



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0062764
(43) 공개일자 2020년06월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 5/00 (2006.01) G06N 20/00 (2019.01)
(52) CPC특허분류
A61B 5/7275 (2013.01)
A61B 5/0071 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0148548
(22) 출원일자 2018년11월27일
심사청구일자 2018년11월27일

(71) 출원인
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)
재단법인 아산사회복지재단
서울특별시 송파구 올림픽로43길 88 (풍납동)
(72) 발명자
박성철
강원도 강릉시 사천면 방동길 36, 102동 103호 (강릉아산병원아파트)
안재성
서울특별시 강남구 논현로 213, 110동 605호 (도곡동, 역삼럭키아파트)
(74) 대리인
리앤목특허법인

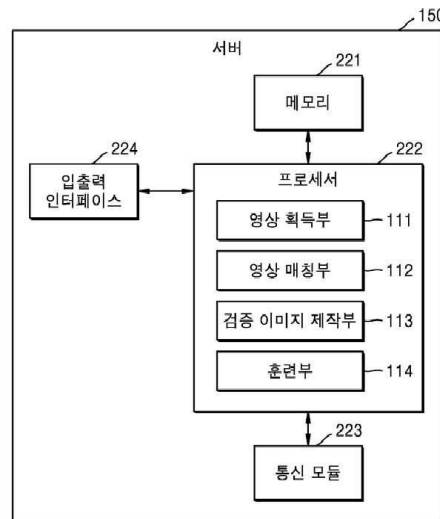
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 딥러닝 기반 혈관 구분 방법 및 시스템

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따르면, 가시광선 영상과 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 획득하는 영상 획득부; 가시광선 영상과 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술(indocyanine green infrared angiography) 영상을 같은 위치로 매칭시켜 매칭 정보를 생성하는 영상 매칭부; 상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 스레슬딩(thresholding) 혹은 타종류 알고리즘으로 변환하여 실지 검증 정보(ground truth information)를 제작하는 검증 이미지 제작부; 상기 매칭 정보에 기반하고 상기 실지 검증 정보를 정답 영상으로 하여 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 지도 훈련(supervised training)하는 훈련부; 를 포함하는 딥러닝 혈관 구분 시스템이 제공된다. 실지검증정보 제작부와 훈련부 및 검증부는 하나의 딥러닝 네트워크로 통합되어 운영될 수 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G06N 20/00 (2019.01)

(72) 발명자

차준혁

인천광역시 연수구 해돋이로 107, 1동 3401호 (송
도동, 송도 더샵 퍼스트월드)

이선화

서울특별시 송파구 법원로4길 5, 1256호 (문정동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2016R1C1B1012374

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 신진연구

연구과제명 파킨슨 병에서의 딥러닝을 통한 MRI 해부학적 구조물 및 연결성 추상화 기반 뇌심부자극수
술 수술목표설정 및 임상적용

기 여 율 1/1

주관기관 강릉아산병원

연구기간 2016.06.01 ~ 2019.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

가시광선 영상과 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 획득하는 영상 획득부;

가시광선 영상과 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술(indocyanine green infrared angiography) 영상을 같은 위치로 매칭시켜 매칭 정보를 생성하는 영상 매칭부;

상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 스레솔딩(thresholding)하여 실지 검증 정보(ground truth information)를 제작하는 검증 이미지 제작부;

상기 매칭 정보에 기반하고 상기 실지 검증 정보를 정답 영상으로 하여 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 지도 훈련(supervised training)하는 훈련부;

를 포함하는 딥러닝 혈관 구분 시스템.

청구항 2

가시광선 영상과 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 획득하는 영상 획득부;

상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 스레솔딩(thresholding)하여 실지 검증 정보(ground truth information)를 제작하는 검증 이미지 제작부;

상기 실지 검증 정보를 정답 영상으로 하여 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 지도 훈련(supervised training)하는 훈련부;

상기 훈련된 혈관 구분 알고리즘에 사용되지 않은 데이터를 적용하여 상기 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 검증하는 검증부;

를 포함하는 딥러닝 혈관 구분 시스템.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 영상 획득부는 상기 가시광선 영상과 상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 동시에 획득하는, 딥러닝 혈관 구분 시스템.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 영상 매칭부는,

크기 변경(resizing), 코레지스트레이션(coregistration), 변형(deformation), 영역 선택(area selection), 프레임 이동 중 하나 이상의 방법을 이용하여 상기 가시광선 영상과 상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 매칭시키는, 딥러닝 혈관 구분 시스템.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 영상 매칭부는 상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 구역 별로 분할하거나 3차원 시야 관계에 기초하여 코레지스트레이션을 수행하는, 딥러닝 혈관 구분 시스템.

청구항 6

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 검증 이미지 제작부는, 오투 방법(Otsu's method) 혹은 다른 머신러닝 및 딥러닝 알고리즘을 사용하여 상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 딥러닝 훈련용 실지 검증 이미지로 변환하는, 딥러닝 혈관 구분 시스템.

청구항 7

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

폴 킨볼루션 신경망 혹은 다른 의미론적 영상분할이 가능한 딥러닝 알고리즘을 훈련 데이터 군을 통하여 훈련시킨 딥러닝 혈관 구분 시스템. 본 알고리즘은 청구항 6에서 전처리된 실지 검증 영상 정보를 받아서 훈련에 이용할 수도 있고 삼 구조 네트워크로 동시에 인도시아닌 그린 영상 정보와 가시광선 정보를 입력 받아서 청구항 6과 청구항 7의 내용을 동시 처리할 수도 있다.

청구항 8

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 딥러닝 혈관 구분 시스템은, 상기 훈련된 혈관 구분 알고리즘에 사용되지 않은 데이터를 적용하여 상기 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 검증하는, 딥러닝 혈관 구분 시스템.

청구항 9

가시광선 영상과 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 획득하는 영상 획득 단계;

가시광선 영상과 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술(indocyanine green infrared angiography) 영상을 같은 위치로 매칭시켜 매칭 정보를 생성하는 영상 매칭 단계;

상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 스레숄딩(thresholding)하여 실지 검증 정보(ground truth information)를 제작하는 검증 이미지 제작 단계;

상기 매칭 정보에 기반하고 상기 실지 검증 정보를 정답 영상으로 하여 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 지도 훈련(supervised training)하는 훈련 단계;

를 포함하는 딥러닝 혈관 구분 방법.

청구항 10

가시광선 영상과 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 획득하는 영상 획득 단계;

상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 스레숄딩(thresholding)하여 실지 검증 정보(ground truth information)를 제작하는 검증 이미지 제작 단계;

상기 실지 검증 정보를 정답 영상으로 하여 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 지도 훈련(supervised training)하는 훈련 단계;

상기 훈련된 혈관 구분 알고리즘에 사용되지 않은 데이터를 적용하여 상기 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 검증하는 검증 단계;

를 포함하는 딥러닝 혈관 구분 방법.

청구항 11

제 9 항 또는 제 10 항에 있어서,

상기 영상 획득 단계는 상기 가시광선 영상과 상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 동시에 획득하는, 딥러닝 혈관 구분 방법.

청구항 12

제 9 항에 있어서,

상기 영상 매칭 단계는,

크기 변경(resizing), 코레지스트레이션(coregistration), 변형(deformation), 영역 선택(area selection), 프레임 이동 및 딥러닝 알고리즘중 하나 이상의 방법을 이용하여 상기 가시광선 영상과 상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 매칭시키는, 딥러닝 혈관 구분 방법.

청구항 13

제 9 항에 있어서,

상기 영상 매칭 단계는 상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 구역 별로 분할하거나 3차원 시야 관계에 기초하여 코레지스트레이션을 수행하는, 딥러닝 혈관 구분 방법.

청구항 14

제 9 항 또는 제 10 항에 있어서,

상기 검증 이미지 제작 단계는, 오흐 방법(Otsu's method)을 사용하여 상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 스레슬딩하는, 딥러닝 혈관 구분 방법.

청구항 15

제 9 항 또는 제 10 항에 있어서,

상기 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 풀 컨볼루션 신경망 혹은 다른 종류의 딥러닝 알고리즘에 기초한 것인, 딥러닝 혈관 구분 방법.

청구항 16

제 9 항 또는 제 10 항에 있어서,

상기 딥러닝 혈관 구분 방법은, 상기 훈련된 혈관 구분 알고리즘에 사용되지 않은 데이터를 적용하여 상기 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 검증하는, 딥러닝 혈관 구분 방법 검증 과정.

청구항 17

제9항, 제10항, 제11항 및 제12항 중 어느 한 항에 따른 방법을 실행하기 위한 컴퓨터 프로그램을 기록하는 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 딥러닝 기반 혈관 구분 방법 및 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 인도시아닌 그린 적외선 형광 조영술 영상을 이용하여 생성한 실지 검증 정보로 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 훈련하여 정확도 높은 혈관 구분 알고리즘을 제공하는 것에 관한 방법 및 시스템이다.

배경 기술

[0002] 기계학습알고리즘은 학습방법에 따라 지도학습(supervised learning)과 자율학습(unsupervised learning)으로 나눌 수 있다. 지도학습은 데이터의 최적화를 위해서 라벨링된 데이터(labeled data)가 사용되고, 자율학습은 라벨링이 되지 않은 데이터가 사용되는 점에서 양자는 구분된다.

[0003] 기존의 뇌파분석 등 전기생리학적 신호 및 의료 영상 등 의료 데이터의 자동분석을 위해 기계학습알고리즘을 활용할 때에 있어서, 지도학습의 경우, 라벨링된 데이터를 그 분야의 전문가가 판단한 결과를 기초로 하여 필요한 결과를 도출해왔기에, 데이터의 양이 방대해지면 방대해질수록 전문가의 판단을 기초로 하는 방법은 시간과 비용이 많이 소모될 뿐만 아니라, 전문가의 역량에 따라 정확도가 일정하지 못한 문제점이 존재했다. 기존의 방법에 따르면, 전문가가 뇌파 및 의료 영상 등에서 병적 소견과 병적이지 않은 소견들을 직접 표지함으로서 기계학습(machine learning)을 지도학습시키기 위한 데이터를 제공해 왔다.

[0004] 기존에는 영상 데이터 혹은 수술 후 예후와 관련된 수술결과데이터가 수집되면, 분석방법(또는 진단방법)과 그 분석방법에서 적용할 탐지역치(detection threshold) 및 판단 기준을 의학전문가가 직접 지정하여, 그 지정된

분석방법 및 탐지역치에 따라 수술결과데이터를 분석했으므로, 전문가의 판단에 지나치게 의존적이었다. 그리고 대규모의 전문가 의견을 수집하기 위해서는 높은 비용이 소요될 수 있다. 특히, 위와 같은 방법에 의하면, 전적으로 전문가의 소견에 의해서만 데이터를 분석하기 위한 진단방법이 결정되기 때문에 전문가의 소견보다 더 정확성이 높은 방법의 개발이 원천적으로 불가능하다는 점도 문제점으로 지적되어 왔다.

[0005] 영상소견, 전기생리학적 신호 등 생체 신호 관련 소견, 수술결과 또는 치료결과에 대한 데이터가 전문가에 의해 라벨링된 데이터(expert labeled data)가 된 이후에 기계학습알고리즘 등을 적용하여 분석하는 것이 아닌, 전문가가 labeling하지 않아도 얻을 수 있는 참값 정보에 기반한 지도학습(supervised learning without manual labelling by experts)을 통한 데이터 분석방법이 개발된다면, 전문가의 오판에 의한 잘못된 진단을 방지할 수 있을 뿐만 아니라, 관련 데이터가 축적되면 축적될수록 더 정확도가 높은 의료 영상 및 데이터 분석방법의 개발이 가능하게 될 것이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 딥러닝에 기반하여 수동으로 영상분할 및 분류 용 라벨 마킹 없이도 수술 영상에서 혈관을 구분하는 알고리즘을 개발하는 것을 일 목적으로 한다.

[0007] 본 발명은 혈관의 종류 별로 혈관을 구분하는 알고리즘을 개발하는 것을 다른 목적으로 한다.

[0008] 본 발명을 혈관 구분 알고리즘을 통해 수술 관련 응용 시스템, 수술용 네비게이션 및 로봇 등의 정확도를 향상시키고 수술 중 의도치 않은 혈관 손상을 방지하여 안전을 향상시키는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 일 실시예에 따르면 가시광선 영상과 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 획득하는 영상 획득부; 가시광선 영상과 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술(indocyanine-green infrared angiography) 영상을 같은 위치로 매칭시켜 매칭 정보를 생성하는 영상 매칭부; 상기 인도시아닌-그린 적외선 형광 조영술 영상을 조영 artery, vein 혹은 전체 vessel phase별로 분할 및 스레숄딩(thresholding) 후 필요시 병합하여 실지 검증 정보(ground truth information)를 제작하는 검증 이미지 제작부; 상기 매칭 정보에 기반하고 상기 실지 검증 정보를 정답 영상으로 하여 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 지도 훈련(supervised training)하는 훈련부; 를 포함하는 딥러닝 혈관 구분 시스템이 제공된다.

[0010] 본 발명에 있어서, 상기 영상 획득부는 상기 가시광선 영상과 상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 동시에 획득할 수 있다.

[0011] 본 발명에 있어서, 상기 영상 매칭부는, 크기 변경(resizing), 코레지스트레이션(coregistration), 변형(deformation), 영역 선택(area selection), 프레임 이동 중 하나 이상의 방법을 이용하여 상기 가시광선 영상과 상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 매칭시킬 수 있다.

[0012] 본 발명에 있어서, 상기 영상 매칭부는 상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 구역 별로 분할하거나 3차원 시야 관계에 기초하여 코레지스트레이션을 수행할 수 있다. 이는 가시광선 recording camera와 인도시아닌그린 적외선 영상 기록 카메라의 위치가 유사하더라도 3 차원 공간 상의 약간의 차이가 있을 수 있기 때문이다.

[0013] 본 발명에 있어서, 상기 검증 이미지 제작부는, 오투 방법(Otsu's method)혹은 다른 알고리즘을 사용하여 상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 스레숄딩할 수 있다.

[0014] 본 발명에 있어서, 상기 딥러닝 혈관 구분 알고리즘은 폴-컨볼루션 신경망, 컨볼루션 오토인코더 등 의미론적 영상분할 및 이에 추가로 공간구조 분석 (structure-aware) 및 토폴로지 (topology) 및 위계적 구조 분석 (Hierarchical structure)이 가능한 수준의 딥러닝 알고리즘에 기초한 것일 수 있다.

[0015] 본 발명에 있어서, 상기 딥러닝 혈관 구분 시스템은, 상기 훈련된 혈관 구분 알고리즘에 사용되지 않은 데이터를 적용하여 상기 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 검증할 수 있다.

[0016] 본 발명의 일 실시예에 따르면 가시광선 영상과 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 획득하는 영상 획득부; 상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 조영 phase 별로 분할 및 스레숄딩(thresholding) 및 병합

하여 실지 검증 정보(ground truth information)를 제작하는 검증 이미지 제작부;

- [0017] 상기 실지 검증 정보를 정답 영상으로 하여 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 지도 훈련(supervised training)하는 훈련부; 상기 훈련된 혈관 구분 알고리즘에 사용되지 않은 데이터를 적용하여 상기 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 검증하는 검증부; 를 포함하는 딥러닝 혈관 구분 시스템이 제공된다.
- [0018] 본 발명의 일 실시예에 따르면 가시광선 영상과 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 획득하는 영상 획득 단계; 가시광선 영상과 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술(indocyanine green infrared angiography) 영상을 같은 위치로 매칭시켜 매칭 정보를 생성하는 영상 매칭 단계; 상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 스레숄딩(thresholding)하여 실지 검증 정보(ground truth information)를 제작하는 검증 이미지 제작 단계; 상기 매칭 정보에 기반하고 상기 실지 검증 정보를 정답 영상으로 하여 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 지도 훈련(supervised training)하는 훈련 단계; 를 포함하는 딥러닝 혈관 구분 방법이 제공된다.
- [0019] 본 발명에 있어서, 상기 영상 획득 단계는 상기 가시광선 영상과 상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 동시에 획득할 수 있다.
- [0020] 본 발명에 있어서, 상기 영상 매칭 단계는, 크기 변경(resizing), 코레지스트레이션(coregistration), 변형(deformation), 영역 선택(area selection), 프레임 이동 중 하나 이상의 방법을 이용하여 상기 가시광선 영상과 상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 매칭시킬 수 있다.
- [0021] 본 발명에 있어서, 상기 영상 매칭 단계는 상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 구역 별로 분할하거나 3차원 시야 관계에 기초하여 코레지스트레이션을 수행할 수 있다.
- [0022] 본 발명에 있어서, 상기 검증 이미지 제작 단계는, 옌즈 방법(Otsu's method)을 사용하여 상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 스레숄딩할 수 있다.
- [0023] 본 발명에 있어서, 상기 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 폴 컨볼루션 신경망에 기초한 것일 수 있다.
- [0024] 본 발명에 있어서, 상기 딥러닝 혈관 구분 방법은, 상기 훈련된 혈관 구분 알고리즘에 사용되지 않은 데이터를 적용하여 상기 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 검증할 수 있다.
- [0025] 본 발명의 일 실시예에 따르면 가시광선 영상과 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 획득하는 영상 획득 단계; 상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 phase별로 분할 및 스레숄딩(thresholding) 후 필요시 병합하여 실지 검증 정보(ground truth information)를 제작하는 검증 이미지 제작 단계; 상기 실지 검증 정보를 정답 영상으로 하여 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 지도 훈련(supervised training)하는 훈련 단계; 상기 훈련된 혈관 구분 알고리즘에 사용되지 않은 데이터를 적용하여 상기 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 검증하는 검증 단계; 를 포함하는 딥러닝 혈관 구분 방법이 제공된다.
- [0026] 응용 단계: 본 방법을 적용하여 수술용 네비게이션의 정확도를 향상하고 수술 중 혈관 손상 방지 및 혈관을 대상으로 하는 수술 목표 설정에 활용함.
- [0027] 또한, 본 발명에 따른 방법을 실행하기 위한 컴퓨터 프로그램을 기록하는 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체가 제공된다.

발명의 효과

- [0028] 본 발명에 의하면, 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상이 labelled ground truth데이터로 사용되기 때문에 전문가에 의한 수동 마킹 없이도 혈관을 구분하는 딥러닝 알고리즘을 훈련할 수 있다.
- [0029] 본 발명에 의하면, 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상의 동맥이 먼저 조영되고 나중에 모세혈관, 정맥 및 전체 혈관이 조영되는 시간적 특성을 이용하여 혈관 종류를 구별할 수 있다.
- [0030] 본 발명에 의하면 정확하게 수술 시야 상에서 파악된 혈관 위치 정보로 수술용 네비게이션 위치 정보 정확도를 향상시키고 수술 중 혈관 손상 방지, 혈관 대상 수술 목표 설정 등에 활용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0031] 도 1 은 본 발명의 일 실시예에 따른 뇌수술 및 기타 수술 및 혈관 영상 분석 시스템의 구성 레를 간략히 나타낸 것이다. 네트워크를 통해 다양한 기기에서 수술 중 혹은 수술 외 시간, 장소 및 장비에서 구동할 수 있다.

도 2 는 본 발명의 일 실시예에 따른 서버 내부 프로세서의 구성을 나타낸 도면이다.

도 3 은 본 발명의 일 실시예에 따른 딥러닝 기반 혈관 구별 방법을 시계열적으로 나타낸 것이다.

도 4 는 본 발명의 일 실시예에 따른 가시광선 영상 및 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 나타낸 것이다.

도 5 는 본 발명의 일 실시예에 따른 매칭시키는 예시를 나타낸 것이다.

도 6 은 본 발명의 일 실시예에 따른 시맨틱 세그멘테이션 학습을 예시한 것이다.

도 7 은 본 발명의 일 실시예에 따라 혈관 종류를 구분하는 예시를 나타낸 도면이다.;

도 8 은 본 발명을 이용하여 수술용 네비게이션의 정확도를 향상시키는 예시이다.

도 9 은 본 발명을 이용하여 수술 중 혈관손상 위험 경고 및 수술 로봇 위치 제한 및 혈관 대상 수술 목표 설정을 하는 방법의 예시이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0032] 후술하는 본 발명에 대한 상세한 설명은, 본 발명이 실시될 수 있는 특정 실시예를 예시로서 도시하는 첨부 도면을 참조한다. 이러한 실시예는 당업자가 본 발명을 실시할 수 있기에 충분하도록 상세히 설명된다. 본 발명의 다양한 실시예는 서로 다르지만 상호 배타적일 필요는 없음이 이해되어야 한다. 예를 들어, 본 명세서에 기재되어 있는 특정 형상, 구조 및 특성은 본 발명의 정신과 범위를 벗어나지 않으면서 일 실시예로부터 다른 실시예로 변경되어 구현될 수 있다. 또한, 각각의 실시예 내의 개별 구성요소의 위치 또는 배치도 본 발명의 정신과 범위를 벗어나지 않으면서 변경될 수 있음이 이해되어야 한다. 따라서, 후술하는 상세한 설명은 한정적인 의미로서 행하여지는 것이 아니며, 본 발명의 범위는 특허청구범위의 청구항들이 청구하는 범위 및 그와 균등한 모든 범위를 포괄하는 것으로 받아들여져야 한다. 도면에서 유사한 참조부호는 여러 측면에 걸쳐서 동일하거나 유사한 구성요소를 나타낸다.
- [0033] 이하에서는, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명을 용이하게 실시할 수 있도록 하기 위하여, 본 발명의 여러 실시예에 관하여 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.
- [0034] 도 1 은 본 발명의 일 실시예에 따른 네트워크 환경의 예를 도시한 도면이다.
- [0035] 도 1의 네트워크 환경은 복수의 사용자 단말들(110, 120, 130, 140), 서버(150) 및 네트워크(160)를 포함하는 예를 나타내고 있다. 이러한 도 1은 발명의 설명을 위한 일례로 사용자 단말의 수나 서버의 수가 도 1과 같이 한정되는 것은 아니다.
- [0036] 복수의 사용자 단말들(110, 120, 130, 140)은 컴퓨터 장치로 구현되는 고정형 단말이거나 이동형 단말일 수 있다. 복수의 사용자 단말들(110, 120, 130, 140)은 서버(150)를 제어하는 관리자의 단말일 수 있다. 복수의 사용자 단말들(110, 120, 130, 140)의 예를 들면, 스마트폰(smart phone), 휴대폰, 네비게이션, 컴퓨터, 노트북, 디지털방송용 단말, PDA(Personal Digital Assistants), PMP(Portable Multimedia Player), 태블릿 PC 등이 있다. 일례로 사용자 단말 1(110)은 무선 또는 유선 통신 방식을 이용하여 네트워크(160)를 통해 다른 사용자 단말들(120, 130, 140) 및/또는 서버(150)와 통신할 수 있다.
- [0037] 통신 방식은 제한되지 않으며, 네트워크(160)가 포함할 수 있는 통신망(일례로, 이동통신망, 유선 인터넷, 무선 인터넷, 방송망)을 활용하는 통신 방식뿐만 아니라 기기들간의 근거리 무선 통신 역시 포함될 수 있다. 예를 들어, 네트워크(160)는, PAN(personal area network), LAN(local area network), CAN(campus area network), MAN(metropolitan area network), WAN(wide area network), BBN(broadband network), 인터넷 등의 네트워크 중 하나 이상의 임의의 네트워크를 포함할 수 있다. 또한, 네트워크(160)는 버스 네트워크, 스타 네트워크, 링 네트워크, 메쉬 네트워크, 스타-버스 네트워크, 트리 또는 계층적(hierarchical) 네트워크 등을 포함하는 네트워크 토폴로지 중 임의의 하나 이상을 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0038] 서버(150)는 복수의 사용자 단말들(110, 120, 130, 140)과 네트워크(160)를 통해 통신하여 명령, 코드, 파일, 콘텐츠, 서비스 등을 제공하는 컴퓨터 장치 또는 복수의 컴퓨터 장치들로 구현될 수 있다.
- [0039] 일례로, 서버(150)는 네트워크(160)를 통해 접속한 사용자 단말 1(110)로 어플리케이션의 설치를 위한 파일을 제공할 수 있다. 이 경우 사용자 단말 1(110)은 서버(150)로부터 제공된 파일을 이용하여 어플리케이션을 설치할 수 있다. 또한 사용자 단말 1(110)이 포함하는 운영체제(Operating System, OS) 및 적어도 하나의 프로그램

(일례로 브라우저나 설치된 어플리케이션)의 제어에 따라 서버(150)에 접속하여 서버(150)가 제공하는 서비스나 콘텐츠를 제공받을 수 있다. 다른 예로, 서버(150)는 데이터 송수신을 위한 통신 세션을 설정하고, 설정된 통신 세션을 통해 복수의 사용자 단말들(110, 120, 130, 140)간의 데이터 송수신을 라우팅할 수도 있다.

[0040] 본 발명의 일 실시예에 따른 딥러닝 혈관 구분 방법 및 시스템은, 수술 영상의 혈관을 딥러닝을 통해 탐지 및 분별, 경계를 정하는 방법 및 시스템에 관한 것이다. 보다 상세히, 본 발명의 일 실시예에 따른 딥러닝 혈관 구분 방법 및 시스템은 시맨틱 세그멘테이션(semantic segmentation)을 이용하여 사물의 경계에 대한 정보를 영상으로 주어서 풀 컨볼루션 신경망(fully convolutional neural network) 혹은 컨볼루션 오토인코더(convolutional autoencoder)과 같은 딥러닝 알고리즘을 지도 훈련(supervised training)시킨다.

[0041] 이러한 지도 훈련을 위해서는 학습 영상이 필요한데, 본 발명에 따르면 학습을 위한 혈관 정보 영상은 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상에 기반할 수 있다. 또한, 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상이 시간적인 위상(phase)에 따라 표시하는 혈관의 종류가 다른 것을 이용하여, 동맥, 소동맥, 정맥, 소정맥, 모세혈관 등의 분별 및 혈관 종류 별로 분화된 클래스(class) 별 훈련 및 분류가 가능하다. 본 발명은, 다양한 분야의 수술 및 현미경 영상 등에서 적용 가능하며, 특히 뇌수술 현미경 영상에서 뇌혈관 구분을 위해 사용될 수 있으나, 반드시 이에 국한되지는 않는다. 이하에서는, 서버(150)의 내부 구성을 중심으로 본 발명에 대해 보다 상세히 살펴보기로 한다.

[0042] 도 2 는 본 발명의 일 실시예에 있어서, 서버의 내부 구성을 설명하기 위한 블록도이다.

[0043] 도 2에서는 서버(150)의 내부 구성을 설명한다. 서버(150)는 메모리(221), 프로세서(222), 통신 모듈(223) 그리고 입출력 인터페이스(224)를 포함할 수 있다. 메모리(221)는 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체로서, RAM(random access memory), ROM(read only memory) 및 디스크 드라이브와 같은 비소멸성 대용량 기록장치(permanent mass storage device)를 포함할 수 있다. 또한, 메모리(221)에는 운영체제와 적어도 하나의 프로그램 코드(일례로 사용자 단말 1(110)에 설치되어 구동되는 브라우저나 상술한 어플리케이션 등을 위한 코드)가 저장될 수 있다. 이러한 소프트웨어 구성요소들은 드라이브 메커니즘(drive mechanism)을 이용하여 메모리(221)와는 별도의 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체로부터 로딩될 수 있다. 이러한 별도의 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체는 플로피 드라이브, 디스크, 테이프, DVD/CD-ROM 드라이브, 메모리 카드 등의 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체를 포함할 수 있다. 다른 실시예에서 소프트웨어 구성요소들은 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체가 아닌 통신 모듈(223)을 통해 메모리(221)에 로딩될 수도 있다. 예를 들어, 적어도 하나의 프로그램은 개발자들 또는 어플리케이션의 설치 파일을 배포하는 파일 배포 시스템(일례로 상술한 서버(150))이 네트워크(160)를 통해 제공하는 파일들에 의해 설치되는 프로그램(일례로 상술한 어플리케이션)에 기반하여 메모리(221)에 로딩될 수 있다.

[0044] 프로세서(222)는 기본적인 산술, 로직 및 입출력 연산을 수행함으로써, 컴퓨터 프로그램의 명령을 처리하도록 구성될 수 있다. 명령은 메모리(221) 또는 통신 모듈(223)에 의해 프로세서(222)로 제공될 수 있다. 예를 들어 프로세서(222)는 메모리(221)와 같은 기록 장치에 저장된 프로그램 코드에 따라 수신되는 명령을 실행하도록 구성될 수 있다. 프로세서(222)는 영상 획득부(111), 영상 매칭부(112), 검증 이미지 제작부(113), 훈련부(114)를 포함할 수 있다.

[0045] 통신 모듈(223)은 네트워크(160)를 통해 사용자 단말 1(110)과 서버(150)가 서로 통신하기 위한 기능을 제공할 수 있으며, 다른 사용자 단말(일례로 사용자 단말 2(120)) 또는 다른 서버(일례로 서버(150))와 통신하기 위한 기능을 제공할 수 있다. 일례로, 사용자 단말 1(110)의 프로세서가 메모리와 같은 기록 장치에 저장된 프로그램 코드에 따라 생성한 요청이 통신 모듈의 제어에 따라 네트워크(160)를 통해 서버(150)로 전달될 수 있다. 역으로, 서버(150)의 프로세서(222)의 제어에 따라 제공되는 제어 신호나 명령, 콘텐츠, 파일 등이 통신 모듈(223)과 네트워크(160)를 거쳐 사용자 단말 1(110)의 통신 모듈을 통해 사용자 단말 1(110)로 수신될 수 있다. 예를 들어 통신 모듈을 통해 수신된 서버(150)의 제어 신호나 명령 등은 프로세서나 메모리로 전달될 수 있다.

[0046] 입출력 인터페이스(224)는 입출력 장치와의 인터페이스를 위한 수단일 수 있다. 예를 들어, 입력 장치는 키보드 또는 마우스 등의 장치를, 그리고 출력 장치는 어플리케이션의 통신 세션을 표시하기 위한 디스플레이와 같은 장치를 포함할 수 있다. 다른 예로 입출력 인터페이스(224)는 터치스크린과 같이 입력과 출력을 위한 기능이 하나로 통합된 장치와의 인터페이스를 위한 수단일 수도 있다. 보다 구체적인 예로, 서버(150)의 프로세서(222)는 메모리(221)에 로딩된 컴퓨터 프로그램의 명령을 처리함에 있어서 사용자 단말 2(120)가 제공하는 데이터를 이용하여 구성되는 서비스 화면이나 콘텐츠가 입출력 인터페이스(224)를 통해 디스플레이에 표시될 수 있다.

- [0047] 또한, 다른 실시예들에서 서버(150)는 도 2의 구성요소들보다 더 많은 구성요소들을 포함할 수도 있다. 그러나, 대부분의 종래기술적 구성요소들을 명확하게 도시할 필요성은 없다. 예를 들어, 서버(150)는 트랜시버(transceiver), GPS(Global Positioning System) 모듈, 카메라, 각종 센서, 데이터베이스 등과 같은 다른 구성요소들을 더 포함할 수도 있다.
- [0048] 이하에서는, 도 2의 프로세서(222)의 구성 별로 본 발명에 대해 보다 상세히 살펴보도록 한다.
- [0049] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 딥러닝 기반 혈관 구별 방법을 시계열적으로 나타낸 것이다.
- [0050] 먼저, 영상 획득부(111)는 수술 시 가시광성 영상과 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 동시에 획득한다(S1).
- [0051] 다음으로, 영상 매칭부(112)는 가시광선 영상과 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술(indocyanine green infrared angiography) 영상을 같은 위치로 매칭시킨다(S2). 이하의 본 발명의 명세서에서는 가시광선 영상은 제1 영상, 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상은 제2 영상이라 지칭할 수 있다.
- [0052] 다음으로, 검증 이미지 제작부(113)는 상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 스레숄딩(thresholding), Otsu's method, 다른 종류의 머신러닝 혹은 딥러닝 알고리즘 등으로 처리하여 실제 검증 정보(ground truth image)를 제작한다(S3). 여기에 사용되는 딥러닝 알고리즘으로는 딥 컨볼루션 신경망(deep convolutional neural network), 딥 리커런트 신경망(deep recurrent neural network) 및 딥 오토인코더(deep autoencoder) 등이 사용될 수 있고 여러 영상 frame의 데이터를 종합하는 삼(Siamese) 혹은 퓨전(fusion) 구조의 딥 네트워크 알고리즘이 사용될 수 있다.
- [0053] 다음으로, 훈련부(114)는 매칭 정보에 기반하고 실제 검증 정보를 정답 영상으로 하여 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 지도 훈련(supervised training)한다(S4). 이때, 딥러닝 알고리즘을 지도 훈련할 때 풀 컨볼루션 신경망(fully convolution neural network), 컨볼루션 오토인코더(convolutional autoencoder), 하이퍼컬럼(Hypercolumn) 혹은 구조 인식(structure-aware)이 가능한 영상분할 네트워크 등 의미론적 영상분할(semantic segmentation)이 가능한 알고리즘을 사용할 수 있다. 그리고 앞의 실제 검증 정보를 제작하는 과정을 별로 두지 않고 삼 구조 네트워크의 입력으로 통합하여 단일 딥러닝 네트워크로 동시에 처리할 수도 있다.
- [0054] 다음으로, 훈련된 딥러닝 혈관 구분 알고리즘에 훈련에 사용되지 않았던 새로운 데이터를 적용하여 해당 검증하고, 검증된 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 실제 수술 시야 분석 혹은 다른 어플리케이션, 네비게이션 위치 보정(adjustment for neuronavigation accuracy) (도 8), 수술 시야 투영용 가상현실 장비(operative microscope virtual reality application), 수술 보조 및 자동 경보 시스템(surgical assistance and automatic warning system) (도 9), 혈관 및 혈류 분석 시스템(vasculature and vascular flow analysis system), 구조 인식 네트워크(structure-aware network) 등에 정보 전달하여 사용한다.
- [0055] 이하에서는, 각 구성을 중심으로 본 발명과 본 발명의 적용 례에 대해 보다 상세히 살펴보기로 한다.
- [0056] 먼저, 영상 획득부(111)는 수술 시 가시광성 영상과 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 동시에 획득한다. 인도시아닌그린 적외선 영상은 혈관이 잘 드러나지만 사람이 혈관 이외의 다른 해부적 구조를 이해하기 힘들고, 가시광선 영상은 혈관이 보이기는 하나 추가적인 정보없이 혈관만을 분별하여 분별하는 것은 현재의 머신러닝 및 딥러닝 알고리즘으로는 용이하지 않다. 그리고 외과의사들 상기 영상 분야의 전문가가 볼 경우에도 혈관 식별이 확실치 않아 인도시아닌 그린 적외선 영상 정보를 참조할 때가 있다. 가시광선 영상은 다른 해부적 구조를 파악하기에 적합하다. 가시광선 영상은 인도시아닌 그린의 정맥 주입되었을 때에만 일시적으로 조영되는 인도시아닌 그린 영상과는 달리 수술 중에 지속적으로 사용된다. 따라서, 본 발명의 일 실시예에 따르면 딥러닝 혈관 구분 시스템은 가시광선 영상에서 혈관을 구분하여 사람이 인지하기 쉽게 표식을 추가하는 것을 목표로 한다. 이때, 추가되는 표식의 위치는 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상에 기반하여 딥러닝 알고리즘을 훈련하여 얻을 수 있다. 이를 위해서는, 가시광선 영상과 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상은 서로 매칭되어야 할 필요가 있다. 따라서, 사진은 동시에 혹은 동시에 가까운 시간 내에 가시광성 영상과 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상이 함께 촬영될 필요가 있다.
- [0057] 다음으로, 영상 매칭부(112)는 가시광선 영상과 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술(indocyanine green infrared angiography)을 같은 위치로 매칭시킨다. 이를 위해, 영상 매칭부(112)는 제1 영상과 제2 영상을 크기 변경(resizing), 코레지스트레이션(coregistration), 변형(deformation), 영역 선택(area selection), 프레임 이동, 혹은 다른 딥러닝 기반 feature 분석 및 coregistration 알고리즘 등을 이용한 자동 및 수동 프로세스를

통해 같은 위치로 매칭 시킨다.

- [0058] 도 4 는 본 발명의 일 실시예에 따른 가시광선 영상 및 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 나타낸 것이다. 도 4 의 (a)는 가시광선 영상이고, (b)는 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상이다.
- [0059] 도 4 의 (a) 및 (b) 에서는 명확히 드러나지 않지만, 서로 다른 장치를 이용하여 촬영한 이미지는 동시에 찍었다고 해도 영상이 일치하지 않을 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따라 혈관을 분별하기 위해서는 2 영상이 매칭되어야 올바른 딥러닝 훈련이 가능하므로, 매칭을 수행하는 프로세스를 가질 수 있다.
- [0060] 도 5 는 본 발명의 일 실시예에 따른 매칭시키는 예시를 나타낸 것이다.
- [0061] 도 5 를 참조하면, 도 5 의 (a)는 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상, (b)는 가시광선 영상, (c) 는 (a) 및 (b)를 매칭시킨 영상이다. (a) 의 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 참고하면, v 로 표시된 부분이 인도시아닌 그린(ICG) 근적외선 혈관조영술에 의해 조영된 뇌혈관들일 수 있다. (a) 에서 나타난 바와 같이, 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술을 이용하여 조영된 혈관의 위치를 파악할 수 있다. 이에 반해, (b) 의 가시광선 영상은 혈관의 위치를 파악하기 힘들다. 따라서, 본 발명의 일 실시예에 따른 딥러닝 혈관 구분 시스템은 가시광선 영상에 용이하게 혈관 위치를 표시하기 위하여, 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 이용하여 혈관 위치를 훈련시킨다. 즉, 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 이용하여 혈관 위치 정보를 딥러닝 훈련(training)하기 위해서는 가시광선 영상과 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 매칭시킬 필요가 있다.
- [0062] 보다 상세히, 본 발명의 일 실시예에 따르면 영상 매칭부(112)는 크기 변경(resizing), 코레지스트레이션(coregistration), 변형(deformation), 영역 선택(area selection), 프레임 이동 등의 기법을 사용할 수 있다. 보다 구체적으로, 도 5 의 실시예에서는 (a) 영상 및 (b)의 영상을 촬영한 비디오의 프레임 시차가 있는 것을 감안하여 프레임 시간을 동기화시키기 위해 어느 한쪽의 프레임을 2 frame 만큼 이동시켰다. 추가적으로, (a) 및 (b) 영상에 대한 평면 코레지스트레이션(2D coregistration)을 수행하여 (c)와 같은 매칭 영상을 생성하였다.
- [0063] 보다 상세히, 보다 정확한 매칭을 위해, 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상과 가시광선 영상 간의 위치 차이가 있으므로 영상을 구역 별로 분할하거나 3차원 시야 관계를 고려해서 코레지스트레이션을 수행할 수 있다. 이때, 본 발명의 일 실시예에 따르면 automatic rigid coregistration 알고리즘을 사용하여 영상의 매칭을 수행할 수 있다. 혹은 다른 feature 기반 혹은 딥러닝 기반 algorithm을 통해서도 matching할 수 있다.
- [0064] 다음으로, 검증 이미지 제작부(113)는 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 스레숄딩(thresholding)하여 실지 검증 정보(ground truth image)를 제작한다. 스레숄딩은 이미지 프로세싱(image processing) 분야에서 사용되는 임계값 지정을 뜻한다. 스레숄딩은 이미지 세그멘테이션(segmentation)의 일 방법으로서, 일 예로 이미지의 각 픽셀들을 2가지 색상 중 하나로만 나타낼 수 있다. 예를 들어, 이미지 강도가 특정 상수보다 클 경우 검은 픽셀, 이미지 강도가 특정 상수보다 작을 경우 흰 픽셀로 나타낼 수 있다. 상술한 스레숄딩 방법은 일 예시일 뿐이며, 본 발명의 특징적인 구성을 유지하는 선에서 다양한 변형이 있을 수 있다. Otsu's method, 기타 머신러닝 및 영상처리용 컨볼루션(convolutional) 혹은 리커런트(recurrent) 딥러닝 네트워크 기법 등이 인도시아닌 그린 영상의 실지 검증 이미지(ground truth image)로의 전환을 위해서 사용될 수 있다.
- [0065] 보다 상세히, 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상의 스레숄딩은 오투 방법(Otsu's method)과 같은 머신러닝 알고리즘을 사용할 수 있다. 또한, 스레숄딩은 딥러닝의 지도 훈련(supervised training) 또는 오토인코딩 알고리즘(autoencoding algorithm)을 이용해서 수행할 수도 있다. 딥러닝 기반 지도 훈련을 사용할 경우, 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상의 적절한 스레숄딩 결과를 전문가가 직접 그린 결과를 실지 검증(ground truth) 정보로 하여 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상용 풀 컨볼루션 신경망(fully convolutional neural network) 또는 컨볼루션 자동 인코더(convolutional autoencoder)를 학습하는 것이 가능하다.
- [0066] 또한, 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상이 스레숄딩된 이미지는 실지 검증 이미지(ground truth image) 또는 실지 검증 정보(ground truth information)가 될 수 있다. 실지 검증 이미지 또는 실지 검증 정보는 실제 혈관이 어디에 있는지를 지시하는 이미지 또는 정보로서, 해당 실지 검증 이미지 또는 정보를 이용하여 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 훈련시킬 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따르면 전문가의 수동 마킹 없이 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 이용하여 실지 검증 이미지 또는 정보를 생성할 수 있다. 즉, 도 5 의 (c)와 같이 스레숄딩에 의해 생성된 실지 검증 정보는, 가시광선 영상과 매칭되어 혈관의 위치 정보는 딥러닝 훈련을 위해 실지 검증 정보로 사용될 수 있다. 그리고 이러한 실지검증 정보 제작 과정이 자동화 될 수 있기 때문에 수작업으로 도달할 수 없는 대규모의 다양한 정확한 실지 검증 정보 제공을 통해서 높은 수준의 정확도로 딥러닝

훈련을 시행할 수 있다.

[0067] 다음으로, 훈련부(114)는 스레슬딩된 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 실지 검증 정보(ground truth information)로 하여 딥러닝 알고리즘을 지도 훈련(supervised training)한다. 즉, 훈련부(114)는 뇌혈관 위치를 시맨틱 세그멘테이션(semantic segmentation)하기 위하여, 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상에 기반한 정답 영상에 기초하여 뇌혈관 위치를 지도학습한다. 이때, 지도 학습 시 상술한 매칭 정보, 즉 가시광선 영상과 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상이 매칭된 정보를 이용하여 실지 검증 정보로부터 정답 영상을 생성하고, 정답 영상으로 지도 학습을 실시할 수 있다. 그리고 실지 검증 정보를 제작하는 과정을 별로 두지 않고 삼 구조 네트워크의 입력으로 인도시아닌 그린 영상과 가시광선 영상을 동시에 입력받아 통합하여 단일 딥러닝 네트워크로 처리할 수도 있다.

[0068] 도 6 은 본 발명의 일 실시예에 따른 시맨틱 세그멘테이션 학습을 예시한 것이다.

[0069] 도 6 을 참조하면, 도 6 의 (a) 는 뇌수술 현미경 영상(가시광선 영상), (b) 는 정답 영상, (c) 는 시맨틱 세그멘테이션 학습 결과를 예시한 것이다. 상술한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 혈관 종류 분별 방법은 매칭 정보를 고려한 실지 검증 정보를 정답 영상으로 결정하여, 정답 영상들에 기반하여 혈관의 모양을 훈련한다. 훈련을 수행하면, 도 6 의 (c)와 같은 시맨틱 세그멘테이션 결과를 얻을 수 있다. 도 6 의 사진 예에서 볼 수 있는 바와 같이, 실지 검증 정보로 학습한 본 발명의 혈관 종류 구별법은 양호한 시맨틱 세그멘테이션 결과를 나타낼 수 있다.

[0070] 더불어, 본 발명의 프로세서(222)는 검증부를 추가적으로 포함할 수 있으며, 검증부는 본 발명의 훈련된 딥러닝 혈관 구분 알고리즘에 훈련에 사용되지 않았던 새로운 데이터를 적용하여 해당 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 검증하고, 검증된 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 실제 수술에 사용할 수 있다.

[0071] 한편, 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술은 인도시아닌그린 물질, 즉 형광 물질이 동맥에서 주입되어 대동맥, 경동맥을 거쳐 뇌의 큰 동맥에서 출발하여 소동맥을 거쳐 모세혈관을 지나 소정맥, 정맥을 거쳐서 빠져나가는 것을 특징으로 한다. 따라서, 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술을 사용하는 경우 형광 물질이 지나가는 타이밍에 따라 각각의 혈관이 조영되는 시간대의 차이가 있으므로, 본 발명은 이를 구분하여 별도의 실지 검증 정보를 생성하여 딥러닝 혈관 구분 알고리즘을 훈련할 수 있다. 이로써, 본 발명의 일 실시예에 따른 딥러닝 혈관 구분 방법은 혈관 종류를 구분할 수 있다.

[0072] 보다 상세히, 영상 획득부(111)는 가시광선 영상과 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 획득 시, 형광 물질이 각 혈관을 지나가는 타이밍을 고려하여 영상을 획득할 수 있다. 보다 상세히, 영상 획득부(111)는 형광 물질이 각 혈관을 지나가는 타이밍을 고려하여 시간 구간을 분할한 후 각 시간 구간마다 영상을 획득할 수 있다.

[0073] 예를 들어, 시간 구간 별로 혈관 종류가 적절히 분류되도록, 형광 물질이 대동맥을 지나는 제1 시간 구간, 형광 물질이 경동맥을 지나가는 제2 시간 구간...과 같은 식으로 구간을 분할하고, 각 시간 구간마다 영상을 획득할 수 있다. 이를 위해, 영상 획득부(111)는 획득된 영상 전체의 밝기 변화 등을 시간에 대하여 그래프로 표시할 수 있다. 혈관 종류를 인도시아닌 그린 영상에서 구분하는 방법은 상기 방법에 국한되지 않으며 딥 리커런트(recurrent) 신경망 및 딥 컨볼루션 오토인코더 등으로 혈관 조영되는 시기와 양상의 요약된 차원의 영상 특징(low dimensionality feature)을 이용하여 혈관 종류를 인도시아닌 그린 영상을 혈관 종류별로 구분할 수 있다. 이와 같이 시간 구간 별 혹은 다른 방법으로 생성된 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상은 해당 시간 구간에 대응하는 혈관 종류를 나타낼 수 있다. 따라서, 훈련부는 각 시간 구간에 대응하는 혈관 종류에 기초하여, 실지 검증 정보가 해당 혈관 종류에 대한 정보임을 고려하여, 혈관 구분 알고리즘을 훈련할 수 있다.

[0074] 또한, 시간이 경과하여 형광 물질이 균등분포하면 전체 혈관이 조영될 수 있으므로, 영상 획득부(111)는 기설정된 시간이 경과한 후 전체 혈관이 조영되는 상기 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 획득할 수 있으며, 이를 기초로 실지 검증 정보가 생성될 수 있다. 이 경우, 검증 이미지 제작부(113)는 전체 혈관이 조영된 실지 검증 정보에서, 동맥에 대응하는 시간 구간의 실지 검증 정보인 동맥 위상(arterial phase)의 실지 검증 정보를 제외할 수 있으며 이에 기초하여 정맥에 대한 실지 검증 정보를 얻을 수 있다.

[0075] 도 7 은 본 발명의 일 실시예에 따라 혈관 종류를 구분하는 예시를 나타낸 도면이다.

[0076] 도 7 을 참조하면, 도 7 의 (a)는 동맥 위상의 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상이고, (b)는 전체 혈관이 조영된 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상이다. 즉, (a) 의 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상에서는 동맥만이 표시되고, (b)의 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상에서는 동맥 및 정맥이 모두 표시된

다. 또한, 도 7의 (c)는 (a) 영상을, (d)는 (b) 영상을 각각 스레슬딩하여 얻은 실지 검증 정보이다. (d)에서 (c) 영상의 표시 부분을 제거하는 작업을 수행하면 정맥에 대한 위치 정보를 얻을 수 있다. 이와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따르면 혈관 종류별 세분화를 통해서 훈련을 실시함으로써 혈관 구분 알고리즘의 전체적인 정확도를 향상시킬 수 있다.

[0077] 본 발명의 일 실시예에 따른 혈관 구분 시스템에서 개시한 뇌수술 현미경 혹은 가시광선 영상에서의 뇌혈관 탐지는 각종 수술에서 혈관 기피 혹은 혈과 조정을 위해 사용될 수 있다.

[0078] 기존의 연구된 혈관 검출 방식에서는 수술 영상의 딥러닝 훈련을 위해서는 구분하려는 구조물에 대한 수동 마킹(manual marking)에 의한 실지 검증 정보(ground truth information)를 제작하므로, 훈련을 위해 많은 시간과 비용이 투입된다. 특히, 혈관 등 구분이 어려운 생체 구조물의 경우 수동 마킹 역시 정확도가 떨어지는 문제가 있으며 구조물이 복잡할수록 전문가의 투입 시간이 증가하여 많은 비용이 소요되는 문제점이 존재한다.

[0079] 이에 반해, 본 발명의 일 실시예에 따른 혈관 구분 방법은 인도시아닌그린 적외선 형광 조영술 영상을 이용하여 시맨틱 세그멘테이션을 위한 실지 검증 정보를 얻음으로써, 기존과 같은 전문인력의 노동력 투입을 줄일 수 있고, 실지 검증 정보의 정확도를 향상시킬 수 있다. 더불어, 수동 마킹으로 불가능한 수준의 높은 정확도를 갖는 실지 검증 정보를 다양한 종류의 혈관에 제공함으로써, 딥러닝 알고리즘을 훈련할 수 있다.

[0080] 도 8은 본 발명을 이용하여 수술용 네비게이션의 정확도를 향상시키는 예시이다.

[0081] 보다 상세히, 도 8은 본 기술을 이용하여 네비게이션의 위치 정보를 보정하는 방법에 대한 예시이다. 본 뇌혈관의 segmentation방법을 좌안 시야와 우안 시야에 별도로 적용하고 상기 정보를 기존의 삼차원 시야상에서의 위치를 추정하는 방법을 적용하면 3차원 공간상에서의 혈관 위치를 도출 가능하다. 상기 정보를 통해 수술용 네비게이션 상에서 추정되는 혈관 위치와의 삼차원 공간상의 차이를 계산하여 수술용 네비게이션의 위치 정보를 보정하여 실제 관측되는 수술 시야와 일치하게 한다. 상기 방법을 통해 soft tissue의 deformation 및 기타 원인에 의한 수술용 네비게이션의 위치를 보정 가능하다. 상기 기술 적용은 네비게이션에 국한되지 않으며 뇌수술용 현미경 혹은 내시경 모니터 및 기타 가상현실 안경 등 영상투영 장비에 투영되는 증강 현실 시스템의 영상 정보 위치를 수술 시야의 혈관 위치를 통해 보정하는 데에도 사용될 수 있다.

[0082] 도 9은 본 발명을 이용하여 수술 중 혈관손상 위험 경고 및 수술 로봇 위치 제한 및 혈관 대상 수술 목표 설정을 하는 방법의 예시이다.

[0083] 보다 상세히, 도 9은 본 기술을 이용하여 수술 중 혈관손상 방지를 위한 경고 및 안전 시스템에 대한 예시이다. 도 8과 같은 방법으로 3차원 공간상에서 혈관 위치를 수술 시야에서 파악한 후 기존의 기술로 수술 도구의 날카로운 부위 혹은 말단 부위 등이 혈관에 근접하거나 교차 하는 경우 경보를 수술집도의에게 발생시켜 알리거나 수술 로봇팔 등의 수술 관련 도구의 작동을 정지시킬 수 있다. 이를 통해 의도치 않은 혈관 손상을 방지할 수 있다. 본 시스템은 혈관 절제 등의 특수 수술 술기의 시행이 필요한 경우 임시로 작동 정지될 수 있다. 그리고 역으로 혈관 대상 절제 혹은 결찰 등의 수술 술기가 필요한 경우 수술 로봇 등에 수술 대상 목표 설정을 위한 위치 정보와 혈관 클립 및 혈관의 주변조직 및 종양 등과의 박리 등을 위한 위치와 적절한 접근 방향 등을 제공할 수 있다.

[0084] 이상 설명된 본 발명에 따른 실시예는 다양한 컴퓨터 구성요소를 통하여 실행될 수 있는 프로그램 명령어의 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체는 프로그램 명령어, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체에 기록되는 프로그램 명령어는 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것이거나 컴퓨터 소프트웨어 분야의 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수 있다. 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체의 예에는, 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체, CD-ROM 및 DVD와 같은 광기록 매체, 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical medium), 및 ROM, RAM, 플래시 메모리 등과 같은, 프로그램 명령어를 저장하고 실행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령어의 예에는, 컴파일러에 의하여 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용하여 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드도 포함된다. 하드웨어 장치는 본 발명에 따른 처리를 수행하기 위하여 하나 이상의 소프트웨어 모듈로 변경될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

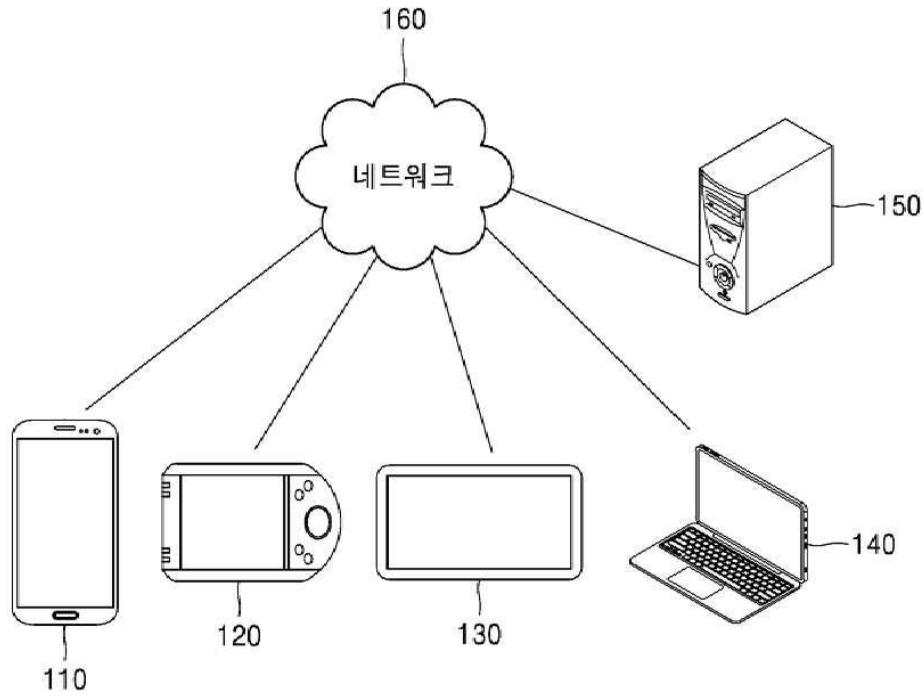
[0085] 이상에서 본 발명이 구체적인 구성요소 등과 같은 특정 사항과 한정된 실시예 및 도면에 의하여 설명되었으나, 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위하여 제공된 것일 뿐, 본 발명이 상기 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정과 변경을

피할 수 있다.

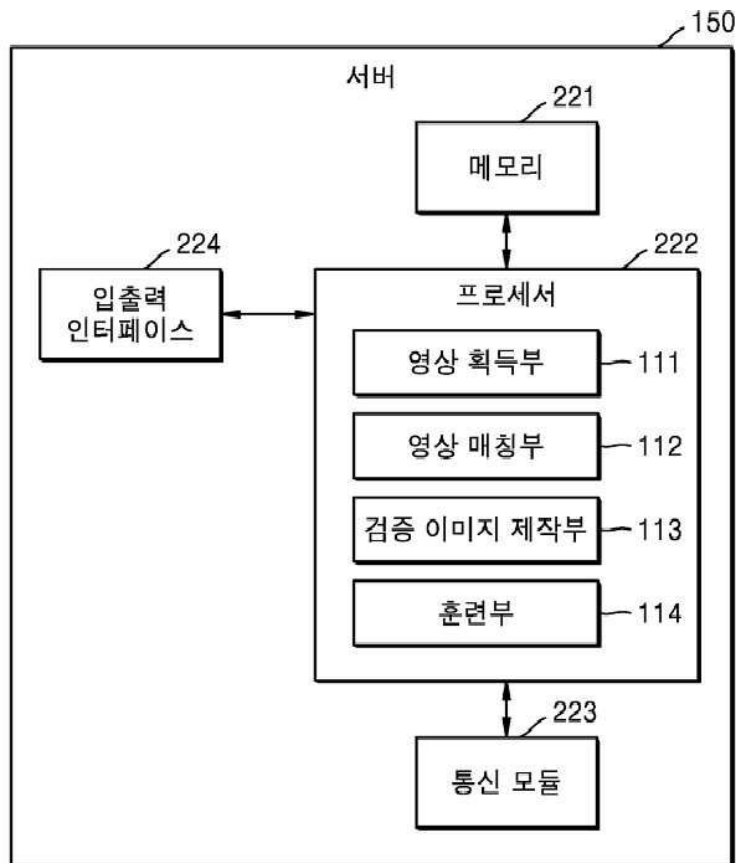
[0086] 따라서, 본 발명의 사상은 상기 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라 이 특허청구범위와 균등한 또는 이로부터 등가적으로 변경된 모든 범위는 본 발명의 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

도면

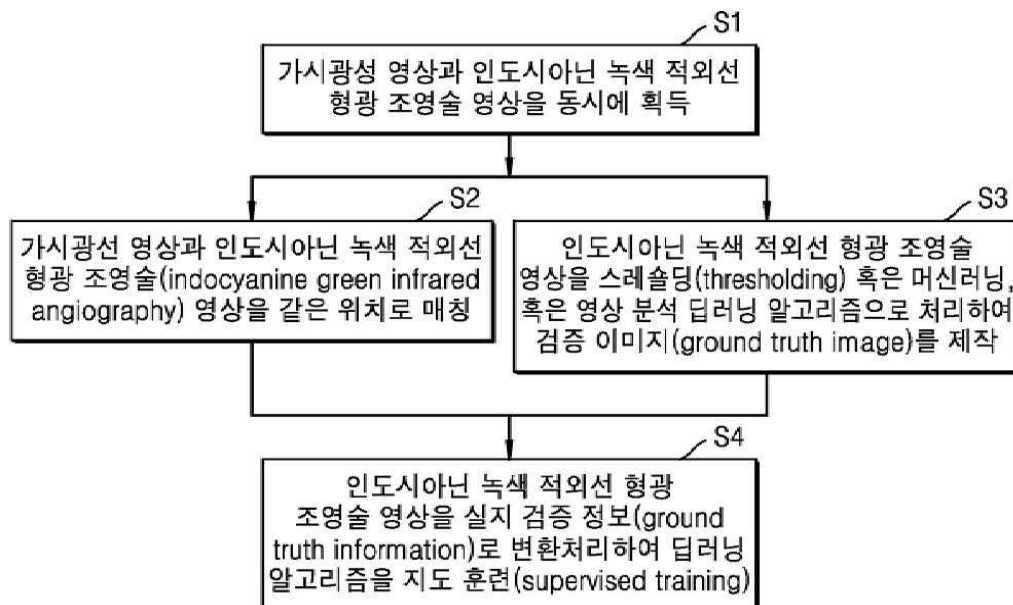
도면1



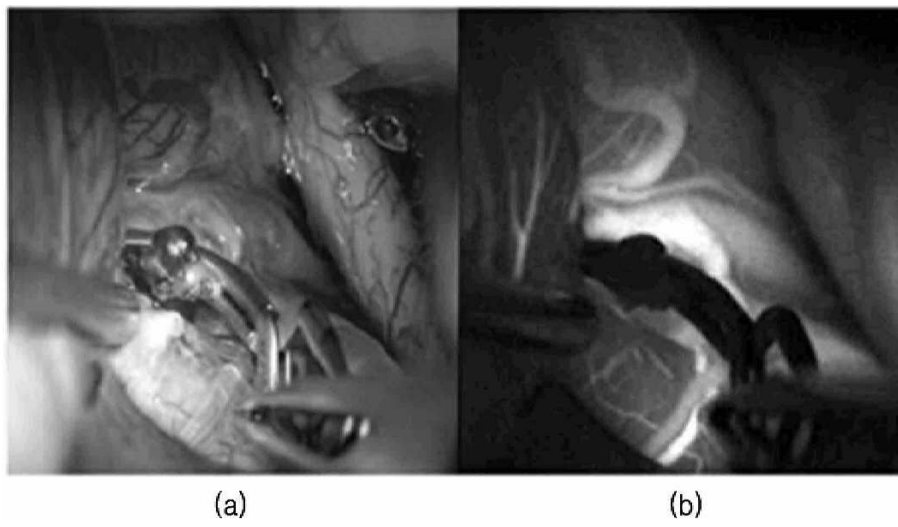
도면2



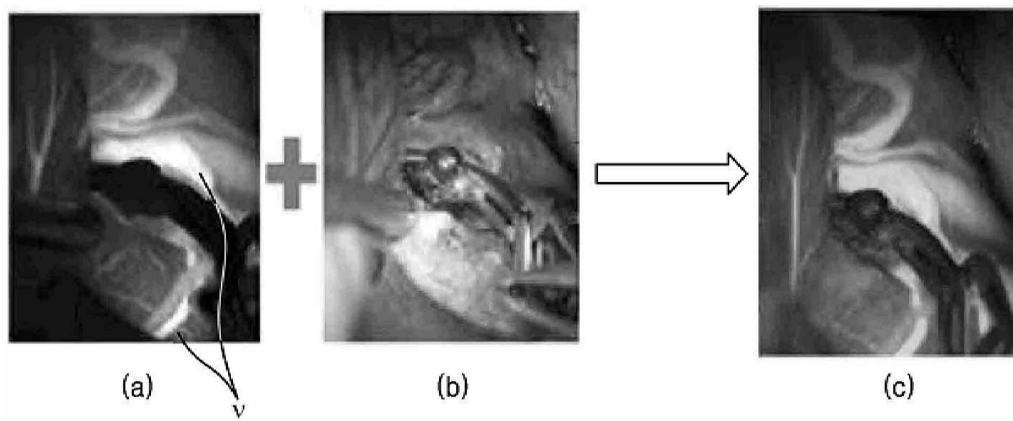
도면3



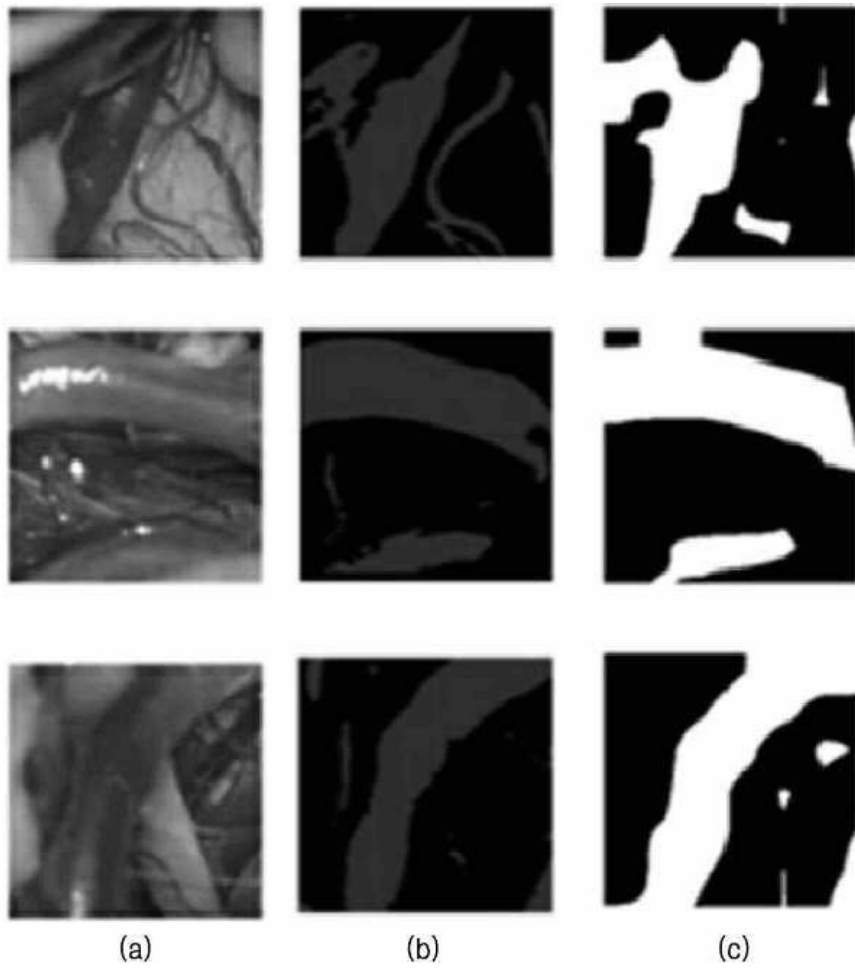
도면4



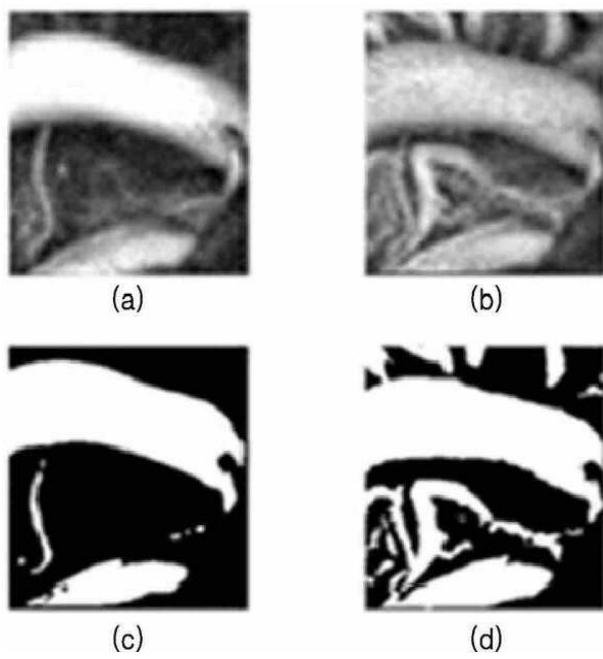
도면5



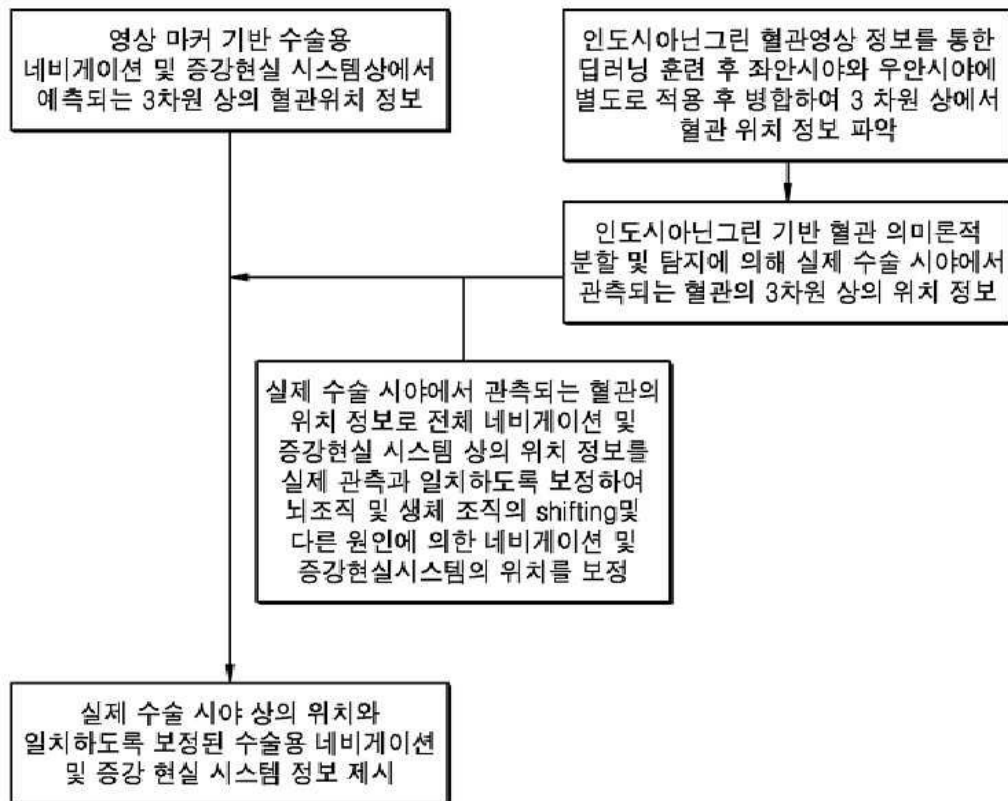
도면6



도면7



도면8



도면9

