

자기공명 위상영상 재구성을 위한 향상된 중심배열 정렬 위상 펼침 방법

한용희*, 김강수*, 정원범*, 김윤석*, 이상훈**, 정숙희***, 남상희****, 문치웅*****

인제대학교 의용공학과*, 인제대학교 의료영상과학대학원**, 인피니트***, 인제대학교 의료영상연구소****

Improved Center Array-Sequencing Phase Unwrapping(ICASPU) method for reconstruction of MR phase image

Y. H. Han*, K. S. Kim*, W. B. Jung*, Y. S. Kim*, S. H. Lee**, S. H. Jung***, S. H. Nam****, C. W. Mun*****

Inje Univ. Dept of Biomedical Engineering, Inje Univ. Dept of image & science**, infinit***, Inje Univ. Medical image research center*****

요약

본 연구는 향상된 중심배열 정렬 위상 펼침 방법(ICASPU)을 제안하고 자기공명 위상 영상을 재구성하여 성능을 평가하였다. 제안된 방법을 수행하기 위해 2% 한천젤에 0.6mM/l를 첨가한 팬텀을 제작하여 임상용 1.5T 자기공명 영상센서용화된 무릎코일을 이용하여 MR위상영상을 얻었다. 획득된 k 공간 자료는 PC로 옮긴 뒤 매트랩 프로그램을 이용하여 영상을 재구성하였다. 제안된 ICASPU의 오차를 2차 회귀분석을 이용하여 기존의 중심배열 정렬 위상 펼침과 비교 평가하였다. 그 결과 기존의 CASPU방법에 비해 제안된 ICASPU방법이 5배 정도 오차가 향상된 것을 확인할 수 있었다. 본 연구는 향상된 중심배열 정렬 위상 펼침 방법을 이용한 위상영상 펼침의 유용성을 확인하였으며, 향후 위상 정보를 포함한 영상 적용에 매우 유용할 것이라 기대된다.

Key Word : MRI, Phase unwrapping, Path following, Center array sequencing

Abstract

This study proposed an improved center array-sequencing phase unwrapping (ICASPU) algorithm. 2% agarose phantom doped with 0.6mM/l MnCl₂ was used with clinical 1.5T MRI system and commercial knee coil. Obtained k-space data(raw-data) was transmitted to PC and reconstructed into phase image with MATLAB software. Previous center array-sequence phase unwrapping algorithm was compared with proposed ICASPU algorithm using second order regression analysis. As a result, we found that the amount of error on proposed ICASPU method is less about 5 times than that of previous CASPU method. In this study, we exploit improved Center array-sequence phase unwrapping algorithm and expect to apply to images including phase informations.

I. 서론

자연계에 존재하는 모든 응집된 신호의 적용은 ‘위상’이라고 알려진 단일 신호특성을 근거로 하고 있다. 하지만 실질적으로 이러한 위상은 물리적인 신호로부터 추출될 수가 없으며, $-\pi$ 에서 $+\pi$ 까지의 범위 내에서 2π 로 나눈 나머지 값만을 얻게 된다^[1]. 이러한 위상을 가르켜 소위 ‘겹쳐진 위상(wrapped phase)’라고 부른다^[1-3]. MRI를 이용한 온도영상에서도 마찬가지로 이러한 현상이 일어나며, 이는 곧 영상의 인공물과 직접적인 연관을 초래하기 때문에 위상을 보정해주는 단계인 ‘위상 펼침(phase unwrapping)’ 과정이 필요하게 된다^[2-5]. 현재 이러한 위상 펼침 기법들은 그 방법과 접근에 따라 Path following algorithm, Minimum Norm methods, Bayesian Approach, Parametric algorithm, 등 여러 가지로 분류할 수 있다^[1-2]. 본 연구에서는 여러 가지 방법들 중에서 적용이 쉽고 간단하며, 재구성 시간을 최소화할 수 있는 Path following algorithm 근반의 중심배열 정렬 위상 펼침 기법(CASPU)을 사용하였다[6]. 기존의 CASPU 방법은 원 데이터의 위상 정보를 각각의 부호화된 경로로부터 겹쳐진 부분을 순서대로 보상해주는 형식으로 되어있다. 따라서 매우 간단하며 적용이 편리하다. 하지만 Path following algorithm에 근반을 둔 방법들에서는 재구성되는 경로 상에 왜곡된 정보가 있으면 인해 온전한 위상을 구현하는데 제약을 가진다. 따라서 본 연구에서 제안하고자 하는 향상된 중심배열 정렬 위상 펼침 기법(ICASPU)을 통해 상기 문제점을 해결하고 보다 선형적인 위상을 재구성 하고자 하였다.

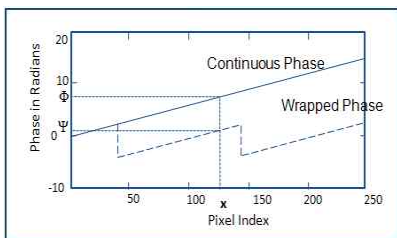


Fig.1 Plot of the continuous and wrapped phase

II. 대상 및 방법

1. Improved CASPU

향상된 중심배열 정렬 위상 펼침방법은 기존의 CASPU에 비해 겹쳐진 위상이 종축과 횡축의 양방향으로 보정이 이루어진다. Fig.2에 ICASPU의 자세한 순서도를 나타내었다. ICASPU의 구성은 먼저 위상영상에 대한 마스크킹을 통해 잡음을 제거하고 대상 영상과 배경을 구별한 뒤, 종축 또는 횡축의 한 방향으로의 위상 보정이 실시된다. 단 방향으로의 위상 보정이 완료되면 나머지 방향에 대한 위상보정을 추가적으로 실시하여 이루어진다.

2. Specimens

실험재료로는 원형과 사각형 형태의 근육유사모델로 2% agarose gel에 MnCl2 0.6mM/l를 첨가한 팬텀과 돼지고기 뒷다리 근육조직을 이용하였다.

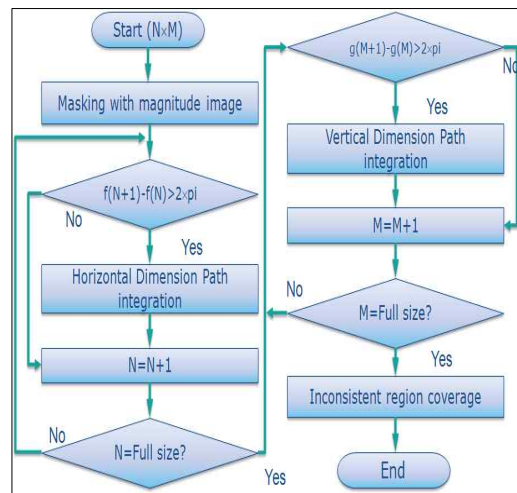


Fig.2 Flowchart of Improved CASPU

3. Data acquisition

MR 원 데이터를 획득하기 위해 임상용 1.5T MR system(Echo speed, General Electronics Co., MI, USA)를 이용하였으며, 수신코일로는 상용화된 무릎 코일을 사용하였다. 그리고 T2* GRE(Gradient Recalled Echo)펄스

열의 영상 변수는 다음과 같이 설정하였다; TR/TE, 300/15ms; FOV(Field of view), 12mm; Flip angle, 60°; NEX(Number of EXcitation), 1; Matrix size, 256×128; scan time, 40"; MR로부터 획득된 신호는 FTP를 통해 PC로 전달되어 자체 제작된 매트랩 프로그램으로 재구성하였다.

4. Second order regression Analysis

정량적인 분석을 위해 종래에 이용하던 CASPU방법과 제안할 ICASPU방법의 각각에 대한 펼쳐진 위상(unwrapped phase)으로 2차 회귀 분석을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. Comparison of CASPU and ICASPU

Fig.3에서는 원형과 사각형 팬텀에 대해 영상에 왜곡이 포함되어있지 않은 경우 기존에 사용되어왔던 CASPU방법과 본 연구에서 제시한 ICASPU방법의 비교를 나타내었다. 기존에 사용되어 왔던 CASPU방법에서는 부분적으로 비선형적이거나, 종축방향으로의 왜곡이 일어나는 것을 살펴볼 수 있었다. 반대로 CASPU에 비해 ICASPU방법은 선형적이며 왜곡없는 위상결과를 살펴볼 수 있었다. 마찬가지로 Fig.4에서는 영상에 왜곡이 포함된 원형팬텀과 돼지고기 근육 조직에 대해 CASPU와 ICASPU방법의 비교를 나타내었다. CASPU에서는 영상에 왜곡이 포함되지 않은 팬텀에 비해 더욱 심각한 왜곡이 영상에 나타나는 것을 살펴볼 수 있었다. 그러나 ICASPU에서는 영상 중심에 왜곡이 있음에도 위상 보정단계를 통해 CASPU에 비해 상당히 우수한 성능의 위상결과를 나타내었다.

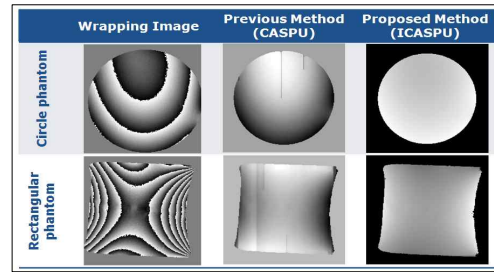


Fig.3 Comparison of CASPU and ICASPU without distortion according to path

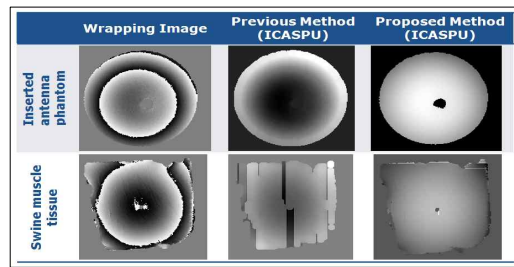


Fig.4 Comparison of CASPU and ICASPU with distortion according to path

2. Comparison of RMS error

정량적인 분석을 위해 2차 회귀 분석을 통한 RMS 오차를 Fig.5와 Fig.6에 나타내었다. Fig.5에서는 횡축방향으로의 오차를 각 실험 팬텀에 대해 나타내었다. 영상의 왜곡이 삽입되지 않은 팬텀에서는 비슷한 오차를 나타내었으나, 영상에 왜곡이 포함된 팬텀에서는 CASPU방법이 5배 정도 큰 오차를 나타내었다. 표준편차 또한 ICASPU방법이 적게 나타난 것을 확인할 수 있었다. Fig.6에서는 종축방향으로의 오차를 각 실험 팬텀에 대해 나타내었다. 종축방향으로의 오차는 횡축방향으로의 오차에 비해 ICASPU방법이 전체적으로 5배 정도 낮은 것을 확인할 수 있었다. 마찬가지로 표준편차 또한 낮게 분포하는 것을 살펴볼 수 있었다.

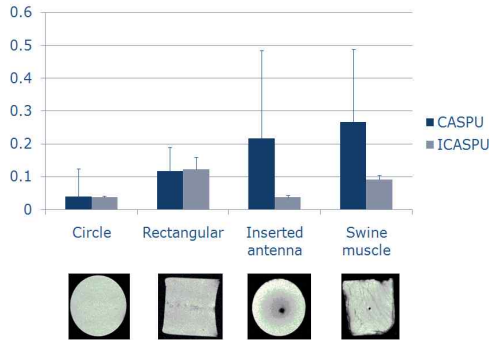


Fig.5 RMS errors of each phantom in transverse direction

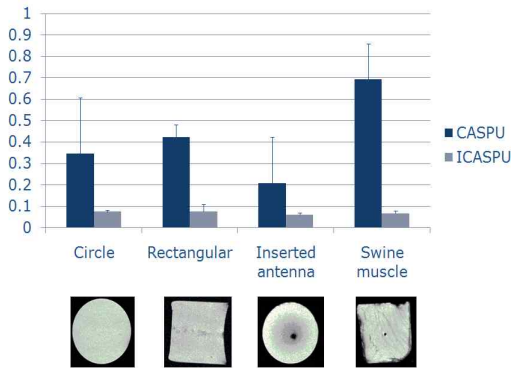


Fig.6 RMS errors of each phantom in vertical direction

IV. 결론

본 연구의 향상된 중심 배열 위상 펼침(ICASPU)를 이용하여 기존에 사용되어왔던 알고리즘에 비해 전체적으로 RMS 오차를 5배 정도 줄일 수 있었다. 또한 2차원적인 재구성을 통해 보다 선형적이고, 인공물의 의한 노이즈를 감소시킬 수 있었다. 그리고 영상의 중앙에 왜곡된 정보를 가지는 데이터에서도 보상을 통해 기존에 사용되었던 알고리즘에 비해 향상된 것을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Ghiglia D and Pritt M, "Two-Dimensional Phase Unwrapping. Theory, Algorithms, and Software," John Wiley & Sons, New York, 1998
- [2] Liang Z-P, "A model-based method for phase unwrapping," IEEE Trans. Med. Img., Vol.15, pp.893-897, 1996
- [3] Song S, Sandy N, Norbert J, et al. Phase unwrapping of MR phase images using Poisson equations. IEEE Trans. Image Proc., Vol.4, pp.667-676, 1995
- [4] Goldstein R, Zebker H, Werner C. Satellite radar interferometry: Two-dimensional phase unwrapping. In Symposium on the Ionospheric Effects on Communication and related systems, Vol.23, pp.719-720, 1988
- [5] Ghiglia D, Romero L. Minimum Lp norm two-dimensional phase unwrapping. Journal of the Optical Society of America, Vol.13, No.10, pp.1999-2013, 1996.
- [6] Kee Chin Tan, Tae Hyung Kim, Song I Chun, et al, Preliminary study on the MR temperature mapping using center array-sequencing phase unwrapping algorithm, J Korean Soc Magn Reson Med, Vol.12, pp.131-141, 2008