



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0085386
(43) 공개일자 2013년07월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 5/055 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0006075
(22) 출원일자 2013년01월18일
심사청구일자 2013년01월18일
(30) 우선권주장
1020120006051 2012년01월19일 대한민국(KR)
(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가 1
(72) 발명자
박재석
서울특별시 성북구 석관동 래미안아파트 106-501
최상천
서울특별시 성북구 삼선동4가 코오롱아파트 105동 1403호
(74) 대리인
특허법인엠에이피에스

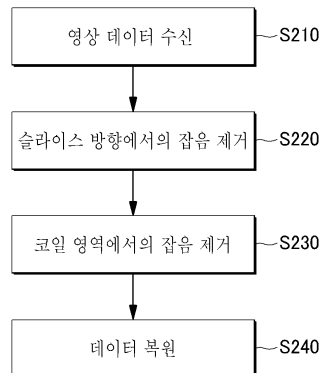
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 자기 공명 영상 처리 방법

(57) 요약

본 발명에 따른 자기 공명 영상 처리 방법은, 터보 스핀 에코 시퀀스의 인가에 따라 생성된 영상 데이터를 수신하는 단계; 상기 영상 데이터에 대하여 슬라이스 방향에서의 잡음과 코일 영역에서의 잡음을 제거하는 단계; 및 상기 잡음이 제거된 영상 데이터를 기초로 왜곡 프로파일을 복원하는 단계를 포함하되, 상기 잡음을 제거하는 단계는, 상기 영상 데이터를 정방 행렬 형태로 변환하는 단계; 상기 정방 행렬에 포함된 신호값과 0 값 중 0 값을 제거하고, 나머지 신호값을 상기 정방 행렬의 중앙 또는 일측 영역으로 배치시킨 치환 행렬을 생성하는 단계 및 상기 치환 행렬에 대하여 고유값 분해를 통해 저계수 근사법을 적용하여 잡음을 제거하는 단계를 통해 상기 슬라이스 방향에서의 잡음을 제거한다.

대 표 도 - 도2



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20110016116

부처명 교육과학기술부

연구사업명 중견연구자지원_핵심연구

연구과제명 뇌암 저산소율 및 pH의 정량적 자기공명영상 지도화

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2011.05.01 ~ 2012.04.30

특허청구의 범위

청구항 1

자기 공명 영상 처리 방법에 있어서,
터보 스핀 에코 시퀀스의 인가에 따라 생성된 영상 데이터를 수신하는 단계;
상기 영상 데이터에 대하여 슬라이스 방향에서의 잡음과 코일 영역에서의 잡음을 제거하는 단계; 및
상기 잡음이 제거된 영상 데이터를 기초로 왜곡 프로파일을 복원하는 단계를 포함하되,
상기 잡음을 제거하는 단계는,
상기 영상 데이터를 정방 행렬 형태로 변환하는 단계;
상기 정방 행렬에 포함된 신호값과 0 값 중 0 값을 제거하고, 나머지 신호값을 상기 정방 행렬의 중앙 또는 일측 영역으로 배치시켜 치환 행렬을 생성하는 단계; 및
상기 치환 행렬에 대하여 고유값 분해를 통한 저계수 근사법을 적용하여 잡음을 제거하는 단계를 통해 상기 슬라이스 방향에서의 잡음을 제거하는 자기 공명 영상 처리 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,
상기 영상 데이터를 수신하는 단계는,
RF 여기 펄스 인가 이후, 재초점 펄스를 연속적으로 복수회 인가하는 단계 및
상기 재초점 펄스의 인가 이후 스핀 에코 구간 동안 Z-위상 인코딩 및 독출 동작을 수행하는 단계를 포함하는 자기 공명 영상 처리 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,
상기 영상 데이터를 정방 행렬 형태로 변환하는 단계에 따라 생성된 정방 행렬의 행의 개수와 열의 개수는 상기 영상 데이터의 슬라이스 개수와 동일한 것인 자기 공명 영상 처리 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,
상기 치환 행렬을 생성하는 단계에 따라 생성된 치환 행렬의 행의 개수는 상기 영상 데이터의 슬라이스 개수와 동일하고, 상기 치환 행렬의 열의 개수는 Z-위상 인코딩을 수행한 횟수와 동일한 것인 자기 공명 영상 처리 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,
상기 치환 행렬을 생성하는 단계는 상기 정방 행렬의 측면 모서리 영역에 배치된 신호값을 상기 정방 행렬의 중앙으로 배치시키는 자기 공명 영상 처리 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,
상기 치환 행렬을 생성하는 단계는 상기 나머지 신호값을 상기 정방 행렬의 좌측 측면으로 배치시키는 자기 공명 영상 처리 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 잡음을 제거하는 단계는,

상기 영상 데이터에 대하여 산출한 코일 간 잡음 상관 매트릭스에 대하여 최고 선형 불편 추정치 방법(Best Linear Unbiased Estimator)을 적용하여 상기 코일영역에서의 잡음을 제거하는 자기 공명 영상 처리 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 왜곡 프로파일을 복원하는 단계는,

직교 매칭 추구 방법(Orthogonal Matching Pursuit)을 통해 왜곡 신호를 제거하여 상기 왜곡 프로파일을 복원하는 자기 공명 영상 처리 방법.

청구항 9

제 1 항 내지 제 8 항 중 어느 하나의 항에 기재된 방법을 수행하는 프로그램이 기록된 컴퓨터가 읽기 가능한 기록 매체.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 자기 공명 영상 처리 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 자기 공명 영상 처리 장치(MRI)는 전자파 에너지의 공급에 따른 공명현상을 이용하여 환자의 특정부위에 대한 단층 이미지를 획득하는 장치이다. 이러한 자기 공명 영상 처리 장치는 X선 촬영장치나 컴퓨터 단층촬영장치(CT, computed tomography)등에서 발생하는 방사선 피폭 문제가 없고, 단층 이미지를 비교적 용이하게 얻을 수 있어 널리 사용되고 있다. 다만, 자기장을 이용하기 때문에, 환자의 몸에 부착된 금속물질(예를 들면, 임플란트용 금속, 골절 치료등을 위한 철심)에 의하여 아티팩트(artifact)가 발생하는 문제가 있다.

[0003] 이러한 아티팩트를 제거하기 위한 방법으로서, 최근 SEMAC(slice Encoding for Metal Artifact Correction)이라는 영상처리방법이 소개된바 있다.

[0004] 도 1은 통상적인 SEMAC 영상 처리 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[0005] SEMAC 영상 처리 방법은 시야각 틸팅(VAT:view angle tilting) 스핀 에코 시퀀스에 기초한 것으로, 여기된 각각의 슬라이스에 대하여 Z-위상 인코딩(Z-phase encoding) 단계를 적용하여 메탈 아티팩트를 보정한다. 이때, Z-위상 인코딩 단계는 왜곡된 프로파일을 분해한다. 즉, 금속으로 인하여 왜곡된 프로파일을 슬라이스 방향으로 확장함에 따라 추가된 3차원 데이터를 획득한 후, 각각의 슬라이스에 대해 동일한 방법을 적용하고, 그 영상들을 조합함으로써 금속으로 인한 아티팩트를 보정한다. 예를 들면, 도 1에 도시된 바와 같은 시퀀스를 통해, 메탈 아티팩트를 보정하는 것을 주요 구성으로 한다. 일반적으로, 메탈에 의하여 야기되는 왜곡은 인플레인(inplane) 왜곡과 관통(through) 왜곡으로 분류될 수 있으며, 인플레인 왜곡은 VAT 스핀 에코 시퀀스에 의하여 억제될 수 있다. 그러나, 관통 왜곡은 복수의 데이터를 결합한 상태에서의 보정을 수행해야 하는데, SEMAC 시퀀스를 이용하여 복원한 영상은 신호대잡음비(SNR)가 좋지 않다는 문제점이 있다.

[0006] 한편, 본 발명의 기술과 관련성이 있는 것으로, 일본공개특허 제2009-519086호(참조 센서의 모듈러 어레이를 사용한 금속 아티팩트 보상을 위한 전자적 추적 방법 및 장치)는 참조 센서의 모듈러-어레이를 사용한 금속 아티팩트 보상을 위한 전자적 추적의 방법 및 장치를 개시한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 전술한 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 본 발명의 일부 실시예는 금속 아티팩트 보상 성능을 개선한 자기 공명 영상 처리 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0008] 상술한 기술적 과제를 달성하기 위한 기술적 수단으로서, 본 발명에 따른 자기 공명 영상 처리 방법은, 터보 스핀 에코 시퀀스의 인가에 따라 생성된 영상 데이터를 수신하는 단계; 상기 영상 데이터에 대하여 슬라이스 방향에서의 잡음과 코일 영역에서의 잡음을 제거하는 단계; 및 상기 잡음이 제거된 영상 데이터를 기초로 왜곡 프로파일을 복원하는 단계를 포함하되, 상기 잡음을 제거하는 단계는, 상기 영상 데이터를 정방 행렬 형태로 변환하는 단계; 상기 정방 행렬에 포함된 신호값과 0 값 중 0 값을 제거하고, 나머지 신호값을 상기 정방 행렬의 중앙 또는 일측 영역으로 배치시켜 치환 행렬을 생성하는 단계 및 상기 치환 행렬에 대하여 고유값 분해를 통해 저계수 근사법을 적용하여 잡음을 제거하는 단계를 통해 상기 슬라이스 방향에서의 잡음을 제거한다.

발명의 효과

[0009] 전술한 본 발명의 과제 해결 수단에 의하면, 슬라이스 방향에서의 잡음과 코일 영역에서의 잡음을 효과적으로 모델링하여, 각 슬라이스 방향에서의 고유값 분해를 통해 최적 수준의 고유값을 구함으로써 영상 복원시 나타나는 잡음의 효과를 최대한 감소시킬 수 있다. 또한, 코일 영역에서는 코일 정보맵과 잡음 상관 매트릭스를 사용하여 각 코일의 잡음을 제거할 수 있다. 이러한 모델링을 통해 기존의 SEMAC 시퀀스를 사용한 처리 방법에 비하여 향상된 신호대잡음비를 가진 영상을 복원할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0010] 도 1은 통상적인 SEMAC 영상 처리 방법을 설명하기 위한 도면이다.
 도 2는 본원 발명의 일 실시예에 따른 자기 공명 영상 처리 방법을 도시한 순서도이다.
 도 3은 본원 발명의 일 실시예에 따른 자기 공명 영상 처리 방법에 사용되는 TSEMAC 시퀀스를 설명하기 위한 도면이다.
 도 4는 본원 발명의 일 실시예에 따른 자기 공명 영상 처리 방법을 설명하기 위한 도면이다.
 도 5는 본원 발명의 일 실시예에 따른 자기 공명 영상 처리 방법 중 저계수 근사법을 설명하기 위한 도면이다.
 도 6은 본원 발명의 다른 실시예에 따른 자기 공명 영상 처리 방법 중 저계수 근사법을 설명하기 위한 도면이다.
 도 7은 본원 발명의 다른 실시예에 따른 자기 공명 영상 처리 방법을 도시한 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0012] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한 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.

[0013] 도 2는 본원 발명의 일 실시예에 따른 자기 공명 영상 처리 방법을 도시한 순서도이다.

[0014] 먼저, 터보스핀에코(Turbo Spin Echo)시퀀스와 SEMAC 시퀀스를 조합한 시퀀스를 이용하여 자기 공명 영상 처리 장치로부터 영상 데이터를 수신한다(S210).

[0015] 터보스핀에코 시퀀스는 RF 여기 펄스의 인가 이후에 재초점 펄스를 연속적으로 복수회 인가하는 시퀀스를 의미한다. 도면을 참조하여 상세히 살펴보기로 한다.

[0016] 도 3은 본원 발명의 일 실시예에 따른 자기 공명 영상 처리 방법에 사용되는 TSEMAC 시퀀스를 설명하기 위한 도

면이다.

[0017] TSEMAC 시퀀스는 시간 효율성을 향상시키기 위한 것으로, 종래 SEMAC 시퀀스를 이용한 영상처리 방법의 문제점을 해소하기 위한 것이다. 즉, SEMAC 시퀀스는 추가적인 Z-위상 인코딩 단계를 수행하기 때문에 스캔 타임이 증가하는 문제가 있으며, 시간 효율성을 향상시킬 필요가 있었다.

[0018] RF 여기 펄스(310)의 인가 이후에 재초점(refocus) 펄스(312, 314)를 연속적으로 복수회 인가하여, 복수의 스핀 에코 구간을 형성시킨다. 각 스핀 에코 구간은 공간적으로 인코딩되므로, 여기 펄스 인가 후에 복수의 K 공간 라인들이 샘플링될 수 있다. 이에 따라, 전체 영상 처리에 소요되는 시간이 감소될 수 있다.

[0019] 한편, 스핀 에코 구간 동안 Z-위상 인코딩(Z-phase encoding) 단계를 수행하는데, 이를 통해 왜곡된 프로파일을 분해하게 된다. 독출 구간(read out) 및 z-위상 인코딩 단계에서 측정된 K 공간 신호 $S_n(k_x, k_s, k_{zn})$ 는 하기 수학식에 따라 정의된다.

[0020] [수학식 1]

$$S_n(k_x, k_s, k_{zn}) = \int_z \int_x dx dz \rho_e(x, z) C(x, z) \exp[-i(k_x x + k_s z + 2\pi \Delta f(x, z) t_x)] \times \exp(-ik_{zn} z).$$

[0021]

[0022] 이때, $k_x = \gamma G_x t_x$, $k_s = \gamma G_s t_s$, $k_{zn} = n\gamma G_{z,n} T_z z$ 와 같은 관계식을 갖게 되며, γ 는 자기 회전비를 나타내고, G_x 는 독출 구간의 크기, G_s 는 VAT 보상 그라디언트의 크기, t_x 는 독출구간에서 소모된 시간, t_s 는 VAT 보상 구간에서 소모된 시간을 나타낸다.

[0023] 다시, 도 2를 살펴보면, 수신한 영상 데이터에 대하여 슬라이스 방향(slice direction)에서의 잡음을 제거하는 동작을 수행한다(S220). 이때, 시간 공간 데이터의 특성을 잘 반영하기 위하여 매트릭스 구조를 변환한 후, 고유값 분해를 통해 저계수 근사법(Low Rank Approximation)을 사용한다.

[0024] 도면을 참조하여 더욱 상세히 살펴보기로 한다.

[0025] 도 4는 본원 발명의 일 실시예에 따른 자기 공명 영상 처리 방법을 설명하기 위한 도면이고, 도 5는 본원 발명의 일 실시예에 따른 자기 공명 영상 처리 방법 중 저계수 근사법을 설명하기 위한 도면이고, 도 6은 본원 발명의 다른 실시예에 따른 자기 공명 영상 처리 방법 중 저계수 근사법을 설명하기 위한 도면이다.

[0026] 먼저, 도 4의 좌측에 도시된 바와 같이, 관심 영역(ROI)에서 영상의 왜곡이 발생하였다고 가정한다. 영상의 왜곡으로 인하여 데이터의 형상이 불규칙하므로, 분해 데이터(resolved data)의 윈도우 사이즈는 복수의 슬라이스를 포함하도록 설정된다. 이후에, 각 분해 데이터를 중첩하여 영상 신호를 복원하게 되는데, 각 분해 데이터는 영상 신호 외에도 노이즈 신호를 포함하고 있다. 이러한 분해 데이터가 중첩됨에 따라 노이즈 신호 또한 중복적으로 포함되는 문제가 발생할 수 있다. 이에 따라, 각 분해 데이터에 대하여 노이즈 신호를 사전에 처리하는 동작을 수행하도록 한다.

[0027] 이를 위하여 도 5에 도시된 바와 같이, 저계수 근사법을 이용하여 노이즈를 제거한다.

[0028] TSEMAC에 의하여 측정된 신호 y_i 는, k-t공간의 카르테시안(Cartesian) 샘플링에 대응하고, 노이즈 w_i 를 포함하는 것으로서, 하기 수학식 2의 형태로 정의할 수 있다.

[0029] [수학식 2]

$$y_i(\mathbf{k}_i, t_i) = \int_{\mathbf{x}} \ell(\mathbf{x}, t_i) \mathbf{C}(\mathbf{x}) \exp(-j\mathbf{k}_i^T \mathbf{x}) d\mathbf{x} + \mathbf{w}_i$$

[0030]

[0031] 다음으로, 분해 데이터 내에서 동일한 복셀(voxel) 위치의 시간적 프로파일은 다음 수학식 3과 같이 n 차원 벡터로 확장될 수 있으며, 복수의 분해 데이터 내에서 강한 상관관계를 가진다.

[0032] [수학식 3]

[0033]
$$\mathbf{P}_j = [\ell(\mathbf{x}_j, t_0), \ell(\mathbf{x}_j, t_1), \dots, \ell(\mathbf{x}_j, t_{n-1})]^H$$

[0034] 이때, $\ell(\mathbf{x}, t)$ 는 신호를 나타내는 것으로, $\mathbf{x}$ 는 공간 위치를 나타내고, t 는 시간을 나타낸다. 또한, $\mathbf{x}_j(j=0, 1, 2, \dots, m-1)$ 는 같은 위치에서의 j 번째 복셀을 나타낸다.

[0035] 분해 데이터 내에서의 상관관계를 이용하기 위하여, 신호 좌표 $\ell(\mathbf{x}, t)$ 를 다음 수학식4와 같이 행렬 형태로 재배열한다.

[0036] [수학식 4]

[0037]
$$\begin{aligned} \mathbf{L} &= \begin{bmatrix} \mathbf{P}_0 \\ \vdots \\ \mathbf{P}_{m-1} \end{bmatrix}^H \\ &= \begin{bmatrix} \ell(\mathbf{x}_0, t_0) & \dots & \ell(\mathbf{x}_0, t_{n-1}) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \ell(\mathbf{x}_{m-1}, t_0) & \dots & \ell(\mathbf{x}_{m-1}, t_{n-1}) \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \dots & \ell(\mathbf{x}_0, t_{n-1}) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \ell(\mathbf{x}_{n-1}, t_0) & \dots & \mathbf{0} \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

[0038] 상기 $\mathbf{L}$ 행렬의 열(row)의 개수는 TSEMAC 3D 이미지의 슬라이스 개수에 대응하고, $\mathbf{L}$ 행렬의 행(column)의 개수 또한 상기 슬라이스 개수와 동일한 시간 프로필을 나타낸다. $\mathbf{L}$ 행렬은 0값을 포함하기 때문에, 수학식 4에서와 같이 대각 행렬 형태를 가질 수 있다. 예를 들면, 도 5의 (a)에 도시된 바와 같이, $n \times n$ 형태의 대각 행렬을 가질 수 있다. 이와 같이, 영상 데이터를 정방 행렬 형태로 변환하는 과정을 수행한다.

[0039] 다음으로, $\mathbf{L}$ 행렬에 포함된 신호값과 0(zero) 값 중 0 값을 제거하고, 나머지 신호값을 정방 행렬의 중앙 또는 일측면에 위치하도록 배치시킨 치환행렬을 생성한다.

[0040] 예를 들면, 도 5의 (c)에 도시된 바와 같이, $\mathbf{L}$ 행렬의 측면 모서리에 위치하는 값(510, 514)들이 정방 행렬의 중앙부분(512)에 위치하도록 $\mathbf{L}$ 행렬을 치환(permutate)시킨다. 이와 같은 치환 행렬의 생성에 따라, 치환 행렬의 행의 개수는 슬라이스 개수(n)와 동일하지만, 치환 행렬의 열의 개수는 Z-위상 인코딩 단계를 수행한 횟수(e)와 같아진다.

[0041] 한편, 다른 실시예에 따르면, 도 6에 도시된 바와 같이, $\mathbf{L}$ 행렬에 포함된 신호값과 0(zero) 값 중 0 값을 제거하고, 나머지 신호값(600)을 상기 정방 행렬의 좌측 측면으로 배치시킨 치환행렬을 생성할 수 있다.

[0042] 따라서, 치환 행렬 $\mathbf{L}_p$ 는 치환전 행렬 $\mathbf{L}$ 에 비하여 더욱 강한 상관관계를 갖게 된다.

[0043] 다음으로, 치환 행렬을 t 를 따라 푸리에 변환한다. 이때, 도 5의 (c)에 도시된 푸리에 변환 결과에 따르면, 치환 행렬이 매우 강하게 연관되어 있음을 확인할 수 있다.

[0044] 다음으로, 도 5의 (d)에 도시된 바와 같이, 특이값(singular value)이 많지 않으므로, 상기 분해 데이터는 저계수(low rank) 행렬로 근사화될 수 있음을 확인할 수 있다. 따라서, 치환 행렬 $\mathbf{L}_p$ 의 계수(rank)는 다음 수학식과 같이 축소될 수 있다.

[0045] [수학식 5]

[0046]
$$r < n \times e$$

[0047] 한편, 각 코일 영상에서의 치환 행렬 $\mathbf{L}_p$ 에 대한 특이값 분해(Singular Value Decomposition, SVD)를 수행함에 있어, 저계수 r 을 갖는 치환 행렬 $\mathbf{L}_p$ 는 다음 수학식과 같이 분해될 수 있다.

[0048] [수학식 6]

[0049]
$$\mathbf{L}_p = \mathbf{U} \mathbf{\Sigma} \mathbf{V}^H, \mathbf{\Sigma} = \text{diag}(\{\sigma_i\}_{1 \leq i \leq r})$$

[0050] 이때, U와 V는 각각 $n \times r$, $e \times r$ 행렬이고, 특이값(σ_i)은 양수이다.

[0051] 다음, 저계수 행렬 L을 복원하는 방법을 살펴보기로 한다.

[0052] 저계수 행렬 L은 수학식 7의 해를 구함에 따라 얻을 수 있다.

[0053] [수학식 7]

$$\tilde{\mathbf{L}} = \operatorname{argmin}_{\mathbf{L}_p} \|\mathbf{F}\mathbf{L}_p - \mathbf{Y}\|^2 + \lambda \operatorname{rank}(\mathbf{L}_p)$$

[0055] 한편, 랭크 페널티(rank penalty)가 비볼록(nonconvex)이기 때문에, 뉴클리어 노름(nuclear norm)과 같은 컨벡스 함수로 변형되어야 하며, 이는 수학식 8과 같다.

[0056] [수학식 8]

$$\tilde{\mathbf{L}} = \operatorname{argmin}_{\mathbf{L}_p} \|\mathbf{F}\mathbf{L}_p - \mathbf{Y}\|^2 + \lambda \|\mathbf{L}_p\|_*$$

[0058] 한편, L 행렬의 뉴클리어 노름은 수학식 9와 같이 나타낼 수 있다.

[0059] [수학식 9]

$$\|\mathbf{L}_p\|_* := \sum_{i=1}^r \sigma_i$$

[0061] 수학식 8에 의하여 정의되는 비용함수의 해를 구함으로써 최적 계수 근사 행렬은 다음 수학식과 같이 나타낼 수 있다.

[0062] [수학식 10]

$$\mathbf{L}_\nu = \sum_{i=1}^{\nu} \sigma_i u_i v_i^H$$

[0063]

[0064] 이와 같이, 행렬 구조를 치환하고, 치환 행렬에 대하여 고유값 분해를 통해 저계수 근사법을 사용함으로써 잡음을 제거할 수 있다.

[0065] 다시 도 2를 참조하면, 슬라이스 방향에서의 잡음을 제거한 후, 코일 영역에서의 잡음을 제거한다(S230). 이를 위하여, 코일 간 잡음 상관 매트릭스를 구하여 최고 선형 불편 추정치 방법(Best Linear Unbiased Estimator, BLUE)을 사용한다.

[0066] 서로 상이한 위상-어레이(phase-array) 채널을 통해 획득한 노이즈는 부분적으로 연관되어 있기 때문에, 최고 선형 불편 추정치 방법을 사용하는 것이 적절하다. 만약, 최고 선형 불편 추정치가 노이즈 공분산(covariance)과 코일 정보맵(sensitivity map)을 포함하고 있다면, 이를 이용한 재구성된 이미지의 신호대 잡음비는 개선될 수 있다.

[0067] 최고 선형 불편 추정치를 나타내는 수식은 수학식 11과 같다.

[0068] [수학식 11]

$$\tilde{\mathbf{L}}_{\text{BLUE}} = (\mathbf{C}^H \mathbf{\Psi}^{-1} \mathbf{C})^{-1} \mathbf{C}^H \mathbf{\Psi}^{-1} \cdot \tilde{\mathbf{L}}$$

[0069]

[0070] 이때, C는 K번째 코일의 민감도 행렬을 나타내고, $\mathbf{\Psi}$ 행렬은 $\underline{n_c \times n_c}$ 노이즈 공분산 행렬을 나타낸다.

수학식 11에서, $\mathbf{\Psi}$ 행렬은 신호대 잡음비를 최적화하기 위한, 수신 채널로부터의 노이즈의 레벨과 상관정도를

나타낸다. 따라서, 이를 통해 코일 영역에서의 노이즈 제거가 가능하다.

[0071] 상기 $\tilde{\mathbf{L}}_{\text{BLUE}}$ 행렬은 신호대 잡음비가 개선된 이미지를 나타내며, 슬라이스 방향의 노이즈 뿐만 아니라, 상이한 위상-어레이 채널에서의 노이즈도 억제할 수 있다.

[0072] 다음으로, 잡음이 제거된 영상 공간의 데이터에 대하여 왜곡된 프로파일을 복원한다(S240). 앞선 단계에서의 슬라이스 방향의 노이즈 및 위상-어레이 채널 방향에서의 잡음이 제거됨에 따라, 잔류하는 데이터는 성김 상태 또는 희소성(sparsity)을 갖게 된다. 이러한 상태의 데이터에 대하여, 하기의 수학식 12에 대한 해를 구함으로써 L1 최소화 노름을 구한다.

[0073] [수학식 12]

$$\min_{\tilde{\mathbf{L}}_{\text{BLUE}}} \|\tilde{\mathbf{L}}_{\text{BLUE}}\|_1 \text{ s.t. } \|\mathbf{F}\tilde{\mathbf{L}}_{\text{BLUE}} - \mathbf{Y}\|_2 \leq \varepsilon$$

[0075] 수학식 12의 해를 구하는 알고리즘은 여러 가지가 있을 수 있으며, 예를 들면, 기본 추구(Basic Pursuit, BP) 방법 또는 직교 매칭 추구(Orthogonal Matching Pursuit, OMP) 방법이 사용될 수 있다.

[0076] 예를 들어, 직교 매칭 추구 방법은 왜곡된 프로파일을 영상-주파수(x-f) 영역에서 복원하는 것으로, 속도가 빠르고 구현이 비교적 용이하다는 장점이 있다. 이 알고리즘은 빈 모델(empty model)로부터 시작하여 신호 모델을 생성하되, 가장 중요한 새로운 원자(atom)가 매 단계마다 추가되며, 이 단계는 반복적으로 수행된다. 이러한 반복은 x-f 영역에서의 최대 잔차가 노이즈 레벨에 도달할 때까지 계속된다. 최종 이미지는 예측된 x-f 이미지의 역 푸리에 변환을 통해서 획득할 수 있다.

[0077] 한편, 이상에서 설명한 자기 공명 영상 처리 방법은 슬라이스 방향에서의 잡음 제거 후 코일 영역에서의 잡음 제거 단계를 거치는 것을 기준으로 설명되어 있으나, 각 단계의 순서는 변경 가능하다. 즉, 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 도 2의 실시예와는 달리, 코일 영역에서의 잡음 제거 단계를 수행한 후 슬라이스 방향에서의 잡음 제거 단계를 수행하여 자기 공명 영상을 처리할 수 있다.

[0078] 구체적으로, 도 7은 본원 발명의 다른 실시예에 따른 자기 공명 영상 처리 방법을 도시한 순서도이다.

[0079] 도 7에서와 같이, 먼저, 터보스핀에코(Turbo Spin Echo)시퀀스와 SEMAC 시퀀스를 조합한 시퀀스를 이용하여 자기 공명 영상 처리장치로부터 영상 데이터를 수신한다(S710).

[0080] 그리고, 수신한 영상 데이터에 대하여 코일 영역에서의 잡음을 제거한다(S720).

[0081] 그런 다음, 슬라이스 방향에서의 잡음을 제거한다(S730).

[0082] 다음으로, 잡음이 제거된 영상 공간의 데이터에 대하여 왜곡된 프로파일을 복원한다(S740).

[0083] 이상, 도 7의 각 단계는, 앞서 도 2 내지 도 6을 참조하여 설명한 코일 영역에서의 잡음 제거 및 슬라이스 방향에서의 잡음 제거 방식을 적용할 수 있다.

[0084] 이와 같이, 슬라이스 방향에서의 잡음 제거와 코일 영역에서의 잡음 제거의 순서는 실시자의 선택에 따라 변경 가능하다. 또한, 경우에 따라 슬라이스 방향에서의 잡음 제거와 코일 영역에서의 잡음 제거의 순서는 동시에 병렬적으로 수행될 수 있다.

[0085] 본 발명의 일 실시예는 컴퓨터에 의해 실행되는 프로그램 모듈과 같은 컴퓨터에 의해 실행가능한 명령어를 포함하는 기록 매체의 형태로도 구현될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 휘발성 및 비휘발성 매체, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다. 또한, 컴퓨터 판독 가능 매체는 컴퓨터 저장 매체 및 통신 매체를 모두 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다. 통신 매체는 전형적으로 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈, 또는 반송파와 같은 변조된 데이터 신호의 기타 데이터, 또는 기타 전송 메커니즘을 포함하며, 임의의 정보 전달 매체를 포함한다.

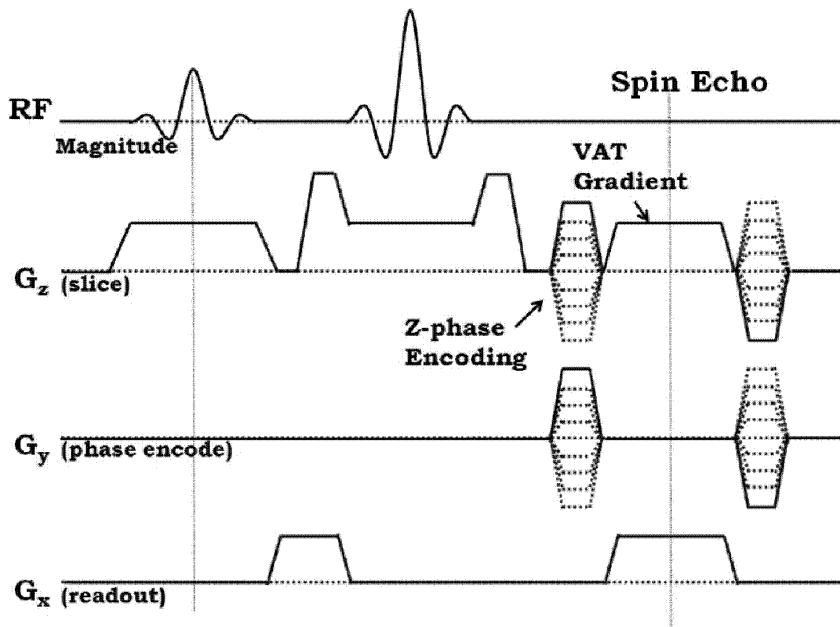
[0086] 본 발명의 방법 및 시스템은 특정 실시예와 관련하여 설명되었지만, 그것들의 구성 요소 또는 동작의 일부 또는 전부는 범용 하드웨어 아키텍처를 갖는 컴퓨터 시스템을 사용하여 구현될 수 있다.

[0087] 전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.

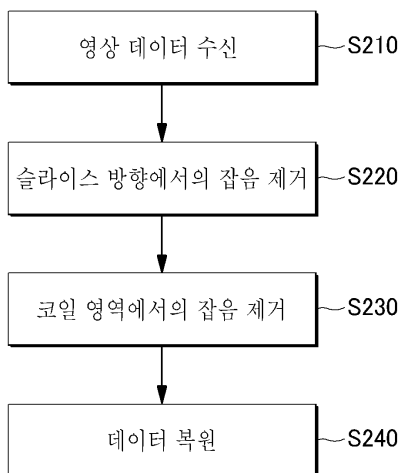
[0088] 본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

도면

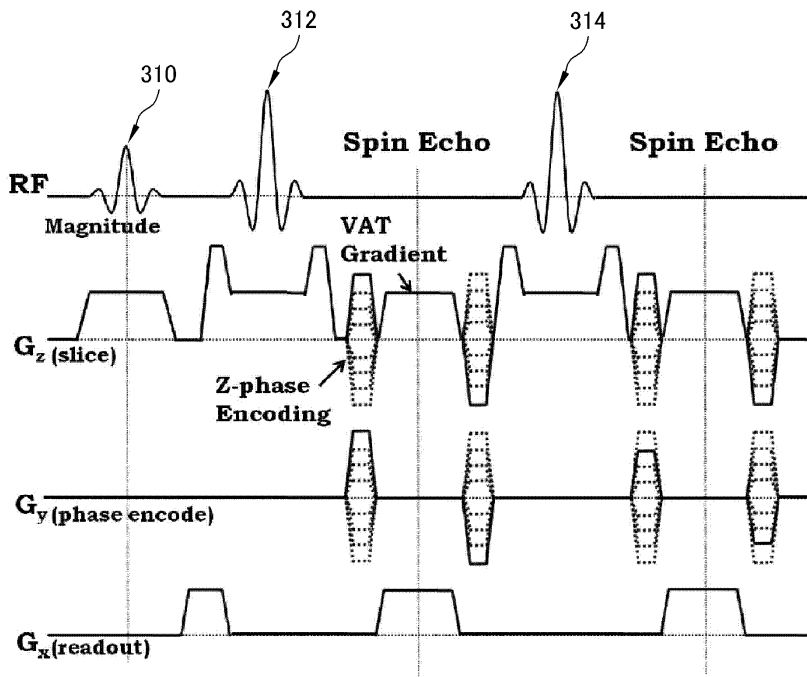
도면1



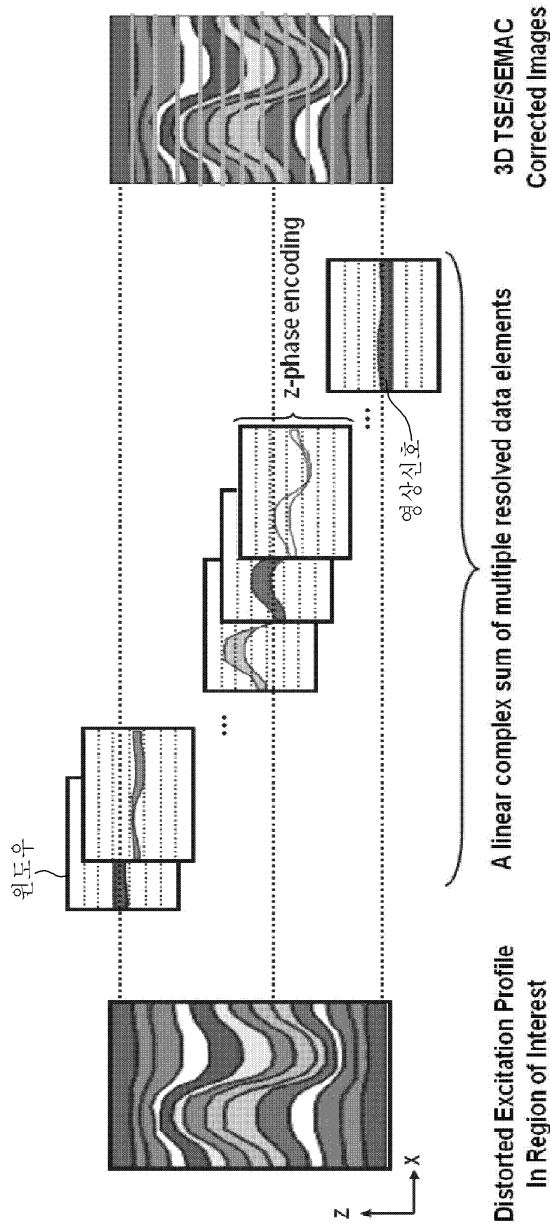
도면2



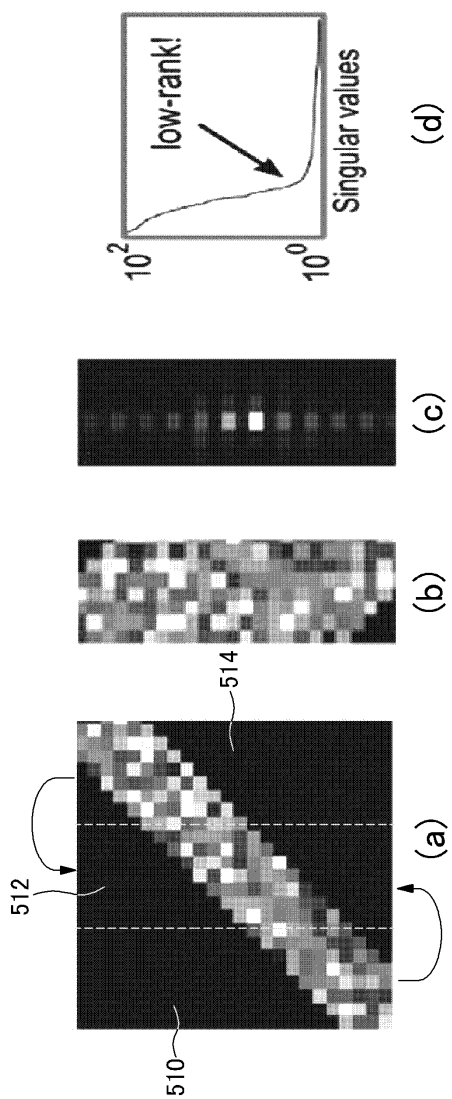
도면3



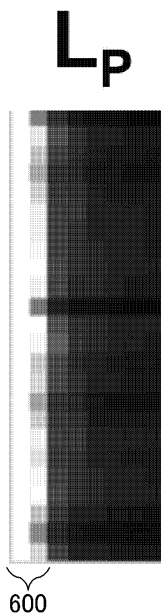
도면4



도면5



도면6



도면7

