



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2011년05월20일  
 (11) 등록번호 10-1036046  
 (24) 등록일자 2011년05월13일

(51) Int. Cl.  
**G01R 33/20** (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2009-0061287  
 (22) 출원일자 2009년07월06일  
 심사청구일자 2009년07월06일  
 (65) 공개번호 10-2010-0010481  
 (43) 공개일자 2010년02월01일  
 (30) 우선권주장  
 1020080071379 2008년07월22일 대한민국(KR)  
 (56) 선행기술조사문헌  
 JP05007571 A  
 JP2000296120 A  
 KR1020010040152 A  
 KR1020010051717 A

(73) 특허권자  
**가천의과학대학교 산학협력단**  
 인천광역시 연수구 연수동 534-2  
 (72) 발명자  
**조장희**  
 인천광역시 남구 관교동 13-11 동부아파트 103-1005  
**김영보**  
 경기도 성남시 분당구 정자동 191 정든마을 한진6단지아파트 603-302  
 (뒷면에 계속)  
 (74) 대리인  
**윤지홍, 장수길, 백만기**

전체 청구항 수 : 총 12 항

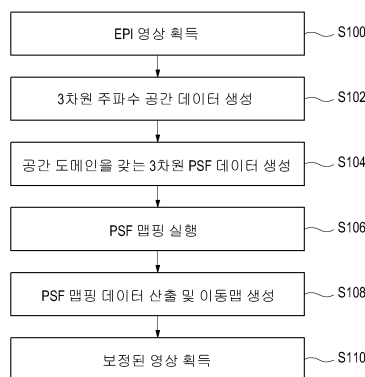
심사관 : 오경환

**(54) 초고자장 MRI 장비에서 EPI 영상 왜곡 보정 방법**

**(57) 요약**

본 개시에서는, EPI(echo planner imaging) 영상에서의 왜곡을 보정하는 방법을 제시한다. EPI 영상 왜곡 보정 방법에서는, 소정의 대상에 대한 EPI 영상을 생성하는 단계, 상기 소정의 대상에 대한 3차원 주파수 공간(3D k-space) 데이터를 생성하는 단계, 상기 3차원 주파수 공간 데이터에 대해 공간 도메인에서의 도메인 변환을 실행하여 3차원 PSF(point spread function) 데이터를 생성하는 단계, 상기 3차원 PSF 데이터를 2차원 평면으로 맵핑하여 복수개의 픽셀로 이루어진 2차원 PSF 데이터를 생성하는 단계 - 상기 2차원 평면은 왜곡되지 않은 차원과 왜곡된 차원으로 구성됨 -, 및 상기 2차원 PSF 데이터에 포함된 적어도 하나의 픽셀이 선정된 기준에서 벗어나서 상기 왜곡된 차원으로 이동한 이동량을 산출하여 PSF 맵핑 데이터를 생성하는 단계를 포함할 수 있다. 또한, EPI 영상 왜곡 보정 방법에서는 상기 PSF 맵핑 데이터를 기초로 이동맵을 생성하는 단계, 및 상기 이동맵을 상기 EPI 영상에 적용하는 단계를 더 포함할 수 있다.

**대표도 - 도1**



(72) 발명자

**정준영**

인천광역시 남동구 구월동 23번지 구월힐스테이트  
1308-2202

**인명호**

충청남도 당진군 당진읍 원당리 1183번지

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

EPI(echo planner imaging) 영상에서의 왜곡을 보정하는 방법으로서,  
 소정의 대상에 대한 EPI 영상을 생성하는 단계,  
 상기 소정의 대상에 대한 3차원 주파수 공간(3D k-space) 데이터를 생성하는 단계,  
 상기 3차원 주파수 공간 데이터에 대해 공간 도메인에서의 도메인 변환을 실행하여 3차원 PSF(point spread function) 데이터를 생성하는 단계,  
 상기 3차원 PSF 데이터를 2차원 평면으로 맵핑하여 복수개의 픽셀로 이루어진 2차원 PSF 데이터를 생성하는 단계 - 상기 2차원 평면은 왜곡되지 않은 차원과 왜곡된 차원으로 구성됨 -,  
 상기 2차원 PSF 데이터에 포함된 적어도 하나의 픽셀이 선정된 기준에서 벗어나서 상기 왜곡된 차원으로 이동한 이동량을 산출하여 PSF 맵핑 데이터를 생성하는 단계,  
 상기 PSF 맵핑 데이터를 기초로 이동맵을 생성하는 단계, 및  
 상기 이동맵을 상기 EPI 영상에 적용하는 단계  
 를 포함하는 EPI 영상 왜곡 보정 방법.

### 청구항 2

제1항에 있어서,  
 상기 소정의 대상에 대한 3차원 주파수 공간 데이터를 생성하는 단계는, PSF 시퀀스를 실행하여 상기 3차원 주파수 공간(3D k-space) 데이터를 생성하는 단계 - 상기 PSF 시퀀스는 위상인코딩 경사자계(phase encoding prewinder gradient)를 포함하며, 위상인코딩 경사자계는 서로 다른 크기를 갖는 복수 개의 스텝(step)을 포함함 - 를 포함하는, EPI 영상 왜곡 보정 방법.

### 청구항 3

제1항에 있어서,  
 상기 3차원 주파수 공간 데이터에 대해 공간 도메인에서의 도메인 변환을 실행하여 3차원 PSF 데이터를 생성하는 단계는, 상기 3차원 PSF 데이터에 대하여 나이퀴스트 유효인공물을 제거하는 위상보정을 실행하는 단계를 포함하는, EPI 영상 왜곡 보정 방법.

### 청구항 4

제1항에 있어서,  
 상기 3차원 PSF 데이터는 공간 도메인(x,y,s)을 갖는, EPI 영상 왜곡 보정 방법.

### 청구항 5

제4항에 있어서,  
 상기 3차원 PSF 데이터를 2차원 평면으로 맵핑하여 복수개의 픽셀로 이루어진 2차원 PSF 데이터를 생성하는 단계는, 상기 3차원 PSF 데이터를 ys평면에 맵핑하는 단계를 포함하는, EPI 영상 왜곡 보정 방법.

### 청구항 6

제5항에 있어서,  
 상기 2차원 PSF 데이터에 포함된 적어도 하나의 픽셀이 선정된 기준에서 벗어나서 상기 왜곡된 차원으로 이동한 이동량을 산출하여 PSF 맵핑 데이터를 생성하는 단계는, 상기 ys평면에서 원점으로부터 대각선 방향으로 기울기가 "1"인 직선을 상기 선정된 기준으로서 이용하여, 상기 2차원 PSF 데이터에 포함된 상기 적어도 하나의 픽셀이 상기 선정된 기준으로부터 y방향으로 이동한 값을 산출하는 단계를 포함하는, EPI 영상 왜곡 보정 방법.

**청구항 7**

EPI(echo planner imaging) 영상의 왜곡 보정 방법으로서,  
 소정의 대상에 대한 EPI 영상을 생성하는 단계,  
 상기 소정의 대상에 대한 3차원 주파수 공간(3D k-space) 데이터를 생성하는 단계,  
 상기 3차원 주파수 공간 데이터를 3차원 홀 주파수 공간 데이터와 3차원 짝 주파수 공간 데이터로 분리하는 단계,  
 상기 3차원 홀 주파수 공간 데이터 및 3차원 짝 주파수 공간 데이터에 대해 각각 공간 도메인으로서의 도메인 변환을 실행하여 3차원 홀 PSF(point spread function) 데이터 및 3차원 짝 PSF 데이터를 각각 생성하는 단계,  
 상기 3차원 홀 PSF 데이터 및 상기 3차원 짝 PSF 데이터를 각각 2차원 평면에 맵핑하여 복수개의 픽셀로 이루어진 2차원 홀 PSF 데이터 및 2차원 짝 PSF 데이터를 각각 생성하는 단계 - 상기 2차원 평면은 왜곡되지 않은 차원과 왜곡된 차원으로 구성됨 -,  
 상기 2차원 홀 PSF 데이터에 포함된 적어도 하나의 픽셀이 선정된 기준에서 벗어나서 상기 왜곡된 차원으로 이동한 제1 이동량을 산출하여 홀 PSF 맵핑 데이터를 산출하고, 상기 2차원 짝 PSF 데이터에 포함된 적어도 하나의 픽셀이 상기 선정된 기준에서 벗어나서 상기 왜곡된 차원으로 이동한 제2 이동량을 산출하여 짝 PSF 맵핑 데이터를 산출하는 단계,  
 상기 홀 PSF 맵핑 데이터 및 상기 짝 PSF 맵핑 데이터를 기초로 상기 홀 PSF 맵핑 데이터에 대한 홀 PSF 이동맵 및 상기 짝 PSF 맵핑 데이터에 대한 짝 PSF 이동맵을 생성하는 단계,  
 상기 홀 PSF 이동맵을 상기 EPI 영상에 적용하여 홀 보정 영상을 생성하고, 상기 짝 PSF 이동맵을 상기 EPI 영상에 적용하여 짝 보정 영상을 생성하는 단계, 및  
 상기 홀 보정 영상 및 상기 짝 보정 영상을 합하는 단계를 포함하는 EPI 영상 왜곡 보정 방법.

**청구항 8**

제7항에 있어서,  
 상기 소정의 대상에 대한 3차원 주파수 공간 데이터를 생성하는 단계는, PSF 시퀀스를 실행하여 상기 3차원 주파수 공간(3D k-space) 데이터를 생성하는 단계 - 상기 PSF 시퀀스는 위상인코딩 경사자계(phase encoding prewinder gradient)를 포함하며, 위상인코딩 경사자계는 서로 다른 크기를 갖는 복수 개의 스텝(step)을 포함함 - 를 포함하는, EPI 영상 왜곡 보정 방법.

**청구항 9**

제7항에 있어서,  
 상기 3차원 홀 주파수 공간 데이터 및 3차원 짝 주파수 공간 데이터에 대해 각각 공간 도메인으로서의 도메인 변환을 실행하여 3차원 홀 PSF 데이터 및 3차원 짝 PSF 데이터를 각각 생성하는 단계는, 상기 3차원 홀 PSF 데이터 및 상기 3차원 짝 PSF 데이터에 대하여 나이퀴스트유령인공물을 제거하기 위한 위상보정을 실행하는 단계를 포함하는, EPI 영상 왜곡 보정 방법.

**청구항 10**

제7항에 있어서,  
 상기 3차원 홀 PSF 데이터 및 상기 3차원 짝 PSF 데이터는 공간 도메인(x,y,s)을 갖는, EPI 영상 왜곡 보정 방법.

**청구항 11**

제10항에 있어서,  
 상기 3차원 홀 PSF 데이터 및 상기 3차원 짝 PSF 데이터를 각각 2차원 평면에 맵핑하여 복수개의 픽셀로 이루어

진 2차원 홀 PSF 데이터 및 2차원 짝 PSF 데이터를 각각 생성하는 단계는, 상기 3차원 홀 PSF 데이터 및 상기 3차원 짝 PSF 데이터 각각을  $ys$ 평면에 맵핑하는 단계를 포함하는, EPI 영상 왜곡 보정 방법.

**청구항 12**

제11항에 있어서,

상기 2차원 홀 PSF 데이터에 포함된 적어도 하나의 픽셀이 선정된 기준에서 벗어나서 상기 왜곡된 차원으로 이동한 제1 이동량을 산출하여 홀 PSF 맵핑 데이터를 산출하고, 상기 2차원 짝 PSF 데이터에 포함된 적어도 하나의 픽셀이 상기 선정된 기준에서 벗어나서 상기 왜곡된 차원으로 이동한 제2 이동량을 산출하여 짝 PSF 맵핑 데이터를 산출하는 단계는, 상기  $ys$ 평면에서 원점으로부터 대각선 방향으로 기울기가 "1"인 직선을 상기 선정된 기준으로서 이용하고,

상기 홀 2차원 PSF 데이터에 포함된 상기 적어도 하나의 픽셀이 상기 선정된 기준으로부터  $y$ 방향으로 이동한 값을 상기 제1 이동량으로서 산출하여 홀 PSF 맵핑 데이터를 산출하는 단계, 및

상기 짝 PSF 맵핑 데이터에 포함된 상기 적어도 하나의 픽셀이 상기 선정된 기준으로부터  $y$ 방향으로 이동한 값을 상기 제2 이동량으로서 산출하여 짝 PSF 맵핑 데이터를 산출하는 단계를 포함하는, EPI 영상 왜곡 보정 방법.

**명세서**

**발명의 상세한 설명**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 초고자장 자기공명영상(magnetic resonance imaging: MRI) 장치에서 에코플래너리영상(echo planner imaging: EPI) 기법을 적용하는 획득한 EPI 영상에 발생하는 영상 왜곡을 보정하기 위한 방법에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] MRI 장치는, 생체를 구성하는 물질의 자기적 성질을 이용하여 생체의 단층상을 영상화하는 장치로서, 인체에 고주파를 가했을 때 인체로부터 방출되는 고주파를 이용하여 인체의 단층상을 영상화한다.

[0003] 근래에는 고속 영상화가 가능한 EPI 기법을 MRI 장치에 적용하여, 뇌기능영상(functional MRI: fMRI), 확산강조 영상(diffusion weighted imaging: DTI), 관류 영상(perfusion MRI), 심장영상(Cardiac imaging) 등을 획득할 수 있게 되었다. 그러나, EPI 기법은 외부 자기장의 비균일성( $B_0$  field inhomogeneity), 화학적 이동 효과(chemical shift effect), RF 주파수 오프셋(radiofrequency frequency offset), 빠르게 변화하는 자계에 의한 소용돌이 전류(eddy current) 현상 등에 영향을 받기 쉬우므로 EPI 기법을 적용하여 획득한 EPI 영상은 구조적 측면 및 신호강도의 측면에서 왜곡(geometric and intensity distortion)될 수 있다. 또한, 자장의 세기가 클수록 외부 자장의 불균일성이 커지므로 초고자장 MRI 장치에서는 EPI 영상이 왜곡되는 정도도 더욱 심해지게 된다.

**발명의 내용**

**해결 하고자하는 과제**

[0004] 따라서, 본 발명은, 초고자장 MRI 장치에서 발생하는 EPI 영상의 왜곡을 보정하기 위한, 초고자장 MRI 장치에서의 영상 왜곡 보정 방법을 제공한다.

**과제 해결수단**

[0005] 일 실시예에 따르면, EPI(echo planner imaging) 영상에서의 왜곡을 보정하는 방법은, 소정의 대상에 대한 EPI 영상을 생성하는 단계, 상기 소정의 대상에 대한 3차원 주파수 공간(3D k-space) 데이터를 생성하는 단계, 상기 3차원 주파수 공간 데이터에 대해 공간 도메인으로서의 도메인 변환을 실행하여 3차원 PSF(point spread function) 데이터를 생성하는 단계, 상기 3차원 PSF 데이터를 2차원 평면으로 맵핑하여 복수개의 픽셀로 이루어진 2차원 PSF 데이터를 생성하는 단계 - 상기 2차원 평면은 왜곡되지 않은 차원과 왜곡된 차원으로 구성됨 -, 및 상기 2차원 PSF 데이터에 포함된 적어도 하나의 픽셀이 선정된 기준에서 벗어나서 상기 왜곡된 차원으로 이

동한 이동량을 산출하여 PSF 맵핑 데이터를 산출하는 단계를 포함할 수 있다.

- [0006] 또한, EPI 영상에서의 왜곡을 보정하는 방법은 상기 PSF 맵핑 데이터를 기초로 이동맵을 생성하는 단계 및 상기 이동맵을 상기 EPI 영상에 적용하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0007] 또 다른 실시예에 따르면, EPI 영상의 왜곡 보정 방법은, 소정의 대상에 대한 EPI 영상을 생성하는 단계, 상기 소정의 대상에 대한 3차원 주파수 공간(3D k-space) 데이터를 생성하는 단계, 상기 3차원 주파수 공간 데이터를 3차원 홀 주파수 공간 데이터와 3차원 짝 주파수 공간 데이터로 분리하는 단계, 상기 3차원 홀 주파수 공간 데이터 및 3차원 짝 주파수 공간 데이터에 대해 각각 공간 도메인으로의 도메인 변환을 실행하여 3차원 홀 PSF(point spread function) 데이터 및 3차원 짝 PSF 데이터를 각각 생성하는 단계, 상기 3차원 홀 PSF 데이터 및 상기 3차원 짝 PSF 데이터를 각각 2차원 평면에 맵핑하여 복수개의 픽셀로 이루어진 2차원 홀 PSF 데이터 및 2차원 짝 PSF 데이터를 각각 생성하는 단계 - 상기 2차원 평면은 왜곡되지 않은 차원과 왜곡된 차원으로 구성됨 - 를 포함할 수 있다.
- [0008] 또한, EPI 영상의 왜곡 보정 방법은, 상기 2차원 홀 PSF 데이터에 포함된 적어도 하나의 픽셀이 선정된 기준에서 벗어나서 상기 왜곡된 차원으로 이동한 제1 이동량을 산출하여 홀 PSF 맵핑 데이터를 산출하고, 상기 2차원 짝 PSF 데이터에 포함된 적어도 하나의 픽셀이 상기 선정된 기준에서 벗어나서 상기 왜곡된 차원으로 이동한 제2 이동량을 산출하여 짝 PSF 맵핑 데이터를 산출하는 단계, 상기 홀 PSF 맵핑 데이터 및 상기 짝 PSF 맵핑 데이터를 기초로 상기 홀 PSF 맵핑 데이터에 대한 홀 PSF 이동맵 및 상기 짝 PSF 맵핑 데이터에 대한 짝 PSF 이동맵을 생성하는 단계, 및 상기 홀 PSF 이동맵을 상기 EPI(echo planner imaging) 영상에 적용하여 홀 보정 영상을 생성하고, 상기 짝 PSF 이동맵을 상기 EPI(echo planner imaging) 영상에 적용하여 짝 보정 영상을 생성하는 단계, 및 상기 홀 보정 영상 및 상기 짝 보정 영상을 합하는 단계를 포함할 수 있다.

**발명의 실시를 위한 구체적인 내용**

- [0009] 도 1은, 본원 발명의 일 실시예에 따른, EPI 영상의 왜곡을 보정하기 위한 영상 보정 방법을 도시한 순서도이다.
- [0010] 먼저, EPI 기법을 이용하여 영상 획득의 대상이 되는 생체(이하, '소정의 대상'이라 한다)에 대한 EPI 영상을 획득한다(S100). EPI 기법에서는, 공지된 바와 같이, 소정이 대상에 대하여 MRI 장치의 RF 코일을 통하여 소정의 대상의 세포들을 여기(excite)시키기 위한 RF 신호와 MRI 장치의 경사자계 코일을 통하여 공간적으로 분리된 경사자계 자기장을 가하도록 구성된 EPI 시퀀스를 실행함으로써 EPI 영상을 획득할 수 있다.
- [0011] 일 실시예에서, EPI 시퀀스(200)는, 도 2에 도시된 바와 같이, 90° RF 여기 (radio frequency excitation) 펄스(202)를 RF신호로서 RF코일을 통해 전달할 수 있다. 일 실시예에서, 90° RF 여기 펄스(202)는 소정의 대상에 대해 이미지 평면에 수직하는 방향으로 가해질 수 있다.
- [0012] 일 실시예에서, EPI 시퀀스(200)는 소정의 대상에 대해 서로 직교하는 세 개의 좌표계를 갖는 경사자계 자기장을 MRI 장치의 경사자계 코일을 통해 가할 수 있다. 도 2에 도시한 바와 같이, 서로 직교하는 세 개의 좌표계는 소정의 대상의 이미지 평면(imaging plane)에 수직인 축(Gz)과, 이미지 평면에 평행하면서 서로 직교하는 축(Gy) 및 축(Gx)으로 구성될 수 있다.
- [0013] 일 실시예에서, EPI 시퀀스(200)는, 축(Gz) 방향을 따라, EPI 영상을 구성하기 위해 슬라이스(slice)를 선택하는 슬라이스 선택적 자기장 경사자계(slice selective magnetic field gradient)(204)를 가할 수 있다. 일 실시예에서, 슬라이스 선택적 자기장 경사자계(204)는, 도 2에 도시된 바와 같이 펄스 형상을 가질 수 있다. 일 실시예에서, 슬라이스 선택적 자기장 경사자계(204)는 90° RF 여기 펄스(202)와 동시에 소정의 대상에 대해 가해질 수 있다.
- [0014] 일 실시예에서, EPI 시퀀스(200)는, 축(Gy) 방향을 따라, 여기된 세포들이 공간적으로 인코딩하기 위한 위상 인코딩 경사자계(206, 210)를 가할 수 있다. 도 2에 도시된 바와 같이, 위상 인코딩 경사자계(206, 210)는, 90° RF 여기 펄스(202) 및 슬라이스 선택적 자기장 경사자계(204)가 가해진 후 일정 시간 간격을 두고 가해질 수 있다. 또한, 위상 인코딩 경사자계(210)는, 도 2에 도시된 바와 같이, 위상 인코딩 경사자계(206)가 가해진 후 일정 시간 간격을 두고 가해질 수 있다. 일 실시예에서, 위상 인코딩 경사자계(210)는, 도 2에 도시된 바와 같이, 일정한 주기를 갖는 EPI 블립(blip)들을 포함할 수 있다.
- [0015] 일 실시예에서, EPI 시퀀스(200)는, 축(Gx) 방향을 따라, 위상 이동 경사자계(phase shift gradient)(208) 및 k-공간(k-space)을 스캔하기 위한 리드 아웃 경사자계(readout gradient)(212)를 가할 수 있다. 도 2에 도시

된 바와 같이, 위상 이동 경사자계(phase shift gradient)(208) 및 리드아웃 경사자계(readout gradient)(212)는 90° RF 여기 펄스(202) 및 슬라이스 선택적 자기장 경사자계(204)가 가해진 후 일정한 시간 간격을 두고 가해질 수 있다. 또한, 리드아웃 경사자계(readout gradient)(212)는 주기성을 갖는 펄스 파형을 포함할 수 있으며 위상 이동 경사자계(phase shift gradient)(208)가 가해진 후 일정 기간 동안 반복적으로 가해질 수 있다.

[0016] 도 2에 도시된 바와 같이, 위상 인코딩 경사자계(206) 및 위상 이동 경사자계(208)는 각각 축(Gy) 및 축(Gx)을 따라서 동시에 가해질 수 있다. 또한, 도 2에 도시된 바와 같이, 위상 인코딩 경사자계(210) 및 리드아웃 경사자계(212)는 동일한 주기를 가지고 동시에 가해질 수 있다. EPI 시퀀스(200)에서는, 이와 같이 위상 인코딩 경사자계(210) 및 리드아웃 경사자계(212)를 가하여 획득되는 데이터로 k-공간(k-space)을 채움으로써 EPI 영상이 획득된다.

[0017] 도 2에서는, 서로 직교하는 세 개의 좌표계가 소정의 대상의 이미지 평면(imaging plane)에 수직인 축(Gz)과, 이미지 평면에 평행하면서 서로 직교하는 축(Gy) 및 축(Gx)으로 구성된 것으로 도시하고 있으나, MRI 장치의 경사자계 코일을 통하여 가해지는 공간적으로 분리된 경사자계 자기장은 이와 같은 좌표계에 한정되지 않으며 다른 좌표계를 갖는 다양한 실시예로 변형될 수 있음을 알아야 한다. 또한, EPI 시퀀스에 있어서 각 경사자계의 파형 및 경사자계가 가해지는 시점은 도 2에 도시된 바에 한정되지 않으며 다양하게 변형될 수 있음을 알아야 한다.

[0018] 이와 같은 EPI 영상을 획득함에 있어서 외부의 비공조(Off-resonance) 현상이 존재하는 경우, 위치  $r(x,y)$  및 시간  $t$ 에서의 공명주파수  $\omega(r,t)$  (resonant frequency)는 수학식 1과 같이 나타낼 수 있다.

**수학식 1**

$$\omega(r,t) = \omega_0 + f(r,t)$$

[0019]

[0020] 수학식 1에서,  $\omega_0$  는 시스템의 주파수를 나타내며,  $f(r,t)$  는 위치  $r(x,y)$  및 시간  $t$ 에서의 전진운동의 주파수(frequency of precession)에 대한 함수로서 시퀀스에 독립적인 파라미터들의 상호 작용에 의한 영향을 나타낸다. 예를 들어,  $f(r,t)$  는 자기장 비균일성의 영향, 경사자계 증가분  $(\Delta k_x, \Delta k_y)$ , 각 방향으로의 인코딩 단계의 개수, 에코 시그널 획득을 위한 샘플링 시간(dwel times) 및 에코 타임의 상호 작용을 반영하기 위한 함수일 수 있다.

[0021] 이 같은 시퀀스에 독립적인 파라미터들의 상호 작용에 의한 영향들은 소용돌이 전류(eddy current)의 영향과 같이 시간에 무관(time-independent)할 수 있다. 따라서, 데이터가 획득되는 동안 축적된 데이터에 있어서 위치  $r(x,y)$  및 시간  $t$ 에서의 위상 이동량  $\Delta\phi(r,t)$  은 수학식 2와 같이 나타낼 수 있다.

**수학식 2**

$$\Delta\phi(r,t) = \int_0^{T(k_y - k_{y,0})/\Delta k_y} f(r,\tau) d\tau$$

[0022]

[0023] 수학식 2에 있어서, T는 k공간에서 하나의 라인을 획득하는데 걸리는 시간을 나타내고,  $k_y$ 는 위상 인코딩 방향의 좌표를 나타내고,  $k_{y,0}$ 는 가장 처음 획득된 위상 인코딩 라인의  $k_y$ 의 좌표를 나타낸다. 또한,  $\Delta k_y$ 은 위상 인코딩 방향에서의 경사자계의 증가분을 나타낸다.

[0024] 일반적인 EPI 시퀀스(standard EPI sequence)를 이용하여 획득된 신호  $S(k_x, k_y)$ 는, 위상 이동량을 나타내는 수학식 2를 이용하여 수학식 3과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 3

$$S(k_x, k_y) = \int_y \rho(x, y) \exp \left\{ i \left[ k_x x + k_y y + \int_0^{T(k_y - k_{y0})/\Delta k_y} f(x, y, \tau) d\tau \right] \right\} dx dy$$

[0025]

[0026]

수학식 3에 있어서,  $k_x$ 는 EPI 리드 아웃을 나타내고,  $k_y$ 는 EPI 블립을 나타내고,  $\rho(x, y)$ 는 프로톤 밀도를 나타낸다. 수학식 3의 지수 위의 적분 성분은 예측하지 못하는 변화하는 공간에서의 위상축적을 나타내며, 이러한 위상축적으로 인하여 EPI 영상에는 왜곡이 발생한다. 따라서, 획득된 EPI 영상을 보정하기 위한 단계가 아래에서 설명하는 바와 같이 실행될 수 있다.

[0027]

EPI 영상이 획득된 소정의 대상에 대해 PSF(point spread function) 기법을 이용하여 3차원 주파수공간(3D k-space) 데이터를 생성한다(S102). PSF 기법은, 도 3에 도시된 바와 같은 PSF 시퀀스(300)를 통해 실행될 수 있다.

[0028]

도 3에 도시된 PSF 시퀀스(300)는 도 2에 도시된 EPI 시퀀스(200)를 기초로 구성되어 있다. 따라서, PSF 시퀀스(300)는 도 2에 도시된 EPI 시퀀스(200)와 마찬가지로 90° RF 여기 펄스(202)를 포함하며, 축( $G_z$ )을 따라서 가해지는 슬라이스 선택적 자기장 경사자계(204), 축( $G_y$ )을 따라서 가해지는 위상 인코딩 경사자계(206, 210) 및 축( $G_x$ )을 따라서 가해지는 위상 이동 경사자계(208) 및 리드아웃 경사자계(212)를 포함할 수 있다.

[0029]

PSF 시퀀스(300)에 있어서, 축( $G_y$ )을 따라서 가해지는 경사자계는 위상 인코딩 프리와인드 경사자계(phase encoding prewinder gradient s:  $G_s$ )(302)를 더 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 인코딩 프리와인드 경사자계(302)는 위상 인코딩 경사자계(206, 210)에 앞서 가해질 수 있다. 일 실시예에서, 위상 인코딩 프리와인드 경사자계(302)는, 위상 인코딩 스텝(step)이 단계적으로 변화해 가면서 반복적으로 가해지도록, 서로 다른 크기를 갖는 복수 개의 위상 인코딩 스텝(step)을 포함할 수 있다.

[0030]

도 3에 도시된 PSF 시퀀스(300)는 하나의 예시에 불과하며, PSF 시퀀스(300)는 다른 형태로도 변형될 수 있음을 알아야 한다. 예를 들어, PSF 시퀀스(300)는 도 2에 도시된 EPI 시퀀스(200)와는 다른 형태의 EPI 시퀀스를 기초로 구성될 수 있다.

[0031]

이와 같이 실행되는 PSF 시퀀스(300)에 의해 3차원 주파수 공간 데이터(400)를 생성할 수 있다. 일 실시예에서, 3차원 주파수 공간 데이터(400)는, 하나의 주파수 인코딩 차원( $k_x$ )과 두 개의 독립적인 위상 인코딩 차원( $k_y, k_s$ )을 갖는 3차원 주파수 공간( $k_x, k_y, k_s$ )에 구성될 수 있다. 일 실시예에서, 3차원 주파수 공간 데이터(400)는 복수개의 2차원 주파수공간 데이터(410<sub>1</sub> 내지 410<sub>n</sub>)를 포함할 수 있다. 도 4에 도시된 바와 같이, 복수개의 2차원 주파수공간 데이터(410<sub>1</sub> 내지 410<sub>n</sub>)는 2차원( $k_x, k_y$ )을 가질 수 있으며,  $k_s$ 방향을 따라 3차원 주파수 공간( $k_x, k_y, k_s$ )을 채워 3차원 주파수 공간 데이터(400)를 형성할 수 있다. 일 실시예에서, 각 2차원 주파수 공간 데이터(410<sub>1</sub> 내지 410<sub>n</sub>)는 PSF 시퀀스(300)의 위상 인코딩 프리와인드 경사자계( $G_s$ )에 포함된 각의 스텝이 실행됨에 따라 생성될 수 있다.

[0032]

3차원 주파수 공간( $k_x, k_y, k_s$ )을 갖는 3차원 주파수 공간 데이터(400)  $S(k_x, k_y, k_s)$ 는 수학식 4와 같은 수식으로 표현할 수 있다.

수학식 4

$$S(k_x, k_y, k_s) = \int_y \rho(x, y) \exp \left\{ i \left[ k_x x + (k_y + k_s) y + \int_0^{T(k_y - k_{y0})/\Delta k_y} f(x, y, \tau) d\tau \right] \right\} dx dy$$

$$= \int_y \rho(x, y) \exp \left\{ i \left[ \int_0^{T(k_y - k_{y0})/\Delta k_y} f(x, y, \tau) d\tau \right] \right\} \exp \left\{ i \left[ k_x x + (k_y + k_s) y \right] \right\} dx dy$$

[0033]

[0034]

수학식 4에서,  $k_x$ 는 EPI 리드 아웃을 나타내고,  $k_y$ 는 EPI 블립을 나타내고,  $k_s$ 는 위상 인코딩 스텝을 나타낸다. 또한,  $\rho(x, y)$ 는 프로톤 밀도를 나타낸다.



[0035] 다음으로, PSF 시퀀스(300)에 의해 획득한 3차원 주파수공간 데이터(400)에 대해 도메인 변환을 실행하여 공간 도메인을 갖는 3차원 PSF 데이터(500)를 생성한다(S104). 일 실시예에서, 3차원 주파수공간 데이터(400)에 대해 3차원 푸리에 변환을 실행하여 3차원 PSF 데이터(500)를 생성할 수 있다.

[0036] 도 5는 3차원 PSF 데이터(500)의 일례를 도시한다. 도 5에 도시된 바와 같이, 3차원 PSF 데이터(500)는 3차원 공간(x,y,s)으로 구성될 수 있으며, 왜곡된 차원(x,y)과 왜곡되지 않은 차원(x,s)을 포함하도록 구성될 수 있다.

[0037] 수학적 식 5에서와 같이, 수학적 식 4에 나타난 3차원 주파수 공간 데이터(400)인  $S(k_x, k_y, k_s)$ 에 대해 주파수 공간  $(k_x, k_y, k_s)$ 에 대한 푸리에 변환을 실행하면 영상 신호 강도를 획득할 수 있다.

**수학적 식 5**

[0038] 
$$I(x, y, s) = \rho(x, y) \int_k \exp \left\{ i \left[ \int_0^{T(k_y, -k_y, 0) / \Delta k_y} f(x, y, \tau) d\tau \right] \right\} \exp[-ik_s (s - y)] dk_s$$

[0039] 영상 신호 강도  $I(x, y, s)$ 는 왜곡된 차원(x,y)에서의 프로톤 밀도  $\rho(x, y)$ 와 PSF(point spread function)의 곱으로 나타낼 수 있다. 따라서, 3차원 PSF 데이터(500)  $H_y(x, y, s)$ 는 수학적 식 6과 같이 나타낼 수 있다.

**수학적 식 6**

[0040] 
$$H_y(x, y, s) = \int \exp \left[ i \int_0^{T(k_y, -k_y, 0) / \Delta k_y} f(x, y, \tau) d\tau \right] \exp[-ik_s \cdot (s - y)] dk_s$$

[0041] 일 실시예에서, 3차원 PSF 데이터(500)를 생성한 후에 3차원 PSF 데이터(500)에 발생된 나이퀴스트유령인공물(Nyquist ghost artifact)을 제거하기 위한 위상 보정(phase correction)을 실행할 수 있다. 또한, 일 실시예에서, 비균일 샘플링에 대한 리그라이딩(regridding)을 실행한다.

[0042] 다음으로, 3차원 PSF 데이터(500)를 2차원 평면에 맵핑하여 2차원 PSF 데이터(600)를 생성한다(S106).

[0043] 일 실시예에서, 2차원 PSF 데이터(600)가  $ys$ 차원을 갖도록 3차원 PSF 데이터(500)는  $ys$ 평면에 맵핑될 수 있다. 도 6a는, 외부 자기장 비균일성 및 국소 자화율 효과로 인해 왜곡된 3차원 PSF 데이터(500) 및 3차원 PSF 데이터(500)로부터 획득한 2차원 PSF 데이터(600)를 도시한다. 도 6a에 도시된 바와 같이, 3차원 PSF 데이터(500)로부터 획득한 하나의 2차원 PSF 데이터(600)는 3차원 PSF 데이터(500) 중 동일한  $ys$ 평면에 맵핑된 복수개의 픽셀(이하, 'PSF')을 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 3차원 PSF 데이터(500)를  $x$ 축을 따라 서로 다른 복수개의  $ys$ 평면에 맵핑하여 복수개의 2차원 PSF 데이터(600)를 획득할 수 있다.

[0044] 도 6a에 있어서, 2차원 PSF 데이터(600)에 표시된 기준선(602)은 영상 왜곡이 발생하지 않았을 경우 2차원 PSF 데이터(600)의 PSF들이  $ys$ 평면에 배열되는 위치를 나타낸다. 일 실시예에서, 기준선(602)은  $ys$ 평면에서 기울기가 "1"이고 원점을 지나는 직선일 수 있다.

[0045] 일 실시예에서, 2차원 PSF 데이터(600)의 PSF들은 기준선(602)로부터 이탈하도록 배열될 수 있다. 예를 들어, 도 6a에 도시된 바와 같이, 2차원 PSF 데이터(600)에 포함된 복수개의 PSF 중  $ys$ 평면에서 원점에 가까이 배치된 PSF들 및  $s$ 값 및  $y$ 값이 큰 PSF들은 국소 자화율의 영향(local susceptibility effect)으로 인하여 기준선(602)로부터 이탈하여 배열될 수 있다.

[0046] 도 6a의 PSF 완만화 영역(604)은 PSF들이 기준선(602)로부터 이탈하여 배열된 영역을 나타내며, 도 6b는 PSF 완만화 영역(604)을 확대하여 도시한 것이다. 도 6b에 도시된 바와 같이, 2차원 PSF 데이터(600)의 일부 PSF들(622)은 기준선(602)을 따라 배열되나  $s$ 값 및  $y$ 값이 큰 PSF들은 국소 자화율의 영향으로 인하여 기준선(602)로부터 이탈하여 배열될 수 있다. 또한, 도 6b에 도시된 바와 같이, PSF 완만화 영역(604)에서는 본래 하나의 픽셀을 차지하는 PSF가 복수개의 PSF로 퍼져 복수개의 픽셀에 배치될 수 있다. 예를 들어, PSF(624)는, 국소 자화율의 영향으로 인하여 기준선(602)로부터 이탈하여 배치될 수 있으며, 블러링 현상이 발생하여 두 개의 픽셀로 퍼지면서 PSF(624)와는 별개의 픽셀을 차지하는 PSF(624a)가 생성될 수 있다. 마찬가지로, PSF(626)도 국소

자화율의 영향(local susceptibility effect)으로 인하여 기준선(602)로부터 이탈하여 배치되며, 블러링 현상으로 인하여 두 개의 픽셀로 퍼지면서 PSF(626)와는 별개의 픽셀을 차지하는 PSF(626a,626b)가 생성될 수 있다.

[0047] 이와 같은 블러링 현상은 이하의 수학적 식 7 및 8을 이용하여 설명할 수 있다. 수학적 식 7은, 안정된 비공조(Off-resonance)의 경우를 가정하였을 때 ys평면에서의 대각선 방향으로부터 수평 방향, 즉 왜곡된 차원으로 PSF 정점(peak)이 이동한 값에 관한 함수  $f(x, y, \tau) \approx f_0(x, y)$  를 나타낸다. 또한 수학적 식 8은 수학적 식 7의 함수  $\Delta(x, y)$  를 이용하여 수학적 식 6에 나타낸 3차원 PSF 데이터(500)를 보다 일반적인 형태로 나타낸 것이다.

**수학적 식 7**

[0048] 
$$Tf_0(x, y) / \Delta k_y = \Delta(x, y)$$

**수학적 식 8**

[0049] 
$$(x, y, s) \approx \delta(y + \Delta(x, y) - s)$$

[0050] 그러나 3차원 PSF 데이터(500)에 속한 하나 이상의 PSF는 신호 감쇄 및 소용돌이 전류의 영향 등으로 수학적 식 8의  $\delta$  함수로부터 이탈할 수 있다. 따라서, 왜곡된 3차원 PSF 데이터(500)으로부터 획득된 2차원 PSF 데이터(600)는 기준선(602)을 이탈하여 넓게 퍼진 PSF를 포함하게 된다.

[0051] 다음으로, 2차원 PSF 데이터(600)를 기초로 3차원 PSF 데이터(500)의 왜곡 정도를 나타내는 PSF 맵핑 데이터를 산출하여 2차원 PSF 데이터(600)에 대한 이동맵을 생성할 수 있다(S108). 일 실시예에서, PSF 맵핑 데이터는 2차원 PSF 데이터(600)에 포함된 복수의 PSF가 기준선(602)을 벗어난 정도를 나타내는 PSF 이동량을 계산함으로써 산출될 수 있다.

[0052] 일 실시예에서, PSF 맵핑 데이터는 ys평면을 갖는 2차원 PSF 데이터(600)를 왜곡된 차원인 y차원으로 추출하는 변동(variable) PSF 맵핑 기법을 이용하여 획득된 변동 PSF 맵핑 데이터일 수 있다. 도 7a는 왜곡된 EPI 영상(700)에 대한 변동 PSF 맵핑 기법의 적용을 설명하는 도면이고, 도 7b는 변동 PSF 맵핑 기법을 이용하여 획득한 이동맵(702)을 도시한다. 일 실시예에서, 변동 PSF 맵핑 기법은 2차원 PSF 데이터(600)에 포함된 PSF들을 y축으로 맵핑하여 기준선(602)으로부터 y축 방향으로 이동한 이동량을 측정하여 변동 PSF 맵핑 데이터를 산출할 수 있다. 이 경우 하나의 2차원 PSF 데이터(600)에 대해 산출된 변동 PSF 맵핑 데이터는 y차원을 갖게 된다.

[0053] 일 실시예에서, 변동 PSF 맵핑 데이터에 기초하여, 왜곡된 영상이 존재하는 부분을 나타내는 왜곡된 영상의 마스크(mask) 영역(이하, '왜곡 영상 마스크 영역')에서 이동맵(702)을 생성할 수 있다. 일 실시예에서, 변동 PSF 맵핑 기법에서 이용하는 마스크는 xy평면 상에 배치되므로 이동맵(702)도 xy차원을 가질 수 있다. 도 7b에 도시된 바와 같이, 하나의 2차원 PSF 데이터(600)에 대한 산출된 변동 PSF 맵핑 데이터를 이용하면 이동맵(702) 상에서 점선으로 나타낸 바와 같이 임의의 x좌표에서 y축 방향으로 왜곡 영상 마스크 영역의 안쪽을 채워나갈 수 있다. 따라서 복수의 2차원 PSF 데이터(600)에 대한 변동 PSF 맵핑 데이터를 이용하면 x축 방향으로 왜곡 영상 마스크 영역의 안쪽을 채워나갈 수 있어 xy차원을 갖는 이동맵(702)을 생성할 수 있다. 일 실시예에서, 왜곡 영상 마스크 영역의 윤곽이 채워진 이동맵(702)에 대하여 피팅(fitting) 및 필터링 과정을 더 실행할 수 있다.

[0054] 다음으로, 이동맵(702)을 왜곡된 EPI 영상에 적용하여 보정된 영상을 획득한다(S110). 일 실시예에서, 보정된 영상은 이동맵(702)을 왜곡된 EPI 영상의 크기(magnitude) 데이터에 적용함으로써 획득될 수 있다. 일 실시예에서, 이동맵(702)은 왜곡된 EPI 영상의 절대값(magnitude)에 적용함으로써 보정된 영상을 얻을 수 있다.

[0055] 이하에서는, 도 7a 및 도 7b에서 설명한 변동 PSF 맵핑 기법의 영상 보정 효과를 고정(fixed) PSF 맵핑 기법과 비교하여 설명한다.

[0056] 도 8a는 왜곡된 EPI 영상(800)에 대한 고정 PSF 맵핑 기법의 적용을 설명하는 도면이며, 도 8b는 고정 PSF 맵핑 기법을 실행하여 획득한 이동맵(802)을 도시한다. 도 8a에 도시된 바와 같이, 고정 PSF 맵핑 기법에서는 ys평면을 갖는 2차원 PSF 데이터(600)를 왜곡되지 않은 차원인 s차원으로 추출하여 고정 PSF 맵핑 데이터를 획득한다. 예를 들어, 고정 PSF 맵핑 데이터는 2차원 PSF 데이터(600)에 포함된 PSF들을 s축으로 맵핑하여 PSF들이

기준선(602)으로부터 s축 방향으로 이동한 이동량을 측정하여 산출된다. 이와 같이 산출된 고정 PSF 맵핑 데이터는, 이하에서 자세히 설명하는 바와 같이, 변동 PSF 맵핑 데이터보다 PSF들의 이동과 관련된 정보를 적게 포함한다.

[0057] 도 9a 및 도 9b는, 도 6b에 도시한 2차원 PSF 데이터(600)에 대하여 고정 PSF 맵핑 기법을 이용하여 생성한 이동맵(900a)과 변동 PSF 맵핑 기법을 이용하여 생성한 이동맵(900b)을 각각 도시한다. 앞서 설명한 바와 같이, 2차원 PSF 데이터(600)는 기준선(602)을 이탈하지 않고 배열된 PSF들(622)과 기준선(602)에서 이탈하여 배열된 PSF들(624,626)을 포함한다. 또한, 2차원 PSF 데이터(600)는 본래 한 개의 픽셀을 차지하던 PSF들(624,626)이 여러 픽셀로 퍼지면서 발생된 PSF들(624a,626a,626b)을 포함한다.

[0058] 도 9a에 도시된 바와 같이, 고정 PSF 맵핑 기법의 경우, 2차원 PSF 데이터(600)를 왜곡되지 않은 차원인 s축 방향으로 맵핑하여 PSF의 이동량을 측정하므로, PSF들(624,626)의 이동량은 측정되나 PSF(604a,606a,606b)의 이동량은 측정되지 않는다. 따라서, 고정 PSF 맵핑 데이터에는 PSF들(624,626)의 이동은 반영되나 PSF(604a,606a,606b)의 이동은 반영되지 않는다. 따라서, 고정 PSF 맵핑 데이터를 기초로 산출된 이동맵(900a)은 블러링 현상을 정확히 반영할 수 없다.

[0059] 반면, 변동 PSF 맵핑 기법에서는, 도 9b에 도시된 바와 같이, PSF 데이터(600)를 왜곡된 차원인 y축 방향으로 맵핑하여 PSF의 이동량을 측정하므로, PSF들(624,626)의 이동뿐만 아니라 PSF(604a,606a,606b)의 이동이 측정될 수 있다. 따라서, 변동 PSF 맵핑 데이터에는 PSF들(624,626)의 이동 및 PSF(604a,606a,606b)의 이동이 모두 반영되게 된다. 도 9c에 도시한 바와 같이, 기준선(602)이 ys평면에서 원점을 지나고 기울기가 "1"인 직선이면, 기준선(602)을 이탈한 PSF(902)에 대하여 s방향으로 이동한 거리를 나타내는 길이(L<sub>A</sub>)와 y방향으로 이동한 거리를 나타내는 길이(L<sub>B</sub>)는 항상 동일하다. 따라서, PSF가 기준선으로부터 y방향으로 이동한 값을 측정할 경우 y방향으로 이동한 값도 함께 측정될 수 있다. 따라서 변동 PSF 맵핑 데이터는 고정 PSF 맵핑 데이터가 포함한 정보를 포함함과 동시에 둘 이상의 픽셀로 늘어난 PSF의 이동량에 관한 정보도 포함하고 있으므로 고정 PSF 맵핑 데이터에 비해 더 많은 정보를 포함할 수 있다.

[0060] 이와 같이 변동 PSF 맵핑 데이터는 고정 PSF 맵핑 데이터보다 더 많은 PSF의 이동에 관한 정보를 포함할 수 있으므로, 변동 PSF 맵핑 데이터를 기초로 산출된 이동맵(900b)은 고정 PSF 맵핑 데이터를 기초로 산출된 이동맵(900a)에 비해 블러링 현상을 보다 정확히 반영할 수 있다. 도 7b 및 도 8b에 도시된 바와 같이, 도 7b에 도시된 변동 PSF 맵핑 기법을 통해 생성된 이동맵(702)은 도 8b에 도시된 고정 PSF 맵핑 기법을 통해 생성된 이동맵(802)보다 블러링 현상을 보다 정확히 반영한다. 따라서, 변동 PSF 맵핑 기법을 이용하면 고정 PSF 맵핑 기법을 이용하는 경우보다 EPI 영상 보정을 더욱 정확히 실행할 수 있다.

[0061] 이하에서는, 도 10을 이용하여 고정 PSF 맵핑 기법과 변동 PSF 맵핑 기법에 있어서 혈류 이동에 의한 유령인공물(ghost by flow artifact)이 미치는 영향을 설명한다.

[0062] 초고자장에서의 영상에서, 고해상도 영상 획득 시에 일반적으로 TE(echo time)가 늘어나게 된다. 하지만, TE(time echo)가 길어지게 되면, 혈류이동에 따른 고스트가 3차원 PSF 데이터(1000)에 발생하게 된다. 이와 같이 영상에 혈류 이동에 따른 고스트가 포함된 3차원 PSF 데이터(1000) 경우에, 2차원 PSF 데이터(1002)에는, 확대된 2차원 PSF 데이터(1002b)에 도시된 바와 같이 혈류 이동에 따른 고스트 PSF(1002a)가 포함될 수 있다.

[0063] 표 1은, 왜곡된 y차원과 왜곡되지 않은 s차원에 있어서 원 PSF와 고스트 PSF의 위치 및 강도를 비교한 것이다.

**표 1**

[0064]	원 PSF와 고스트 PSF	왜곡된 y 차원	왜곡되지 않은 s 차원
	위치 비교	동일 위치	다른 위치
	강도(intensity) 비교	원 PSF > 고스트 PSF	원 PSF ≠ 고스트 PSF

[0065] 표 1을 참고하면, 원 PSF와 고스트 PSF가 왜곡되지 않은 s차원으로 맵핑하는 경우에는 원 PSF와 다른 위치의 원 PSF로부터 기인한 고스트 PSF가 같은 선상에 위치하게 된다. 원 PSF의 고스트 PSF가 s차원을 따라 이동하여 나타나기 때문에, s 차원의 한 축에서 보면, 그 축 상에서 보여지는 원 PSF와 같은 축에서 보여지는 고스트 PSF는 다른 위치에서의 원 PSF에서부터 기인한 것이다. 따라서, 같은 선상에서 보여지는 원 PSF가 다른 위치의 원 PSF로부터 기인한 고스트 PSF보다 항상 크지 않고, 그 위치에 따라 다르게 된다. 만약 같은 선상에 위치한 원

PSF의 강도가 다른 위치의 원 PSF로부터 기인한 고스트 PSF의 강도보다 작게 되면, 맵핑 시 원 PSF의 이동을 맵핑하는 것이 아니라 보다 높은 강도를 가진 고스트 PSF의 이동을 맵핑하게 된다. 따라서, 고스트 PSF(1002a)가 포함된 2차원 PSF 데이터(1002)에 대해 s차원에서의 고정 PSF 맵핑 기법을 이용하여 이동맵(1006)을 산출할 경우에는, 이동맵(1006)에는 고스트 PSF 데이터의 이동이 반영되므로, 고스트가 포함된 영상에서는 원 PSF 데이터의 이동을 맵핑할 수 없는 문제점이 있다.

[0066] 표 1과 같이, 왜곡된 y차원에서 맵핑하는 경우, 원 PSF와 고스트 PSF가 같은 선상에서 존재하며, 원 PSF는 고스트 PSF 보다 항상 높은 강도를 갖는다. 따라서, 고스트 PSF(1002a)가 포함된 2차원 PSF 데이터(1002)에 대해 왜곡된 차원에서의 PSF 맵핑은, 고스트 PSF에 의한 이동은 반영되지 않고 보다 높은 강도를 갖는 원 PSF의 이동이 반영된 이동맵(1004)을 얻을 수 있다. 따라서, 고정 PSF 맵핑 데이터는 혈류 이동에 따른 유령인공물에 의한 영향을 받지 않기 때문에 보다 정확한 EPI 영상 보정이 가능하다.

[0067] 이하에서는, 도 11 및 도 12를 참조하여 멀티샷을 통해 얻어지는 왜곡된 EPI 영상의 보정 방법을 설명한다.

[0068] 도 11은, 하나의 샷을 통해 얻어지는 이미지의 처리 과정을 도시한 도면이다.

[0069] 먼저, 도 1을 참조하여 설명한 바와 같이, 소정의 대상에 대하여 EPI 시퀀스를 실행하여 EPI 영상을 생성하며(S1200), EPI 영상을 획득한 동일한 대상에 대해 PSF(point spread function) 시퀀스를 실행하여 3차원 주파수 공간(3D k-space)데이터(1100)를 생성한 후, 도 11에 도시된 바와 같이 3차원 주파수공간 데이터를 홀(odd) 주파수공간 데이터(1102a) 및 짝(even) 주파수 공간 데이터(1102b)로 분리한다(S1202).

[0070] 홀 주파수공간 데이터(1102a) 및 짝 주파수 공간 데이터(1102b)의 도메인을 주파수 도메인에서 공간 도메인으로 변환하여 3차원 홀 PSF 데이터(1104a) 및 3차원 짝 PSF 데이터(1104b)를 생성한다(S1204). 일 실시예에서, 홀 주파수공간 데이터(1102a) 및 짝 주파수 공간 데이터(1102b)의 도메인 변환을 위해 3차원 푸리에 변환을 실행할 수 있다.

[0071] 3차원 홀 PSF 데이터(1104a) 및 3차원 짝 PSF 데이터(1104b)에 대해 영상 속에 포함될 수 있는 나이퀴스트유령인공물을 제거하기 위한 위상 보정(phase correction)을 실행하여 나이퀴스트유령인공물이 존재하지 않는 3차원 홀 PSF 데이터(1106a) 및 3차원 짝 PSF 데이터(1106b)를 생성할 수 있다(S1208). 나이퀴스트유령인공물을 제거하기 위한 위상 보정은 종래에 알려진 모든 위상 보정 방법에 의해 달성될 수 있음을 알아야 할 것이다.

[0072] 다음으로, 도 1을 참조하여 설명한 PSF 맵핑 단계(S104)에 대응되는 PSF 맵핑 단계(S1206), PSF 맵핑 데이터 생성 및 이동맵 생성 단계(S108)에 대응되는 PSF 맵핑 데이터 생성 및 이동맵 생성 단계(S1208)를 차례대로 실행하여, 왜곡이 보정된 홀 보정 영상(1108a) 및 짝 보정 영상(1108b)을 생성한다(S1210).

[0073] 홀 보정 영상(1108a) 및 짝 보정 영상(1108b)을 이용하여 EPI 영상에 각각 적용 시킨 후 영상 도메인에서 합침으로써 보정된 EPI 영상(1110)을 획득한다(S1212).

[0074] 이와 같이, 다채널 RF 코일이 이용되는 경우에 있어서 3차원 주파수공간 데이터를 홀(odd) 주파수 공간 데이터와 짝(even) 주파수 공간 데이터로 분리하여 처리할 경우, 홀(odd) 영상과 짝(even) 영상으로 분리됨에 따라 영상이 겹쳐 보이는 앨리어싱(aliasing) 현상이 발생하나, 이러한 앨리어싱 현상을 기존의 병렬(parallel) 기법을 이용하여 풀어냄으로써 나이퀴스트유령인공물을 제거할 수 있다. 또한, 홀(odd) 영상과 짝(even) 영상 각각에 대하여 생성된 이동맵을 홀(odd) 영상과 짝(even) 영상에 적용함으로써 자기장에 의한 왜곡도 보정할 수 있다. 따라서, 나이퀴스트유령인공물의 제거 및 왜곡의 보정을 동시에 해결할 수 있다.

[0075]

### 도면의 간단한 설명

[0076] 도 1은, 일 실시예에 따른, EPI 시퀀스를 실행하여 획득한 영상의 영상 보정 방법을 도시한 순서도이다.

[0077] 도 2는, EPI 시퀀스의 일 실시예를 도시한 도면이다.

[0078] 도 3은, PSF 시퀀스의 일 실시예를 도시한 도면이다.

[0079] 도 4는, PSF 시퀀스를 실행하여 획득한 3차원 주파수 공간 데이터의 일 실시예를 도시한 도면이다.

[0080] 도 5는, 3차원 PSF 데이터의 일례를 도시한다.

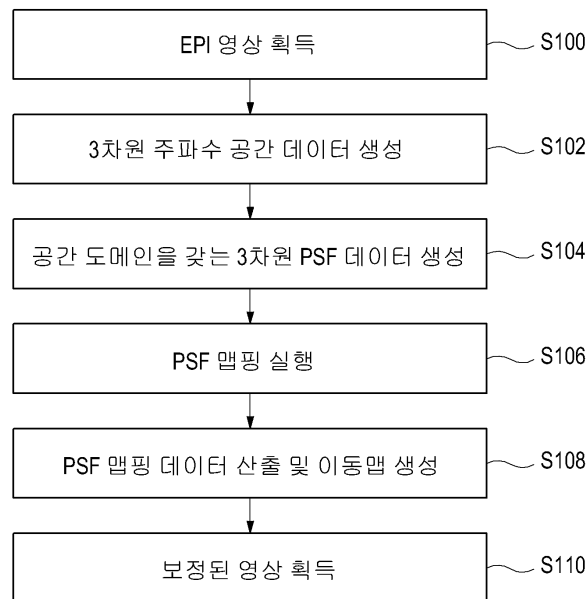
[0081] 도 6a는 2차원 PSF 데이터의 일 실시예를 도시하고, 도 6b는 도 6a에 도시된 2차원 PSF 데이터에서의 PSF 완만

화 영역을 도시한다.

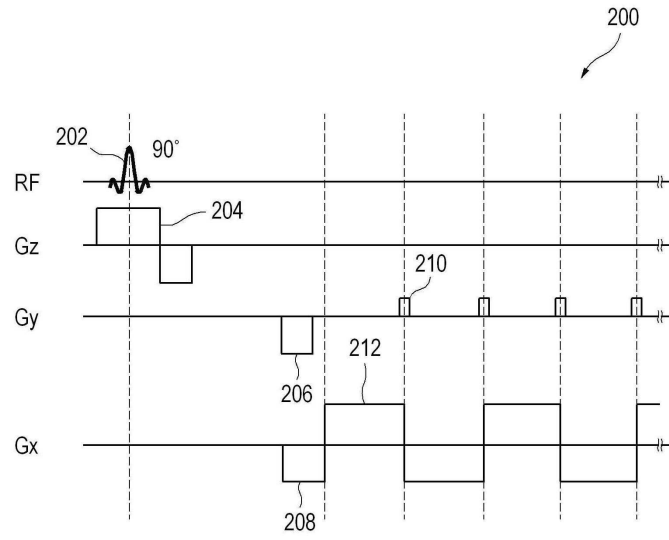
- [0082] 도 7a는 왜곡된 EPI 영상에 대한 변동 PSF 맵핑 기법의 적용을 설명하는 도면이고, 도 7b는 변동 PSF 맵핑 기법을 이용하여 획득한 이동맵을 도시하는 도면이다.
- [0083] 도 8a는 왜곡된 EPI 영상에 대한 고정 PSF 맵핑 기법의 적용을 설명하는 도면이고, 도 8b는 고정 PSF 맵핑 기법을 실행하여 획득한 이동맵을 도시한다.
- [0084] 도 9a 및 도 9b는, 도 6b에 도시한 2차원 PSF 데이터(600)에 대하여 고정 PSF 맵핑 기법을 이용하여 생성한 이동맵과 변동 PSF 맵핑 기법을 이용하여 생성한 이동맵을 각각 도시하며, 도 9c는 PSF의 이동 길이와 이동 방향의 관계를 나타내는 도면이다.
- [0085] 도 10은, 혈류이동에 의한 유령인공물이 고정 PSF 맵핑 데이터와 변동 PSF 맵핑 데이터에 미치는 영향을 보여주는 도면이다.
- [0086] 도 11은, 하나의 샷을 통해 얻어지는 이미지의 처리 과정의 일 실시예를 도시한 도면이다.
- [0087] 도 12는, 도 11의 이미지 처리 과정을 통하여 EPI 시퀀스를 실행하여 획득한 영상의 영상 보정 방법을 도시한 순서도이다.

**도면**

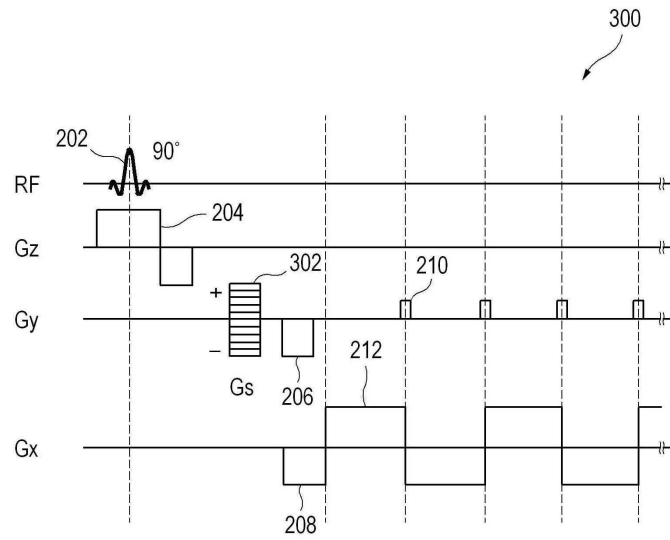
**도면1**



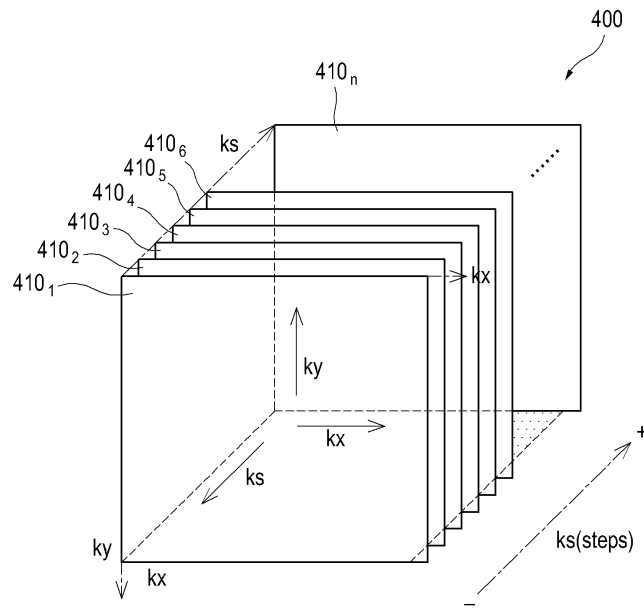
도면2



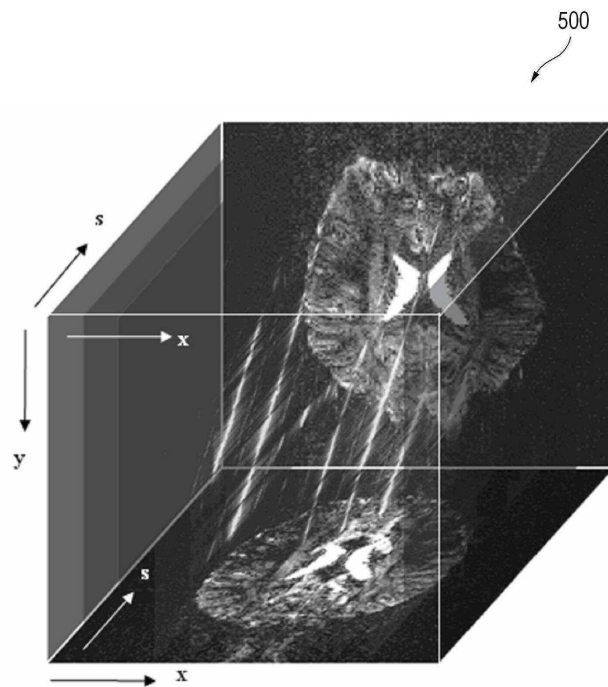
도면3



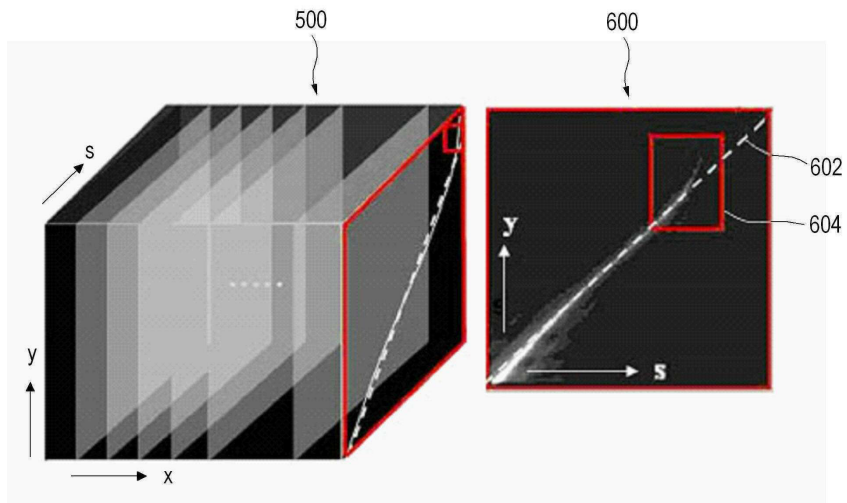
도면4



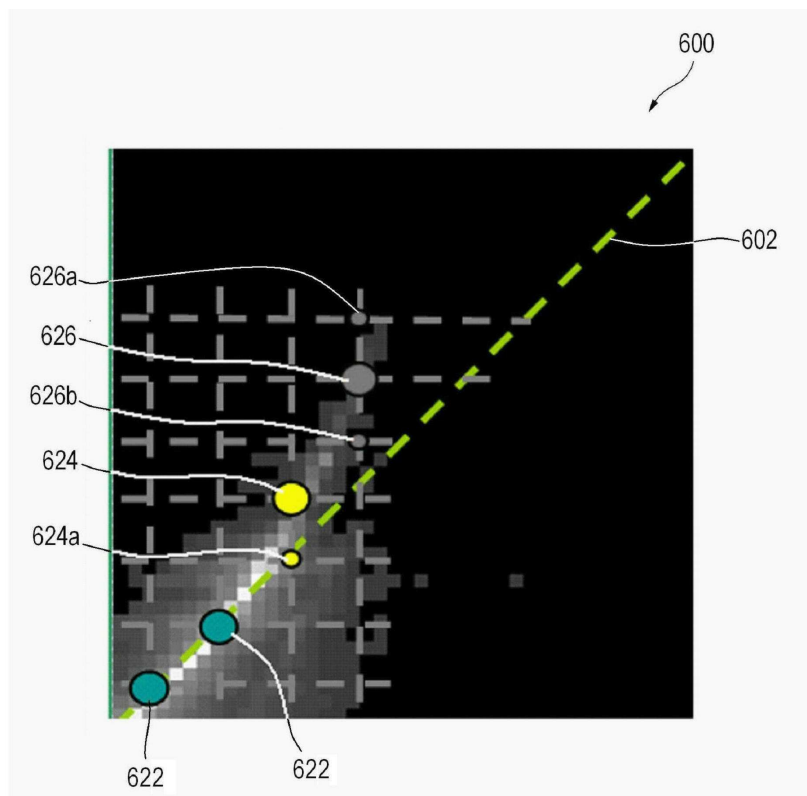
도면5



도면6a

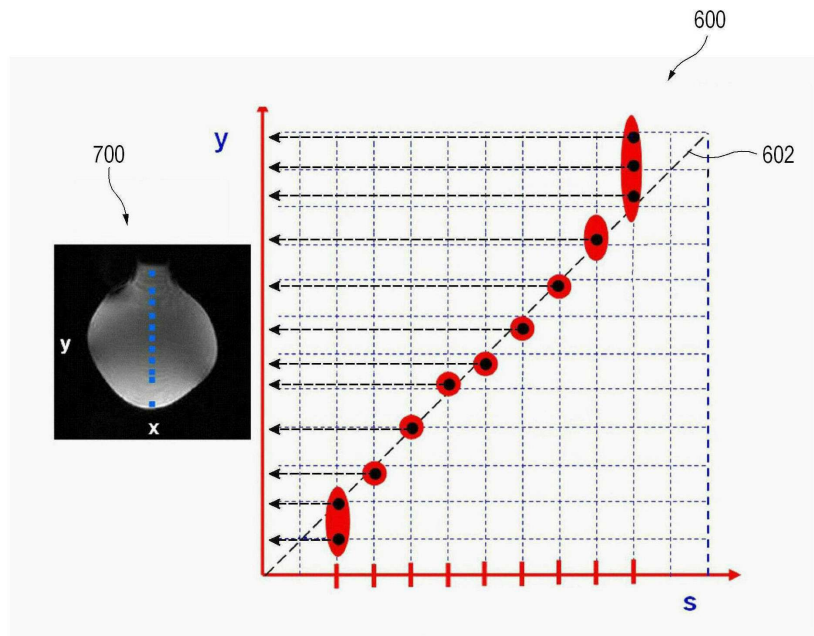


도면6b

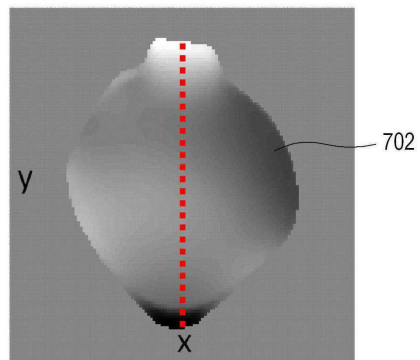




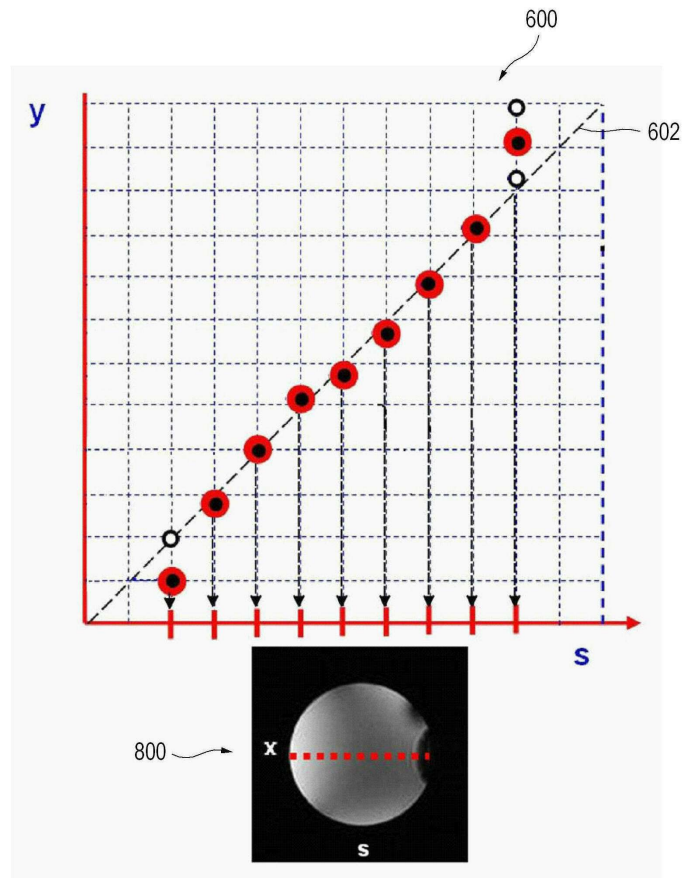
도면7a



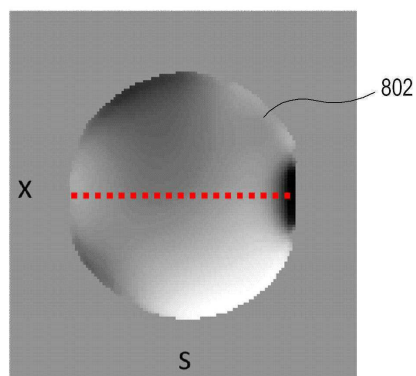
도면7b



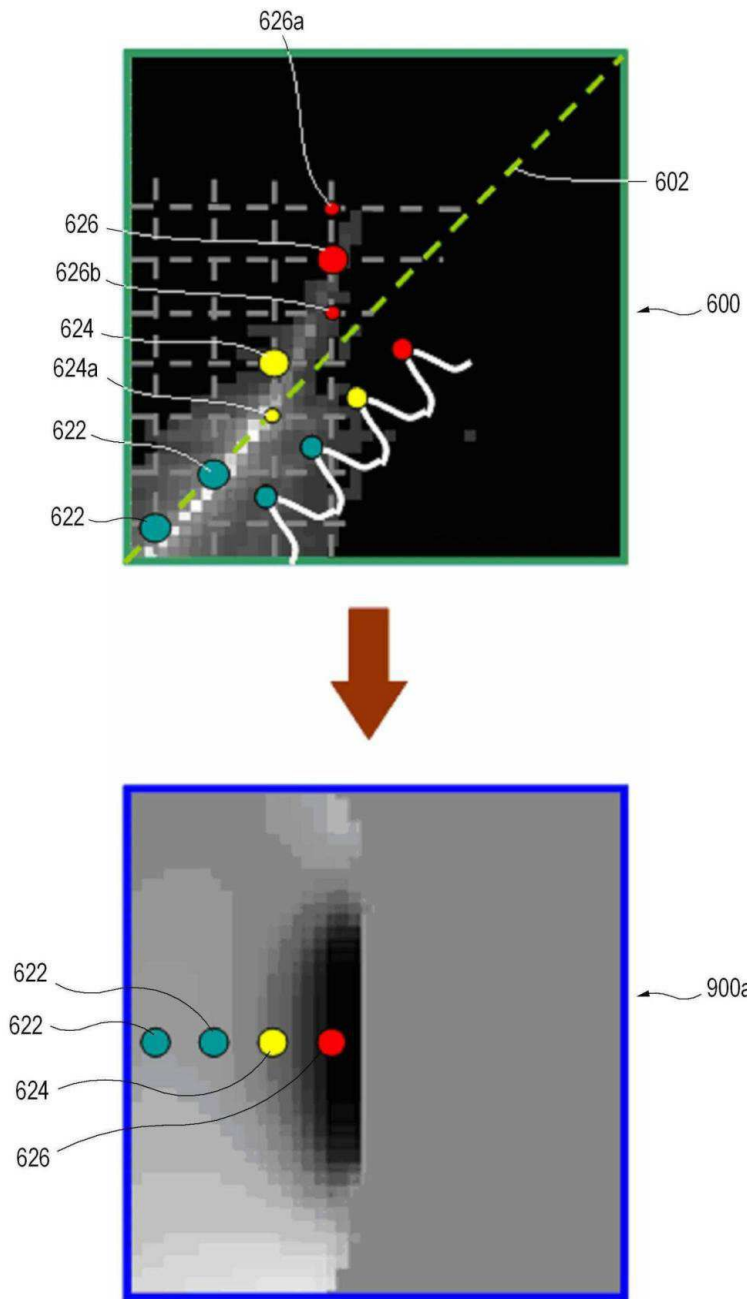
도면8a



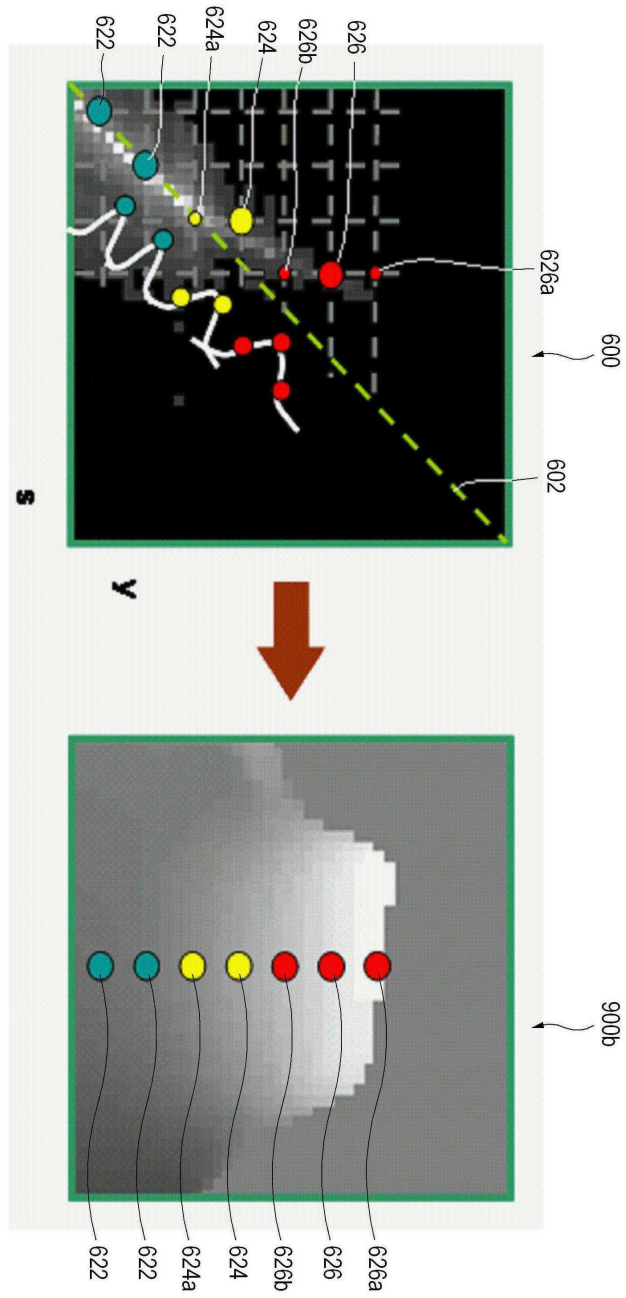
도면8b



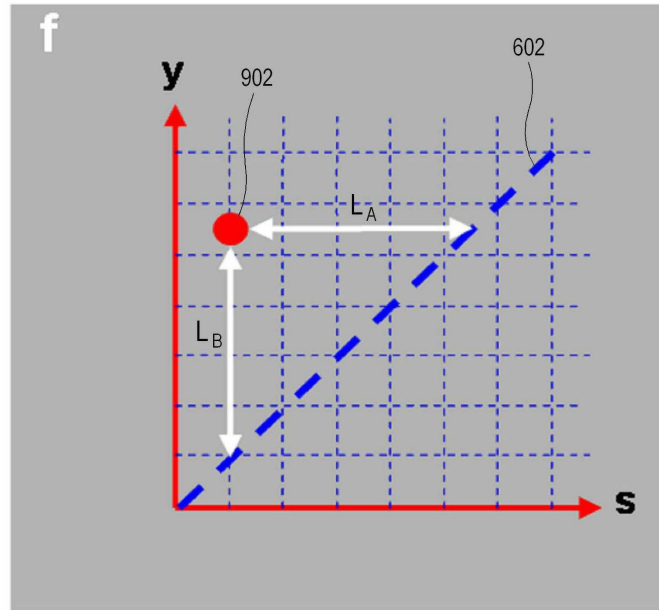
도면9a



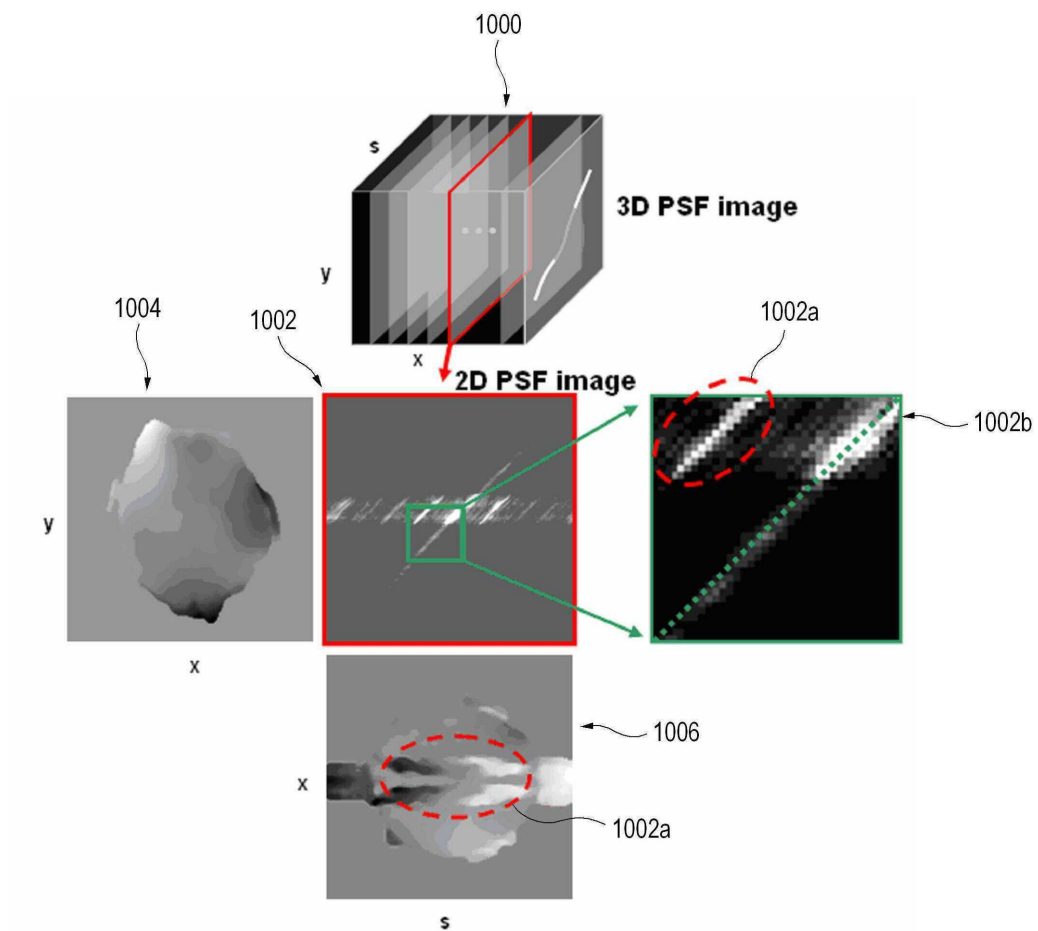
도면9b



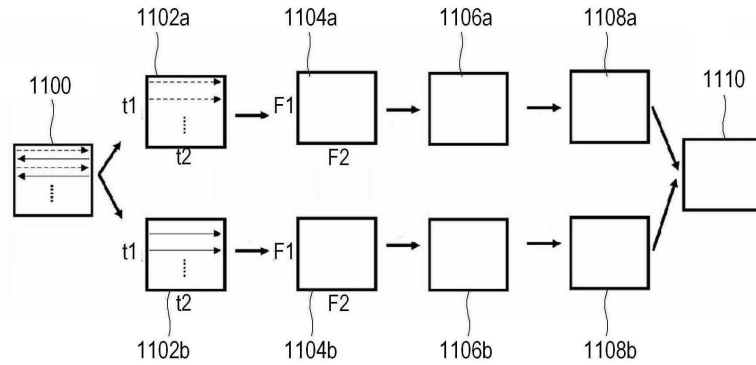
도면9c



도면10



도면11



도면12

