

MR Spiral scan 영상에서 Gradient system의 모델링을 이용한 Eddy current compensation

조상흠, 김판기, 강승원, 안창범
전기공학과, 광운대학교

Eddy current compensation using a gradient system modeling in MR Spiral scan imaging

S.H. Cho, P.K. Kim, S.W. Kang, C.B. Ahn
Dept. Electrical Engineering, Kwangwoon University

Abstract - Gradient system에 spiral waveform 입력을 가하면 Hardware limitation에 의하여 만들어지는 gradient fields에 Transient time delay가 발생한다. 이를 보상하기 위하여, Gradient system을 R-L-C 회로로 모델링하여 재구성에 필요한 k-space trajectory를 보정하여 개선된 image를 획득하였다.

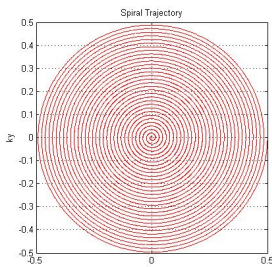
1. 서 론

본 논문에서는 초고속 자기공명영상 기법 중 하나인 Spiral scan imaging을 사용하여 MR image를 획득하는 과정에서 Hardware에 의하여 발생하는 k-space trajectory의 error를 Gradient system을 모델링하여 error를 compensation하여 MR image를 재구성하는 방법에 대한 연구를 하였다. FSE와 같이, rectangular coordinates scan 방식에서는 Echo signal의 peak position을 center로 보정하여, 재구성하면 image의 왜곡을 보정할 수 있다. 하지만, Spiral image 재구성은 k-space trajectory가 spiral 형태로 증가하기 때문에, 다른 방법을 필요로 한다.

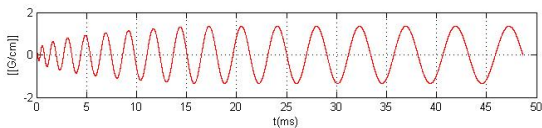
2. 본 론

2.1 Spiral scan imaging

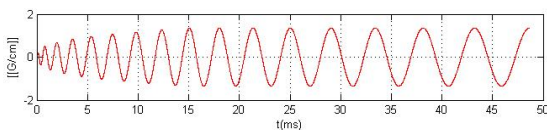
Spiral scan imaging은 spiral k-space trajectory를 따라서 FID signal을 측정하는 방식이다. <그림1>과 같이, Spiral scan imaging 방법은 phase encoding과 readout gradient axes에 동시에 gradient를 가하여, k-space의 중심부터 signal을 spiral 형태로 측정하기 때문에 초고속으로 echo signal을 획득할 수 있는 장점이 있다.



<그림1> spiral k-space trajectory



(a)

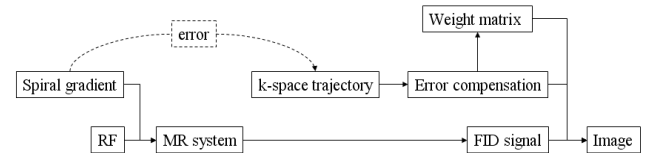


(b)

<그림2> spiral gradient waveform
(a)phase encoding axis, (b)readout gradient axis

FID signal은 k-space trajectory를 따라서 획득하기 때문에 Spiral image의 재구성 시, k-space trajectory의 정보와 FID signal의 위치정보가 맞지 아니하면 image에 왜곡이 발생한다.

Spiral image 재구성은 <그림3>과 같이, FID signal, hardware error가 보정된 k-space trajectory, 이를 이용하여 구성된 weight matrix set을 이용하여 재구성하여야 한다.



<그림3> Block diagram of Spiral image reconstruction

2.2 Gradient system

Gradient system은 Amplifier, filters, gradient coil로 구성되어 있다.



<그림4> Block diagram of Gradient system

coil로 이루어진 system은 Eddy current를 발생시키고, Eddy current는 transient time delay의 원인이 된다. 즉, Transient time delay의 누적된 error의 영향은 수학적으로 계산된 ideal한 k-space trajectory와 MR system에서 획득한 FID data와의 mismatch를 초래하여 image의 artifact를 발생시킨다.

2.3 Modeling for Gradient system

k-space trajectory와 MR system에서 획득한 FID data와의 mismatch 현상을 줄이기 위하여, <그림5>와 같이, Gradient system을 간단히 R-L-C circuit으로 모델링 할 수 있다.

Amplifier는 voltage source, Filters는 R1-C circuit, Gradient coil은 R2-L circuit으로 간략화 할 수 있다.



<그림5> Model for the gradient system

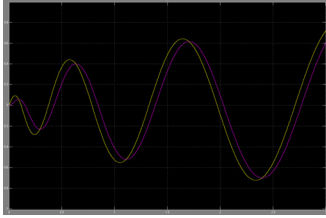
전달함수는, <식1>과 같다.

$$H(s) = \frac{1}{(R_1LC)s^2 + (R_1R_2C + L)s + (R_1 + R_2)}$$

<식1> Transfer Function

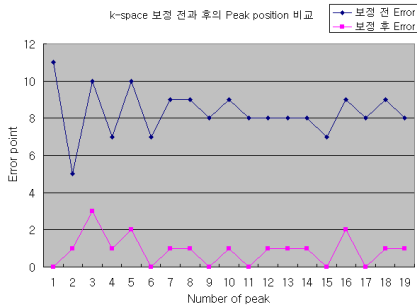
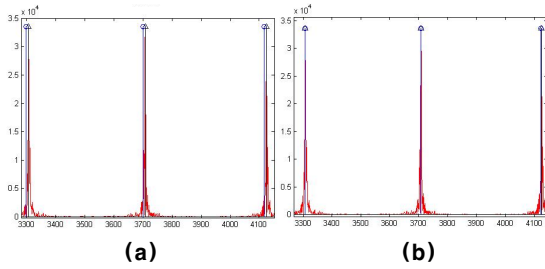
2.4 Model parameters

Gradient system model의 R, C, L value를 구하기 위하여 MR gradient x축, y축을 하나씩 on상태에서 FID data를 획득한다. 획득한 FID data는 k-space trajectory상에서 원점에서 peak가 발생한다. 발생하는 peak point와 보정하고자 하는 k-space trajectory의 zero crossing point간의 error가 최소화 되는 R, L, C value를 설정하였다. 설정한 value가 image의 artifact를 최소화 시키는지 검토하였다.



<그림6> Gradient model에서의 Transient time delay (Yellow = input gradient, Red = output gradient)

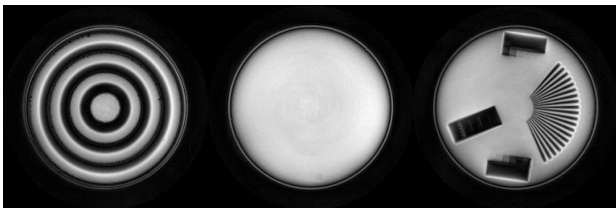
<그림7-a>는 ideal k-space trajectory와 peak position data간의 error발생을 보여준다. <그림7-b>는 R-L-C Model을 적용한 k-space trajectory와의 peak position data간의 error가 줄어든 것을 보여준다. <그림7-c>는 interleave의 전체 peak position에 대한 ideal과 compensation된 k-space trajectory간의 error의 감쇠정도를 나타낸다.



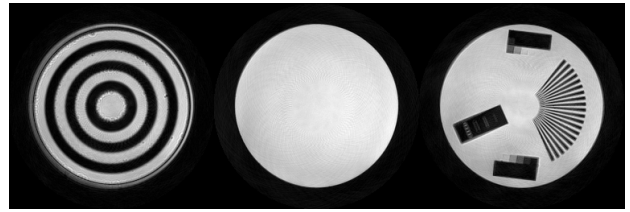
(c)

<그림7> Error of k-space zero crossing point

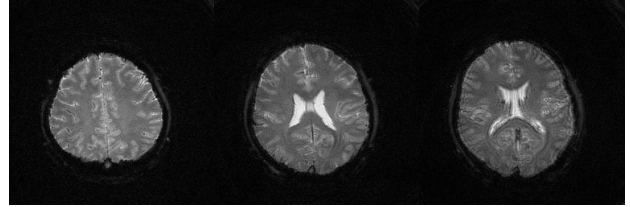
2.5 Result image



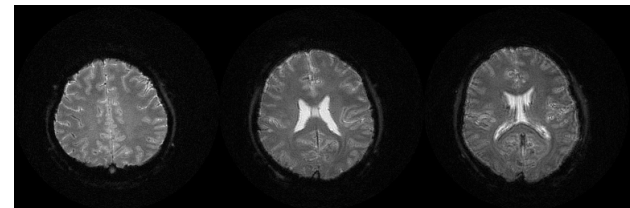
<그림8> Multi-shot Phantom image using Ideal k-space trajectory



<그림9> Multi-shot Phantom image using compensated k-space trajectory



<그림10> Multi-shot *In-vivo* image using Ideal k-space trajectory



<그림11> Multi-shot *In-vivo* image using compensated k-space trajectory

3. 결 론

ISOL Technology사의 CHORUS 3.0T 장비를 이용하여 실험하였으며, 본 기기의 모델링 parameter는 $R_1=1\Omega$, $C=4\mu F$, $R_2=1\Omega$, $L=110\mu H$ 일 때 error가 최소화되었고, image의 artifact가 줄어들어 실험적으로 증명하였다.

Phantom 실험에서는, <그림8>에서와 같이, k-space trajectory를 보정치 아니하면 object 외각의 ring artifact가 발생하였다. 이를, 제안한 Gradient system을 모델링하여 k-space trajectory를 보정하면, <그림9>과 같이, artifact가 제거되어 image quality가 향상되었다.

In-vivo 실험에서 gradient modeling에 의한 영상 개선효과를 <그림10>과, <그림11>에 나타내었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Ahn, C.B., Kim, J.H., and Cho, Z.H. "High-speed spiral-scan echo planar NMR imaging", I. *IEEE Trans. Med. Imaging*5:2-7, 1986.
- [2] C.B. Ahn, S.H. Cho, P.K. Kim, J.W. Lim, and H.K. Lee, "Correction of k-space trajectory based on an R-L-C Circuit Model of the Gradient System," Syllabus of ISMRM Workshop on "Non-Cartesian MRI: Sampling Outside the Box," P-4, Feb. 25-28, 2007, Sedona, Arizona, USA (2007)