



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년03월29일

(11) 등록번호 10-2233996

(24) 등록일자 2021년03월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

A61B 5/055 (2006.01) G06T 5/00 (2019.01)

(52) CPC특허분류

A61B 5/055 (2021.01)

G06T 5/006 (2018.01)

(21) 출원번호 10-2018-0049166

(22) 출원일자 2018년04월27일

심사청구일자 2018년04월27일

(65) 공개번호 10-2019-0124994

(43) 공개일자 2019년11월06일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020150067835 A

(뒷면에 계속)

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

황도식

서울특별시 서대문구 연세로 50, 제3공학관 C618호(신촌동, 연세대학교)

어태준

서울특별시 서대문구 연세로 50, 제3공학관 C516호(신촌동, 연세대학교)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

민영준

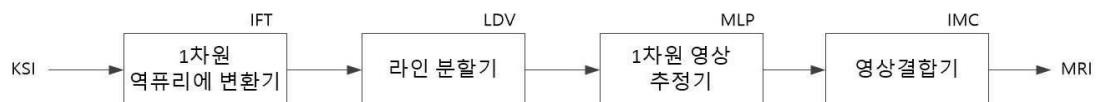
전체 청구항 수 : 총 11 항

심사관 : 백양규

(54) 발명의 명칭 자기 공명 영상 재구성 장치 및 방법

**(57) 요약**

자기 공명 영상 재구성 장치 및 방법을 공개한다. 본 실시예에 따른 자기 공명 영상 재구성 장치 및 방법은 언더샘플링된 k-스페이스 영상을 기지정된 제1 방향에 따라 1차원의 라인 단위로 역푸리에 변환하여 다수의 1차원의 제1 자기 공명 영상을 재구성하고, 재구성된 다수의 1차원의 제1 자기 공명 영상을 재구성하여 2차원의 제1 자기 공명 영상을 재구성하는 역푸리에 변환기 및 지정된 패턴 추정 기법에 의해 미리 학습되어, 2차원의 제1 자기 공명 영상을 인가받아 제1 방향과 직교하는 제2 방향에 따라 1차원의 라인 단위로 보상하여, 제1 자기 공명 영상에서 누락된 데이터가 보상된 제2 자기 공명 영상을 재구성하는 1차원 영상 보상부를 포함한다.

**대표도**

(52) CPC특허분류  
G06T 2207/10088 (2013.01)

(72) 발명자  
**김태성**  
서울특별시 서대문구 연세로 50, 제3공학관 C516  
호(신촌동, 연세대학교)

**전요한**  
서울특별시 서대문구 연세로 50, 제3공학관 C516  
호(신촌동, 연세대학교)

(56) 선행기술조사문헌  
KR1020150071535 A  
KR1020170084503 A  
KR1020160019081 A  
KR1020170133922 A  
KR101659578 B1\*  
KR1020150125543 A\*

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2016R1A2R4015016

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 중견연구자지원사업

연구과제명 대용량 자기공명 데이터의 고속 획득 기술 및 환자 맞춤형 정보 추출 기술

개발(2/3)

기 여 율 1/1

과제수행기관명 연세대학교 산학협력단

연구기간 2017.06.01 ~ 2018.03.31

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

언더샘플링된  $k$ -스페이스 영상을 기지정된 제1 방향에 따라 1차원의 라인 단위로 역푸리에 변환하여 다수의 1차원의 제1 자기 공명 영상을 재구성하고, 재구성된 다수의 1차원의 제1 자기 공명 영상을 재구축하여 2차원의 제1 자기 공명 영상을 재구성하는 역푸리에 변환기; 및

지정된 패턴 추정 기법에 의해 미리 학습되어, 상기 2차원의 제1 자기 공명 영상을 인가받아 상기 제1 방향과 직교하는 제2 방향에 따라 1차원의 라인 단위로 보상하여, 제1 자기 공명 영상에서 누락된 데이터가 보상된 제2 자기 공명 영상을 재구성하는 1차원 영상 보상부; 를 포함하되,

상기 1차원 영상 보상부는

상기 2차원의 제1 자기 공명 영상을 인가받아, 상기 제2 방향으로 1차원 라인단위로 분할하는 라인 분할기;

1차원 라인단위로 분할된 다수의 제1 자기 공명 영상을 각각 인가받고, 분할된 다수의 제1 자기 공명 영상 각각에 대해 상기  $k$ -스페이스 영상이 언더샘플링됨으로써 발생하는 누락된 데이터를 학습된 패턴 추정 기법에 따라 보상하는 1차원 영상 추정기; 및

상기 1차원 영상 추정기에서 보상된 다수의 제1 자기 공명 영상을 결합하여 2차원의 상기 제2 자기 공명 영상을 재구성하는 영상 결합기; 를 포함하고,

상기 제1 방향은

상기 언더샘플링된  $k$ -스페이스 영상의 주파수 인코딩 방향과 동일 방향인 자기 공명 영상 재구성 장치.

#### 청구항 2

삭제

#### 청구항 3

제1 항에 있어서, 상기 1차원 영상 추정기는

다층 퍼셉트론(multi-layer perceptron) 기법에 의해 학습되어, 상기 분할된 다수의 제1 자기 공명 영상의 누락된 데이터를 추정하는 자기 공명 영상 재구성 장치.

#### 청구항 4

삭제

#### 청구항 5

제1 항에 있어서, 상기 자기 공명 영상 재구성 장치는

지정된 패턴 추정 기법에 의해 미리 학습되어, 2차원의 상기 제2 자기 공명 영상을 인가받고, 상기 제2 자기 공명 영상에 포함된 아티팩트를 제거하여 자기 공명 영상을 출력하는 2차원 영상 보상부를 더 포함하는 자기 공명 영상 재구성 장치.

#### 청구항 6

제5 항에 있어서, 상기 2차원 영상 보상부는

상기 1차원 영상 보상부와 상이한 패턴 추정 기법으로 학습된 자기 공명 영상 재구성 장치.

## 청구항 7

제5 항에 있어서, 상기 2차원 영상 보상부는

콘볼루션 신경망 기법에 의해 학습되어, 2차원의 상기 제2 자기 공명 영상을 보상함으로써, 상기 아티팩트를 제거하는 2차원 영상 추정기를 포함하는 자기 공명 영상 재구성 장치.

## 청구항 8

제7 항에 있어서, 상기 2차원 영상 보상부는

상기 1차원 영상 보상부로부터 복소 데이터를 갖는 상기 제2 자기 공명 영상을 인가받아 실수부와 허수부로 구분하여 상기 2차원 영상 추정기로 전송하는 복소 영상 분할기; 및

상기 2차원 영상 추정기에서 실수부와 허수부로 구분되어 출력되는 자기 공명 영상을 인가받아 결합하여 상기 자기 공명 영상을 출력하는 복소 영상 결합기; 를 더 포함하는 자기 공명 영상 재구성 장치.

## 청구항 9

자기 공명 영상 재구성 장치에서 수행되는 자기 공명 영상 재구성 방법으로서,

언더샘플링된 k-스페이스 영상이 인가되는 단계;

상기 언더샘플링된 k-스페이스 영상을 기지정된 제1 방향에 따라 1차원의 라인 단위로 역푸리에 변환하여 다수의 1차원의 제1 자기 공명 영상을 재구성하고, 재구성된 다수의 1차원의 제1 자기 공명 영상을 재구성하여 2차원의 제1 자기 공명 영상을 재구성하는 단계; 및

지정된 패턴 추정 기법에 의해 미리 학습되어, 상기 2차원의 제1 자기 공명 영상을 인가받아 상기 제1 방향과 직교하는 제2 방향에 따라 1차원의 라인 단위로 보상하여, 제1 자기 공명 영상에서 누락된 데이터가 보상된 제2 자기 공명 영상을 재구성하는 단계; 를 포함하되,

상기 제2 자기 공명 영상을 재구성하는 단계는

상기 2차원의 제1 자기 공명 영상을 인가받아, 상기 제2 방향으로 1차원 라인단위로 분할하는 단계;

1차원 라인단위로 분할된 다수의 제1 자기 공명 영상 각각에 대해 상기 k-스페이스 영상이 언더샘플링됨으로써 발생하는 누락된 데이터를 학습된 패턴 추정 기법에 따라 보상하는 단계; 및

보상된 다수의 제1 자기 공명 영상을 결합하여 2차원의 상기 제2 자기 공명 영상을 재구성하는 단계; 를 포함하고,

상기 제1 방향은

상기 언더샘플링된 k-스페이스 영상의 주파수 인코딩 방향과 동일 방향인 자기 공명 영상 재구성 방법.

## 청구항 10

삭제

## 청구항 11

제9 항에 있어서, 상기 패턴 추정 기법에 따라 보상하는 단계는

다층 퍼셉트론(multi-layer perceptron) 기법에 의해 학습되어, 상기 분할된 다수의 제1 자기 공명 영상의 누락된 데이터를 추정하는 자기 공명 영상 재구성 방법.

## 청구항 12

삭제

## 청구항 13

제9 항에 있어서, 상기 자기 공명 영상 재구성 방법은

2차원의 상기 제2 자기 공명 영상을 인가받고, 지정된 패턴 추정 기법에 의해 미리 학습되어, 상기 제2 자기 공명 영상에 포함된 아티팩트를 제거하여 자기 공명 영상을 출력하는 단계 더 포함하는 자기 공명 영상 재구성 방법.

#### 청구항 14

제13 항에 있어서, 상기 자기 공명 영상을 출력하는 단계는

콘볼루션 신경망 기법에 의해 학습되어, 2차원의 상기 제2 자기 공명 영상을 보상하는 자기 공명 영상 재구성 방법.

#### 청구항 15

제14 항에 있어서, 상기 자기 공명 영상을 출력하는 단계는

복소 데이터를 갖는 상기 제2 자기 공명 영상을 인가받아 실수부와 허수부로 구분하여 전송하는 단계; 및

실수부와 허수부로 구분되어 출력되는 상기 자기 공명 영상을 인가받아 결합하여 출력하는 단계; 를 더 포함하는 자기 공명 영상 재구성 방법.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은 자기 공명 영상 재구성 장치 및 방법에 관한 것으로, 특히 언더샘플링된 k-공간 영상으로부터 고화질의 자기 공명 영상을 재구성할 수 있는 자기 공명 영상 재구성 장치 및 방법에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002] 자기 공명 영상(Magnetic Resonance Imaging, MRI)은 인체 내부 영상을 비 침습적이면서 고화질로 얻을 수 있는 대표적인 의료 영상이다. 자기 공명 영상 재구성 장치는, 자기 공명 영상 촬영 장치가 측정 대상으로 고주파 RF(Radio Frequency) 신호를 인가하고 측정 대상으로부터 나오는 자기 공명 신호를 검출하여, 공명 신호를 공간 주파수 도메인인 k-공간(k-space)에 샘플링(sampling)함으로써 획득된 k-공간 영상을 인가받아 역 푸리에 변환(Inverse Fourier Transform)함으로써 자기 공명 영상으로 재구성한다.

[0003] 일반적으로 영상의 화질을 높이기 위해서 하드웨어를 통해 획득하는 데이터의 양이 증가되어야 하며, 이는 고화질의 자기 공명 영상을 획득하기 위해서는 촬영 시간이 길어져야 한다는 것을 의미한다. 따라서 고화질의 자기 공명 영상을 획득하기 위해서는 촬영 시간이 매우 길어지기 때문에, 긴 시간 동안 자기 공명 영상을 촬영해야 하는 환자에게 불편함을 제공할 뿐만 아니라, 촬영 비용의 증가를 유발한다. 이에 자기 공명 영상의 촬영 시간을 줄이기 위해, 나이퀴스트 비율(Nyquist rate)보다 낮은 주파수로 샘플링하여 언더샘플링된 자기 공명 영상을 획득하고, 이를 고화질의 영상으로 재구성하여 획득하는 방법이 사용된다.

[0004] 즉 하드웨어적인 촬영을 통해 언더샘플링된 k-스페이스 영상을 1차적으로 획득하고, 이를 역 푸리에 변환하고, 역 푸리에 변환된 영상을 재구성하여 고화질의 자기 공명 영상을 획득한다. 이때 언더샘플링된 자기 공명 영상의 k-공간 영상에서는 특정 라인(또는 영역)에 대해서 인코딩이 이루어지지 않아 데이터가 존재하지 않는다. 따라서 k-공간 영상을 단순히 재구성하는 경우, 누락된 정보가 다수 존재하는 문제가 있다.

[0005] 이에 고속으로 고화질의 자기 공명 영상을 재구성할 수 있는 자기 공명 영상 재구성 장치 및 방법이 요구되고 있다.

### 선행기술문헌

#### 특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 한국 공개 특허 제10-2017-0084503호 (2017.07.20 공개)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0007] 본 발명의 목적은 언더샘플링된  $k$ -공간 영상으로부터 고화질의 자기 공명 영상을 재구성할 수 있는 자기 공명 영상 재구성 장치 및 방법을 제공하는데 있다.
- [0008] 본 발명의 다른 목적은 언더샘플링된  $k$ -공간 영상으로부터 고속으로 자기 공명 영상을 재구성할 수 있는 자기 공명 영상 재구성 장치 및 방법을 제공하는데 있다.
- [0009] 본 발명의 또 다른 목적은 자기 공명 영상 촬영 시간을 단축시키고, 촬영 비용을 저감할 수 있는 자기 공명 영상 재구성 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

### 과제의 해결 수단

- [0010] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 예에 따른 자기 공명 영상 재구성 장치는 언더샘플링된  $k$ -스페이스 영상을 기지정된 제1 방향에 따라 1차원의 라인 단위로 역푸리에 변환하여 다수의 1차원의 제1 자기 공명 영상을 재구성하고, 재구성된 다수의 1차원의 제1 자기 공명 영상을 재구축하여 2차원의 제1 자기 공명 영상을 재구성하는 역푸리에 변환기; 및 지정된 패턴 추정 기법에 의해 미리 학습되어, 상기 2차원의 제1 자기 공명 영상을 인가받아 상기 제1 방향과 직교하는 제2 방향에 따라 1차원의 라인 단위로 보상하여, 제1 자기 공명 영상에서 누락된 데이터가 보상된 제2 자기 공명 영상을 재구성하는 1차원 영상 보상부; 를 포함한다.
- [0011] 상기 1차원 영상 보상부는 상기 2차원의 제1 자기 공명 영상을 인가받아, 상기 제2 방향으로 1차원 라인단위로 분할하는 라인 분할기; 1차원 라인단위로 분할된 다수의 제1 자기 공명 영상을 각각 인가받고, 분할된 다수의 제1 자기 공명 영상 각각에 대해 상기  $k$ -스페이스 영상이 언더샘플링됨으로써 발생하는 누락된 데이터를 학습된 패턴 추정 기법에 따라 보상하는 1차원 영상 추정기; 및 상기 1차원 영상 추정기에서 보상된 다수의 제1 자기 공명 영상을 결합하여 2차원의 상기 제2 자기 공명 영상을 재구성하는 영상 결합기; 를 포함할 수 있다.
- [0012] 상기 1차원 영상 추정기는 다층 퍼셉트론(multi-layer perceptron) 기법에 의해 학습되어, 상기 분할된 다수의 제1 자기 공명 영상의 누락된 데이터를 추정 할 수 있다.
- [0013] 상기 자기 공명 영상 재구성 장치는 지정된 패턴 추정 기법에 의해 미리 학습되어, 2차원의 상기 제2 자기 공명 영상을 인가받고, 상기 제2 자기 공명 영상에 포함된 아티팩트를 제거하여 자기 공명 영상을 출력하는 2차원 영상 보상부를 더 포함할 수 있다.
- [0014] 상기 2차원 영상 보상부는 상기 1차원 영상 보상부와 상이한 패턴 추정 기법으로 학습될 수 있으며, 콘볼루션 신경망 기법에 의해 학습되어, 2차원의 상기 제2 자기 공명 영상을 보상함으로써, 상기 아티팩트를 제거하는 2차원 영상 추정기를 포함 할 수 있다.
- [0015] 상기 2차원 영상 보상부는 상기 1차원 영상 보상부로부터 복소 데이터를 갖는 상기 제2 자기 공명 영상을 인가받아 실수부와 허수부로 구분하여 상기 2차원 영상 추정기로 전송하는 복소 영상 분할기; 및 상기 2차원 영상 추정기에서 실수부와 허수부로 구분되어 출력되는 자기 공명 영상을 인가받아 결합하여 상기 자기 공명 영상을 출력하는 복소 영상 결합기; 를 더 포함할 수 있다.
- [0016] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 예에 따른 자기 공명 영상 재구성 방법은 언더샘플링된  $k$ -스페이스 영상이 인가되는 단계; 상기 언더샘플링된  $k$ -스페이스 영상을 기지정된 제1 방향에 따라 1차원의 라인 단위로 역푸리에 변환하여 다수의 1차원의 제1 자기 공명 영상을 재구성하고, 재구성된 다수의 1차원의 제1 자기 공명 영상을 재구축하여 2차원의 제1 자기 공명 영상을 재구성하는 단계; 및 지정된 패턴 추정 기법에 의해 미리 학습되어, 상기 2차원의 제1 자기 공명 영상을 인가받아 상기 제1 방향과 직교하는 제2 방향에 따라 1차원의 라인 단위로 보상하여, 제1 자기 공명 영상에서 누락된 데이터가 보상된 제2 자기 공명 영상을 재구성하는 단계; 를 포함한다.
- ### 발명의 효과
- [0017] 따라서, 본 발명의 자기 공명 영상 재구성 장치 및 방법은  $k$ -공간 영상으로부터 고화질의 자기 공명 영상을 고속으로 재구성할 수 있어, 자기 공명 영상 촬영 시간을 단축시키고, 촬영 비용을 저감할 수 있다. 또한 자기 공명 영상 재구성 장치의 학습 시간을 크게 단축시킬 수 있다.

## 도면의 간단한 설명

- [0018] 도1 은 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 공명 영상 재구성 장치의 개략적 구성을 나타낸다.
- 도2 는 도1 의 자기 공명 영상 재구성 장치가 자기 공명 영상을 획득하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.
- 도3 은 본 발명의 다른 실시예에 따른 자기 공명 영상 재구성 장치의 개략적 구성을 나타낸다.
- 도4 는 도3 의 자기 공명 영상 재구성 장치가 자기 공명 영상을 획득하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.
- 도5 는 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 공명 영상 재구성 방법을 나타낸다.
- 도6 내지 도9 는 자기 공명 영상 재구성 방법의 성능을 설명하기 위한 도면이다.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0019] 본 발명과 본 발명의 동작상의 이점 및 본 발명의 실시에 의하여 달성되는 목적을 충분히 이해하기 위해서는 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하는 첨부 도면 및 첨부 도면에 기재된 내용을 참조하여야만 한다.
- [0020] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명함으로써, 본 발명을 상세히 설명한다. 그러나, 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 설명하는 실시예에 한정되는 것이 아니다. 그리고, 본 발명을 명확하게 설명하기 위하여 설명과 관계없는 부분은 생략되며, 도면의 동일한 참조부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [0021] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라, 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈", "블록" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0022] 도1 은 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 공명 영상 재구성 장치의 개략적 구성을 나타내고, 도2 는 도1 의 자기 공명 영상 재구성 장치가 자기 공명 영상을 획득하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.
- [0023] 도1 을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 공명 영상 재구성 장치는 1차원 역푸리에 변환기(IFT), 라인 분할기(LDV), 1차원 영상 추정기(MLP) 및 영상 결합기(IMC)를 포함한다.
- [0024] 1차원 역푸리에 변환기(IFT)는 언더샘플링된 k-스페이스 영상(KSI)을 인가받아 1차원의 라인 단위로 역푸리에 변환하여 제1 자기 공명 영상을 획득한다.
- [0025] 여기서 언더샘플링된 k-스페이스 영상은 자기 공명 영상 촬영 장치에서 획득되어 자기 공명 영상 재구성 장치로 전송될 수 있다. 그리고 자기 공명 영상 재구성 장치는 자기 공명 영상 촬영 장치에 포함되어 자기 공명 영상 장치로 구성될 수 있다.
- [0026] 1차원 역푸리에 변환기(IFT)는 x축 방향 또는 y축 방향 중 지정된 제1 방향으로 라인 단위의 역푸리에 변환을 수행한다. 도2 에서는 (a)와 같이 x축 방향으로 1차원 역푸리에 변환을 수행하는 것을 일례로 도시하였으나, y축 방향으로 1차원 역푸리에 변환을 수행하여도 무방하다. 여기서 제1 방향은 k-스페이스 영상(KSI)이 인코딩된 방향과 동일한 방향으로 설정된다. 즉 1차원 역푸리에 변환기(IFT)는 k-스페이스 영상(KSI)의 주파수 인코딩 방향과 동일한 방향으로 1차원 역푸리에 변환을 수행한다.
- [0027] 1차원 역푸리에 변환기(IFT)에서 k-스페이스 영상(KSI)은 라인 단위로 역푸리에 변환되어 라인 단위의 1차원 자기 공명 영상으로 획득되고, 변환된 1차원 자기 공명 영상은 (b)에서와 같이 재결합되어 2차원의 제1 자기 공명 영상으로 획득된다.
- [0028] 여기서 k-스페이스 영상이 나이퀴스트 비율보다 낮은 샘플링 비율로 언더샘플링된 영상이므로, 2차원의 제1 자기 공명 영상에는 (b)에 도시된 바와 같이, 누락된 데이터(또는 미싱 데이터(Missing data))가 발생하여 누락된 라인 또는 영역이 발생한다.
- [0029] 따라서 제1 자기 공명 영상이 완전 샘플링된 자기 공명 영상과 유사하게 되도록 보완할 필요가 있다. 이에 라인 분할기(LDV)가 2차원의 제1 자기 공명 영상( $x_0$ )을 다시 1차원의 라인 단위로 분할한다. 이때 라인 분할기(LDV)는 1차원 역푸리에 변환기(IFT)가 라인 단위의 역푸리에 변환을 수행한 제1 방향과 직교하는 제2 방향으로 제1 자기 공명 영상을 라인 단위로 분할한다. 도2 에서는 (a)에서 x축 방향으로 1차원 역 푸리에 변환이 수행



되었으므로, 라인 분할기(LDV)는 (b)와 같이, y축 방향으로 제1 자기 공명 영상( $x_1$ )을 분할할 수 있다.

- [0030] 그리고 라인 분할기(LDV)는 제2 방향으로 분할된 1차원의 제1 자기 공명 영상을 1차원 영상 추정기(MLP)로 전송한다. 이때 라인 분할기(LDV)는 1차원의 제1 자기 공명 영상의 데이터를 실수부와 허수부로 구분하고, 구분된 제1 자기 공명 영상의 데이터를 도2의 (c)에 도시된 바와 같이, 실수부와 허수부를 별도의 입력으로 1차원 영상 추정기(MLP)로 전달할 수 있다.
- [0031] 1차원 영상 추정기(MLP)는 언더샘플링된 k-스페이스 영상이 1차원 역푸리에 변환된 제1 자기 공명 영상에서 누락된 영역을 추정한다.
- [0032] 1차원 영상 추정기(MLP)는 제2 방향으로 분할된 1차원의 제1 자기 공명 영상을 인가받고 미리 학습된 추론 방식에 따라 1차원 제1 자기 공명 영상에서 데이터가 누락된 부분의 데이터를 추론하여 보완한다.
- [0033] 여기서 1차원 영상 추정기(MLP)는 딥-러닝 알고리즘에 따라 미리 학습된 패턴 추정기로서, 다층 퍼셉트론(multi-layer perceptron) 기법에 의해 학습될 수 있다. 다층 퍼셉트론 기법은 신경망(neural network)을 모델링하는 인공신경망 모델링 기법 하나로 단층 퍼셉트론 기법이 해결하지 못하는 비선형 문제를 해결하기 위한 기법으로 잘 알려져 있다.
- [0034] 특히 본 실시예에서는 다층 퍼셉트론 알고리즘에 따라 학습되는 1차원 영상 추정기(MLP)가 제2 방향으로 분할된 1차원의 제1 자기 공명 영상을 인가받아 누락된 데이터를 추론 보완함으로써, 매우 고속으로 추론 보완이 가능하다.
- [0035] 일반적인 자기 공명 영상 재구성 장치는 언더샘플링된 2차원의 k-스페이스 영상을 인가받고, 2차원에서 그대로 역푸리에 변환을 수행한다. 그리고, 2차원 역푸리에 변환된 2차원 자기 공명 영상에서 누락된 데이터를 알려진 다양한 기법에 따라 추론한다. 2차원의 자기 공명 영상에서 누락된 데이터를 추론하는 것은 1차원의 자기 공명 영상에서 누락된 데이터를 추론하는 방식에 비해 상대적으로 다수의 데이터를 동시에 추론해야 하므로, 추론 과정이 매우 복잡해지게 되며, 이로 인해 추론 시간이 크게 증가하게 된다.
- [0036] 그에 비해 본 발명에서 1차원 영상 추정기(MLP)는 1차원의 라인 단위로 누락된 데이터를 추론하므로, 상대적으로 추론해야 하는 데이터의 양이 매우 적다. 따라서 추론 과정이 간소화됨에 따라 빠른 데이터 추론이 가능해진다.
- [0037] 뿐만 아니라, 영상 추정기를 학습시키는 방법은 완전 샘플링된 2차원의 k-스페이스 영상으로부터 획득된 완전한 2차원 자기 공명 영상을 기준 영상으로하여 언더샘플링된 2차원의 k-스페이스 영상으로부터 획득된 2차원 자기 공명 영상을 입력하여, 완전한 2차원 자기 공명 영상을 획득할 수 있도록 지도 학습(Supervised Learning)을 시키는 것이다. 이때, 영상 추정기가 요구되는 성능을 제공할 수 있도록 학습시키기 위해서는 다수(예를 들면 1000개)의 완전한 2차원 자기 공명 영상이 필요하다.
- [0038] 그러나 상기한 바와 같이, 완전 샘플링된 2차원의 k-스페이스 영상을 획득하는 것은 매우 오랜 촬영 시간을 필요로 하여, 시간적으로 비용적으로 매우 비효율적이다. 또한 영상 추정기가 2차원의 자기 공명 영상으로부터 완전한 2차원 자기 공명 영상으로 누락된 데이터를 추론해야 하는 과정이 복잡해짐에 따라, 영상 추정기의 학습 시간이 매우 증가하게 된다.
- [0039] 반면, 도1에 도시된 1차원 영상 추정기(MLP)는 라인 단위로 데이터를 추론하도록 구성됨에 따라 라인 단위의 학습이 가능하다. 일례로, 2차원 자기 공명 영상이 100X100의 해상도를 갖는 경우, 1차원 영상 추정기(MLP)는 하나의 2차원 자기 공명 영상으로부터 100개의 학습 데이터를 획득할 수 있다. 이는 학습을 위해 요구되는 기준 영상의 개수를 크게 줄일 수 있음(예를 들면 1/100 수준)을 의미한다. 또한 라인 단위 학습을 수행함에 따라 데이터 추론 과정이 간소하여 학습 시간을 크게 줄일 수 있다.
- [0040] 즉 1차원 영상 추정기(MLP)가 1차원의 라인 단위로 제1 자기 공명 영상의 누락된 데이터를 추론하도록 구성됨에 따라, 1차원 영상 추정기(MLP)의 학습 속도를 크게 줄일 수 있다.
- [0041] 여기서 1차원 영상 추정기(MLP)가 제1 자기 공명 영상의 누락 데이터를 제2 방향의 1차원 라인 단위로 추론할 수 있는 것은 제2 방향이 1차원 역푸리에 변환기(IFT)가 역푸리에 변환을 수행하는 제1 방향과 직교하여, 제2 방향의 각 라인 별로 서로 상관관계가 없기 때문이다.
- [0042] 만일 1차원 영상 추정기(MLP)가 제1 자기 공명 영상의 누락 데이터를 1차원 역푸리에 변환기(IFT)와 동일하게 제1 방향의 라인 단위로 추론하는 경우, 각각 라인은 독립적이지 않고, 인접한 라인과 상관관계를 갖고 있어,



추론된 데이터에 오차가 크게 나타날 수 있다. 즉 부정확한 데이터가 보완될 수 있다. 따라서, 1차원 영상 추정기(MLP)는 1차원 역푸리에 변환기(IFT)가 역푸리에 변환을 수행하는 제1 방향과 직교하는 제2 방향으로 데이터를 추론한다.

[0043] 한편, 영상 결합기(IMC)는 1차원 영상 추정기(MLP)에서 데이터가 보완된 1차원 자기 공명 영상을 결합하여, 다시 2차원의 자기 공명 영상으로 재구성한다.

[0044] 여기서 재구성된 2차원의 자기 공명 영상은 제1 자기 공명 영상에서 누락된 데이터가 보완된 영상이므로, 도1의 자기 공명 영상 재구성 장치는 고화질의 자기 공명 영상을 고속으로 획득할 수 있다.

[0045] 이하에서는 도1 및 도2에 도시된 자기 공명 영상 재구성 장치의 동작을 수학적 식을 기반으로 설명한다.

[0046] 언더샘플링되지 않은 완전 샘플링된 2차원의 k-스페이스 영상이 복소(Complex) 데이터 값을 갖는  $y$ 라 할 때, 2

차원의 k-스페이스 영상( $y$ )은  $y \in \mathbb{C}^{n_{kx} \times n_{ky}}$ 로 표현될 수 있다. 여기서  $n_{kx}$  및  $n_{ky}$ 는 각각 k-스페이스에서의 다수의 수평 픽셀과 수직 픽셀을 나타낸다.

[0047] 그러나 언더샘플링된 2차원의 k-스페이스 영상(KSI)( $y_u$ )은 누락된 데이터가 존재하고, 이는 수학적 식 1에서와 같이 완전한 2차원의 k-스페이스 영상(KSI)( $y$ )에 바이너리 언더샘플링 마스크(binary undersampling mask)( $U \in \mathbb{R}^{n_{kx} \times n_{ky}}$ )가 곱해져 누락 데이터가 발생된 k-스페이스 영상(KSI)으로 고려될 수 있으며, 이는 수학적 식 1과 같이 표현될 수 있다.

### 수학적 식 1

$$y_u = U \circ y = U \circ \mathcal{F}_{2D}(x) = y_{u,r} + iy_{u,i}$$

[0048]

[0049] 수학적 식 1에서  $\circ$ 는 요소별 곱셈(element-wise multiplication)을 나타내고,  $\mathcal{F}_{2D}$ 는 2차원 푸리에 변환 함수를 나타내며,  $y_{u,r} \in \mathbb{R}^{n_{kx} \times n_{ky}}$  및  $y_{u,i} \in \mathbb{R}^{n_{kx} \times n_{ky}}$ 는 각각 언더샘플링된 2차원의 k-스페이스 영상(KSI)( $y_u$ )의 실수 채널 및 허수 채널을 나타낸다. 그리고  $x \in \mathbb{C}^{n_x \times n_y}$ 는 완전 샘플링된 2차원의 k-스페이스 영상(KSI)( $y$ )를 역푸리에 변환한 자기 공명 영상(MSI)을 나타내며, 결과적으로 자기 공명 영상 재구성 장치가 획득해야 하는 영상을 의미한다.

[0050] 여기서 2차원 푸리에 변환( $\mathcal{F}_{2D}$ ) 함수가 적용된 것은 자기 공명 영상 촬영 장치가 공간 주파수 도메인의 k-스페이스 영상을 획득하기 때문이다.

[0051] 한편, 기존의 자기 공명 영상 재구성 장치는 언더샘플링된 2차원의 k-스페이스 영상(KSI)을 2차원 역푸리에 변환하여 자기 공명 영상을 획득한다. 수학적 식 1로부터 언더샘플링된 2차원의 k-스페이스 영상(KSI)( $y_u$ )을 역푸리에 변환하여 획득되는 언더샘플링된 자기 공명 영상(MSI)( $x_u$ )은 수학적 식 2와 같이 나타난다.

### 수학적 식 2

$$x_u = \mathcal{F}_{2D}^{-1}(y_u) = x_{u,r} + ix_{u,i}$$

[0052]

[0053] 수학적 식 2에서  $\mathcal{F}_{2D}^{-1}$ 는 2차원 역푸리에 변환 함수를 나타내고,  $x_{u,r}$  및  $x_{u,i}$ 는 각각 언더샘플링된 자기 공명 영상(MSI)( $x_u$ )의 실수 채널 및 허수 채널을 나타낸다.

[0054] 수학적 식 2에서와 같이, 기존의 자기 공명 영상 재구성 장치는 언더샘플링된 2차원의 k-스페이스 영상(KSI)( $y_u$ )으

로부터는 언더샘플링된 2차원의 제1 자기 공명 영상(MSI)( $x_u$ )을 획득한다.

[0055] 그에 반해, 도1 의 1차원 역푸리에 변환기(IFT)는 기존의 자기 공명 영상 재구성 장치와 달리 수학식 3과 같이 언더샘플링된 2차원의 k-스페이스 영상(KSI)( $y_u$ )을 1차원 역푸리에 변환하여 1차원의 제1 자기 공명 영상( $z_u$ )( $\mathbf{z}_u \in \mathbb{C}^{n_x \times n_y}$ )을 획득한다.

### 수학식 3

[0056] 
$$\mathbf{z}_u = \mathcal{F}_{1D}^{-1}(\mathbf{y}_u)$$

[0057] 수학식 3에서  $\mathcal{F}_{1D}^{-1}$  는 1차원 역푸리에 변환 함수를 나타낸다.

[0058] 그리고 수학식 4는 1차원 영상 추정기(MLP)의 파라미터를 최적화하는 목적 함수( $\Theta_{MLP}$ )를 획득하기 위한 수학식을 나타낸다.

### 수학식 4

[0059] 
$$\underset{\Theta_{MLP}}{\operatorname{argmin}} \|\mathbf{x} - H_{MLP}(\mathbf{z}_u; \Theta_{MLP})\|_2^2$$

[0060] 여기서  $H_{MLP}$ 는 언더샘플링된 1차원의 제1 자기 공명 영상으로부터 1차원 영상 추정기(MLP)에 의해 완전 샘플링된 1차원의 제1 자기 공명 영상인 기준 영상을 추정하도록 하는 가설함수를 나타내고,  $\|\cdot\|_2$ 는 l2-norm 함수를 의미하며, argmin은 최소값 함수로서, l2-norm 함수값의 제곱이 최소가 되도록 하는 목적 함수( $\Theta_{MLP}$ )를 획득하도록 한다.

[0061] 상기에서 1차원 영상 추정기(MLP)가 x축 방향인 제1 방향으로 1차원 역푸리에 변환된 제1 자기 공명 영상( $z_u$ )을 y축 방향인 제2 방향으로 1차원 라인 단위로 데이터 보완하는 것으로 설명하였고, 제2 방향으로의 각 라인은 서로 상관관계가 없으므로, 1차원 영상 추정기(MLP)는 완전 샘플링된 자기 공명 영상(MSI)( $x$ )의 대응하는 라인을 이용하여 학습될 수 있다.

[0062] 1차원 영상 추정기(MLP)는 언더샘플링된 자기 공명 영상(MSI)( $x_u$ )의 특정 라인에서 완전 샘플링된 자기 공명 영상(MSI)( $x$ )의 대응하는 라인을 수학식 5 와 같이 추론하도록 학습될 수 있다.

### 수학식 5

[0063] 
$$\hat{\mathbf{X}}_{MLP}(\mathbf{x}) = \mathbf{w}_{NFL}(\dots \sigma(\mathbf{w}_2 \sigma(\mathbf{w}_1 \mathbf{Z}_u(\mathbf{x}) + \mathbf{b}_1) + \mathbf{b}_2) \dots) + \mathbf{b}_{NFL}$$

[0064] 수학식 5에서  $\hat{\mathbf{X}}_{MLP}(\mathbf{x}) = [\hat{\mathbf{x}}_{MLP}(\mathbf{x}, 1), \hat{\mathbf{x}}_{MLP}(\mathbf{x}, 2), \dots, \hat{\mathbf{x}}_{MLP}(\mathbf{x}, y)]^T \in \mathbb{C}^{1 \times n_y}$  이고,  $\mathbf{Z}_u(\mathbf{x}) = [\mathbf{z}_u(\mathbf{x}, 1), \mathbf{z}_u(\mathbf{x}, 2), \dots, \mathbf{z}_u(\mathbf{x}, n_{ky})]^T \in \mathbb{C}^{1 \times n_{ky}}$  이다.

[0065] 그리고 ( $x$ ,  $y$ )는 각각 1차원 영상 추정기(MLP)에 의해 보완된 자기 공명 영상(MSI)( $\hat{\mathbf{X}}_{MLP}(\mathbf{x})$ )의  $x$ ,  $y$ 축 방향 좌표를 나타내고,  $w_n$  및  $b_n$  은 각각 가중치 행렬 및 바이어스 행렬을 나타낸다. 그리고  $\sigma$ 는 활성화 함수를 나타내고, NFL은 1차원 영상 추정기(MLP)의 전체 연결층(fully-connected layers) 개수를 나타낸다.

[0066] 다층 퍼셉트론으로 학습되는 1차원 영상 추정기(MLP)의 손실( $L_{MLP}$ )은 라인별 완전 샘플링된 1차 자기 공명 영상(MSI)( $Z(x)$ )과 1차원 영상 추정기(MLP)에 라인별 완전 샘플링된 1차 자기 공명 영상(MSI)( $Z(x)$ )의 추론 결과 ( $H_{MLP}(Z_u(x); \theta_{MLP}) = \hat{X}_{MLP}(x)$ ) 사이의 평균 제곱 오차로 정의되며 수학식 6으로 계산될 수 있다.

### 수학식 6

[0067]

$$L_{MLP}(\theta_{MLP}) = \frac{1}{2M} \sum_{m=1}^M \|x(x_m) - H_{MLP}(Z_u(x_m); \theta_{MLP})\|_2^2$$

[0068]

여기서  $\theta_{MLP} = \{(w_1, b_1), (w_2, b_2), \dots, (w_{NFL}, b_{NFL})\}$  이고,  $x(x_m)$  및  $Z_u(x_m)$ 은 각각 완전 샘플링된 제1 자기 공명 이미지와 언더 샘플링된 제1 자기 공명 이미지의 m번째 제2 방향 라인을 의미하며, M은 전체 제2 방향 라인 수를 의미한다.

[0069]

최종적으로, 1차원 영상 추정기(MLP)가 1차원의 제1 자기 공명 영상( $z_u$ )들로부터 2차원의 완전 샘플링된 자기 공명 영상( $x$ )를 추정하는 가설 함수( $H_{MLP}$ )의 가중치 행렬 및 바이어스 행렬은 수학식 7과 같이 표현될 수 있다.

### 수학식 7

[0070]

$$H_{MLP}(z_u; \theta_{MLP}) = \hat{x}_{MLP} = W_{NFL}(\dots \sigma(W_2 \sigma(W_1 z_u + B_1) + B_2) \dots) + B_{NFL}$$

[0071]

여기서  $\theta_{MLP} = \{(W_1, B_1), (W_2, B_2), \dots, (W_{NFL}, B_{NFL})\}$  이고,  $W_n = 1w_n, B_n = 1b_n, 1 = [1, 1, \dots, 1]^T \in \mathbb{R}^{1 \times n_{ky}}$  이다.

[0072]

도3 은 본 발명의 다른 실시예에 따른 자기 공명 영상 재구성 장치의 개략적 구성을 나타내고, 도4 는 도3 의 자기 공명 영상 재구성 장치가 자기 공명 영상을 획득하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.

[0073]

도3 의 자기 공명 영상 재구성 장치는 1차원 역푸리에 변환기(IFT), 1차원 보상부(1D CPS) 및 2차원 보상부(2D CPS)를 포함한다. 여기서 1차원 역푸리에 변환기(IFT) 및 1차원 보상부(1D CPS)의 라인 분할기(LDV), 1차원 영상 추정기(MLP) 및 영상 결합부(IMV)는 도1 과 동일하다. 따라서 도4 에서 (a) 내지 (d)의 동작도 도2 의 (a) 내지 (d)와 동일하며, 여기서는 상세하게 설명하지 않는다.

[0074]

그러나 도3 의 자기 공명 영상 재구성 장치는 2차원 보상부(2D CPS)를 더 포함하고, 2차원 보상부(2D CPS)는 복소 영상 분할기(CID), 2차원 영상 추정기(CNN) 및 복소 영상 결합기(CIC)를 포함한다.

[0075]

도1 에 도시된 바와 같이, 자기 공명 영상 재구성 장치가 1차원 역푸리에 변환기(IFT) 및 1차원 보상부(1D CPS)를 포함하여 2차원의 자기 공명 영상을 재구성하는 경우, 재구성된 자기 공명 영상에 아티팩트가 남을 수 있다. 이에 도3 에서는 1차원 보상부(1D CPS)에서 출력되는 2차원의 자기 공명 영상에서 아티팩트를 제거하기 위해 2차원 보상부(2D CPS)를 추가로 포함한다.

[0076]

이하에서 1차원 보상부(1D CPS)에서 출력되는 2차원의 자기 공명 영상을 제2 자기 공명 영상이라 한다. 즉 2차원 보상부(2D CPS)는 1차원 보상부(1D CPS)에서 출력되는 제2 자기 공명 영상을 인가받아 보상을 수행함으로써 아티팩트를 제거한다.

[0077]

2차원 보상부(2D CPS)의 복소 영상 분할기(CID)는 도4 의 (e)에 도시된 바와 같이, 복소 데이터로 구성된 2차원의 제2 자기 공명 영상에서 실수부와 허수부를 구분하여 2차원 영상 추정기(CNN)로 전송할 수 있다. 여기서 복소 영상 분할기(CID)는 제2 자기 공명 영상의 실수부와 허수부 각각에서 특징 정보를 추출하여 구분하여 2차원 영상 추정기(CNN)로 전송할 수 있다.

[0078]

그리고 2차원 영상 추정기(CNN)는 1차원 영상 추정기(MLP)와 유사하게 딥-러닝 알고리즘에 따라 미리 학습된 패턴 추정기로 구현될 수 있으나, 1차원 영상 추정기(MLP)와 달리 컨볼루션 신경망(convolutional neural

network) 기법에 의해 학습될 수 있다.

[0079] 2차원 영상 추정기(CNN)는 도4 의 (f)에 도시된 바와 같이, 2차원 영상인 제2 자기 공명 영상을 보상하여 제2 자기 공명 영상의 데이터의 충실도를 보상한다. 이때 2차원 영상 추정기(CNN)는 제2 자기 공명 영상의 실수부와 허수부가 구분되어 인가되므로, 실수부와 허수부에 대해 개별적으로 보상할 수 있다. 그리고 실수부와 허수부로 구분되어 보상된 제2 자기 공명 영상을 복소 영상 결합기(CIC)로 전송한다.

[0080] 복소 영상 결합기(CIC)는 도4 의 (g)에 도시된 바와 같이, 2차원 영상 추정기(CNN)로부터 보상된 제2 자기 공명 영상의 실수부와 허수부를 인가받아 결합하여, 보상이 완료된 고화질의 자기 공명 영상을 재구성한다.

[0081] 이하에서는 도3 및 도4 에 도시된 자기 공명 영상 재구성 장치의 동작을 수학적식을 기반으로 설명한다.

[0082] 도3 의 자기 공명 영상 재구성 장치는 1차원 보상부(1D CPS) 뿐만 아니라 2차원 보상부(2D CPS)를 더 포함하므로, 수학식 4로부터 2차원 보상부(2D CPS)의 2차원 영상 추정기(CNN)의 파라미터를 최적화하는 목적 함수( $\Theta_{CNN}$ )를 획득하기 위한 수학적식은 수학식 8과 같이 표현될 수 있다.

### 수학식 8

$$\underset{\Theta_{CNN}}{\operatorname{argmin}} \| \mathbf{x} - H_{CNN}(\hat{\mathbf{x}}_{MLP}; \Theta_{CNN}) \|_2^2 + \lambda \| \mathbf{y}_u - \mathbf{U} \circ \mathcal{F}_{2D}(H_{CNN}(\hat{\mathbf{x}}_{MLP}; \Theta_{CNN})) \|_2^2$$

[0083]

[0084] 여기서  $H_{CNN}$ 은 1차원 보상부(1D CPS)에서 재구성된 제2 자기 공명 영상으로부터 2차원 영상 추정기(CNN)에 의해 완전 샘플링된 2차원의 제3 자기 공명 영상인 기준 영상을 추정하도록 하는 가설함수를 나타내고,  $\hat{\mathbf{x}}_{MLP} = H_{MLP}(\mathbf{z}_u; \Theta_{MLP})$ 이다. 그리고  $\lambda$ 는 데이터 충실도에 대한 정규화 파라미터이다.

[0085] 수학식 4 및 수학식 8로부터 도3 의 자기 공명 영상 재구성 장치 전체의 최적화를 위한 목적 함수( $\Theta_{MLP}$ ,  $\Theta_{CNN}$ )는 수학식 9에 따라 획득될 수 있다.

### 수학식 9

$$\underset{\Theta_{MLP}, \Theta_{CNN}}{\operatorname{argmin}} \| \mathbf{x} - H_{CNN}(H_{MLP}(\mathcal{F}_{1D}^{-1}(\mathbf{y}_u); \Theta_{MLP}); \Theta_{CNN}) \|_2^2 + \lambda \| \mathbf{y} - \mathbf{U} \circ \mathcal{F}_{2D}(H_{CNN}(H_{MLP}(\mathcal{F}_{1D}^{-1}(\mathbf{k}_u); \Theta_{MLP}); \Theta_{CNN})) \|_2^2$$

[0086]

[0087] 한편, 2차원 영상 추정기(CNN)가 제2 자기 공명 영상들로부터 완전 샘플링된 자기 공명 영상을 추정하는 가설 함수( $H_{CNN}$ )의 가중치 행렬 및 바이어스 행렬은 수학식 10과 같이 표현될 수 있다.

### 수학식 10

$$H_{CNN}(\hat{\mathbf{x}}_{MLP}; \Theta_{CNN}) = \omega_{NCL} * (\dots \sigma(\omega_2 * \sigma(\omega_1 * \hat{\mathbf{x}}_{MLP} + \beta_1) + \beta_2) \dots) + \beta_{NCL}$$

[0088]

[0089] 여기서  $\Theta_{CNN} = \{(\omega_1, \beta_1), (\omega_2, \beta_2), \dots, (\omega_{NCL}, \beta_{NCL})\}$ 이고,  $\omega_n$  및  $\beta_n$ 은 각각 2차원 영상 추정기(CNN)의 컨볼루션 행렬 및 바이어스 행렬을 나타내고, NCL은 2차원 영상 추정기(CNN)의 컨볼루션 층의 개수를 나타낸다. 그리고 \*은 컨볼루션 연산자를 나타낸다.

[0090] 한편, 컨볼루션 신경망으로 학습되는 2차원 영상 추정기(CNN)에 의한 손실( $L_{CNN}$ )은 수학식 11과 같이 계산될 수 있다.

## 수학식 11

$$L_{\text{CNN}}(\Theta_{\text{CNN}}) = \frac{1}{2M} \sum_{m=1}^M \|\mathbf{x}_m - H_{\text{CNN}}(\hat{\mathbf{x}}_{\text{MLP},m}; \Theta_{\text{CNN}})\|_2^2$$

여기서  $\mathbf{x}_m$  및  $\hat{\mathbf{x}}_{\text{MLP},m}$ 은 각각 학습을 위해 준비된 전체 M개의 완전 샘플링된 자기 공명 영상 중 m번째 영상과 이에 대한 추정 영상을 나타낸다.

도3 에 도시된 자기 공명 영상 재구성 장치에서 출력되는 자기 공명 영상의 데이터 충실도를 고려하여, 수학식 12를 도출할 수 있다.

## 수학식 12

$$\hat{\mathbf{y}}_f(k_x, k_y) = \begin{cases} \frac{\hat{\mathbf{y}}_{\text{MLP}+\text{CNN}}(k_x, k_y) + \lambda \mathbf{y}_u(k_x, k_y)}{1 + \lambda} & \text{if } U(k_x, k_y) = 1 \\ \hat{\mathbf{y}}_{\text{MLP}+\text{CNN}}(k_x, k_y) & \text{if } U(k_x, k_y) = 0 \end{cases}$$

여기서  $\hat{\mathbf{y}}_{\text{MLP}+\text{CNN}} = \mathcal{F}_{2D}(\hat{\mathbf{x}}_{\text{MLP}+\text{CNN}}) = \mathcal{F}_{2D}(H_{\text{CNN}}(\hat{\mathbf{x}}_{\text{MLP}}; \Theta_{\text{CNN}}))$  이고,  $k_x$  및  $k_y$ 는 각각 k-스페이스의 x축 및 y축 좌표 나타낸다.

결과적으로, 최종해는  $\hat{\mathbf{y}}_f$ 의 역푸리에 변환에 의해  $\hat{\mathbf{x}}_f = \mathcal{F}_{2D}^{-1}(\hat{\mathbf{y}}_f)$ 로서 획득된다.

도5 는 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 공명 영상 재구성 방법을 나타낸다.

도1 내지 도4 를 참조하여, 본 실시예에 따른 자기 공명 영상 재구성 방법을 설명하면, 자기 공명 영상 재구성 장치는 우선 언더샘플링된 k-스페이스 영상(KSI)을 인가받아 제1 방향의 라인 단위로 역푸리에 변환하고, 재구성하여 2차원의 제1 자기 공명 영상을 획득한다(S10). 그리고 획득된 제1 자기 공명 영상을 제1 방향과 직교하는 제2 방향으로 라인 단위로 분할한다(S20).

제1 자기 공명 영상이 제2 방향으로 1차원의 라인 단위로 분할되면, 지정된 패턴 추정 기법에 따라 학습된 1차원 영상 추정기(MLP)가 분할된 제1 자기 공명 영상의 라인 각각에 대해 언더샘플링으로 인해 누락된 데이터를 추정하여 보상한다(S30). 이때, 1차원 영상 추정기는 다층 퍼셉트론 기법에 따라 학습될 수 있다. 그리고 각 라인 단위로 보상된 1차원의 제1 자기 공명 영상을 결합하여 2차원의 제2 자기 공명 영상을 재구성한다(S40).

한편 제2 자기 공명 영상에 존재할 수 있는 아티팩트를 제거하기 위해, 자기 공명 영상 재구성 장치는 1차원 영상 추정기의 패턴 추정 기법과 다른 지정된 패턴 추정 기법에 따라 학습된 2차원 영상 추정기(CNN)가 제2 자기 공명 영상에 대해 2차원 영상 보상을 수행하여 자기 공명 영상을 재구성한다(S50). 여기서 2차원 영상 추정기(CNN)는 컨볼루션 신경망 기법에 의해 학습될 수 있다. 그리고 2차원 영상 추정기(CNN)가 제2 자기 공명 영상을 보상하기 위해, 제2 자기 공명 영상을 실수부와 허수부로 구분하고, 2차원 영상 추정기(CNN)에 의해 보상된 제2 자기 공명 영상의 실수부와 허수부를 재구성하여 자기 공명 영상을 재구성할 수 있다. 그리고 재구성된 자기 공명 영상을 출력한다(S60).

도6 내지 도9 는 자기 공명 영상 재구성 방법의 성능을 설명하기 위한 도면이다.

도6 내지 도9 는 T<sub>2</sub>-FLAIR(T<sub>2</sub>-fluid attenuation inversion recovery MRI) 뇌의 실제 이미지를 이용한 자기 공명 영상 재구성 결과를 나타내며, 언더샘플링된 k-스페이스 영상은 완전 샘플링된 k-스페이스 영상을 서브 샘플링하여 획득하였으며, 언더샘플링되기 이전의 모든 자기 공명 영상의 최대 크기를 1로 정규화하였다. 이때 언더샘플링된 k-스페이스 영상의 샘플링 비율은 25%이다.

그리고 도6 내지 도9 에서는 본 실시예에 따른 자기 공명 영상 재구성 방법을 기존의 6가지 자기 공명 영상 재



구성 방법(zero-filling, CS-MRI, DL-MRI, CNN-CS(Wang's), PANO, FDLCP)과 비교하여 나타낸다.

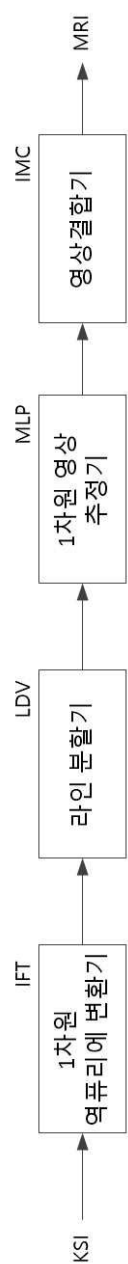
- [0104] 도6 에서 (a)는 완전 샘플링된  $T_2$ -FLAIR 자기 공명 영상을 나타내고, (b)는 샘플링 비율이 25%인 zero-filling 영상을 나타내며, (c)는 2차원 역푸리에 변환된 이미지에 대해 다층 퍼셉트론 학습된 1차원 영상 추정기(MLP)가 자기 공명 영상 재구성 장치가 보상한 영상을 나타내며, (d)는 도1 의 자기 공명 영상 재구성 장치가 재구성한 영상을 나타낸다. (c)와 (d)에서의 1차원 영상 추정기(MLP)는 동일하다.
- [0105] 그리고 도7 은 도6 의 (a) 내지 (d) 각각의 관심 영역(ROI)를 확대한 영상을 나타낸다.
- [0106] 도6 및 도7 에 도시된 바와 같이, 제안된 자기 공명 영상 재구성 방법에 따라 재구성된 자기 공명 영상은 2차원 역푸리에 변환된 이미지에 대해 2차원 보상을 수행한 경우보다 세부까지 명확한 이미지로 나타나며 앨리어싱 아티팩트가 감소되었음을 알 수 있다.
- [0107] 한편, 도8 에서 (a)는 완전 샘플링된  $T_2$ -FLAIR 자기 공명 영상을 나타내고, (b)는 샘플링 비율이 25%인 zero-filling 영상을 나타내며, (c)는 CS-MRI, (d)는 DL-MRI, (e)는 CNN-CS(Wang's), (f)는 PANO, (g)는 FDLCP로 재구성된 자기 공명 영상을 나타낸다. 그리고 (h)는 도3 의 자기 공명 영상 재구성 장치에 의해 재구성된 자기 공명 영상을 나타낸다.
- [0108] 도9 는 도8 의 자기 공명 영상의 관심 영역(ROI)에 대한 확대 이미지이다.
- [0109] 도8 및 도9 를 참조하면, 본 실시예에 따른 자기 공명 영상 재구성 방법은 기존의 자기 공명 영상 재구성 방법에 비해 완전 샘플링된 자기 공명 영상에 가장 가까운 영상을 제공할 수 있음을 확인할 수 있다.
- [0110] 즉 언더샘플링 비율이 25% 수준으로 낮은 경우에도 완전 샘플링된 자기 공명 영상과 유사한 영상을 제공할 수 있으며, 이로 인해 자기 공명 영상 촬영 시간이 단축되더라도 고화질의 자기 공명 영상을 획득할 수 있다.
- [0111] 결과적으로 본 실시예에 따른 자기 공명 영상 재구성 장치 및 방법은 언더샘플링된 k-스페이스 영상으로부터 고화질의 자기 공명 영상을 고속으로 획득할 수 있다.
- [0112] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다.
- [0113] 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

### 부호의 설명

- [0114] KSI: k-스페이스 영상                      IFT: 1차원 역푸리에 변환기
- LDV: 라인 분할기                              MLP: 1차원 영상 추정기
- IMC: 영상 결합기                              MRI: 자기 공명 영상
- 1D CPS: 1차원 영상 보상부                      2D CPS: 2차원 영상 보상부
- CID: 복소 영상 분할기                      CNN: 2차원 영상 추정기
- CIC: 복소 영상 결합기

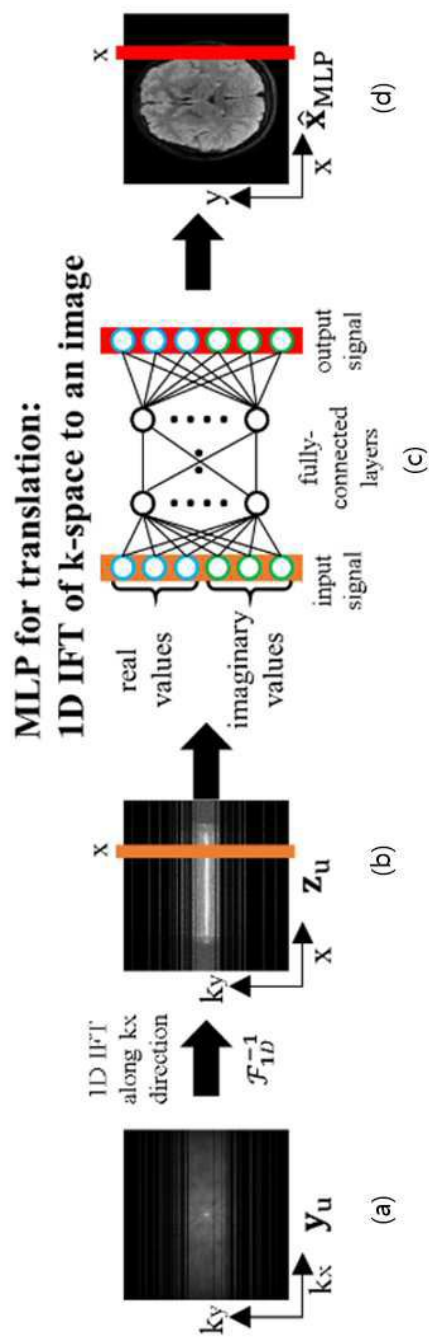
도면

도면1

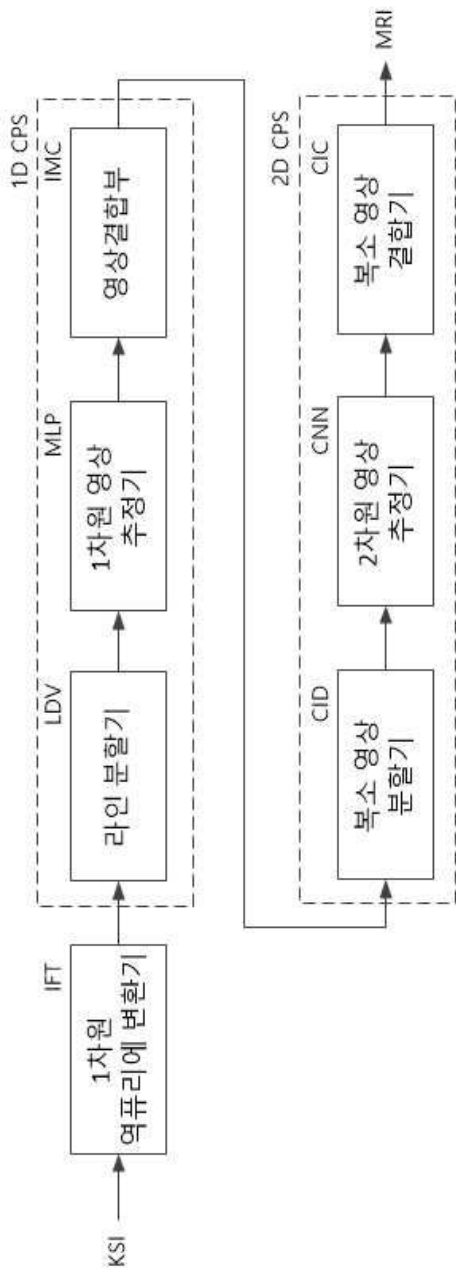




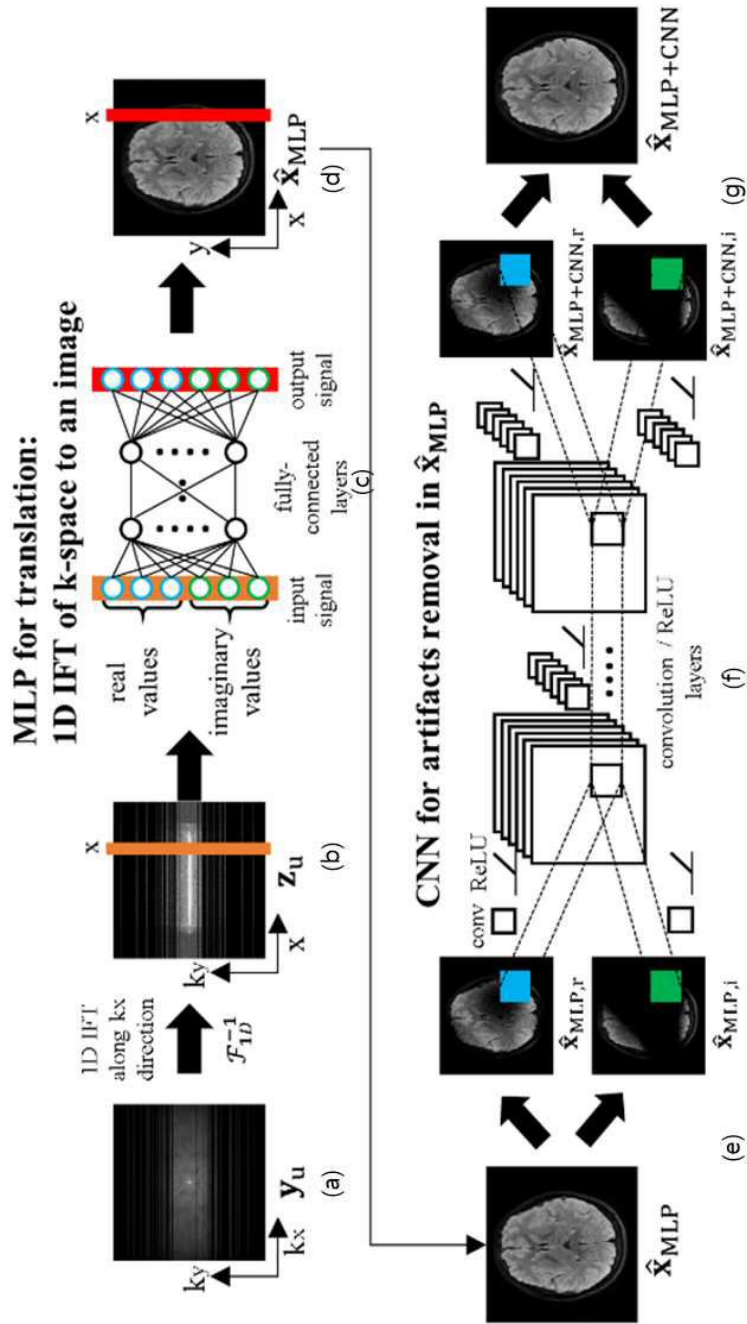
도면2



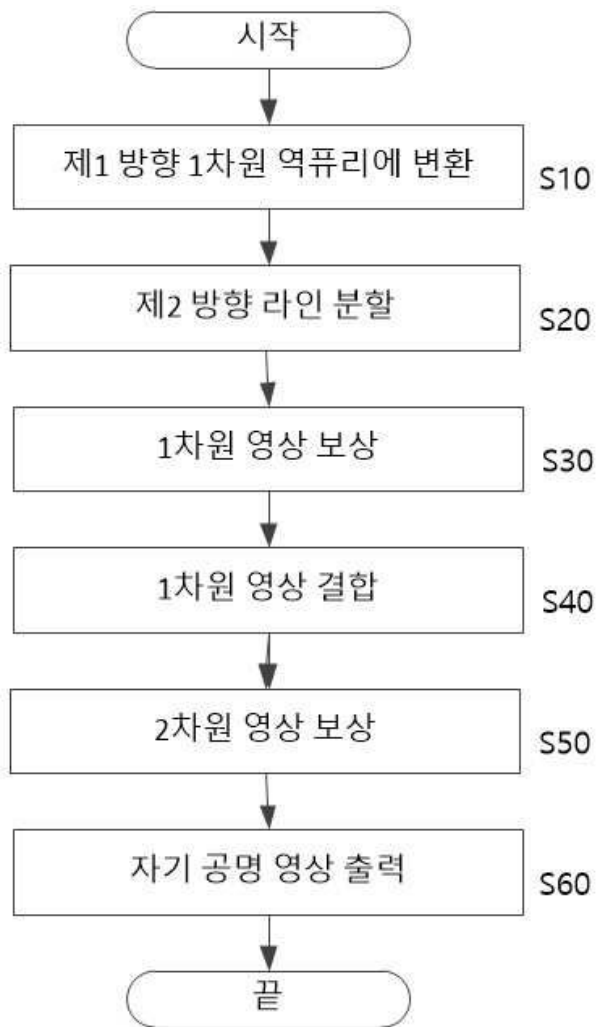
도면3



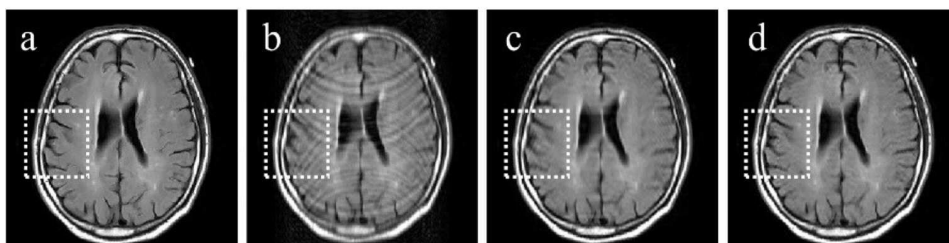
도면4



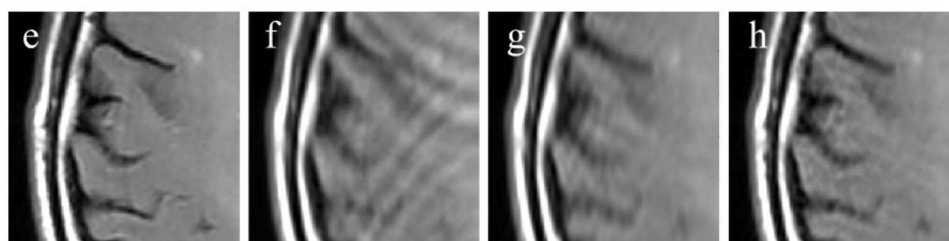
도면5



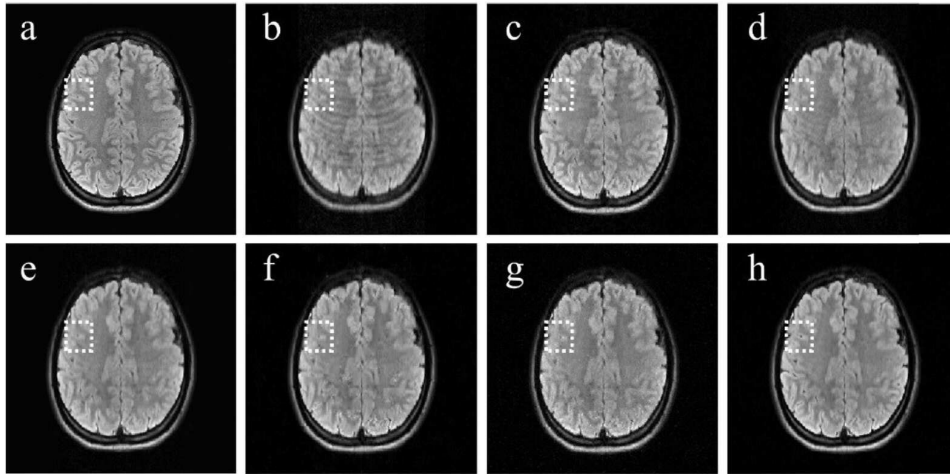
도면6



도면7



도면8



도면9

