(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년01월31일
(11) 등록번호 10-2631689
(24) 등록일자 2024년01월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 8/08 (2006.01) *G06T 7/00* (2017.01)
G06T 7/11 (2017.01) *G16H 30/40* (2018.01)
G16H 50/20 (2018.01)
(52) CPC특허분류
A61B 8/5223 (2013.01)
A61B 8/085 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0154711
(22) 출원일자 2021년11월11일
심사청구일자 2021년11월11일
(65) 공개번호 10-2023-0069287
(43) 공개일자 2023년05월19일
(56) 선행기술조사문헌
JP2015062570 A
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
서진근
서울특별시 서대문구 연희로32길 20, 1동 405호(연희동, 대림아파트)
조현철
서울특별시 서대문구 연희로5길 14, 311호(연희동, 연희자이엘라)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
민영준

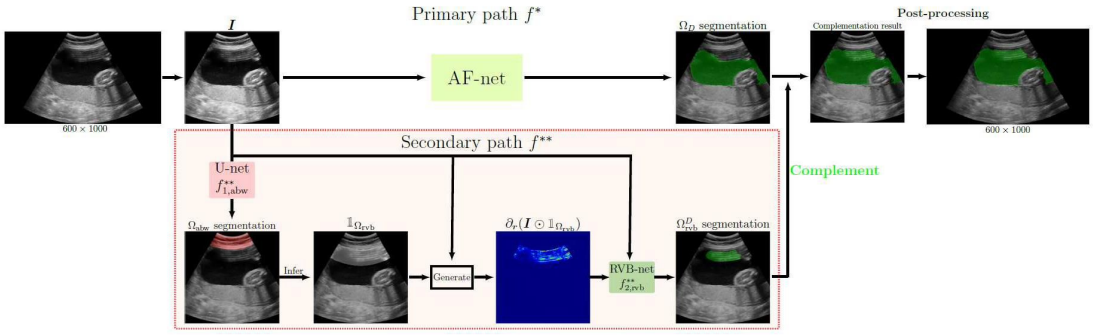
전체 청구항 수 : 총 19 항 심사관 : 곽중환

(54) 발명의 명칭 **초음파 이미지 기반 양수 지표 측정 장치 및 방법**

(57) 요 약

본 발명은 양수 주머니에 대해 촬영한 초음파 이미지인 입력 이미지를 획득하는 초음파 이미지 입력부, 미리 학습된 인공 신경망을 이용하여 상기 입력 이미지에 대해 신경망 연산을 수행하여 양수 주머니 영역 검출하여 제1 영역으로 추출하는 제1 영역 추정부, 미리 학습된 인공 신경망을 이용하여 상기 입력 이미지에 대해 신경망 연산을 수행하여 복벽 영역을 검출하고 검출된 복벽 영역과 초음파의 진행 방향을 기반으로 상기 입력 이미지에서 잔향 아티팩트가 발생한 영역을 검출하여 제2 영역으로 추출하는 제2 영역 추정부 및 상기 제1 영역과 상기 제2 영역을 병합하여 보완 양수 주머니 영역을 획득하는 양수 주머니 추출부를 포함하여, 초음파 이미지에 발생되는 잔향 아티팩트에도 강건하게 양수 주머니를 정확하게 검출할 수 있는 AFI 측정 장치 및 방법을 제공한다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
A61B 8/0866 (2013.01)
A61B 8/5238 (2013.01)
A61B 8/5269 (2013.01)
G06T 7/0012 (2013.01)
G06T 7/11 (2017.01)
G16H 30/40 (2018.01)
G16H 50/20 (2018.01)
G06T 2207/10132 (2013.01)
G06T 2207/20084 (2013.01)

(72) 발명자
권자영
서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 본관 434호(신촌동)
박예진
서울특별시 서초구 신반포로33길 15, 101동 302호 (잠원동, 동아아파트)
선시유
서울특별시 서대문구 연희로10길 24-25, 301호(연희동)
현창민
서울특별시 서대문구 연희로10가길 47, 소정빌 205호(연희동)

공지예외적용 : 있음

(56) 선행기술조사문헌
JP2016083192 A
JP2023530883 A
JP5536025 B2
JP5538997 B2
JP63288148 A
KR1020210114281 A
"Automated ultrasound assessment of amniotic fluid index using deep learning", Medical Image Analysis, Volume 69, 2021, 101951
Deep Learning-Based Computer-Aided Classification of Amniotic Fluid Using Ultrasound Images from Saudi Arabia. Big Data Cogn. Comput. 2022, 6, 107
"U-Net Tuning Hyperparameter for Segmentation in Amniotic Fluid Ultrasonography Image," 2022 4th International Conference on Cybernetics and Intelligent System (ICORIS), Prapat, Indonesia, 2022
Amniotic Fluid Classification and Artificial Intelligence: Challenges and Opportunities. Sensors. 2022; 22(12):4570

명 세 서

청구범위

청구항 1

양수 주머니에 대해 촬영한 초음파 이미지인 입력 이미지를 획득하는 초음파 이미지 입력부;

미리 학습된 인공 신경망을 이용하여 상기 입력 이미지에 대해 신경망 연산을 수행하여 양수 주머니 영역 검출하여 제1 영역으로 추출하는 제1 영역 추정부;

미리 학습된 인공 신경망을 이용하여 상기 입력 이미지에 대해 신경망 연산을 수행하여 복벽 영역을 검출하고 검출된 복벽 영역과 초음파의 진행 방향을 기반으로 상기 입력 이미지에서 잔향 아티팩트가 발생한 영역을 검출하여 제2 영역으로 추출하는 제2 영역 추정부; 및

상기 제1 영역과 상기 제2 영역을 병합하여 보완 양수 주머니 영역을 획득하는 양수 주머니 추출부를 포함하는 AFI(Amniotic Fluid Index) 측정 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 제2 영역 추정부는

미리 학습된 인공 신경망으로 구현되어 상기 입력 이미지에 대해 신경망 연산을 수행하여 상기 복벽 영역을 검출하는 복벽 영역 추정부;

추정된 상기 복벽 영역의 경계로부터 상기 초음파의 진행 방향으로 상기 복벽 영역의 두께만큼의 범위를 잔향 아티팩트가 발생 가능한 잔향 아티팩트 가능 영역으로 설정하는 잔향 범위 설정부;

상기 잔향 아티팩트의 발생 특성에 따라 상기 입력 이미지의 상기 잔향 아티팩트 가능 영역에 대응하는 영역에서 잔향 아티팩트가 강조된 잔향 특징맵을 획득하는 잔향 특징맵 획득부; 및

미리 학습된 인공 신경망으로 구현되어 상기 입력 이미지와 상기 잔향 특징맵에 대해 신경망 연산을 수행하여 상기 제2 영역을 검출하는 제2 영역 검출부를 포함하는 AFI 측정 장치.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 잔향 특징맵 획득부는

상기 입력 이미지와 상기 잔향 아티팩트 가능 영역을 아다마르 곱(Hadamard product)하고, 초음파의 진행 방향을 따라 미분하여 상기 잔향 특징맵을 획득하는 AFI 측정 장치.

청구항 4

제2항에 있어서, 상기 복벽 영역 추정부는

수학식

$$f_{1,\mathrm{abw}}^{**} = \operatorname{argmin} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N} \mathcal{L}_{\mathrm{cross}}\left(f_{1,\mathrm{abw}}^{**}(\boldsymbol{I}^{(j)}), \mathbb{1}_{\Omega_{\mathrm{abw}}^{(j)}}\right)$$

(여기서 $\mathcal{L}_{\mathrm{cross}}\left(f_{1,\mathrm{abw}}^{**}(\boldsymbol{I}^{(j)}), \mathbb{1}_{\Omega_{\mathrm{abw}}^{(j)}}\right)$는 입력 이미지(I)에 실제 복벽 영역($\mathbb{1}_{\Omega_{\mathrm{abw}}^{(j)}}$)이 레이블된 학습 데이터와 추정된 복벽 영역($f_{1,\mathrm{abw}}^{**}(\boldsymbol{I}^{(j)})$ = Ω_{abw}) 사이에 계산되는 교차 엔트로피 손실 함수이다.)

에 따라 학습되는 AFI 측정 장치.

청구항 5

제2항에 있어서, 상기 제2 영역 검출부는

상기 입력 이미지와 상기 잔향 특징맵을 인가받고, 인가된 잔향 특징맵을 서로 다른 크기로 다운 스케일링하여 다수의 스케일 잔향 특징맵을 획득하는 스케일 변환 입력부;

상기 입력 이미지와 스케일 잔향 특징맵 각각을 인코딩하여 특징을 추출하고, 상기 입력 이미지에서 추출된 특징을 풀링하여 스케일 다운하면서, 대응하는 하위 스케일의 스케일 잔향 특징맵에서 추출된 특징과 결합하여 다시 인코딩하여 특징을 추출하며, 하위에서 추출된 특징을 상위의 각 스케일에서 추출된 특징과 함께 디코딩하여 잔향 아티팩트 영역을 검출하는 잔향 강조 특징 추출부; 및

상기 입력 이미지에서 상기 잔향 아티팩트 영역을 구분하여 상기 제2 영역을 획득하는 제2 영역 획득부를 포함하는 AFI 측정 장치.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 잔향 강조 특징 추출부는

수학식

$$f_{2,\mathrm{rvb}}^{**}=\operatorname{argmin}\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{K}\mathcal{L}_{\mathrm{cross}}\left(f_{\mathfrak{s}_k}^{**}(\boldsymbol{I}_{\mathrm{rvb}}^{(j)}),\mathbb{1}_{\Omega_{\mathrm{rvb}}^{D(j)}}\right)$$

(여기서 $\mathcal{L}_{\mathrm{cross}}\left(f_{\mathfrak{s}_k}^{**}(\boldsymbol{I}_{\mathrm{rvb}}^{(j)}),\mathbb{1}_{\Omega_{\mathrm{rvb}}^{D(j)}}\right)$는 실제 잔향 아티팩트 영역($\mathbb{1}_{\Omega_{\mathrm{rvb}}^{D(j)}}$)이 레이블된 입력 이미지($I_{rvb}$)의 학습 데이터와 스케일(k)에 따라 추출된 잔향 아티팩트 영역($\mathbb{1}_{\Omega_{\mathrm{rvb}}^{D(j)}}$) 사이에 계산되는 교차 엔트로피 손실 함수이다.)

에 따라 학습되는 AFI 측정 장치.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 제1 영역 추정부는

상기 입력 이미지를 인가받아, 서로 다른 크기로 다운 스케일링하여 다수의 스케일 입력 이미지를 획득하는 다중 스케일링부;

상기 입력 이미지와 상기 다수의 스케일 입력 이미지 각각에 대해 학습된 방식에 따라 신경망 연산을 수행하여 인코딩하되, 하위 스케일에서는 상위 스케일에서 인코딩된 특징을 풀링 및 결합하여 인코딩하여 각 스케일에 따른 다수의 스케일 특징을 획득하고, 인코딩된 특징을 신경망 연산하여 디코딩하되 상위 스케일에서는 하위 스케일에서 디코딩되어 획득된 특징맵을 결합하여 디코딩하여 각 스케일에 따른 다수의 스케일 특징맵을 획득하는 특징맵 추출부;

상기 다수의 스케일 특징맵을 상기 입력 이미지의 크기로 업 샘플링하여 다수의 서브 AF 맵을 획득하는 스케일 복원부; 및

상기 다수의 서브 AF 맵을 결합하여 상기 제1 영역을 획득하는 특징맵 결합부를 포함하는 AFI 측정 장치.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 제1 영역 추정부는

수학식

$$f^{*}=\operatorname{argmin}\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{K}\mathcal{L}_{\mathrm{cross}}\left(f_{\mathfrak{s}_k}(\boldsymbol{I}^{(j)}),\mathbb{1}_{D^{(j)}}\right)$$

(여기서 $\mathcal{L}_{\mathrm{cross}}\left(f_{\mathfrak{s}_k}(\boldsymbol{I}),\mathbb{1}_{D}\right)$는 실제 양수 주머니 영역($\mathbb{1}_{D}$)이 레이블된 입력 이미지(I)인 학습 데이터에서 획득

된 서브 AF 맵($f_{s_k}(\boldsymbol{I})$)과 실제 양수 주머니 영역($\mathbb{1}_D$) 사이에 계산되는 교차 엔트로피 손실 함수이다.)

에 따라 학습되는 AFI 측정 장치.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 양수 주머니 추출부는

상기 제1 영역과 상기 제2 영역을 병합하여 상기 보완 양수 주머니 영역을 획득하는 추정 영역 병합부; 및

양수 주머니의 형태학적 폐구조를 기반으로 상기 보완 양수 주머니 영역에 포함된 미세 오류를 제거하는 후처리부를 포함하는 AFI 측정 장치.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 초음파 이미지 입력부는

상기 초음파 이미지를 인가받아 미리 지정된 크기로 조절하여 상기 입력 이미지를 획득하고,

상기 양수 주머니 추출부는

후처리된 보완 양수 주머니 영역을 상기 초음파 이미지의 크기로 복원하는 크기 조절부를 더 포함하는 AFI 측정 장치.

청구항 11

제1항에 있어서, 상기 AFI 측정 장치는

상기 보완 양수 주머니 영역의 두께를 측정하여 상기 AFI를 획득하는 AFI 측정 장치.

청구항 12

양수 주머니에 대해 촬영한 초음파 이미지인 입력 이미지를 획득하는 단계;

미리 학습된 인공 신경망을 이용하여 상기 입력 이미지에 대해 신경망 연산을 수행하여 양수 주머니 영역 검출하여 제1 영역으로 추출하는 단계;

미리 학습된 인공 신경망을 이용하여 상기 입력 이미지에 대해 신경망 연산을 수행하여 복벽 영역을 검출하고 검출된 복벽 영역과 초음파의 진행 방향을 기반으로 상기 입력 이미지에서 잔향 아티팩트가 발생한 영역을 검출하여 제2 영역으로 추출하는 단계; 및

상기 제1 영역과 상기 제2 영역을 병합하여 보완 양수 주머니 영역을 획득하는 단계를 포함하는 AFI(Amniotic Fluid Index) 측정 방법.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 제2 영역으로 추출하는 단계는

미리 학습된 인공 신경망을 이용하여 상기 입력 이미지에 대해 신경망 연산을 수행하여 상기 복벽 영역을 추정하는 단계;

추정된 상기 복벽 영역의 경계로부터 상기 초음파의 진행 방향으로 상기 복벽 영역의 두께만큼의 범위를 잔향 아티팩트가 발생 가능한 잔향 아티팩트 가능 영역으로 설정하는 단계;

상기 잔향 아티팩트의 발생 특성에 따라 상기 입력 이미지의 상기 잔향 아티팩트 가능 영역에 대응하는 영역에서 잔향 아티팩트가 강조된 잔향 특징맵을 획득하는 단계; 및

미리 학습된 인공 신경망으로 구현되어 상기 입력 이미지와 상기 잔향 특징맵에 대해 신경망 연산을 수행하여 상기 제2 영역을 검출하는 단계를 포함하는 AFI 측정 방법.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 잔향 특징맵을 획득하는 단계는

상기 입력 이미지와 상기 잔향 아티팩트 가능 영역을 아다마르 곱(Hadamard product)하는 단계;

상기 잔향 특징맵을 획득하기 위해 아다마르 곱한 결과를 초음파의 진행 방향을 따라 미분하는 단계를 포함하는 AFI 측정 방법.

청구항 15

제14항에 있어서, 상기 제2 영역을 검출하는 단계는

상기 입력 이미지와 상기 잔향 특징맵을 인가받고, 인가된 잔향 특징맵을 서로 다른 크기로 다운 스케일링하여 다수의 스케일 잔향 특징맵을 획득하는 단계;

상기 입력 이미지와 스케일 잔향 특징맵 각각을 인코딩하여 특징을 추출하고, 상기 입력 이미지에서 추출된 특징을 풀링하여 스케일 다운하면서, 대응하는 하위 스케일의 스케일 잔향 특징맵에서 추출된 특징과 결합하여 다시 인코딩하여 특징을 추출하며, 하위에서 추출된 특징을 상위의 각 스케일에서 추출된 특징과 함께 디코딩하여 잔향 아티팩트 영역을 검출하는 단계; 및

상기 제2 영역을 획득하기 위해 상기 입력 이미지에서 상기 잔향 아티팩트 영역을 구분하는 단계를 포함하는 AFI 측정 방법.

청구항 16

제12항에 있어서, 상기 제1 영역으로 추출하는 단계는

상기 입력 이미지를 인가받아, 서로 다른 크기로 다운 스케일링하여 다수의 스케일 입력 이미지를 획득하는 단계;

상기 입력 이미지와 상기 다수의 스케일 입력 이미지 각각에 대해 학습된 방식에 따라 신경망 연산을 수행하여 인코딩하되, 하위 스케일에서는 상위 스케일에서 인코딩된 특징을 풀링 및 결합하여 인코딩하여 각 스케일에 따른 다수의 스케일 특징을 획득하고, 인코딩된 특징을 신경망 연산하여 디코딩하되 상위 스케일에서는 하위 스케일에서 디코딩되어 획득된 특징맵을 결합하여 디코딩하여 각 스케일에 따른 다수의 스케일 특징맵을 획득하는 단계;

상기 다수의 스케일 특징맵을 상기 입력 이미지의 크기로 업 샘플링하여 다수의 서브 AF 맵을 획득하는 단계; 및

상기 다수의 서브 AF 맵을 결합하여 상기 제1 영역을 획득하는 단계를 포함하는 AFI 측정 방법.

청구항 17

제12항에 있어서, 상기 보완 양수 주머니 영역을 획득하는 단계는

상기 제1 영역과 상기 제2 영역을 병합하여 상기 보완 양수 주머니 영역을 획득하는 단계; 및

양수 주머니의 형태학적 폐구조를 기반으로 상기 보완 양수 주머니 영역에 포함된 미세 오류를 제거하는 단계를 포함하는 AFI 측정 방법.

청구항 18

제17항에 있어서, 상기 입력 이미지를 획득하는 단계는

상기 초음파 이미지를 인가받아 미리 지정된 크기로 조절하여 상기 입력 이미지를 획득하고,

상기 보완 양수 주머니 영역을 획득하는 단계는

후처리된 보완 양수 주머니 영역을 상기 초음파 이미지의 크기로 복원하는 단계를 더 포함하는 AFI 측정 방법.

청구항 19

제12항에 있어서, 상기 AFI 측정 방법은

상기 보완 양수 주머니 영역의 두께를 측정하여 상기 AFI를 획득하는 단계를 더 포함하는 AFI 측정 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 양수 지표 측정 장치 및 방법에 관한 것으로, 초음파 이미지 기반 양수 지표 측정 장치 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 양수(Amniotic Fluid: AF)는 양막강(amniotic cavity)에 들어있는 보호액으로 임신 중 태아의 발달과 성숙에 필수적인 성분이다. 양수량(AF volume: 이하 AFV)은 임신 진행과 태아 발달을 반영하는 중요한 지표로서, 출산 전 임신부에 대한 초음파 검사 시에 AFV 평가는 필수적이며, AFV는 일반적으로 AF 지수(AF index: 이하 AFI)를 측정하여 추정된다. 기존에는 의사와 같은 측정자가 초음파 검사를 수행하면서 수작업으로 AFI를 측정하였다.

[0003] 도 1은 기존에 수작업에 따른 AFI 지수 측정 방식을 설명하기 위한 도면이다.

[0004] 도 1에 도시된 바와 같이, AFI 측정은 일반적으로 양수 주머니(Amniotic Fluid Pocket) 영역을 4분면(four quadrant)(Q1, Q2, Q3, Q4)으로 구분하고, 우측에 도시된 바와 같이 구분된 4개의 영역 각각에서 측정되는 양수 주머니의 깊이, 즉 사분면 양수 지표(four quadrant amniotic fluid index)(y_{Q1}, y_{Q2}, y_{Q3}, y_{Q4})를 합산하여 AFI($AFI = y_{Q1} + y_{Q2} + y_{Q3} + y_{Q4}$)를 획득한다. 그러나 이와 같은 수작업 측정은 시간이 많이 소요될 뿐만 아니라 측정자의 숙련도에 따라 오차가 크게 발생하는 문제가 있으며, AFI의 오측정은 태아 상태에 대해 잘못된 진단을 유발하여, 조기 대응을 어렵게 하는 요인이 된다.

[0005] 이러한 문제를 극복하기 위해 최근에는 딥러닝 기법을 이용하여 초음파 이미지로부터 AFI를 자동으로 측정하는 방법에 대한 연구가 계속되어 왔다. 그러나 양수 주머니의 비정질 특성과 초음파의 잔향, AF 모방 영역, 부유물질 및 초음파 이미지의 불완전 또는 누락된 경계 등과 같은 요인으로 인해 여전히 임상에 적용할 수 있는 수준으로 정확도가 높지 않다는 한계가 있다.

[0006] 특히 산모 비만 및 고령 임신 연령 등에서 자주 나타나는 초음파의 잔향 아티팩트(reverberation artifact)는 양수 주머니의 구분을 어렵게 하여 AFI의 측정을 방해하는 주된 요인이 된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 한국 공개 특허 제10-2021-0002198호 (2021.01.07 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명의 목적은 자동으로 정확하게 AFI를 측정할 수 있는 AFI 측정 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

[0009] 본 발명의 다른 목적은 잔향 아티팩트에도 불구하고 초음파 이미지에서 양수 주머니 영역을 정확하게 추정하여 AFI 측정 성능을 향상시킬 수 있는 AFI 측정 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 AFI 측정 장치는 양수 주머니에 대해 촬영한 초음파 이미지인 입력 이미지를 획득하는 초음파 이미지 입력부; 미리 학습된 인공 신경망을 이용하여 상기 입력 이미지에 대해 신경망 연산을 수행하여 양수 주머니 영역 검출하여 제1 영역으로 추출하는 제1 영역 추정부; 미리 학습된 인공 신경망을 이용하여 상기 입력 이미지에 대해 신경망 연산을 수행하여 복벽 영역을 검출하고 검출된 복벽 영역과 초음파의 진행 방향을 기반으로 상기 입력 이미지에서 잔향 아티팩트가 발생한 영역을 검출하여 제2 영역으로 추출하는 제2 영역 추정부; 및 상기 제1 영역과 상기 제2 영역을 병합하여 보완 양수 주머니 영역을 획득하는 양수 주머니 추출부를 포함한다.

[0011] 상기 제2 영역 추정부는 미리 학습된 인공 신경망으로 구현되어 상기 입력 이미지에 대해 신경망 연산을 수행하여 상기 복벽 영역을 검출하는 복벽 영역 추정부; 추정된 상기 복벽 영역의 경계로부터 상기 초음파의 진행 방향으로 상기 복벽 영역의 두께만큼의 범위를 잔향 아티팩트가 발생 가능한 잔향 아티팩트 가능 영역으로 설정하는 잔향 범위 설정부; 상기 잔향 아티팩트의 발생 특성에 따라 상기 입력 이미지의 상기 잔향 아티팩트 가능 영역에 대응하는 영역에서 잔향 아티팩트가 강조된 잔향 특징맵을 획득하는 잔향 특징맵 획득부; 및 미리 학습된 인공 신경망으로 구현되어 상기 입력 이미지와 상기 잔향 특징맵에 대해 신경망 연산을 수행하여 상기 제2 영역을 검출하는 제2 영역 검출부를 포함할 수 있다.

[0012] 상기 잔향 특징맵 획득부는 상기 입력 이미지와 상기 잔향 아티팩트 가능 영역을 아다마르 곱(Hadamard product)하고, 초음파의 진행 방향을 따라 미분하여 상기 잔향 특징맵을 획득할 수 있다.

[0013] 상기 제2 영역 검출부는 상기 입력 이미지와 상기 잔향 특징맵을 인가받고, 인가된 잔향 특징맵을 서로 다른 크기로 다운 스케일링하여 다수의 스케일 잔향 특징맵을 획득하는 스케일 변환 입력부; 상기 입력 이미지와 스케일 잔향 특징맵 각각을 인코딩하여 특징을 추출하고, 상기 입력 이미지에서 추출된 특징을 풀링하여 스케일 다운하면서, 대응하는 하위 스케일의 스케일 잔향 특징맵에서 추출된 특징과 결합하여 다시 인코딩하여 특징을 추출하며, 하위에서 추출된 특징을 상위의 각 스케일에서 추출된 특징과 함께 디코딩하여 잔향 아티팩트 영역을 검출하는 잔향 강조 특징 추출부; 및 상기 입력 이미지에서 상기 잔향 아티팩트 영역을 구분하여 상기 제2 영역을 획득하는 제2 영역 획득부를 포함할 수 있다.

[0014] 상기 제1 영역 추정부는 상기 입력 이미지를 인가받아, 서로 다른 크기로 다운 스케일링하여 다수의 스케일 입력 이미지를 획득하는 다중 스케일링부; 상기 입력 이미지와 상기 다수의 스케일 입력 이미지 각각에 대해 학습된 방식에 따라 신경망 연산을 수행하여 인코딩하되, 하위 스케일에서는 상위 스케일에서 인코딩된 특징을 풀링 및 결합하여 인코딩하여 각 스케일에 따른 다수의 스케일 특징을 획득하고, 인코딩된 특징을 신경망 연산하여 디코딩하되 상위 스케일에서는 하위 스케일에서 디코딩되어 획득된 특징맵을 결합하여 디코딩하여 각 스케일에 따른 다수의 스케일 특징맵을 획득하는 특징맵 추출부; 상기 다수의 스케일 특징맵을 상기 입력 이미지의 크기로 업 샘플링하여 다수의 서브 AF 맵을 획득하는 스케일 복원부; 및 상기 다수의 서브 AF 맵을 결합하여 상기 제1 영역을 획득하는 특징맵 결합부를 포함할 수 있다.

[0015] 상기 양수 주머니 추출부는 상기 제1 영역과 상기 제2 영역을 병합하여 상기 보완 양수 주머니 영역을 획득하는 추정 영역 병합부; 및 양수 주머니의 형태학적 폐구조를 기반으로 상기 보완 양수 주머니 영역에 포함된 미세 오류를 제거하는 후처리부를 포함할 수 있다.

[0016] 상기 AFI 측정 장치는 상기 보완 양수 주머니 영역의 두께를 측정하여 상기 AFI를 획득할 수 있다.

[0017] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 실시예에 따른 AFI 측정 방법은 양수 주머니에 대해 촬영한 초음파 이미지인 입력 이미지를 획득하는 단계;

[0018] 미리 학습된 인공 신경망을 이용하여 상기 입력 이미지에 대해 신경망 연산을 수행하여 양수 주머니 영역 검출하여 제1 영역으로 추출하는 단계; 미리 학습된 인공 신경망을 이용하여 상기 입력 이미지에 대해 신경망 연산을 수행하여 복벽 영역을 검출하고 검출된 복벽 영역과 초음파의 진행 방향을 기반으로 상기 입력 이미지에서 잔향 아티팩트가 발생한 영역을 검출하여 제2 영역으로 추출하는 단계; 및 상기 제1 영역과 상기 제2 영역을 병합하여 보완 양수 주머니 영역을 획득하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0019] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 AFI 측정 장치 및 방법은 초음파 이미지로부터 AFI 측정을 위한 양수 주머니 영역 판별 시에, 이중 경로 네트워크를 구성하여 잔향 아티팩트가 발생한 영역을 포함한 양수 주머니 영역을 정확하게 추정함으로써 AFI를 정확하게 추정할 수 있도록 한다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 기존에 수작업에 따른 AFI 지수 측정 방식을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 AFI 측정 장치의 개략적 구조를 나타낸다.

도 3은 도 2의 AFI 측정 장치의 각 구성별 개략적 동작을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 도 2의 제1 영역 추정부의 상세 구성의 일 예를 나타낸다.

도 5는 도 4의 제1 영역 추정부의 구현 예를 나타낸다.

도 6은 단일 신경망을 이용하여 초음파 이미지로부터 양수 주머니 검출시 오검출 요인을 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 잔향 아티팩트에 의해 오검출된 양수 주머니 영역의 일 예를 나타낸다.

도 8 및 도 9는 초음파 빔의 잔향 특성에 따라 잔향 아티팩트가 발생하는 영역을 설명하기 위한 도면이다.

도 10은 도 2의 제2 영역 추정부의 상세 구성의 일 예를 나타낸다.

도 11은 도 6의 제2 영역 추정부의 각 구성별 개략적 동작을 설명하기 위한 도면이다.

도 12는 도 10의 제2 영역 검출부의 상세 구성의 일 예를 나타낸다.

도 13은 도 12의 제2 영역 검출부의 구현예를 나타낸다.

도 14는 도 2의 양수 주머니 추출부의 상세 구성의 일 예를 나타낸다.

도 15는 도 14의 양수 주머니 추출부의 각 구성별 동작을 설명하기 위한 도면이다.

도 16은 본 발명의 일 실시예에 따른 AFI 측정 방법을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 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.

[0022] 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 부재임을 나타낸다.

[0023] 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.

[0024] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 AFI 측정 장치의 개략적 구조를 나타내고, 도 3은 도 2의 AFI 측정 장치의 각 구성별 개략적 동작을 설명하기 위한 도면이다.

[0025] 도 2를 참조하면, 본 실시예에 따른 AFI 측정 장치는 초음파 이미지 입력부(100), 제1 영역 추정부(200), 제2 영역 추정부(300), 양수 주머니 추출부(400) 및 AFI 획득부(500)를 포함할 수 있다.

[0026] 초음파 이미지 입력부(100)는 임신부에 대한 초음파 검사를 통해 초음파 이미지를 입력 이미지(I)로서 획득하여, 제1 영역 추정부(200) 및 제2 영역 추정부(300) 각각으로 입력한다.

[0027] 초음파 이미지 입력부(100)는 초음파 검사 장치로 구현될 수 있으나, 초음파 검사 장치에서 획득된 초음파 이미지가 미리 저장된 저장 장치 또는 초음파 이미지를 전송받는 통신 모듈 등으로 구현될 수도 있다.

[0028] 이때 초음파 이미지 입력부(100)는 획득된 초음파 이미지에서 불필요한 영역을 제거하거나, 크기 변환하여 제1 및 제2 영역 추정부(200, 300)에서 처리하기 용이한 크기의 입력 이미지(I)로 변환하는 전처리 작업을 수행할 수도 있다. 일 예로 도 3에 도시된 바와 같이, 초음파 이미지 입력부(100)는 600 X 1000 크기의 초음파 이미지를 인가받아 512 X 512 크기의 입력 이미지(I)를 획득할 수 있다.

[0029] 제1 및 제2 영역 추정부(200, 300)는 각각은 미리 학습된 인공 신경망으로 구현되어 초음파 이미지 입력부(100)에서 전달되는 입력 이미지(I)에서 양수 주머니에 해당하는 영역을 추정하여 검출하는 양수 주머니 검출부로 동작한다.

[0030] 제1 영역 추정부(200)는 학습된 방식에 따라 입력 이미지(I)에 대해 신경망 연산을 수행하여, 양수 주머니의 전체 영역에 해당하는 제1 영역(Ω_D)을 검출한다. 그리고 제2 영역 추정부(200)는 양수 주머니의 전체 영역에서 제1 영역 추정부(200)가 검출하기 어려운 잔향 아티팩트 영역에 해당하는 제2 영역(Ω_{rvb}^{D})을 검출한다. 즉 본

실시예의 AFI 측정 장치는 입력 이미지(I)로부터 양수 주머니 영역을 검출하기 위한 이중 신경망 경로(dual path network)로 구현된다. 여기서는 제1 영역 추정부(200)는 입력 이미지(I)에서 양수 주머니 전체 영역을 추정하는 주경로(Primary path: f^{*})라 하고, 제2 영역 추정부(300)는 제1 영역 추정부(200)에서 추정한 양수 주머니 영역에서 누락된 영역을 보완하기 위한 2차 경로(Secondary path: f^{**}) 또는 보조 경로(auxiliary path)라 할 수 있다.

[0031] 한편, 양수 주머니 추출부(400)는 제1 영역 추정부(200)가 추정한 제1 영역(Ω_D)과 제2 영역 추정부(300)가 추정한 제2 영역(Ω_{rvb}^{D})을 병합함으로써, 입력 이미지(I)에서 양수 주머니에 해당하는 양수 주머니 영역을 추출한다. 그리고 AFI 획득부(500)는 양수 주머니 추출부(400)가 획득한 양수 주머니 영역에서 AFI를 기지정된 방식으로 측정하여 획득한다.

[0032] 도 4는 도 2의 제1 영역 추정부의 상세 구성의 일 예를 나타내고, 도 5는 도 4의 제1 영역 추정부의 구현 예를 나타낸다.

[0033] 제1 영역 추정부(200)는 다양한 인공 신경망으로 구현될 수 있으나, 여기서는 일 예로 기존의 U-net을 변형하여 양수 주머니 영역을 구분하기 위해 고안된 AF-net(H. C. Cho, S. Sun, C. M. Hyun, J.-Y. Kwon, B. Kim, Y. Park, and J. K. Seo, "Automated ultrasound assessment of amniotic fluid index using deep learning," Medical Image Analysis, vol. 69, p. 101951, 2021.)을 이용하는 것으로 가정하며 이에 도 5는 구현 예로서 AF-net을 도시하였다.

[0034] 제1 영역 추정부(200)가 AF-net로 구현되는 경우, 제1 영역 추정부(200)는 도 4에 도시된 바와 같이, 다중 스케일링부(210), 특징맵 추출부(220), 스케일 복원부(230) 및 특징맵 결합부(240)를 포함할 수 있다.

[0035] 도 5를 참조하여 도 4의 제1 영역 추정부(200)의 각 구성을 설명하면, 우선 다중 스케일링부(210)는 입력 이미지(I)를 인가받아, 서로 다른 크기로 다운 스케일링하여 다수의 스케일 입력 이미지($\eta_1(I)$, $\eta_2(I)$, $\eta_3(I)$)를 획득한다. 다중 스케일링부(210)는 일 예로 평균값 풀링(average pooling)을 수행하여 다운 스케링을 수행할 수 있다.

[0036] 그리고 특징맵 추출부(220)는 입력 이미지(I)와 다수의 스케일 입력 이미지($\eta_1(I)$, $\eta_2(I)$, $\eta_3(I)$)을 인가받고, 인가된 입력 이미지(I)와 다수의 스케일 입력 이미지($\eta_1(I)$, $\eta_2(I)$, $\eta_3(I)$) 각각에 대해 학습된 방식에 따라 아트러스 컨볼루션(atrous convolution)으로 신경망 연산을 수행한다. 아트러스 컨볼루션은 도 5의 왼쪽 하단에 도시된 바와 같이, 인공 신경망에서 컨볼루션 커널의 가중치 행렬에서 서로 인접한 가중치 원소 사이에 지정된 비율(rate)에 따른 개수의 0을 삽입하여 컨볼루션 연산을 수행하는 기법이다. 도 5에서는 일 예로 3 X 3 크기의 가중치 행렬을 이용하여 비율 4의 아트러스 컨볼루션 연산을 수행하는 것으로 가정하여, 컨볼루션 커널이 행 및 열 방향 각각으로 4번째 행 및 4번째 열 마다 가중치가 배치되고 나머지 행 및 열의 원소에서는 모두 0으로 채워져 있음을 알 수 있다. 여기서 특징맵 추출부(220)는 U-net에 기반하는 구조를 가져 다수의 스케일 인코더와 다수의 스케일 디코더로 구성되고, 다수의 스케일 인코더 중 입력 이미지(I)를 인가받는 최상위의 스케일 인코더는 입력 이미지(I)에 대해서만 신경망 연산을 수행하여 특징을 추출한다. 그리고 나머지 스케일 인코더는 대응하는 스케일에 따른 스케일 입력 이미지($\eta_1(I)$, $\eta_2(I)$, $\eta_3(I)$)와 상위의 스케일에서 획득된 특징에 대해 최대값 풀링(Max pooling)을 수행하여 크기를 일치시킨 특징을 함께 인가받아 특징을 추출한다. 한편 다수의 스케일 디코더 중 가장 작은 크기의 최하위 스케일 디코더는 대응하는 최하위 스케일 인코더에서 인가되는 특징을 디코딩하여 최하위의 스케일 특징맵을 출력한다. 그리고 나머지 스케일 디코더 각각은 대응하는 스케일 인코더에서 인가되는 특징과 하위의 스케일 디코더에서 인가되는 특징을 평균값 언풀링(Average unpooling)하여 크기를 일치시킨 언풀링 특징을 함께 디코딩하여 대응하는 스케일 특징맵을 획득한다.

[0037] 스케일 복원부(230)는 특징맵 추출부(220)의 다수의 스케일 디코더 각각에서 서로 다른 스케일로 획득된 특징맵 각각이 동일한 크기를 갖도록 업 샘플링(Up sampling)한다. 여기서 업 샘플링되는 특징맵은 입력 이미지(I)의 크기로 업 샘플링될 수 있다. 그리고 스케일 복원부(230)는 업 샘플링된 특징맵 각각에 기지정된 활성화 함수(activation funtion)를 적용하여 서브 AF 맵($f_{s_k}(\boldsymbol{I})$)(여기서 k는 스케일 인덱스이며 도 5의 예에서는 k = {1, …, 4})을 획득한다. 여기서 활성화 함수는 일 예로 시그모이드(sigmoid) 함수가 이용될 수 있다.

[0038] 특징맵 결합부(240)는 다수의 서브 AF 맵($f_{s_k}(\boldsymbol{I})$)을 결합하여 입력 이미지(I)에서 양수 주머니에 해당하는 영

역을 구분함으로써 제1 영역(Ω_D)을 획득한다.

[0039] 상기한 바와 같이, AF-net로 구현되어 입력 이미지(I)로부터 양수 주머니 영역을 추출하는 제1 영역 추정부(200)의 동작(f^*)에 대한 학습은 수학식 1로 수행될 수 있다.

수학식 1

$$f^* = \text{argmin}\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{K}\mathcal{L}_{\text{cross}}(f_{\mathfrak{s}_k}(\boldsymbol{I}^{(j)}), \mathbb{1}_{D^{(j)}})$$

[0040]

[0041] 여기서 $\mathcal{L}_{\text{cross}}(f_{\mathfrak{s}_k}(\boldsymbol{I}), \mathbb{1}_D)$는 실제 양수 주머니 영역($\mathbb{1}_D$)이 레이블된 입력 이미지(I)인 학습 데이터에서 획득된 서브 AF 맵($f_{\mathfrak{s}_k}(\boldsymbol{I})$)과 실제 양수 주머니 영역($\mathbb{1}_D$) 사이에 계산되는 교차 엔트로피 손실 함수로서, 수학식 2로 계산된다.

수학식 2

$$\mathcal{L}_{\text{cross}}(f_{\mathfrak{s}_k}(\boldsymbol{I}), \mathbb{1}_D) = -\sum_{(x,y)\in\Omega}[\mathbb{1}_D(x,y)\log f_{\mathfrak{s}_k}(\boldsymbol{I})(x,y) + (1-\mathbb{1}_D(x,y))\log(1-f_{\mathfrak{s}_k}(\boldsymbol{I})(x,y))]$$

[0042]

[0043] 여기서 Ω는 입력 이미지(I)에서의 픽셀($I^{(j)}$) 집합을 나타낸다.

[0044] AF-net는 공지된 기술이므로 여기서는 상세하게 설명하지 않는다.

[0045] 한편, 제2 영역 추정부(300)는 상기한 바와 같이, 제1 영역 추정부(200)가 검출하기 어려운 잔향 아티팩트 영역에 해당하는 제2 영역(Ω^D_{rvb})을 검출한다. 본 실시예에서 AFI 측정 장치가 제1 영역 추정부(200)뿐만 아니라 제2 영역 추정부(300)를 더 구비하여 양수 주머니 영역을 추정하는 것은, 양수 주머니 영역 전체를 검출하도록 학습된 제1 영역 추정부(200)만으로는 입력 이미지(I)인 초음파 이미지에 포함된 아티팩트(artifact)로 인해 정확한 양수 주머니 영역을 추정할 수 없기 때문이다.

[0046] 이로 인해 비록 제1 영역 추정부(200)가 양수 주머니 영역을 검출하도록 특화된 AF-net 으로 구현되고, 양수 주머니 영역을 검출하도록 사전에 미리 학습될 지라도, 입력 이미지(I)에 포함된 다양한 아티팩트로 인해 제1 영역 추정부(200)가 양수 주머니 영역을 정확하게 추정하는 데는 한계가 있음이 기존의 연구로 잘 알려져 있다. 즉 단일 신경망 경로만으로는 아티팩트에 의한 양수 주머니 영역 오검출을 방지하기 매우 어렵다.

[0047] 도 6은 단일 신경망을 이용하여 초음파 이미지로부터 양수 주머니 검출시 오검출 요인을 설명하기 위한 도면이다.

[0048] 도 6에 도시된 바와 같이, 초음파 이미지에는 다양한 아티팩트가 포함될 수 있다. 도 6에서 (a)는 초음파 특성에 따른 잔향 아티팩트(reverberation artifacts)를 나타내고, (b)는 양수 모방 영역(AF mimicking region)에 따른 아티팩트를 나타내며, (c)는 부유 물질(floating matters)에 의한 아티팩트를 나타낸다. 그리고 (d)는 초음파 이미지의 불완전성(incomplete) 또는 경계 누락(missing boundary)에 의한 아티팩트를 나타낸다.

[0049] 그리고 도 6에 도시된 다양한 아티팩트 중 특히 초음파 검사의 특성에 다른 잔향 아티팩트가 양수 주머니 영역을 정확하게 검출하기 어렵게 하는 가장 큰 장애 요인이 되고 있다.

[0050] 도 7은 잔향 아티팩트에 의해 오검출된 양수 주머니 영역의 일 예를 나타낸다.

[0051] 도 7은 2개의 입력 이미지(I)에 대한 케이스(Case 1, Case 2)에서 오검출된 양수 주머니 영역을 나타낸다. 도 7에서 (a)는 입력 이미지(I)를 나타내고, (b)는 양수 주머니의 실제 영역과 잔향 아티팩트로 인해 오검출되는

잔향 아티팩트 영역을 나타내고, (c)는 제1 영역 추정부(200)가 추정한 양수 주머니 영역을 나타낸다. 도 7의 (b)에서 주황색 윤곽선은 실제 양수 주머니 영역을 나타내고, 청록색 점선은 잔향 아티팩트가 발생한 영역을 나타내며, (c)에서 녹색 영역이 제1 영역 추정부(200)가 추정한 양수 주머니 영역을 나타낸다.

[0052] 도 7의 (b)와 (c)를 비교하면, 인공 신경망으로 구현된 제1 영역 추정부(200)가 양수 주머니를 추정하도록 학습될지라도 잔향 아티팩트가 발생된 영역은 양수 주머니 영역으로 검출할 수 없다는 것을 알 수 있다.

[0053] 이에 본 실시예에서는 제1 영역 추정부(200)의 제1 신경망 경로와 별도로 양수 주머니에서 잔향 아티팩트가 발생한 영역인 제2 영역($\Omega_{\mathrm{rvb}}^{D}$)을 검출하는 제2 신경망 경로인 제2 영역 추정부(300)가 더 구비된다.

[0054] 도 8 및 도 9는 초음파 빔의 잔향 특성에 따라 잔향 아티팩트가 발생하는 영역을 설명하기 위한 도면이다.

[0055] 도 8에서 (a)은 잔향 아티팩트가 발생하는 원인을 설명하기 위한 도면이도, (b)는 실제 초음파 이미지에서 복벽(abdominal wall) 영역과 잔향 아티팩트 영역 사이의 관계를 나타내며, 도 9는 잔향 아티팩트에 의해 오염이 발생할 가능성이 높은 영역을 나타낸다.

[0056] 심각한 잔향 아티팩트는 초음파 빔이 빔 전파 방향에 대략 직교하는 복벽의 지방-근육 경계(fat-muscle interface)와 같은 강한 반사체를 만날 때 발생한다. 이러한 잔향 아티팩트는 도 8의 (a)에 도시된 바와 같이, 초음파 전파 방향에 수직인 균일 간격(d)의 다수의 평행곡선(rev1 ~ rev3) 형태로 형성된다. 따라서 잔향 아티팩트는 도 8의 (b)에 도시된 바와 같이, 복벽에서 초음파의 인가되는 방향의 반대측, 즉 초음파의 진행 방향 측에 나타나게 된다.

[0057] 도 9에서는 여러 초음파 이미지에서 잔향 아티팩트나 나타난 영역을 점선으로 표시하였다. 잔향 아티팩트가 지방-근육 경계에 의해 발생하게 되므로, 도 9의 (a) 내지 (d)에 도시된 바와 같이, 초음파 이미지가 상이하면 잔향 아티팩트가 발생하는 영역도 서로 상이하게 나타나게 됨을 알 수 있다.

[0058] 다만 상기한 바와 같이, 잔향 아티팩트가 초음파 전파 방향에 수직인 균일 간격(d)의 다수의 평행곡선(rev1 ~ rev3) 형태로 형성되므로, 잔향 아티팩트는 복벽 영역(Ω_{abw})의 두께(d_{abw})와 거의 동일한 두께(d_{rvb})의 범위에서 나타나게 된다($d_{\mathrm{rvb}} \fallingdotseq d_{\mathrm{abw}}$). 따라서 복벽 영역($\Omega_{\mathrm{abw}}$)을 검출하여 두께($d_{\mathrm{abw}}$)를 확인하면, 복벽의 경계로부터 복벽 두께(d_{abw})에 대응하는 두께(d_{rvb})의 범위 내에서 잔향 아티팩트가 발생하게 됨을 알 수 있다. 즉 잔향 아티팩트가 발생할 수 있는 잔향 아티팩트 가능 영역(Ω_{rvb})을 설정할 수 있다. 도 8의 (b)에서 자주색 화살표와 흰색 화살표 및 파란색 화살표는 각각 근막과 양수 주머니 및 복막-근막층의 잔향 아티팩트를 나타낸다.

[0059] 이에 본 실시예에서는 제2 영역 추정부(300)가 복벽 영역을 검출하고, 검출된 복벽 영역을 기반으로 잔향 아티팩트 영역을 용이하게 검출하도록 한다.

[0060] 도 10은 도 2의 제2 영역 추정부의 상세 구성의 일 예를 나타내고, 도 11은 도 6의 제2 영역 추정부의 각 구성별 개략적 동작을 설명하기 위한 도면이다.

[0061] 도 10을 참조하면 제2 영역 추정부(300)는 복벽 영역 추정부(310), 잔향 범위 설정부(320), 잔향 특징맵 획득부(330) 및 제2 영역 검출부(340)를 포함할 수 있다.

[0062] 복벽 영역 추정부(310)는 입력 이미지(I)를 인가받아 미리 학습된 방식에 따라 신경망 연산을 수행하여, 복벽 영역(Ω_{abw})을 검출한다. 제2 영역 추정부(300)가 복벽 영역 추정부(310)를 구비하여 복벽 영역(Ω_{abw})을 검출하는 것은 상기한 바와 같이 잔향 아티팩트 가능 영역(Ω_{rvb})보다 복벽 영역(Ω_{abw})이 뚜렷한 형태적 특징을 갖고 있어 추출하기 용이하기 때문이다.

[0063] 복벽 영역 추정부(310)는 다양한 인공 신경망으로 구현될 수 있으나, 여기서는 일 예로 복벽 영역을 검출하도록 미리 학습된 U-net으로 구현되는 것으로 가정한다. U-net은 상기한 제1 영역 추정부(200)의 AF-net와 유사하게 입력 이미지(I)를 다양한 스케일로 변환하고 스케일별 특징을 추출하여 결합함으로써, 정확하게 복벽 영역(Ω_{abw})을 추출한다.

[0064] 여기서 U-net로 구현된 복벽 영역 추정부(310)의 동작($f_{1,\mathrm{abw}}^{**}$)은 수학식 3에 따라 미리 학습될 수 있다.

수학식 3

[0065] $$f_{1,\text{abw}}^{**} = \text{argmin}\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N}\mathcal{L}_{\text{cross}}\left(f_{1,\text{abw}}^{**}(\boldsymbol{I}^{(j)}), \mathbb{1}_{\Omega_{\text{abw}}^{(j)}}\right)$$

[0066] 여기서 $\mathcal{L}_{\text{cross}}\left(f_{1,\text{abw}}^{**}(\boldsymbol{I}^{(j)}), \mathbb{1}_{\Omega_{\text{abw}}^{(j)}}\right)$는 입력 이미지(I)에 실제 복벽 영역($\mathbb{1}_{\Omega_{\text{abw}}^{(j)}}$)이 레이블된 학습 데이터와 추정된 복벽 영역($f_{1,\text{abw}}^{**}(\boldsymbol{I}^{(j)})$ = Ω_{abw}) 사이에 계산되는 교차 엔트로피 손실 함수이다.

[0067] 잔향 범위 설정부(320)는 복벽 영역 추정부(310)에서 추정된 복벽 영역(Ω_{abw})의 두께(d_{abw})를 측정하고, 복벽 영역(Ω_{abw})의 경계로부터 초음파의 진행 방향(r) 방향으로 측정된 복벽 두께(d_{abw})와 동일한 두께(Ω_{rvb})의 범위를 잔향 아티팩트 가능 영역(Ω_{rvb})으로 설정한다. 여기서 잔향 아티팩트 가능 영역(Ω_{rvb})은 일종의 미스크로서, 잔향 아티팩트 가능 영역(Ω_{rvb})을 제외한 나머지 영역의 픽셀값은 0으로 설정될 수 있다.

[0068] 잔향 특징맵 획득부(330)는 입력 이미지(I)와 설정된 파생 잔향 아티팩트 가능 영역(Ω_{rvb})을 기반으로 잔향 아티팩트가 잔향 특징맵을 획득한다. 잔향 특징맵 획득부(330)는 입력 이미지(I)와 설정된 잔향 아티팩트 가능 영역(Ω_{rvb})을 아다마르 곱(Hadamard product)($\boldsymbol{I} \odot \mathbb{1}_{\Omega_{\text{rvb}}}$)하고, 초음파의 진행 방향(r)을 따라 미분($\partial_{\boldsymbol{r}}\left(\boldsymbol{I} \odot \mathbb{1}_{\Omega_{\text{rvb}}}\right)$)하여 잔향 특징맵을 획득할 수 있다.

[0069] 잔향 아티팩트 가능 영역(Ω_{rvb})은 단순히 잔향 아티팩트가 발생 가능한 영역을 나타낼 뿐으로 실제 양수 주머니에서 잔향 아티팩트가 발생된 영역을 나타내지는 못한다. 이에 잔향 특징맵 획득부(330)는 잔향 아티팩트의 특성상 초음파의 진행 방향(r) 방향으로 미분함으로써, 실제 양수 주머니에서 잔향 아티팩트가 발생한 영역을 강조하여 표시한 잔향 특징맵을 획득한다.

[0070] 제2 영역 검출부(340)는 입력 이미지(I)와 잔향 특징맵을 인가받고, 인가된 잔향 특징맵에 기반하여 입력 이미지(I)에서 잔향 아티팩트가 발생한 잔향 아티팩트 영역(Ω_{rvb})을 검출하고, 검출된 잔향 아티팩트 영역(Ω_{rvb})을 입력 이미지로부터 분할하여 제2 영역(Ω_{rvb}^{D})을 획득한다.

[0071] 도 12는 도 10의 제2 영역 검출부의 상세 구성의 일 예를 나타내고, 도 13은 도 12의 제2 영역 검출부의 구현예를 나타낸다.

[0072] 도 12를 참조하면, 본 실시예에 따른 제2 영역 검출부(340)는 스케일 변환 입력부(341), 잔향 강조 특징 추출부(342) 및 제2 영역 획득부(343)를 포함할 수 있다.

[0073] 도 13을 참조하여, 제2 영역 검출부(340)의 각 구성의 동작을 설명하면, 우선 스케일 변환 입력부(341)는 입력 이미지(I)와 함께 잔향 특징맵을 인가받고, 인가된 잔향 특징맵을 서로 다른 크기로 다운 스케일링하여 다수의 스케일 잔향 특징맵을 획득한다.

[0074] 잔향 강조 특징 추출부(342)는 인공 신경망으로 구현되어 학습된 방식에 따라 입력 이미지(I)에서 잔향 아티팩트 영역을 식별하여 검출한다. 잔향 강조 특징 추출부(342)는 일 예로 U-net를 기반으로 잔향 아티팩트 영역(Ω_{rvb})을 검출하도록 수정된 인공 신경망으로 구현될 수 있으며, 여기서는 이를 RVB-net라고 한다.

[0075] 잔향 강조 특징 추출부(342)는 도 13에 도시된 바와 같이, 입력 이미지(I)와 스케일 잔향 특징맵 각각을 인코딩하여 특징을 추출하고, 입력 이미지(I)에서 추출된 특징에 대해 최대값 풀링을 적용하여 스케일 다운하면서, 대응하는 스케일 잔향 특징맵에서 추출된 특징과 결합하여 다시 인코딩하여 특징을 추출한다. 즉 상위 스케일에서 추출될 특징을 하위 스케일로 전달하여 결합하여 특징을 추출한다. 그리고 하위에서 추출된 특징을 각 스케일에서 추출된 특징과 함께 디코딩하여 잔향 아티팩트 영역(Ω_{rvb})을 검출한다. 이때 디코딩 과정에서 도 13에 도시된 바와 같은 주의 게이트(attention gate: AG)를 적용하여, 잔향 강조 특징 추출부(342)가 잔향 특징맵의

영역에만 집중하여 잔향 아티팩트 영역(Ω_{rvb})을 검출하도록 할 수 있다.

[0076] U-net 기반 RVB-net로 구현되는 잔향 강조 특징 추출부(342)의 동작($f^{**}_{2,rvb}$)은 수학식 4에 따라 학습될 수 있다.

수학식 4

[0077]
$$f^{**}_{2,\mathrm{rvb}} = \operatorname{argmin}\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{K}\mathcal{L}_{\mathrm{cross}}\left(f^{**}_{\mathfrak{s}_k}(\boldsymbol{I}^{(j)}_{\mathrm{rvb}}), \mathbb{1}_{\Omega^{D(j)}_{\mathrm{rvb}}}\right)$$

[0078] 여기서 $\mathcal{L}_{\mathrm{cross}}\left(f^{**}_{\mathfrak{s}_k}(\boldsymbol{I}^{(j)}_{\mathrm{rvb}}), \mathbb{1}_{\Omega^{D(j)}_{\mathrm{rvb}}}\right)$는 실제 잔향 아티팩트 영역($\mathbb{1}_{\Omega^{D(j)}_{\mathrm{rvb}}}$)이 레이블된 입력 이미지($I_{rvb}$)의 학습 데이터와 스케일(k)에 따라 추출된 잔향 아티팩트 영역($\mathbb{1}_{\Omega^{D(j)}_{\mathrm{rvb}}}$) 사이에 계산되는 교차 엔트로피 손실 함수이다.

[0079] 잔향 강조 특징 추출부(342)는 다른 인공 신경망으로도 구성될 수 있으며, 주의 게이트(AG)의 구현 예 또한 도 13에 도시되어 있으므로 여기서는 상세한 설명을 생략한다.

[0080] 제2 영역 획득부(343)는 잔향 강조 특징 추출부(342)가 입력 이미지(I)로부터 잔향 아티팩트 영역(Ω_{rvb})을 검출하면, 검출된 잔향 아티팩트 영역(Ω_{rvb})을 구분하여 제2 영역(Ω^{D}_{rvb})을 획득한다.

[0081] 도 14는 도 2의 양수 주머니 추출부의 상세 구성의 일 예를 나타내고, 도 15는 도 14의 양수 주머니 추출부의 각 구성별 동작을 설명하기 위한 도면이다.

[0082] 양수 주머니 추출부(400)는 추정 영역 병합부(410), 후처리부(420) 및 크기 조절부(430)를 포함할 수 있다. 추정 영역 병합부(410)는 제1 영역 추정부(200)에서 양수 주머니로 추정된 영역을 구분하여 획득한 제1 영역(Ω_D)과 제2 영역 추정부(300)에 양수 주머니 중 잔향 아티팩트가 발생한 영역으로 구분하여 획득한 제2 영역(Ω^{D}_{rvb})을 병합하여, 도 15의 왼쪽과 같이, 보완 양수 주머니 영역을 획득한다.

[0083] 그리고 후처리부(420)는 양수 주머니의 형태학적 폐구조를 기반으로 도 15에서 주황색 화살표로 표시된 홀과 노란색 화살표로 표시된 가양성 오류(false positive errors) 등을 제거한다. (a)와 (b)를 비교하면 제1 영역(Ω_D)과 제2 영역(Ω^{D}_{rvb})의 병합에도 발생한 미세한 오류가 제거되었음을 알 수 있다.

[0084] 크기 조절부(430)는 오류가 제거된 보완 양수 주머니 영역에 대한 이미지를 원본 초음파 이미지의 크기로 변환하여 출력한다.

[0085] 그리고 AFI 획득부(500)는 도 15에서 오른쪽 그림과 같이, 양수 주머니 영역의 폭, 즉 두께를 측정함으로써, 도 1과 마찬가지로 해당 사분면에서의 양수 깊이를 나타내는 AFI를 측정하여 AFV를 획득한다.

[0086] 결과적으로 본 실시예에 따른 AFI 측정 방법은 양수 주머니 영역 전체를 추정하는 제1 영역 추정부(200)와 더불어 초음파 이미지에서 잔향 아티팩트가 발생하는 원리에 기초하여 복벽을 기반으로 잔향 아티팩트 발생 가능 영역을 검출하고, 검출된 잔향 아티팩트 발생 가능 영역 내에서 실제 잔향 아티팩트가 발생하는 영역을 추정하는 제2 추정부(300)를 구비하여 제1 및 제2 영역 추정부(200, 300)가 추정한 영역을 병합함으로써 매우 정확하게 초음파 이미지에서 양수 주머니 영역을 추출할 수 있으며, 추출된 양수 주머니 영역으로부터 AFI를 측정할 수 있다.

[0087] 도 16은 본 발명의 일 실시예에 따른 AFI 측정 방법을 나타낸다.

[0088] 도 1 내지 도 15를 참조하여, 도 16의 AFI 측정 방법을 설명하면, 우선 AFI를 측정하기 위해 임신부에 대한 초음파 이미지를 기반으로 입력 이미지(I)를 획득한다(S10). 그리고 양수 주머니 영역을 검출하도록 미리 학습된 인공 신경망을 이용하여 획득된 입력 이미지(I)에 대해 신경망 연산을 수행하여 제1 영역(Ω_D)을 추출한다(S20). 제1 영역을 검출하는 단계와 함께 제2 영역(Ω^{D}_{rvb})을 추출하는 단계(S30)를 수행한다.

[0089] 제2 영역을 추출하는 단계(S30)는 우선 입력 이미지(I)에서 복벽 영역을 추출하도록 미리 학습된 인공 신경망을 이용하여 입력 이미지(I)에 대해 신경망 연산을 수행하여 복벽 영역(Ω_{abw})을 검출한다(S31). 그리고 검출된 복벽 영역(Ω_{abw})의 경계로부터 초음파의 진행 방향(r)으로 복벽 영역(Ω_{abw})의 두께(d_{abw})만큼의 영역을 잔향 아티팩트 가능 영역(Ω_{rvb})으로 설정한다(S32). 이후 입력 이미지(I)와 잔향 아티팩트 가능 영역(Ω_{rvb})을 아다마르곱($\boldsymbol{I} \odot \mathbb{1}_{\Omega_{rvb}}$)하고, 초음파의 진행 방향(r)에 따라 미분($\partial_{\boldsymbol{r}}\left(\boldsymbol{I} \odot \mathbb{1}_{\Omega_{rvb}}\right)$)하여 잔향 아티팩트가 강조된 잔향 특징맵을 획득한다(S33). 입력 이미지(I)와 잔향 특징맵에 대해 학습된 방식에 따라 신경망 연산을 수행하여 입력 이미지(I)에서 잔향 특징맵에 의해 강조된 잔향 아티팩트 영역을 검출함으로써 제2 영역(Ω_{rvb}^{D})을 검출한다.

[0090] 제1 영역(Ω_D)과 제2 영역(Ω_{rvb}^{D})이 추출되면, 추출된 제1 영역(Ω_D)과 제2 영역(Ω_{rvb}^{D})을 병합하여 보완 양수 주머니 영역(Ω)을 획득한다. 그리고 획득된 양수 주머니 영역(Ω)의 두께, 즉 양수 주머니의 깊이를 나타내는 AFI를 측정함으로써 AFV를 계산한다(S50).

[0091] 본 발명에 따른 방법은 컴퓨터에서 실행시키기 위한 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다. 여기서 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스 될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 또한 컴퓨터 저장 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 포함하며, ROM(판독 전용 메모리), RAM(랜덤 액세스 메모리), CD(컴팩트 디스크)-ROM, DVD(디지털 비디오 디스크)-ROM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 광데이터 저장장치 등을 포함할 수 있다.

[0092] 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.

[0093] 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

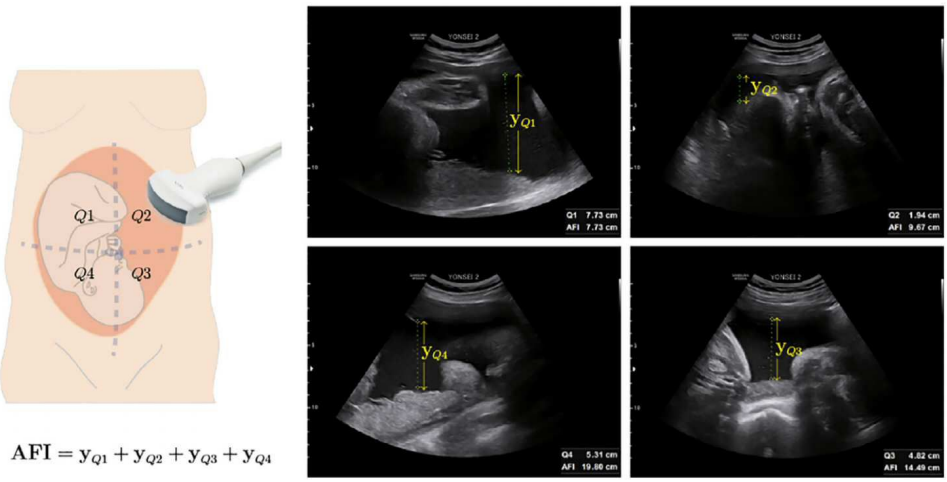
부호의 설명

[0094]

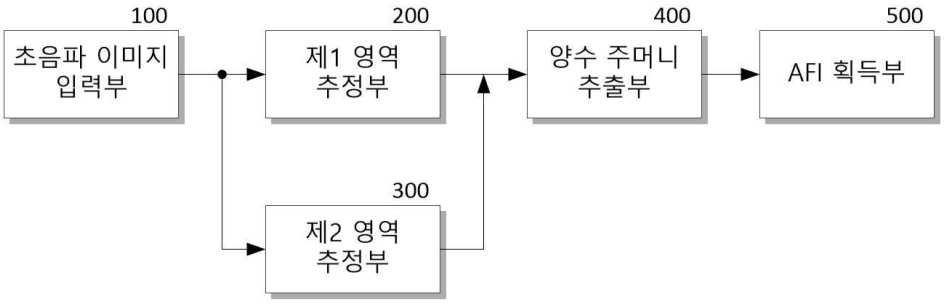
100: 초음파 이미지 입력부
200: 제1 영역 추정부
210: 다중 스케일링부
220: 특징맵 추출부
230: 스케일 복원부
240: 특징맵 결합부
300: 제2 영역 추정부
310: 복벽 영역 추정부
320: 잔향 범위 설정부
330: 잔향 특징맵 획득부
340: 제2 영역 검출부
341: 스케일 변환 입력부
342: 잔향 강조 특징 추출부
343: 제2 영역 획득부
400: 양수 주머니 추출부
410: 추정 영역 병합부
420: 후처리부
430: 크기 조절부
500: AFI 획득부

도면

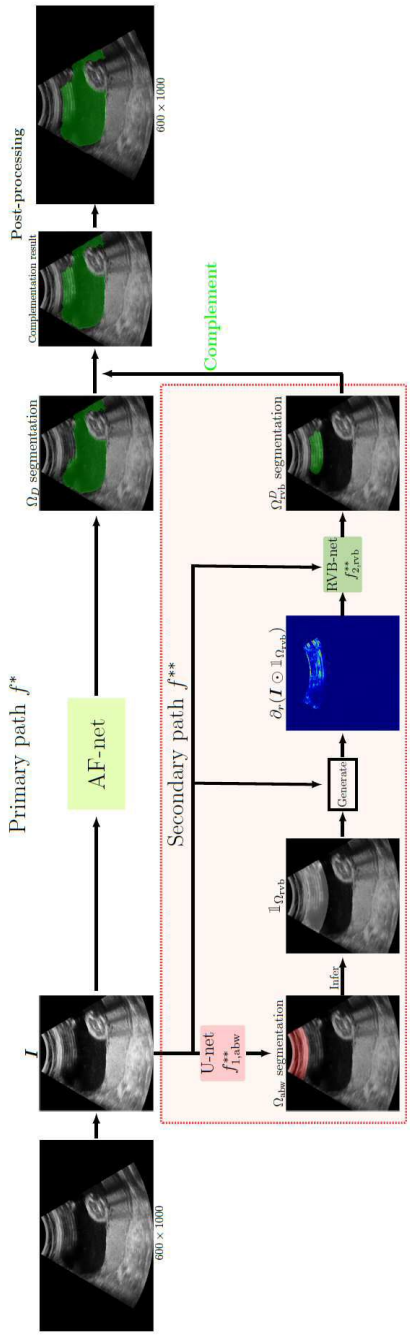
도면1


Q1
Q2
Q4
Q3
$AFI = y_{Q1} + y_{Q2} + y_{Q3} + y_{Q4}$
y_{Q1}
y_{Q2}
y_{Q4}
y_{Q3}

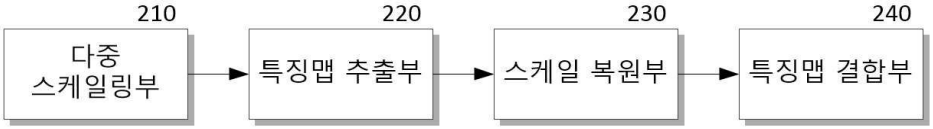
도면2


100
초음파 이미지 입력부
200
제1 영역 추정부
300
제2 영역 추정부
400
양수 주머니 추출부
500
AFI 획득부

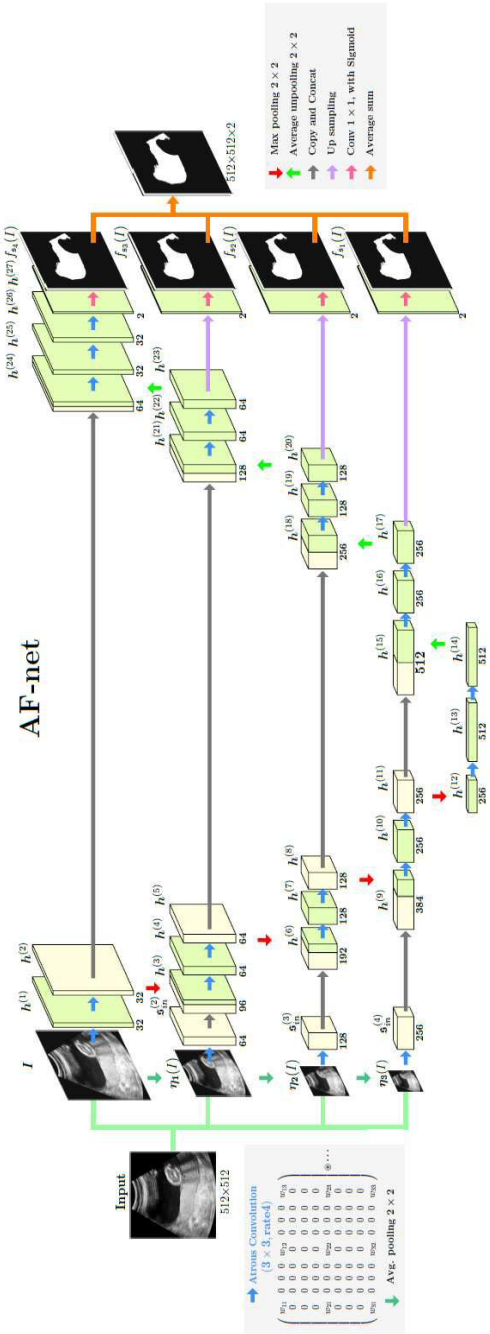
도면3


Post-processing
600 × 1000
Complementation result
Complement
Ω_D segmentation
Ω_{rvb}^{D} segmentation
RVB-net
$f_{2,rvb}^{**}$
Primary path f^*
AF-net
Secondary path f^{**}
$\partial_\tau(I \odot \mathbb{1}_{\Omega_{rvb}})$
Generate
$\mathbb{1}_{\Omega_{rvb}}$
Infer
I
U-net
$f_{1,abw}^{**}$
Ω_{abw} segmentation
600 × 1000

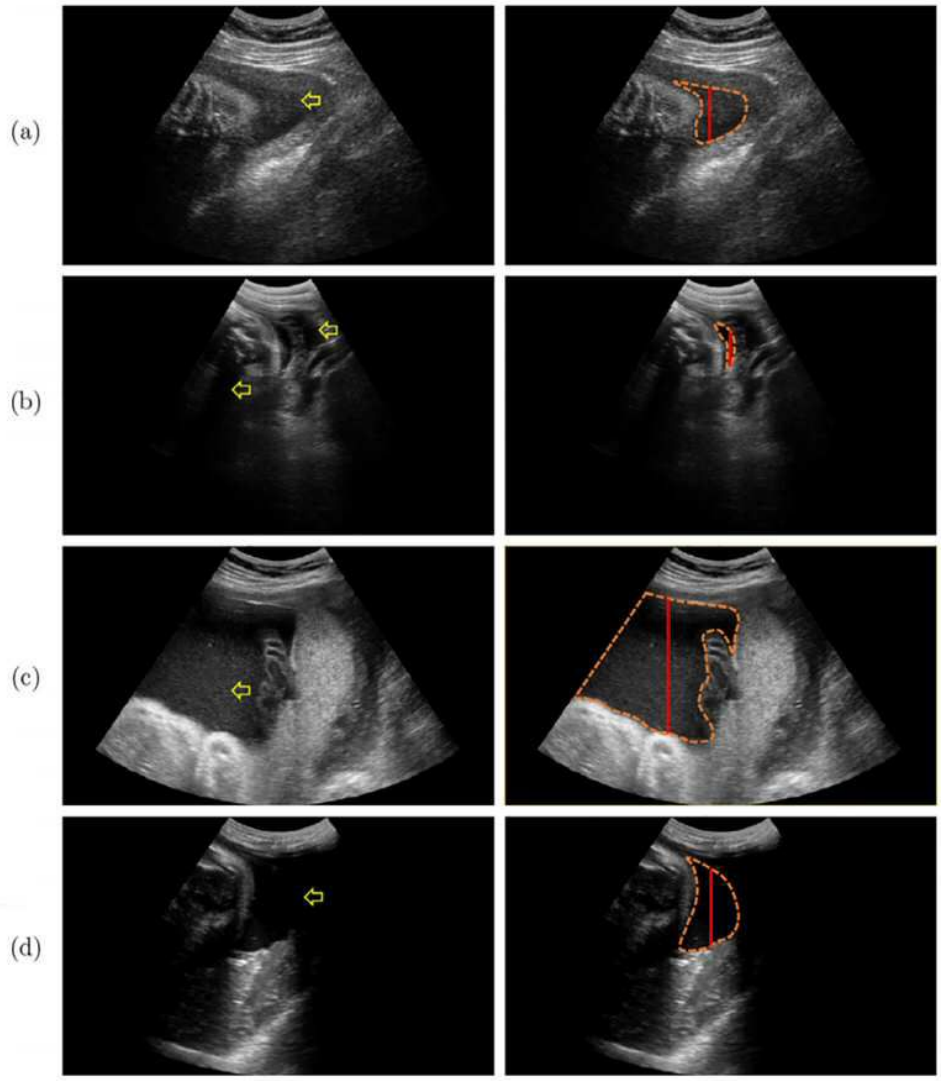
도면4


210
다중 스케일링부
220
특징맵 추출부
230
스케일 복원부
240
특징맵 결합부

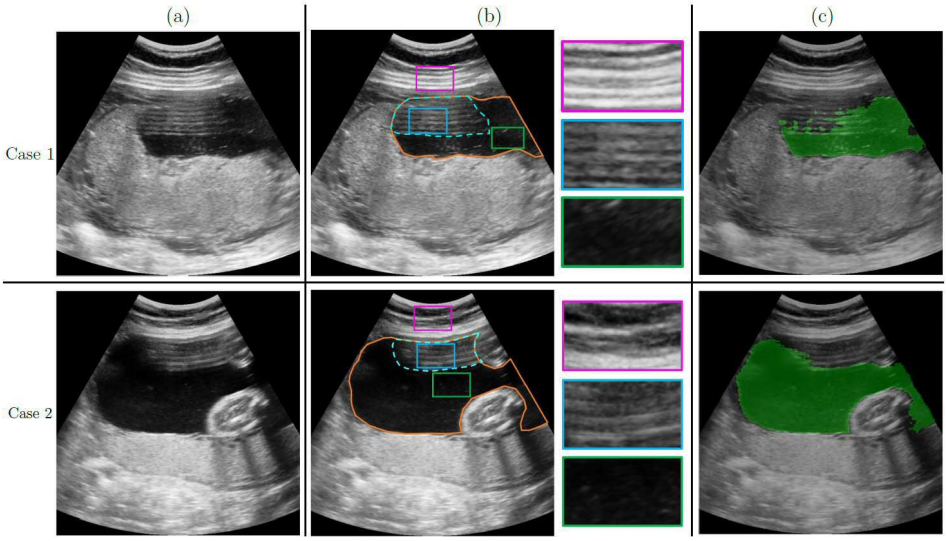
도면5


AF-net
Input
512×512
Atrous Convolution (3 × 3, rated)
Avg. pooling 2 × 2
Max pooling 2 × 2
Average unpooling 2 × 2
Copy and Concat
Up sampling
Conv 1 × 1, with Sigmoid
Average sum

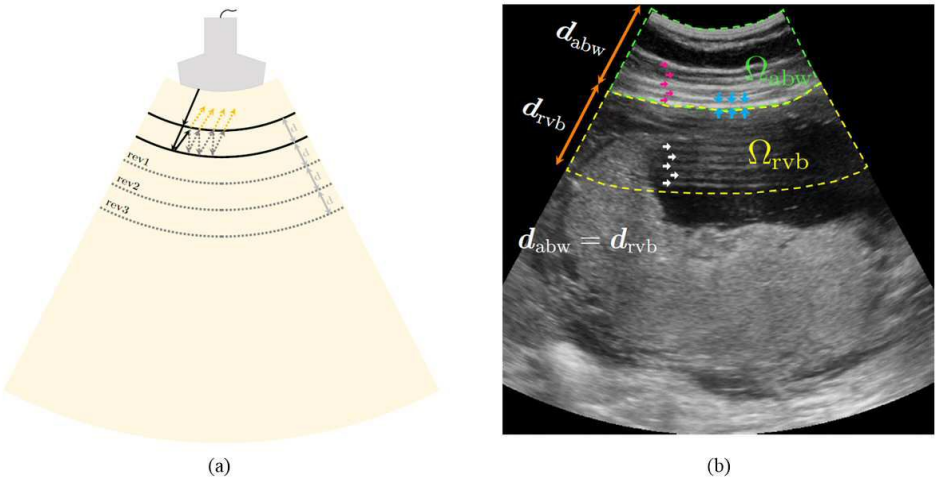
도면6



도면7

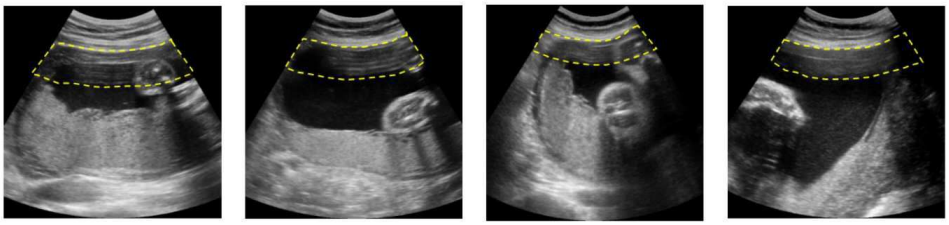


도면8



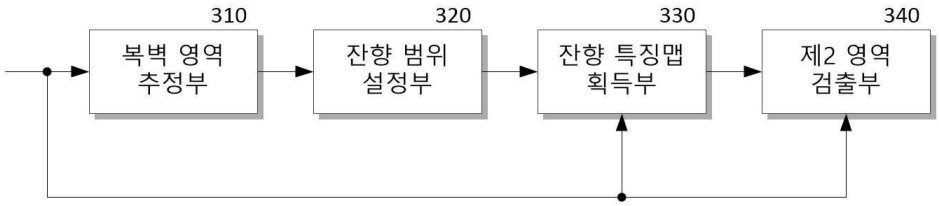
(a) (b)

도면9

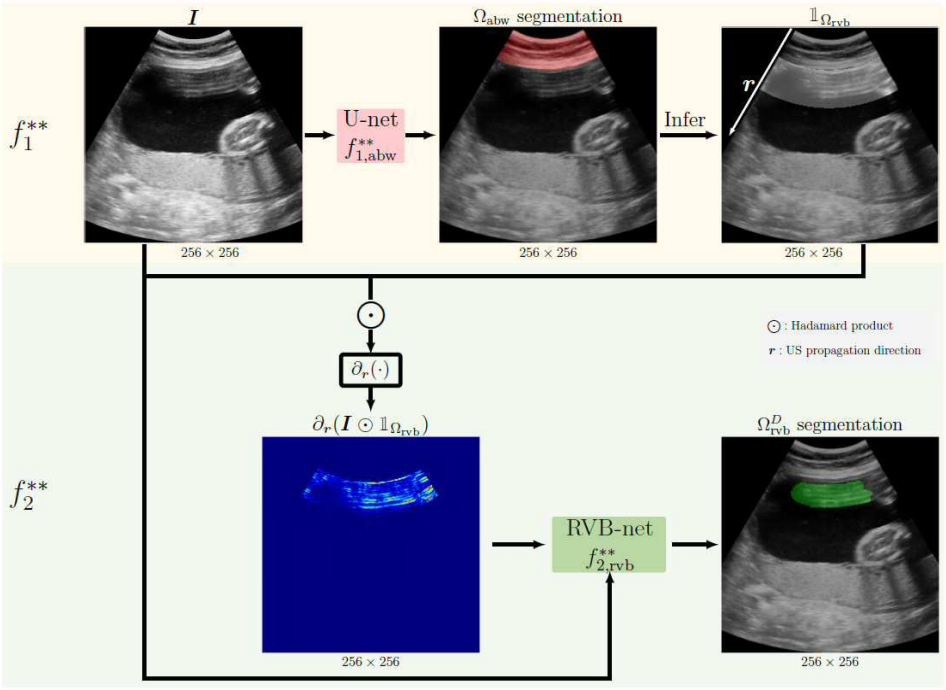


(a) (b) (c) (d)

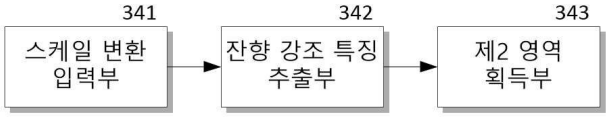
도면10



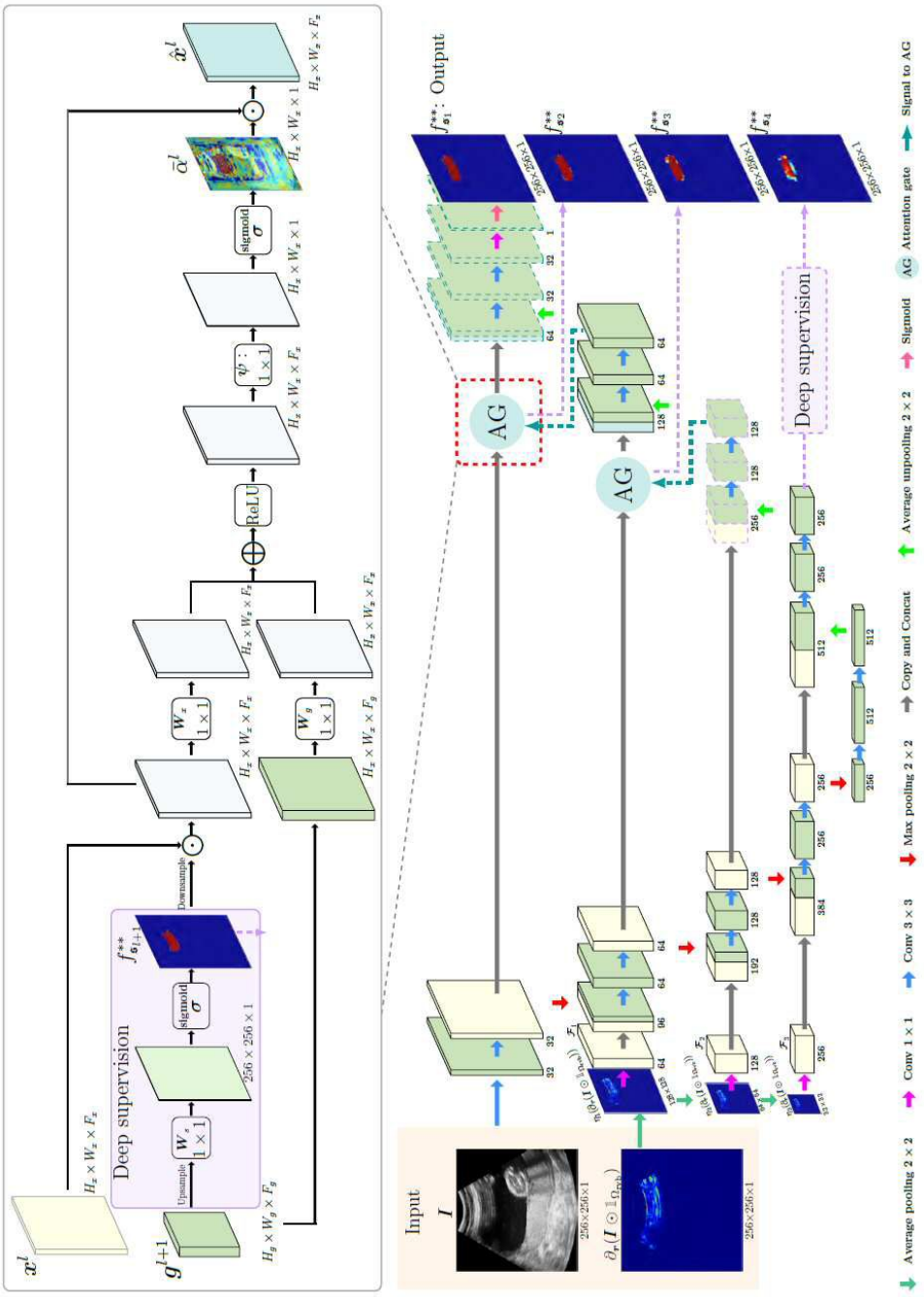
도면11


I
Ω_{abw} segmentation
$\mathbb{1}_{\Omega_{rvb}}$
f_1^{**}
U-net
$f_{1,abw}^{**}$
Infer
r
256 × 256
256 × 256
256 × 256
$\odot$: Hadamard product
r : US propagation direction
$\partial_r(\cdot)$
$\partial_r(I \odot \mathbb{1}_{\Omega_{rvb}})$
Ω_{rvb}^D segmentation
f_2^{**}
RVB-net
$f_{2,rvb}^{**}$
256 × 256
256 × 256

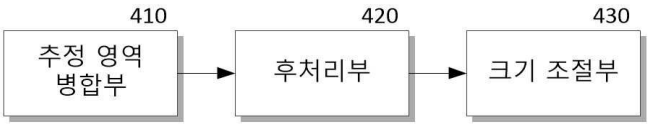
도면12


341
스케일 변환 입력부
342
잔향 강조 특징 추출부
343
제2 영역 획득부

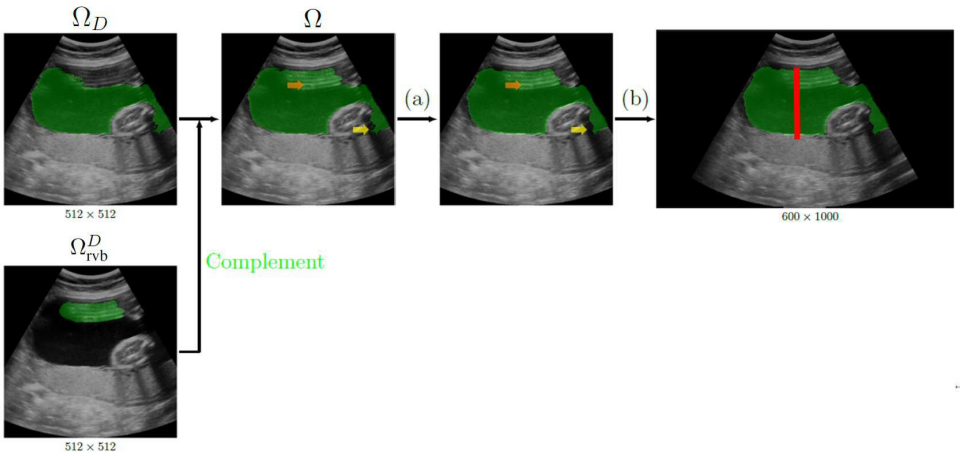
도면13


Deep supervision
Input
AG
Output
Average pooling 2 × 2
Conv 1 × 1
Conv 3 × 3
Max pooling 2 × 2
Copy and Concat
Average unpooling 2 × 2
Sigmoid
Attention gate
Signal to AG

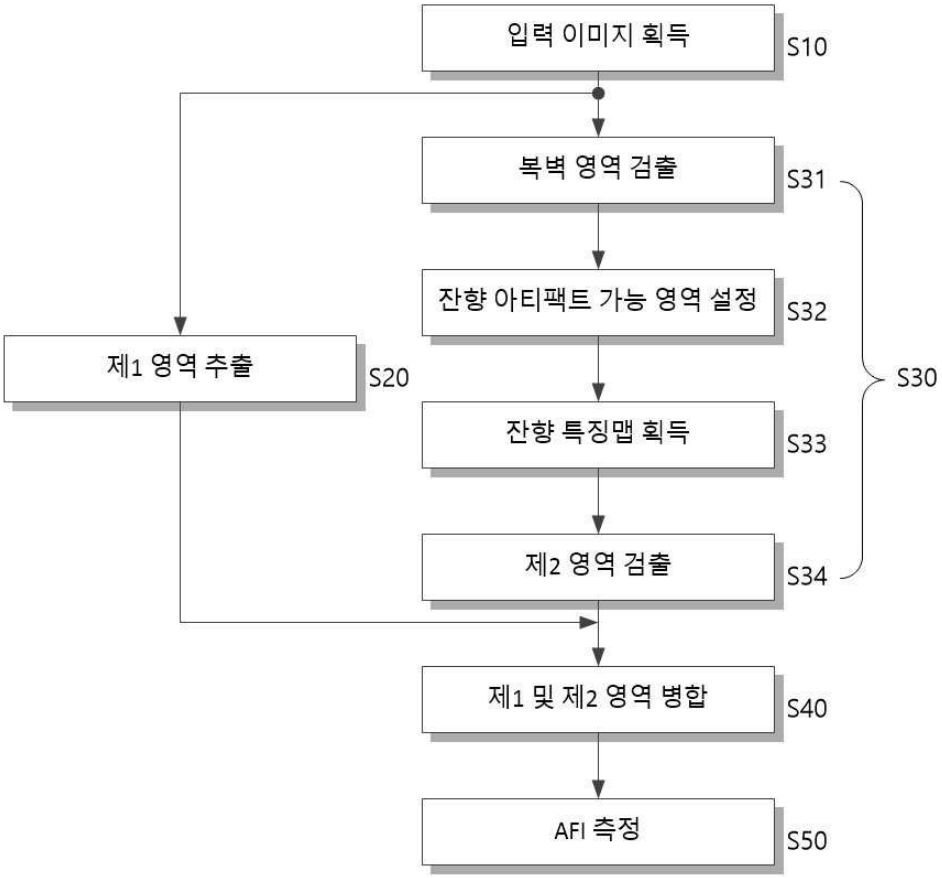
도면14


410
추정 영역 병합부
420
후처리부
430
크기 조절부

도면15


Ω_D
Ω
(a)
(b)
512 × 512
600 × 1000
Ω^D_{rvb}
Complement
512 × 512

도면16


입력 이미지 획득
S10
복벽 영역 검출
S31
잔향 아티팩트 가능 영역 설정
S32
제1 영역 추출
S20
잔향 특징맵 획득
S33
S30
제2 영역 검출
S34
제1 및 제2 영역 병합
S40
AFI 측정
S50