 필터를 이용하여 그 값을 누적하고 이를 초점치로 사용하는 방법이다. [3]

$$\nabla^2 g(x, y) = \frac{\partial^2 g(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g(x, y)}{\partial y^2} \quad (3)$$

이를 3x3 matrix로 구현하면 다음과 같다.

$$L = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

식 (4)를 영상에 convolution 하여 초점치를 얻는다.

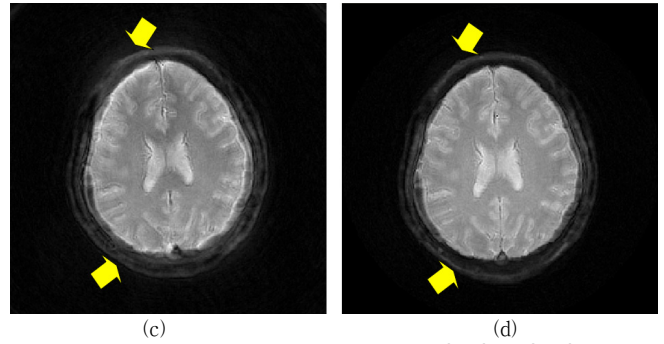
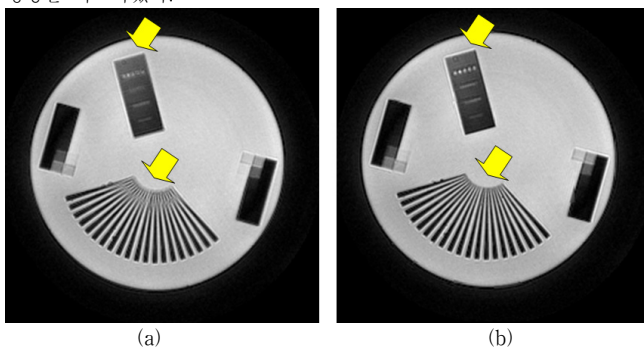
2.3 실행 결과 및 기존 방식과 비교

〈표 1〉 FSORC, BRORC 방식과 Autofocus 방식 실행결과.

algorithm	FSORC	BRORC	Autofocus
결과 영상			
초점치	4.2177	4.4891	4.7832

표1에서 나타나있는 것과 같이 기존의 두 방식과 비교해 볼 때 더 높은 초점치를 나타내고 있고 이는 더 나은 성능을 보여준다.

팬텀 및 In-VIVO에 적용하여 보았다. 그림6에서 원 영상과 보정된 영상을 비교하였다.



〈그림 6〉 팬텀 및 IN-VIVO 의 보정 전(a,c), 후(b,d)

팬텀 및 In-VIVO 영상 모두에서 번짐 현상에 대한 보정효과를 보았다.

3. 결 론

Off-resonance Correction은 higher order shimming 과 fat saturation과 더불어 image 개선에 탁월한 효과를 얻을 수 있는 post-processing이다. shimming을 통해 field의 inhomogeneity를 개선하고 fat saturation을 통해 chemical shift 현상을 개선해서 MRI data를 수집하고 여기에 ORC를 다시 수행함으로써 보다 안정적으로 off-resonance 효과를 줄일 수 있었다. 또한 본 논문에서 제안된 알고리즘은 field map측정에 대한 절차를 생략하여 절차가 더욱 간단해졌고 결과 또한 더 나은 것을 확인할 수 있었다.

고자장 시스템에서의 영상은 SNR이 높아지지만 off-resonance 현상이 커진다. 따라서 이를 저감시킬 방법으로 shimming, fat saturation과 함께 off-resonance 의 영상 개선효과는 더욱 커질 것으로 예상된다.

[참 고 문 헌]

[1] Matt A. Bernstein, Kevin F. King, Xiaohong Joe Zhou "Handbook of MRI Pulse Sequences", pp.946-951,2004
 [2] Hisamoto Moriguchi, Brian M. Dale, Jonathan S. Lewin, Jeffrey L. Duerk "Block Regional Off-Resonance Correction(BRORC) : A Fast and Effective Deblurring Method for Spiral Imaging", Magnetic Resonance in Medicine pp.50:643-648, 2003
 [3] 신승현, 박정호, 김건섭, 조일준, 김성환, "디지털 카메라를 위한 새로운 자동초점조절 알고리즘의 연구", KIEE, vol. 50D, No.9, Sep, 2001
 [4] 강승원, 전수열, 김판기, 오승준, 안창범, "Off-resonance correction for spiral imaging at 3 Tesla MRI," 대한자기공명의 과학회 11차 학술대회 프로시딩, p.68, 2006.
 [5] C.B. Ahn, S.W. Kang, P.K. Kim, and H.K. Lee, "Automatic Off-resonance Correction without Field Map in Spiral Scan Imaging," Syllabus of ISMRM Workshop on "Non-Cartesian MRI: Sampling Outside the Box," P-38, Feb. 25-28, 2007, Sedona, Arizona, USA (2007).