

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2023 년 6 월 29 일 (29.06.2023) WIPO | PCT

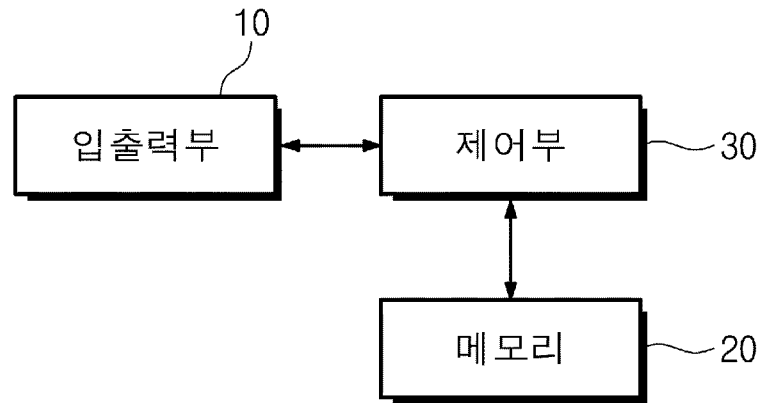


(10) 국제공개번호
WO 2023/120827 A1

- (51) 국제특허분류: A61N 7/02 (2006.01) A61N 7/00 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2022/006608
- (22) 국제출원일: 2022 년 5 월 10 일 (10.05.2022)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보: 10-2021-0182937 2021 년 12 월 20 일 (20.12.2021) KR
- (71) 출원인: 고려대학교 산학협력단 (KOREA UNIVERSITY RESEARCH AND BUSINESS FOUNDATION) [KR/KR]; 02841 서울시 성북구 안암로 145, Seoul (KR).
- (72) 발명자: 노건우 (NOH, Gun Woo); 42015 대구시 수성구 범어천로 200 201-1806, Daegu (KR). 윤경호 (YOON, Kyung Ho); 05266 서울시 강동구 양재대로 1650 111-1506, Seoul (KR). 장민영 (JANG, Min Yeong); 02842 서울시 성북구 개운사2길 21, Seoul (KR). 최민욱 (CHOI, Min Wook); 02857 서울시 성북구 안암로9가길 53-1 103, Seoul (KR).
- (74) 대리인: 박상열 (PARK, Sang Youl); 08505 서울시 금천구 가산디지털2로 123 1403, Seoul (KR).
- (81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,

(54) Title: ULTRASONIC TRANSDUCER POSITIONING APPARATUS, ULTRASONIC TRANSDUCER POSITIONING PROGRAM, AND ULTRASONIC TRANSDUCER POSITIONING ARTIFICIAL-INTELLIGENCE IMPLEMENTATION METHOD

(54) 발명의 명칭: 초음파 변환기 위치 설정 장치, 초음파 변환기 위치 설정 프로그램 및 초음파 변환기 위치 설정 인공 지능 구현 방법



10 ... Input/output unit

20 ... Memory

30 ... Control unit

(57) Abstract: The present invention relates to an ultrasonic transducer positioning apparatus, an ultrasonic transducer positioning program, and an ultrasonic transducer positioning artificial-intelligence implementation method. The ultrasonic transducer positioning apparatus, according to an embodiment of the present invention, comprises: an input/output unit which allows a user to input data and outputs data in a form that can be identified by the user; a memory in which an ultrasonic transducer positioning program is stored; and a control unit which executes the ultrasonic transducer positioning program to derive result data according to the data input through the input/output unit, wherein the control unit outputs, when a focal position of ultrasonic waves, which is located inside the skull and set to a region where the brain is located, is input, positional data of an ultrasonic transducer, which allows ultrasonic waves to be applied



WO 2023/120827 A1

SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역
내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE,
LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유
럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,
FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK,
MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

to the input focal position of the ultrasonic waves.

(57) 요약서: 본 발명은 초음파 변환기 위치 설정 장치, 초음파 변환기 위치 설정 프로그램 및 초음파 변환기 위치 설정 인공 지
능 구현 방법에 관한 것이다. 본 발명의 일 실시 예에 따른 초음파 변환기 위치 설정 장치는 사용자가 데이터를 입력하고, 또한
사용자가 확인 가능한 형태로 데이터가 출력되게 하는 입출력부; 초음파 변환기 위치 설정 프로그램이 저장되는 메모리; 및
상기 초음파 변환기 위치 설정 프로그램을 실행시켜, 상기 입출력부를 통해 입력된 데이터에 따른 결과 데이터를 도출하는
제어부를 포함하되, 상기 제어부는, 생체에 있어, 두개골의 내측에 위치되어 뇌가 위치되는 영역으로 설정되는 초음파의
초점 위치가 입력되면, 입력된 초음파의 초점 위치에 초음파가 인가되도록 하는 초음파 변환기의 위치 데이터를 출력한다.

명세서

발명의 명칭: 초음파 변환기 위치 설정 장치, 초음파 변환기 위치 설정 프로그램 및 초음파 변환기 위치 설정 인공지능 구현 방법 기술분야

- [1] 본 발명은 초음파 변환기 위치 설정 장치, 초음파 변환기 위치 설정 프로그램 및 초음파 변환기 위치 설정 인공지능 구현 방법에 관한 것으로, 보다 상세히 초음파를 인가하고자 하는 초점 위치에 초음파가 인가되도록 하는 초음파 변환기의 위치를 안내할 수 있는 초음파 변환기 위치 설정 장치, 초음파 변환기 위치 설정 프로그램 및 초음파 변환기 위치 설정 인공지능 구현 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 집속 초음파(Focused Ultrasound; FUS)는 생체조직 내에 국소영역에 집중된 음향에너지로 조사하여 비침습적으로 의료 행위를 할 수 있어, 다양한 영역의 치료에 이용된다. 집속 초음파를 활용한 비침습적 치료를 위해서는 원하는 영역에 초음파를 조사할 수 있어야 한다. 하지만 초음파가 비가시적이며 생체 내 조직에 전달될 때 반사 및 굴절 특성을 나타낸다.
- [3] 이러한 문제를 해결하기 위해 자기공명(magnetic resonance)을 통해 온도변화를 알아내 초음파를 가시화하는 자기공명 유도 집속 초음파(magnetic-resonance-guided FUS; MRgFUS) 시스템이 개발되었지만 시술에 많은 시간이 소요되는 문제가 있다. 또한, 경두개 치료의 경우 주로 저강도 집속 초음파가 사용되는데, 저강도 집속 초음파의 경우 비교적 온도변화가 적기 때문에 자기공명 유도 집속 초음파 시스템의 사용이 어렵다.
- [4] 또한, 영상유도 집속 초음파(neuro-navigation)를 통해 실시간 광학 추적 장비를 이용한 초음파 변환기의 초점 위치를 미리 획득한 의료영상에 나타내는 시스템이 있지만, 두개골에 의한 초점의 위치와 세기의 변화 효과를 고려하지 못하는 한계점이 있다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [5] 본 발명은 초음파를 인가하고자 하는 초점 위치에 초음파가 인가되도록 하는 초음파 변환기의 위치를 안내할 수 있는 초음파 변환기 위치 설정 장치, 초음파 변환기 위치 설정 프로그램 및 초음파 변환기 위치 설정 인공지능 구현 방법을 제공하기 위한 것이다.
- [6] 또한, 본 발명은 초음파가 두개골을 통과할 때 발생하는 굴절을 반영하여 원하는 위치에 초음파를 집속시킬 수 있도록 하는 초음파 변환기의 위치를 안내할 수 있는 초음파 변환기 위치 설정 장치, 초음파 변환기 위치 설정 프로그램 및 초음파 변환기 위치 설정 인공지능 구현 방법을 제공하기 위한

것이다.

- [7] 또한, 본 발명은 높은 정확성을 가지고 실시간에 근접한 속도로 초음파 변환기의 위치를 안내할 수 있는 초음파 변환기 위치 설정 장치, 초음파 변환기 위치 설정 프로그램 및 초음파 변환기 위치 설정 인공 지능 구현 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제 해결 수단

- [8] 본 발명의 일 측면에 따르면, 사용자가 데이터를 입력하고, 또한 사용자가 확인 가능한 형태로 데이터가 출력되게 하는 입출력부; 초음파 변환기 위치 설정 프로그램이 저장되는 메모리; 및 상기 초음파 변환기 위치 설정 프로그램을 실행시켜, 상기 입출력부를 통해 입력된 데이터에 따른 결과 데이터를 도출하는 제어부를 포함하되, 상기 제어부는, 생체에 있어, 두개골의 내측에 위치되어 뇌가 위치되는 영역으로 설정되는 초음파의 초점 위치가 입력되면, 입력된 초음파의 초점 위치에 초음파가 인가되도록 하는 초음파 변환기의 위치 데이터를 출력하는 초음파 변환기 위치 설정 장치가 제공될 수 있다.
- [9] 또한, 상기 제어부는, 초음파가 두개골을 지나면서 굴절이 발생하는 것을 반영하여, 입력된 초점 위치에 초음파를 집속 시킬 수 있는 초음파 변환기의 위치 데이터를 출력할 수 있다.
- [10] 또한, 상기 초음파 변환기의 위치 데이터는 두개골에 대해 초음파 변환기가 위치되는 3차원 좌표를 나타내는 좌표 데이터 및 두개골에 대해 초음파 변환기가 위치되는 각도를 나타내는 각도 데이터를 포함할 수 있다.
- [11] 또한, 상기 초음파 변환기 위치 설정 프로그램은 심층 신경망(Deep Neural Network, DNN)을 기반으로 한 인공지능으로 제공될 수 있다.
- [12] 또한, 상기 초음파 변환기 위치 설정 프로그램은, 입력 데이터로부터 특징맵을 학습하도록 제공되는 특징맵 학습부; 및 특징맵과 초음파 변환기의 위치 데이터의 관계를 학습하는 좌표 학습부를 포함할 수 있다.
- [13] 또한, 상기 특징맵 학습부는 적어도 하나 이상의 수정된 아트리우스 공간 피라미드 풀링 모듈을 포함하도록 제공될 수 있다.
- [14] 또한, 상기 수정된 아트리우스 공간 피라미드 풀링 모듈은, 제1 컨벌루션 네트워크 레이어; 상기 제1 컨벌루션 네트워크 레이어의 출력단 측에 연결되는 제2 컨벌루션 네트워크 레이어; 및 상기 제2 컨벌루션 네트워크 레이어의 출력단 측에 연결되는 맥스 풀링 레이어를 포함할 수 있다.
- [15] 또한, 상기 제1 컨벌루션 네트워크 레이어는 4개의 병렬 연결된 컨벌루션 네트워크를 포함할 수 있다.
- [16] 또한, 상기 제2 컨벌루션 네트워크 레이어는 4개의 병렬 연결된 컨벌루션 네트워크를 포함할 수 있다.
- [17] 또한, 상기 특징맵 학습부는, 수정된 제1 아트리우스 공간 피라미드 풀링 모듈; 상기 수정된 제1 아트리우스 공간 피라미드 풀링 모듈의 출력단에 연결되는

수정된 제2 아트루스 공간 피라미드 폴링 모듈; 및 상기 수정된 제2 아트루스 공간 피라미드 폴링 모듈의 출력단에 연결되는 수정된 제3 아트루스 공간 피라미드 폴링 모듈을 포함할 수 있다.

[18] 또한, 상기 수정된 제1 아트루스 공간 피라미드 폴링 모듈, 상기 수정된 제2 아트루스 공간 피라미드 폴링 모듈 및 상기 수정된 제3 아트루스 공간 피라미드 폴링 모듈은 컨벌루션 네트워크의 확장계수가 상이하게 설정될 수 있다.

[19] 또한, 상기 인공지능은 두개골의 형상 데이터, 초음파 변환기의 위치 데이터 및 음압장(acoustic pressure field) 형상 데이터를 포함하는 학습 데이터를 이용하여, 상기 음압장의 형상 데이터가 입력으로 사용되고, 이에 대응한 상기 초음파 변환기의 위치 데이터가 출력으로 사용되어, 음압장 형상 데이터에 따라 초음파 변환기의 위치 데이터를 예측하도록 학습이 수행될 수 있다.

[20] 또한, 상기 학습 데이터는 전산역학 기반 시뮬레이션을 통해 생성될 수 있다.

[21] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 생체에 있어, 두개골의 내측에 위치되어 뇌가 위치되는 영역으로 설정되는 초음파의 초점 위치가 입력되는 단계; 및 입력된 초음파의 초점 위치에 초음파가 인가되도록 하는 초음파 변환기의 위치 데이터를 출력하는 단계를 초음파 변환기 위치 설정 장치에 의해 실행시키기 위하여 초음파 변환기 위치 설정 장치로 판독 가능한 기록 매체에 저장된 초음파 변환기 위치 설정 프로그램이 제공될 수 있다.

[22] 또한, 상기 초음파 변환기의 위치 데이터는 두개골에 대해 초음파 변환기가 위치되는 3차원 좌표를 나타내는 좌표 데이터 및 두개골에 대해 초음파 변환기가 위치되는 각도를 나타내는 각도 데이터를 포함할 수 있다.

[23] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, 두개골의 형상 데이터, 초음파 변환기의 위치 데이터 및 음압장(acoustic pressure field) 형상 데이터를 포함하는 학습 데이터를 준비하는 단계; 및 상기 학습 데이터에 있어, 상기 음압장의 형상 데이터가 입력으로 사용되고, 이에 대응한 상기 초음파 변환기의 위치 데이터가 출력으로 사용되어, 음압장 형상 데이터에 따라 초음파 변환기의 위치 데이터를 예측하도록 인공지능을 학습시키는 단계를 포함하는 초음파 변환기 위치 설정 장치로 판독 가능한 기록 매체에 저장된 초음파 변환기 위치 설정 프로그램으로 제공되는 초음파 변환기 위치 설정 인공지능 구현 방법이 제공될 수 있다.

발명의 효과

[24] 본 발명의 일 실시 예에 의하면, 초음파를 인가하고자 하는 초점 위치에 초음파가 인가되도록 하는 초음파 변환기의 위치를 안내할 수 있는 초음파 변환기 위치 설정 장치, 초음파 변환기 위치 설정 프로그램 및 초음파 변환기 위치 설정 인공지능 구현 방법이 제공될 수 있다.

[25] 또한, 본 발명의 일 실시 예에 의하면, 초음파가 두개골을 통과할 때 발생하는 굴절을 반영하여 원하는 위치에 초음파를 집속 시킬 수 있도록 하는 초음파 변환기의 위치를 안내할 수 있는 초음파 변환기 위치 설정 장치, 초음파 변환기

위치 설정 프로그램 및 초음파 변환기 위치 설정 인공지능 구현 방법이 제공될 수 있다.

- [26] 또한, 본 발명의 일 실시 예에 의하면, 높은 정확성을 가지고 실시간에 근접한 속도로 초음파 변환기의 위치를 안내할 수 있는 초음파 변환기 위치 설정 장치, 초음파 변환기 위치 설정 프로그램 및 초음파 변환기 위치 설정 인공지능 구현 방법이 제공될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [27] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 초음파 변환기 위치 설정 장치를 나타내는 도면이다.
- [28] 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 초음파 변환기 위치 설정 장치에 의해 결과 데이터가 도출되는 과정을 나타내는 도면이다.
- [29] 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 초음파 변환기 위치 설정 프로그램으로 제공되는 초음파 변환기 위치 설정 인공지능이 구현되는 방법을 나타내는 흐름도이다.
- [30] 도 4는 학습 데이터를 전산역학을 기반으로 한 시뮬레이션을 수행하여 획득하기 위한 데이터의 구성을 나타내는 도면이다.
- [31] 도 5는 두개골 모델을 구축하기 위해 제공되는 실물 두개골을 나타내는 도면이다.
- [32] 도 6은 시뮬레이션 결과에 따라 관심 영역 내에서 초음파의 전파 형상이 음압장 형상 데이터로 나타난 결과를 나타내는 도면이다.
- [33] 도 7은 시뮬레이션 결과에 따른 음압장을 이진화 처리한 결과를 나타내는 도면이다.
- [34] 도 8은 초음파 변환기 위치 설정 인공지능이 학습되는 과정을 나타내는 도면이다.
- [35] 도 9는 본 발명의 일 실시 예에 따른 초음파 변환기 위치 설정 인공지능의 구조를 나타내는 도면이다.
- [36] 도 10은 본 발명에 따라 학습된 인공지능에 의해 예측 값과 전산역학 기반 초음파 시뮬레이션에 의한 예측 값을 비교하기 위해 사용한 IoU를 시각화한 일 예시도를 나타낸 것이다.
- [37] 도 11은 본 발명의 실험 예에 의해 예측되는 초음파의 초점 영역과 시뮬레이션에 의해 예측되는 초음파이 초점 영역을 비교한 도면이다.

발명의 실시를 위한 형태

- [38] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예를 상세히 설명할 것이다. 그러나 본 발명의 기술적 사상은 여기서 설명되는 실시 예에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 오히려, 여기서 소개되는 실시 예는 개시된 내용이 철저하고 완전해질 수 있도록 그리고 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되는 것이다.

- [39] 본 명세서에서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소 상에 있다고 언급되는 경우에 그것은 다른 구성요소 상에 직접 형성될 수 있거나 또는 그들 사이에 제 3의 구성요소가 개재될 수도 있다는 것을 의미한다. 또한, 도면들에 있어서, 막 및 영역들의 두께는 기술적 내용의 효과적인 설명을 위해 과장된 것이다.
- [40] 또한, 본 명세서의 다양한 실시 예들에서 제1, 제2, 제3 등의 용어가 다양한 구성요소들을 기술하기 위해서 사용되었지만, 이들 구성요소들이 이 같은 용어들에 의해서 한정되어서는 안 된다. 이들 용어들은 단지 어느 구성요소를 다른 구성요소와 구별시키기 위해서 사용되었을 뿐이다. 따라서, 어느 한 실시 예에 제 1 구성요소로 언급된 것이 다른 실시 예에서는 제 2 구성요소로 언급될 수도 있다. 여기에 설명되고 예시되는 각 실시 예는 그것의 상보적인 실시 예도 포함한다. 또한, 본 명세서에서 '및/또는'은 전후에 나열한 구성요소들 중 적어도 하나를 포함하는 의미로 사용되었다.
- [41] 명세서에서 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함한다. 또한, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 구성요소 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징이나 숫자, 단계, 구성요소 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 배제하는 것으로 이해되어서는 안 된다. 또한, 본 명세서에서 "연결"은 복수의 구성 요소를 간접적으로 연결하는 것, 및 직접적으로 연결하는 것을 모두 포함하는 의미로 사용된다.
- [42] 또한, 하기에서 본 발명을 설명함에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략할 것이다.
- [43] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 초음파 변환기 위치 설정 장치를 나타내는 도면이다.
- [44] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시 예에 따른 초음파 변환기 위치 설정 장치는 입출력부(10), 메모리(20) 및 제어부(30)를 포함한다.
- [45] 입출력부(10)는 사용자가 데이터를 입력하고, 또한 사용자가 확인 가능한 형태로 데이터가 출력되도록 한다. 일 예로, 입출력부(10)는 사용자가 데이터를 입력하기 위한 키보드, 마우스, 디지털타이핑 패드 등으로 제공될 수 있다. 또한, 입출력부(10)는 데이터 출력을 위한 디스플레이 패널 등을 포함할 수 있다. 또한, 입출력부(10)는 입력 부분과 출력 부분이 통합된 터치 스크린 등으로 제공될 수 있다. 또한, 입출력부(10)는 데이터 입력을 위한 부분 또는 데이터 출력을 위한 부분이 다른 의료 장비와 통합된 형태로 제공되어, 의료 장비가 데이터의 입력 또는 데이터의 출력을 수행하도록 제공될 수도 있다.
- [46] 메모리(20)는 데이터가 저장될 수 있다. 메모리(20)에는 초음파 변환기 위치 설정 프로그램이 저장된 상태로 제공될 수 있다. 이 때, 초음파 변환기 위치 설정 프로그램은 인공지능을 기반으로 구현된 것일 수 있다. 구체적으로, 초음파

- 변환기 위치 설정 프로그램은 심층 신경망(Deep Neural Network, DNN)을 기반으로 한 인공지능으로 구현된 것일 수 있다. 또한, 메모리(20)는 입출력부(10)를 통해 입력된 데이터, 입출력부(10)를 통해 입력된 데이터를 초음파 변환기 위치 설정 프로그램에 적용하여 생성된 데이터를 저장할 수 있다.
- [47] 제어부(30)는 메모리(20)에 저장된 초음파 변환기 위치 설정 프로그램을 실행시켜, 입출력부(10)를 통해 입력된 데이터에 따른 결과 데이터가 도출되고, 도출된 결과 데이터가 입출력부(10)를 통해 출력되게 한다.
- [48] 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 초음파 변환기 위치 설정 장치에 의해 결과 데이터가 도출되는 과정을 나타내는 도면이다.
- [49] 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시 예에 따른 초음파 변환기 위치 설정 장치는 초음파의 초점 위치가 입력되면(S10), 입력된 초음파의 초점 위치에 초음파를 인가할 수 있는 초음파 변환기의 위치 데이터를 출력한다(S11). 이 때, 초음파의 초점 위치는 생체에 있어, 두개골이 내측에 위치되어 뇌가 위치되는 영역으로 설정된다. 이에 따라, 초음파 변환기의 위치 데이터는 생체의 머리의 외측에서의 위치 데이터로 제공된다. 이에 따라, 출력된 초음파 변환기의 위치 데이터에 대응되는 위치에 초음파 변환기를 위치시킨 상태에서 초음파를 인가하면, 초음파는 입력된 초점 위치에 집속하게 된다.
- [50] 집속 초음파(Focused Ultrasound; FUS)는 생체조직 내에 국소영역에 집중된 음향에너지를 조사할 수 있다. 이에 따라 집속 초음파는 인체의 내부에 에너지를 인가하여 진단, 치료 등의 목적으로 사용되고 있다. 특히, 집속 초음파는 뇌에 인가되는 경우, 비침습적으로 뇌 자극을 할 수 있어 뇌 자극 및 치료에 사용될 수 있는 것으로 확인되었다.
- [51] 집속 초음파는 그 강도에 따라 고강도 집속 초음파(High-intensity FUS; HIFU)와 저강도 집속 초음파(Low-intensity FUS; LIFU)로 나뉠 수 있다. 고강도 집속 초음파는 혈전 분해(thrombolysis), 체외 충격파(extracorporeal shockwave), 열 절제(thermal ablation), 보일링 히스토트넵시(boiling histotripsy) 등과 같이 대상 영역의 상태를 직접적으로 변경하여 치료 효과가 나타나도록 한다.
- [52] 반면, 저강도 집속 초음파는 혈액 뇌 장벽(blood-brain barrier) 개방을 통한 약물전달, 비침습적 뇌 자극(brain stimulation) 등과 같은 분야에 이용된다. 또한, 저강도 집속 초음파는 최근 간질(epilepsy), 뇌 종양(brain tumors), 알츠하이머(Alzheimer's), 파킨슨병(Parkinson's disease) 등과 같은 신경계 질환의 치료에 효과가 있는 것으로 밝혀지고 있다.
- [53] 집속 초음파에 의한 치료가 효과를 나타내기 위해서는 원하는 영역에 초음파를 조사할 수 있어야 한다. 하지만 초음파는 비가시적이며 생체 내에서 진행할 때 반사 및 굴절하는 특성을 보인다. 특히, 초음파는 파동특성으로 인해 물성이 다른 영역이 만나는 경계를 통과할 때 왜곡이 발생하며, 이에 따라 두개골이나 다공성 영역을 통과할 때 심한 왜곡이 발생한다. 이에 따라서, 초음파를 경두개 치료에 사용하는 데에는 어려움을 겪는다.

- [54] 반면, 본 발명의 일 실시 예에 따른 초음파 변환기 위치 설정 장치는 초음파가 진행하면서 두개골을 비롯한 영역을 지나면서 굴절이 발생하는 것을 반영하여, 원하는 초점 위치에 초음파를 집속 시킬 수 있는 초음파 변환기의 위치를 제공한다. 이에 따라, 의료 행위를 하는 사용자는 초음파 변환기 위치 설정 장치에 의해 제공되는 위치에 초음파 변환기를 위치시켜 효과적으로 초음파를 이용한 의료 행위를 수행할 수 있다.
- [55] 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 초음파 변환기 위치 설정 프로그램으로 제공되는 초음파 변환기 위치 설정 인공지능이 구현되는 방법을 나타내는 흐름도이다.
- [56] 도 3을 참조하면, 초음파 변환기 위치 설정 인공지능의 학습을 위한 학습 데이터가 준비된다(S20). 학습 데이터는 두개골의 형상 데이터, 초음파 변환기의 위치 데이터 및 음압장(acoustic pressure field) 형상 데이터를 포함한다.
- [57] 두개골의 형상 데이터는 두개골의 입체적 형상에 관한 데이터이다. 두개골의 형상 데이터는 두개골에 대한 3차원 이미지 형태로 제공될 수 있다.
- [58] 초음파 변환기의 위치 데이터는 두개골에 대해 초음파 변환기가 위치되는 지점에 대한 데이터이다. 초음파 변환기의 위치 데이터는 두개골에 대해 초음파 변환기가 위치되는 3차원 좌표를 나타내는 좌표 데이터, 두개골에 대해 초음파 변환기가 위치되는 각도(즉, 두개골에 대해 초음파가 조사되는 각도)를 나타내는 각도 데이터를 포함한다.
- [59] 음압장 형상 데이터는 초음파 변환기에서 조사된 초음파가 두개골의 안쪽, 즉 뇌가 위치된 영역에서 진행되는 형상에 관한 데이터이다. 음압장 형상 데이터는 3원 이미지 형태, 또는 특정 기준면을 대한 2차원 이미지 형태 등으로 제공될 수 있다. 음압장 형상 데이터는 초음파 변환기의 위치 데이터와 쌍을 이루도록 제공된다. 음압장 형상 데이터는 후술하는 바와 같이 집속 초음파의 초점에 대한 정의에 따라, 반치전폭(FWHM, full-width at half-maximum) 임계값을 통해 초음파의 초점 영역과 초점 밖 영역으로 이진화 처리될 수 있다. 또한, 초점 영역의 경계가 반치전폭 임계값에 따른 경계에서 타원체 경계로 변환될 수 있다.
- [60] 이와 같은 학습 데이터는 초음파 변환기를 생체의 두개골에 인접하게 위치시켜 초음파를 조사하면서 기존의 의료 장비를 통해 두개골의 형태, 초음파가 진행되는 경로를 촬영하여 획득될 수 있다.
- [61] 또한, 학습 데이터는 전산역학을 기반으로 한 시뮬레이션을 통해 획득될 수 있다.
- [62] 도 4는 학습 데이터를 전산역학을 기반으로 한 시뮬레이션을 수행하여 획득하기 위한 데이터의 구성을 나타내는 도면이다.
- [63] 도 4를 참조하면, 시뮬레이션의 수치 모델링을 위한 데이터는 두개골 모델(110), 초음파 변환기 모델(120) 및 관심 영역(150)을 포함한다.
- [64] 두개골 모델(110)은 학습 데이터의 두개골의 형상 데이터에 대응된다. 두개골 모델(110)은 실물 두개골을 촬영하여 제공될 수 있다. 일 예로, 두개골

모델(110)을 실물 두개골을 CT 촬영하여 제공될 수 있다. 두개골 모델(110)은 물에서 만족스러운 정밀도 및 공간 분해능을 갖도록 설정 공간 해상도 이상으로 제공될 수 있다. 일 예로, 두개골 모델(110)은 0.5mm x 0.5mm x 0.5mm 이상의 공간 해상도를 갖도록 CT 촬영하여 제공될 수 있다. 두개골 모델(110)의 복셀(voxels)은 수학식 1과 같이 Hounsfield units($\phi_{i,j,k}$)에 따라 물과 해면골 및 피질골로 분류될 수 있다.

[65] [수식1]

$$c_{i,j,k} = \begin{cases} 1500 \text{ m/s}, & \text{for } \phi_{i,j,k} \leq 0 \\ 2140 \text{ m/s}, & \text{for } 0 < \phi_{i,j,k} \leq 1000 \\ 2384 \text{ m/s}, & \text{for } 1000 < \phi_{i,j,k} \end{cases}$$

$$\rho_{i,j,k} = \begin{cases} 1000 \text{ kg/m}^3, & \text{for } \phi_{i,j,k} \leq 0 \\ 1000 + 1.19\phi_{i,j,k} \text{ kg/m}^3, & \text{for } 0 < \phi_{i,j,k} \leq 1000 \\ 2190 \text{ kg/m}^3, & \text{for } 1000 < \phi_{i,j,k} \end{cases}$$

$$a_{i,j,k} = 33 \text{ Np/m}, \text{ for } 0 < \phi_{i,j,k}$$

[66] $c_{i,j,k}$

는 초음파의 속력,

$\rho_{i,j,k}$

는 초음파의 밀도이다. 이 때,

$\phi_{i,j,k} \leq 0$

는 물,

$0 < \phi_{i,j,k} \leq 1000$

는 해면골,

$1000 < \phi_{i,j,k}$

는 피질골이다.

$a_{i,j,k}$

는 감쇄 계수이다.

[67] 도 5는 두개골 모델을 구축하기 위해 제공되는 실물 두개골을 나타내는 도면이다.

[68] 도 5를 참조하면, 두개골 모델(110)은 서로 상이한 2개 이상의 실물 두개골

각각을 이용하여, 복수가 만들어 질 수 있다. 도 5에는 3개의 상이한 실물 두개골이 제공된 경우가 예시되어, 이들 각각을 이용해 3개의 두개골 모델(110)이 만들어 진 경우가 예시되었다.

[69] 초음파 변환기 모델(120)은 실물 초음파 변환기를 모델링 한다. 초음파 변환기 모델(120)은 기 설정 직경, 기 설정 곡률 반경 및 기 설정 초점 길이를 갖도록 모델링 될 수 있다. 일 예로, 초음파 변환기 모델(120)은 직경 96mm, 곡률 반경 52mm, 초점 길이 83mm로 모델링 될 수 있다. 초음파 변환기 모델(120)에는 위치 기준점(130)이 설정되어, 위치 기준점의 좌표를 초음파 변환기 모델(120)의 위치로 설정할 수 있다. 일 예로, 초음파 변환기 모델(120)에 있어 두개골 모델(110)링을 향하는 출구면의 중심 영역을 위치 기준점(130)으로 설정할 수 있다. 초음파 변환기 모델(120)은 두개골 모델(110)과 인접하게 위치된 거동 영역(140)에서 위치가 가변 되면서 시물레이션이 수행될 수 있다. 거동 영역(140)은 두개골 모델(110)의 상부 외면에 인접하고, 기 설정 체적을 갖도록 설정될 수 있다. 일 예로, 거동 영역(130)은 20mm x 20mm x 20mm 크기로 설정될 수 있다.

[70] 초음파 변환기 모델(120)의 위치는 위치 기준점(130)의 3차원 좌표를 나타내는 시물레이션 좌표 데이터, 두개골 모델(110)에 대해 초음파 변환기 모델(120)링이 위치되는 각도를 나타내는 시물레이션 각도 데이터를 포함한다. 시물레이션 각도 데이터는 출구면의 법선 벡터로 정의될 수 있다. 시물레이션 좌표 데이터, 시물레이션 각도 데이터는 각각 초음파 변환기의 좌표 데이터 및 각도 데이터에 대응된다.

[71] 관심 영역(150)은 초음파 변환기 모델(120)에서 조사된 초음파가 전파되는 형상 데이터를 획득하기 위한 영역으로 기 설정 체적을 갖도록 설정된다. 일 예로, 관심 영역(150)은 50mm x 50mm x 50mm 크기로 설정될 수 있다.

[72] 관심 영역(150)의 중심점은 초음파 변환기 모델(120)의 초기 위치에서 초점 길이만큼 떨어진 위치에 설정될 수 있다. 초음파 변환기 모델(120)의 위치를 변경시키면서, 관심 영역(150)내에서 초음파가 전파되는 형상의 획득을 위한 시물레이션이 수행된다. 관심 영역(150) 내에서 초음파 전파 모델링을 실시하기 위해 지배방정식으로 [수학식 2]와 같은 Westervelt-Lightill 방정식이 사용될 수 있다.

[73] [수식2]

$$\nabla^2 p - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - \frac{\tilde{a}}{c^2} \frac{\partial p}{\partial t} = 0 \quad \text{with} \quad \tilde{a} = 2a \sqrt{\frac{a^2 c^4}{4\pi^2 f^2} + c^2}$$

[74] 여기서 p는 음파의 압력, c는 매질에서의 파동 속도, a는 매질에서의 감쇠 계수, f는 음파의 주파수, t는 시간이다.

[75] 지배방정식의 공간 및 시간에 대한 편도함수를 근사하기 위해 [수학식 3]과

같은 finite-difference time domain(FDTD) 방법을 사용할 수 있으며, 초음파 전파는 식을 반복적으로 평가하여 수행된다.

[76] [수식3]

$$\begin{aligned} {}^{t+\Delta t}P_{i,j,k} = & {}^tP_{i,j,k} - C_{i,j,k}^p \left[({}^{t+1/2\Delta t}V_{i,j,k}^x - {}^{t+1/2\Delta t}V_{i-1,j,k}^x) \right. \\ & + ({}^{t+1/2\Delta t}V_{i,j,k}^y - {}^{t+1/2\Delta t}V_{i,j-1,k}^y) \\ & \left. + ({}^{t+1/2\Delta t}V_{i,j,k}^z - {}^{t+1/2\Delta t}V_{i,j-1,k}^z) \right] \\ & - A_{i,j,k} {}^tP_{i,j,k}, \end{aligned}$$

$${}^{t+1/2\Delta t}V_{i,j,k}^x = {}^{t-1/2\Delta t}V_{i,j,k}^x - C_{i,j,k}^{vx} \left[{}^tP_{i+1,j,k} - {}^tP_{i,j,k} \right],$$

$${}^{t+1/2\Delta t}V_{i,j,k}^y = {}^{t-1/2\Delta t}V_{i,j,k}^y - C_{i,j,k}^{vy} \left[{}^tP_{i,j+1,k} - {}^tP_{i,j,k} \right],$$

$${}^{t+1/2\Delta t}V_{i,j,k}^z = {}^{t-1/2\Delta t}V_{i,j,k}^z - C_{i,j,k}^{vz} \left[{}^tP_{i,j,k+1} - {}^tP_{i,j,k} \right],$$

$$C_{i,j,k}^p = \rho_{i,j,k} c_{i,j,k}^2 \frac{\Delta t}{\delta}, \quad A_{i,j,k} = 2\Delta t a_{i,j,k} \sqrt{\frac{a_{i,j,k}^2 c_{i,j,k}^4}{4\pi^2 f^2} + c_{i,j,k}^2}$$

$$C_{i,j,k}^{vx} = \frac{2}{\rho_{i,j,k} + \rho_{i+1,j,k}} \frac{\Delta t}{\delta},$$

$$C_{i,j,k}^{vy} = \frac{2}{\rho_{i,j,k} + \rho_{i,j+1,k}} \frac{\Delta t}{\delta},$$

$$C_{i,j,k}^{vz} = \frac{2}{\rho_{i,j,k} + \rho_{i,j,k+1}} \frac{\Delta t}{\delta},$$

[77] 여기서,

$${}^tP_{i,j,k}$$

는 절점에서의 음압 값,

$${}^tV_{i,j,k}^x$$

,

$${}^tV_{i,j,k}^y$$

,

$${}^tV_{i,j,k}^z$$

는 절점에서 시간 t에서 x, y, z축에 대한 파장의 속도,

$$c_{i,j,k}$$

는 초음파의 속도,

$$\rho_{i,j,k}$$

는 초음파의 밀도,

$$a_{i,j,k}$$

는 감쇄 계수이다.

- [78] 이때, FDTD를 포함하여 explicit dynamic processes를 풀기위한 알고리즘은 수치적인 오류를 가지기 때문에 [수학식 4]와 같이 표현될 수 있는 Courant-Friedrichs-Lewy(CFL) criterion으로 알려진 안정성 조건을 만족시켜야 한다.

- [79] [수식4]

$$\Delta t \leq \frac{\delta}{\sqrt{3}c}$$

- [80] 여기서,

$$\Delta t$$

는 시간간격,

$$\delta$$

는 이산화 된 공간 간격, c는 속력이다.

- [81] 도 6은 시뮬레이션 결과에 따라 관심 영역 내에서 초음파의 전파 형상이 음압장 형상 데이터로 나타난 결과를 나타내는 도면이다.

- [82] 도 6을 참조하면, 전산역학 기반 시뮬레이션을 수행하면 초음파 변환기 모델(120)의 위치에 따른 관심영역 내의 초음파의 압력분포를 음압장 형상 데이터로 얻을 수 있다. 이 때 시뮬레이션은 서로 상이한 형상을 만들어진 두개골 모델(110) 각각에 대해 수행되어, 그 결과가 획득될 수 있다.

- [83] 도 7은 시뮬레이션 결과에 따른 음압장을 이진화 처리한 결과를 나타내는

도면이다.

- [84] 도 7을 참조하면, 음압장 형상의 시뮬레이션 결과는 집속 초음파의 초점에 대한 정의를 통해 초음파의 초점 영역과 초점 밖 영역으로 이진화 처리될 수 있다. 집속 초음파의 초점 영역은 반치전폭(FWHM, full-width at half-maximum) 임계값에 해당되는 영역으로 정의될 수 있다. 시뮬레이션 결과를 이진화 처리하면, 초점 영역의 경계는 복잡하고 일관성이 없는 비선형성 모양을 가진다. 이에 따라, 본 발명의 일 실시예에 따른 학습 데이터로 제공되는 시뮬레이션 결과는 인공지능의 학습 효율을 위해 초점 영역의 경계가 반치전폭 임계값에 따른 경계에서 타원체 경계로 변환될 수 있다. 이 때, 타원체 경계는 반치전폭 임계값에 따른 경계와 가장 가까운 타원체로 설정될 수 있다. 일 예로, 반치전폭 임계값에 따른 경계와 가장 가까운 타원체는 OpenCV(Open Source Computer Vision) 라이브러리의 CV:fitEllipse 함수 등과 같이 반치전폭 임계 값에 따른 경계상의 윤곽점들(contours points)을 포함하거나 감싸는 타원을 선택하는 방법으로 형성될 수 있다.
- [85] 도 8은 초음파 변환기 위치 설정 인공지능이 학습되는 과정을 나타내는 도면이다.
- [86] 도 8을 참조하면, 준비된 학습 데이터를 통해 초음파 변환기 위치 설정 인공지능이 학습된다.
- [87] 학습 데이터는 음압장 형상 데이터가 입력으로 사용되고, 이에 대응한 초음파 변환기의 위치 데이터가 출력으로 사용되어, 음압장 형상 데이터에 따라 초음파 변환기의 위치 데이터를 예측하도록 학습이 수행된다.
- [88] 음압장 형상 데이터는 초점 영역으로 설정된 부분이 입력으로 사용될 수 있다. 이 때, 초점 영역은 반치전폭 임계값에 따른 경계 또는 이를 타원체 경계로 변형한 것일 수 있다. 이 때 학습 효율을 위해 초점 영역은 타원체 경계 형태인 것이 바람직하다.
- [89] 초음파 변환기의 위치 데이터는 좌표 데이터 및 각도 데이터를 포함하여, 좌표 데이터 및 각도 데이터를 각각 예측하도록 학습이 수행된다. 이 때 좌표 데이터와 각도 데이터는 인공지능의 효율적인 학습을 위해 각각 최소-최대 정규화 과정을 거쳐 0과 1 사이의 값으로 변환된 것이 사용될 수 있다. 인공지능은 오차 역전파를 통해 학습이 이루어 질 수 있다. 학습이 수행된 후, 인공지능은 음압장 형상 데이터에 대응하여 초음파를 집속 시키고자 하는 초점 영역의 위치가 입력되면, 초점 영역의 위치에 초음파를 집속 시킬 수 있는 초음파 변환기의 위치 데이터를 출력한다. 이 때, 인공지능은 좌표 데이터 및 각도 데이터를 먼저 0과 1 사이의 값 형태의 1차 출력 값으로 출력한 후, 1차 출력 값을 역정규화 하여 최종 출력 값이 출력되게 할 수 있다.
- [90] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 초음파 변환기 위치 설정 인공지능의 구조를 나타내는 도면이다.
- [91] 도 9를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 초음파 변환기 위치 설정

- 인공지능은 특징맵 학습부(210, 220, 230) 및 좌표 학습부(240)를 포함한다.
- [92] 특징맵 학습부(210, 220, 230)는 입력 데이터로부터 특징맵을 학습하도록 제공된다. 특징맵 학습부(210, 220, 230)는 적어도 하나 이상의 수정된 아트루스 공간 피라미드 풀링(Atrous Spatial Pyramid Pooling) 모듈을 포함하도록 제공된다. 수정된 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈은 2개의 컨벌루션 네트워크 레이어와 하나의 맥스 풀링 레이어를 포함한다. 제1 컨벌루션 네트워크 레이어(211, 221, 231) 및 제2 컨벌루션 네트워크 레이어(212, 222, 232)는 각각 4개의 병렬 연결된 3x3 컨벌루션 네트워크를 포함한다. 제1 컨벌루션 네트워크 레이어(211, 221, 231)에 포함된 각각의 컨벌루션 네트워크의 특징맵의 수(n), 스트라이드(stride, s)는 동일하게 설정된다. 제1 컨벌루션 네트워크 레이어(211, 221, 231)에 포함된 각각의 컨벌루션 네트워크는 서로 다른 확장계수(dilation rate, d)를 가질 수 있다. 제1 컨벌루션 네트워크 레이어(211, 221, 231)에 포함된 각각의 컨벌루션 네트워크에 의한 결과는 합성된 후 출력된다. 이 때 활성화 함수는 ReLU가 사용될 수 있다. 제2 컨벌루션 네트워크 레이어(212, 222, 232)는 제1 컨벌루션 네트워크 레이어(211, 221, 231)의 출력단 측에 연결되고 제1 컨벌루션 네트워크 레이어(211, 221, 231)와 동일한 구조로 제공된다.
- [93] 맥스 풀링 레이어는 제2 컨벌루션 네트워크 레이어(212, 222, 232)의 출력단 측에 연결된다. 맥스 풀링 레이어는 2x2 맥스 풀링 레이어로 제공될 수 있다.
- [94] 바람직하게 특징맵 학습부(210, 220, 230)는 수정된 제1 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈(210), 수정된 제2 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈(220), 수정된 제3 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈(230)으로 이루어져, 3개의 수정된 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈로 이루어 진다. 이 때, 수정된 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈은 컨벌루션 네트워크 레이어를 구성하는 컨벌루션 네트워크의 확장계수가 상이하게 설정된다.
- [95] 수정된 제1 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈(210)에 있어, 제1 컨벌루션 네트워크 레이어(211)에 포함된 각각의 컨벌루션 네트워크의 확장계수는 각각 1, 2, 3, 1일 수 있다. 제1 컨벌루션 네트워크 레이어(211)에 포함된 각각의 컨벌루션 네트워크의 특징맵의 수(n)는 16, 스트라이드(stride, s)는 1일 수 있다.
- [96] 수정된 제2 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈(220)은 수정된 제1 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈(210)의 출력단에 연결된다. 수정된 제2 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈(220)에 있어, 제1 컨벌루션 네트워크 레이어(221)에 포함된 각각의 컨벌루션 네트워크의 확장계수는 각각 2, 3, 4, 1일 수 있다. 제1 컨벌루션 네트워크 레이어(221)에 포함된 각각의 컨벌루션 네트워크의 특징맵의 수(n)는 수정된 제1 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈(210)에 포함된 컨벌루션 네트워크의 특징맵의 수(n)의 2배로 제공된다. 제1 컨벌루션 네트워크 레이어(221)에 포함된 각각의 컨벌루션 네트워크의 스트라이드(stride, s)는 수정된 제1 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈(210)에 포함된 컨벌루션 네트워크의 스트라이드(stride, s)와 동일할 수 있다.

- [97] 수정된 제3 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈(230)은 수정된 제2 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈(220)의 출력단에 연결된다. 수정된 제3 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈(230)에 있어, 제1 컨벌루션 네트워크 레이어(231)에 포함된 각각의 컨벌루션 네트워크의 확장계수는 각각 3, 4, 5, 1일 수 있다. 제1 컨벌루션 네트워크 레이어(231)에 포함된 각각의 컨벌루션 네트워크의 특징맵의 수(n)는 수정된 제2 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈(220)에 포함된 컨벌루션 네트워크의 특징맵의 수(n)의 2배로 제공된다. 제1 컨벌루션 네트워크 레이어(231)에 포함된 각각의 컨벌루션 네트워크의 스트라이드(stride, s)는 수정된 제1 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈(210)에 포함된 컨벌루션 네트워크의 스트라이드(stride, s)와 동일할 수 있다.
- [98] 좌표 학습부(240)는 특징맵과 초음파 변환기의 위치 데이터의 관계를 학습한다. 좌표 학습부(240)는 좌표 학습부측 제1 컨벌루션 네트워크 레이어, 좌표 학습부측 제2 컨벌루션 네트워크 레이어 및 좌표 학습부측 맥스 풀링 레이어를 포함한다.
- [99] 좌표 학습부측 제1 컨벌루션 네트워크 레이어는 3x3 컨벌루션 네트워크로 제공된다. 좌표 학습부측 제1 컨벌루션 네트워크의 특징맵의 수는 수정된 제1 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈(210)의 컨벌루션 네트워크와 동일하게 제공된다. 좌표 학습부측 제1 컨벌루션 네트워크의 스트라이드는 1, 확장계수는 1이고, 활성화 함수는 ReLU가 사용될 수 있다.
- [100] 좌표 학습부측 제2 컨벌루션 네트워크 레이어는 3x3 컨벌루션 네트워크로 제공된다. 좌표 학습부측 제2 컨벌루션 네트워크 레이어는 좌표 학습부측 제1 컨벌루션 네트워크 레이어와 동일 구조를 가질 수 있다.
- [101] 좌표 학습부측 맥스 풀링 레이어는 2x2 맥스 풀링 레이어로 제공될 수 있다.
- [102]
- [103] 실험 예
- [104] 도 9에 도시된 구조를 갖는 인공지능에 대해 학습을 진행하였다. 이 때, 학습 데이터는 3개의 상이한 실물 두개골을 통해 두개골 모델(110)을 만든 후, 각각의 두개골 모델(110)에 대해 시뮬레이션을 통해 생성된 데이터를 사용하였다. 각각의 두개골 모델(110)에 대한 시뮬레이션 결과 중 1012개를 학습 데이터로 사용하고, 113개는 학습된 인공지능을 테스트하는데 사용되었다. 해당 학습 데이터는 전산역학 기반의 초음파 시뮬레이션과 GPU장치를 사용한 병렬 계산을 통해 생성되었으며 데이터 생성에 하나의 두개골 모델(110) 당 약 31시간이 소요되었다. 인공지능의 학습은 intel i9-7940X-CPU, 64.0GB-RAM, NVIDIA GeForce 2080Ti-단일 GPU 환경에서 수행되었고, 최적화 함수 Adam, 에포크 1500, 배치 사이즈 40, 학습률 0.001로 학습되었다. 오차 역전파를 위한 손실 함수로 초음파 변환기의 위치 정보에 대한 평균 제곱 오차를 사용하였고, 평균 제곱 오차의 함수는 아래 [수학식 5]와 같이 나타낼 수 있다.

[105] [수식5]

$$f_{loss} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|(i)\mathbf{T}_c^{pred} - (i)\mathbf{T}_c|^2 + |(i)\mathbf{n}_t^{pred} - (i)\mathbf{n}_t|^2}{2} \right)$$

[106] 여기서, n은 훈련 데이터의 개수,

$(i)\mathbf{T}_c$

및

$(i)\mathbf{n}_t$

는 각각 i번째 데이터에서 초음파 발생기의 위치에 대한 좌표 데이터와 각도 데이터인 법선 벡터를 의미한다. 그리고

$(i)\mathbf{T}_c^{pred}$

및

$(i)\mathbf{n}_t^{pred}$

는 각각 학습 중인 인공지능에서 출력되는 초음파 발생기의 좌표 데이터와 각도 데이터에 대한 예측치를 의미한다.

[107] 본 발명의 일 실시예에 따른 초음파 변환기 위치 설정 인공지능에 대한 성능을 평가하기 위해서 다음과 같은 세 가지 지표(metric)를 사용할 수 있다.

[108] (1) 학습된 인공지능이 예측한 초음파 발생기의 좌표 데이터 및 각도 데이터와 정답지에 해당하는 초음파 발생기의 위치 및 법선 벡터 사이의 상대오차를 측정한다.

[109] (2) 학습된 인공지능이 예측한 초음파 발생기의 위치 데이터를 전산역학 기반 초음파 시뮬레이션의 입력으로 넣고 이때 출력되는 음압장의 초점영역이 인공지능의 입력으로 사용된 음압장 형상 데이터와 얼마나 겹치는지 수치화하기 위해 IoU(intersection-over-union)를 측정한다.

[110] (3) 학습된 인공지능의 실용성을 평가하기 위해 모델의 학습시간과 추론시간을 측정한다.

[111] 첫 번째 및 두 번째 지표는 아래 [수학식 6], [수학식 7], [수학식 8]을 이용하여 수치화 할 수 있다.

[112] [수식6]

$$\Delta \mathbf{T}_c = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \frac{\left| {}^{(j)}\mathbf{T}_c - {}^{(j)}\mathbf{T}_c^{pred} \right|}{\left| {}^{(j)}\mathbf{T}_c \right|}$$

[113]

[114] [수식7]

$$\Delta \mathbf{n}_t = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \frac{\left| {}^{(j)}\mathbf{n}_t - {}^{(j)}\mathbf{n}_t^{pred} \right|}{\left| {}^{(j)}\mathbf{n}_t \right|}$$

[115] 여기서, m은 인공지능의 성능을 측정하기 위한 실험 데이터의 개수이다.

 ${}^{(j)}\mathbf{T}_c$

및

 ${}^{(j)}\mathbf{n}_t$

는 실제 초음파 발생기의 위치 좌표와 방향에 대한 법선 벡터를 의미하며,

 ${}^{(j)}\mathbf{T}_c^{pred}$

및

 ${}^{(j)}\mathbf{n}_t^{pred}$

는 학습이 완료된 인공지능에서 출력되는 초음파 발생기의 위치와 방향에 대한 예측치를 의미한다.

[116] [수식8]

$${}^{(j)}IoU = \frac{\left({}^{(j)}\bar{\mathbf{P}}_{ROI} \cap {}^{(j)}\bar{\mathbf{P}}_{ROI}^{pred} \right)}{\left({}^{(j)}\bar{\mathbf{P}}_{ROI} \cup {}^{(j)}\bar{\mathbf{P}}_{ROI}^{pred} \right)}$$

[117] 여기서

$$^{(j)}\bar{\mathbf{P}}_{ROI}$$

및

$$^{(j)}\bar{\mathbf{P}}_{ROI}^{pred}$$

는 각각 인공지능에 입력 값으로 사용된 음압장 형상 데이터 및 시뮬레이션을 통해 예측된 음압장의 초점영역을 의미한다.

[118] 도 10은 본 발명에 따라 학습된 인공지능에 의해 예측 값과 전산역학 기반 초음파 시뮬레이션에 의한 예측 값을 비교하기 위해 사용한 IoU를 시각화한 일 예시도를 나타낸 것이다.

[119] 도 10에서 흰색 영역은 인공지능에 입력 값으로 사용된 음압장 형상 데이터와 시뮬레이션을 통해 예측된 음압장의 초점영역이 일치하는 영역을 의미하고, 회색 영역은 오차 영역을 의미한다.

[120] 아래 표 1 및 표 2는 상술한 측정 기준에 근거한 본 발명에 따라 학습된 인공지능의 성능을 나타낸 것이다. 표 1은 초음파 변환기의 위치 예측에 대한 오차와 인공지능의 학습 시간과 예측 시간을 나타내며, 표 2는 예측한 초음파 변환기의 위치에서 초음파를 조사하였을 때 음압장의 초점 영역에 대한 일치도를 나타낸다.

[121]

[122] [표1]

Skull	Difference in transducer placement		Training time [min]	Inference time [ms]
	Location ($\Delta\mathbf{T}_c$)	Orientation($\Delta\mathbf{n}_t$)		
'HS1'	0.19 ± 0.19	0.08 ± 0.08	167	12.25
'HS2'	0.67 ± 0.67	1.23 ± 0.86	167	12.25
'HS3'	0.15 ± 0.15	0.11 ± 0.11	167	12.25

[123] [표2]

Skull	Accuracy for focal volume	
	IoU [%]	Focal point error [mm]
'HS1'	73.82 ± 5.11	1.09 ± 0.71
'HS2'	75.85 ± 5.85	0.81 ± 0.49
'HS3'	73.79 ± 4.85	0.97 ± 0.52

[124] 표 1을 통해 알 수 있듯이 본 발명의 일 실시예에 따른 초음파 변환기 위치 설정 인공지능은 초음파 변환기의 위치($\Delta\mathbf{T}_c$) 예측에서 $0.34 \pm 0.24\%$, 법선 벡터($\Delta\mathbf{n}_t$) 예측에서 $0.47 \pm 0.54\%$ 의 오차율로 높은 정확도를 보인다. 또한, 표 2를 통해 알

수 있듯이, 본 발명의 일 실시예에 따른 초음파 변환기 위치 설정 인공지능은 음압장의 관심 영역(150) 예측에 있어서도 평균 IoU 73% 이상, 표준편차 약 5% 내외의 성능을 보이며, 음압장의 초점 예측에서 평균 0.96mm로 아주 작은 오차를 보인다. 도 11은 본 발명의 실험 예에 의해 예측되는 초음파의 초점 영역과 시뮬레이션에 의해 예측되는 초음파이 초점 영역을 비교한 도면이다.

- [125] HS1, HS2, HS3는 각각 상이한 실물 두개골을 통해 구현된 두개골 모델(110)에 대한 결과를 나타낸다. 3개의 도면 쌍에서 좌측 3개의 도면은 인공지능의 입력 데이터로 사용된 음압장 형상 데이터 및 인공지능에 의한 출력 데이터에 초음파 변환기가 위치된 것으로 하여 시뮬레이션을 수행했을 때의 결과인 음압장을 나타낸다. 3개의 도면 쌍에서 우측 3개의 그림은 초점영역이 일치하는 정도를 확인하기 위해 IoU를 시각화 한 것이다. 인공지능의 입력 데이터로 사용된 음압장 형상 데이터와 시뮬레이션에 의해 출력되는 음압장의 형태가 높은 정확도로 서로 매칭되는 것을 확인할 수 있다.
- [126] 기존의 전산역학 기반의 집속 초음파 시뮬레이션은 초음파 변환기의 위치 정보 입력에 따른 관심영역 내 음압장을 모델링하는데 개당 약 100초, 전체 학습데이터 생성에 31시간이 소요된다. 반면, 본 발명의 일 실시 예에 따른 초음파 변환기 위치 설정 인공지능은 네트워크 학습에 약 167분, 입력 데이터에 따른 초음파 변환기의 위치 데이터 출력에 12.25ms가 소요된다. 이를 통해 본 발명의 일 실시예에 따른 초음파 변환기 위치 설정 인공지능은 기존의 전산역학 기반의 집속 초음파 시뮬레이션의 역연산을 높은 정확도 수행하면서 10ms 내외로 실시간 예측이 가능하다는 것을 알 수 있다.
- [127] 이상, 본 발명을 바람직한 실시 예를 사용하여 상세히 설명하였으나, 본 발명의 범위는 특정 실시 예에 한정되는 것은 아니며, 첨부된 특허청구범위에 의하여 해석되어야 할 것이다. 또한, 이 기술분야에서 통상의 지식을 습득한 자라면, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않으면서도 많은 수정과 변형이 가능함을 이해하여야 할 것이다.

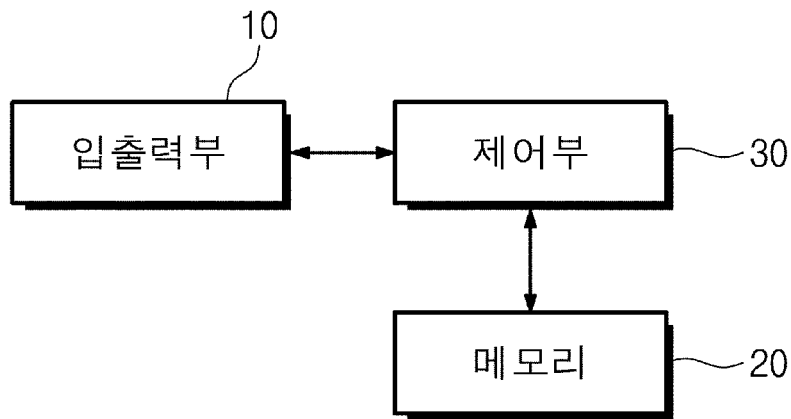
청구범위

- [청구항 1] 사용자가 데이터를 입력하고, 또한 사용자가 확인 가능한 형태로 데이터가 출력되게 하는 입출력부;
초음파 변환기 위치 설정 프로그램이 저장되는 메모리; 및
상기 초음파 변환기 위치 설정 프로그램을 실행시켜, 상기 입출력부를 통해 입력된 데이터에 따른 결과 데이터를 도출하는 제어부를 포함하되,
상기 제어부는,
생체에 있어, 두개골의 내측에 위치되어 뇌가 위치되는 영역으로 설정되는 초음파의 초점 위치가 입력되면, 입력된 초음파의 초점 위치에 초음파가 인가되도록 하는 초음파 변환기의 위치 데이터를 출력하는 초음파 변환기 위치 설정 장치.
- [청구항 2] 제1항에 있어서,
상기 제어부는, 초음파가 두개골을 지나면서 굴절이 발생하는 것을 반영하여, 입력된 초점 위치에 초음파를 집속 시킬 수 있는 초음파 변환기의 위치 데이터를 출력하는 초음파 변환기 위치 설정 장치.
- [청구항 3] 제2항에 있어서,
상기 초음파 변환기의 위치 데이터는 두개골에 대해 초음파 변환기가 위치되는 3차원 좌표를 나타내는 좌표 데이터 및 두개골에 대해 초음파 변환기가 위치되는 각도를 나타내는 각도 데이터를 포함하는 초음파 변환기 위치 설정 장치.
- [청구항 4] 제1항에 있어서,
상기 초음파 변환기 위치 설정 프로그램은 심층 신경망(Deep Neural Network, DNN)을 기반으로 한 인공지능으로 제공되는 초음파 변환기 위치 설정 장치.
- [청구항 5] 제4항에 있어서,
상기 초음파 변환기 위치 설정 프로그램은,
입력 데이터로부터 특징맵을 학습하도록 제공되는 특징맵 학습부; 및
특징맵과 초음파 변환기의 위치 데이터의 관계를 학습하는 좌표 학습부를 포함하는 초음파 변환기 위치 설정 장치.
- [청구항 6] 제5항에 있어서,
상기 특징맵 학습부는 적어도 하나 이상의 수정된 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈을 포함하도록 제공되는 초음파 변환기 위치 설정 장치.
- [청구항 7] 제6항에 있어서,
상기 수정된 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈은,
제1 컨벌루션 네트워크 레이어;
상기 제1 컨벌루션 네트워크 레이어의 출력단 측에 연결되는 제2

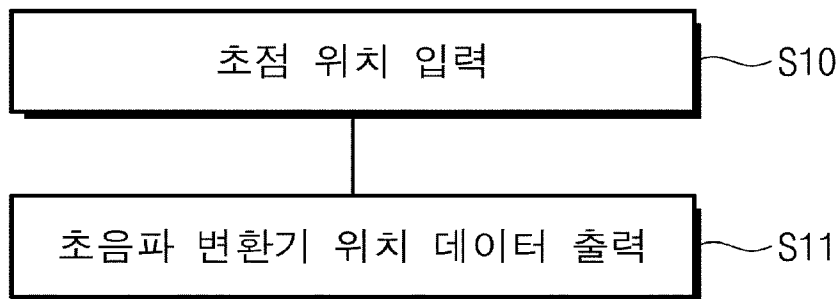
- 컨벌루션 네트워크 레이어; 및
 상기 제2 컨벌루션 네트워크 레이어의 출력단 측에 연결되는 맥스 풀링 레이어를 포함하는 초음파 변환기 위치 설정 장치.
- [청구항 8] 제7항에 있어서,
 상기 제1 컨벌루션 네트워크 레이어는 4개의 병렬 연결된 컨벌루션 네트워크를 포함하는 초음파 변환기 위치 설정 장치.
- [청구항 9] 제8항에 있어서,
 상기 제2 컨벌루션 네트워크 레이어는 4개의 병렬 연결된 컨벌루션 네트워크를 포함하는 초음파 변환기 위치 설정 장치.
- [청구항 10] 제6항에 있어서,
 상기 특징맵 학습부는,
 수정된 제1 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈;
 상기 수정된 제1 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈의 출력단에 연결되는 수정된 제2 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈; 및
 상기 수정된 제2 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈의 출력단에 연결되는 수정된 제3 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈을 포함하는 초음파 변환기 위치 설정 장치.
- [청구항 11] 제10항에 있어서,
 상기 수정된 제1 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈, 상기 수정된 제2 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈 및 상기 수정된 제3 아트루스 공간 피라미드 풀링 모듈은 컨벌루션 네트워크의 확장계수가 상이하게 설정되는 초음파 변환기 위치 설정 장치.
- [청구항 12] 제4항에 있어서,
 상기 인공지능은 두개골의 형상 데이터, 초음파 변환기의 위치 데이터 및 음압장(acoustic pressure field) 형상 데이터를 포함하는 학습 데이터를 이용하여, 상기 음압장의 형상 데이터가 입력으로 사용되고, 이에 대응한 상기 초음파 변환기의 위치 데이터가 출력으로 사용되어, 음압장 형상 데이터에 따라 초음파 변환기의 위치 데이터를 예측하도록 학습이 수행되는 초음파 변환기 위치 설정 장치.
- [청구항 13] 제12항에 있어서,
 상기 학습 데이터는 전산역학 기반 시뮬레이션을 통해 생성되는 초음파 변환기 위치 설정 장치.
- [청구항 14] 생체에 있어, 두개골의 내측에 위치되어 뇌가 위치되는 영역으로 설정되는 초음파의 초점 위치가 입력되는 단계; 및
 입력된 초음파의 초점 위치에 초음파가 인가되도록 하는 초음파 변환기의 위치 데이터를 출력하는 단계를 초음파 변환기 위치 설정 장치에 의해 실행시키기 위하여 초음파 변환기 위치 설정 장치로 판독 가능한 기록 매체에 저장된 초음파 변환기 위치 설정 프로그램.

- [청구항 15] 제14항에 있어서,
상기 초음파 변환기의 위치 데이터는 두개골에 대해 초음파 변환기가 위치되는 3차원 좌표를 나타내는 좌표 데이터 및 두개골에 대해 초음파 변환기가 위치되는 각도를 나타내는 각도 데이터를 포함하는 초음파 변환기 위치 설정 장치로 판독 가능한 기록 매체에 저장된 초음파 변환기 위치 설정 프로그램.
- [청구항 16] 두개골의 형상 데이터, 초음파 변환기의 위치 데이터 및 음압장(acoustic pressure field) 형상 데이터를 포함하는 학습 데이터를 준비하는 단계; 및 상기 학습 데이터에 있어, 상기 음압장의 형상 데이터가 입력으로 사용되고, 이에 대응한 상기 초음파 변환기의 위치 데이터가 출력으로 사용되어, 음압장 형상 데이터에 따라 초음파 변환기의 위치 데이터를 예측하도록 인공 지능을 학습시키는 단계를 포함하는 초음파 변환기 위치 설정 장치로 판독 가능한 기록 매체에 저장된 초음파 변환기 위치 설정 프로그램으로 제공되는 초음파 변환기 위치 설정 인공 지능 구현 방법.

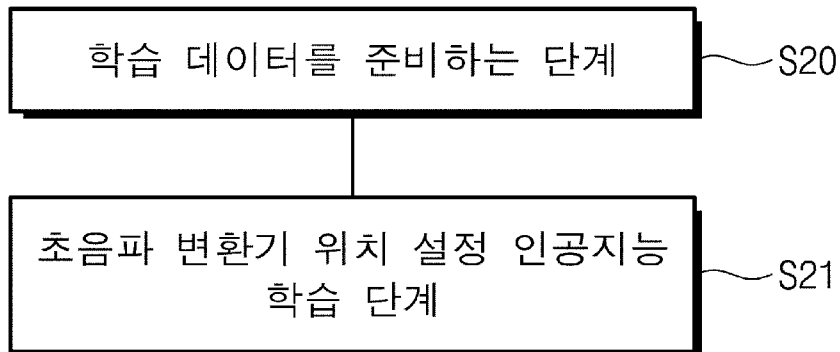
[도1]



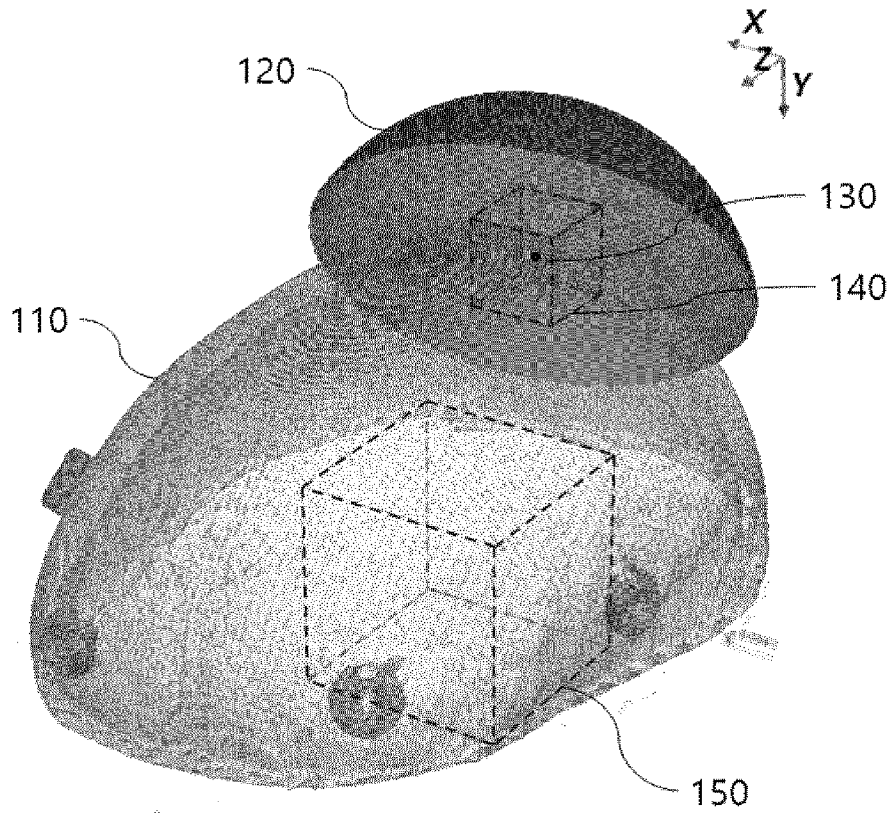
[도2]



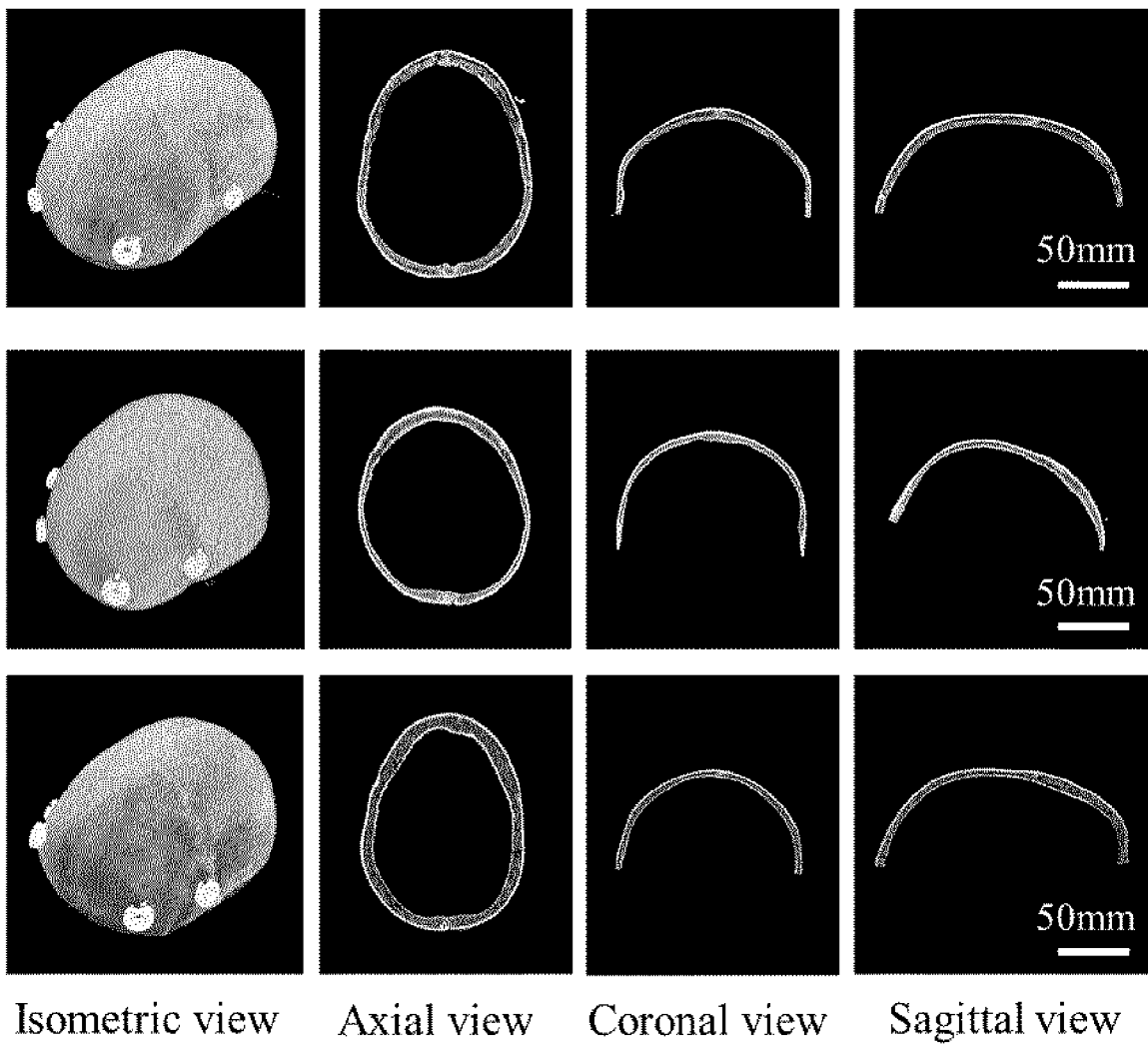
[도3]



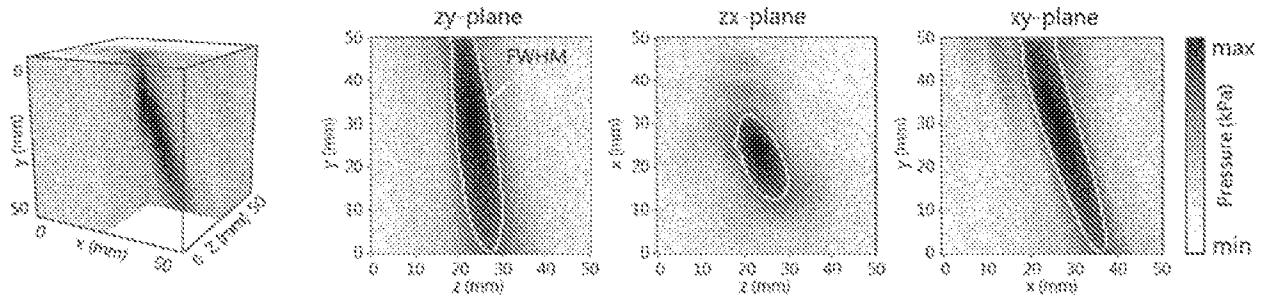
[도4]



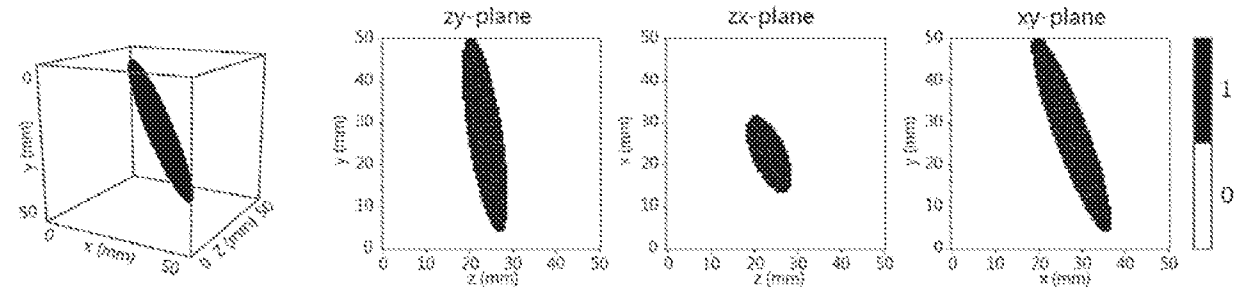
[도5]



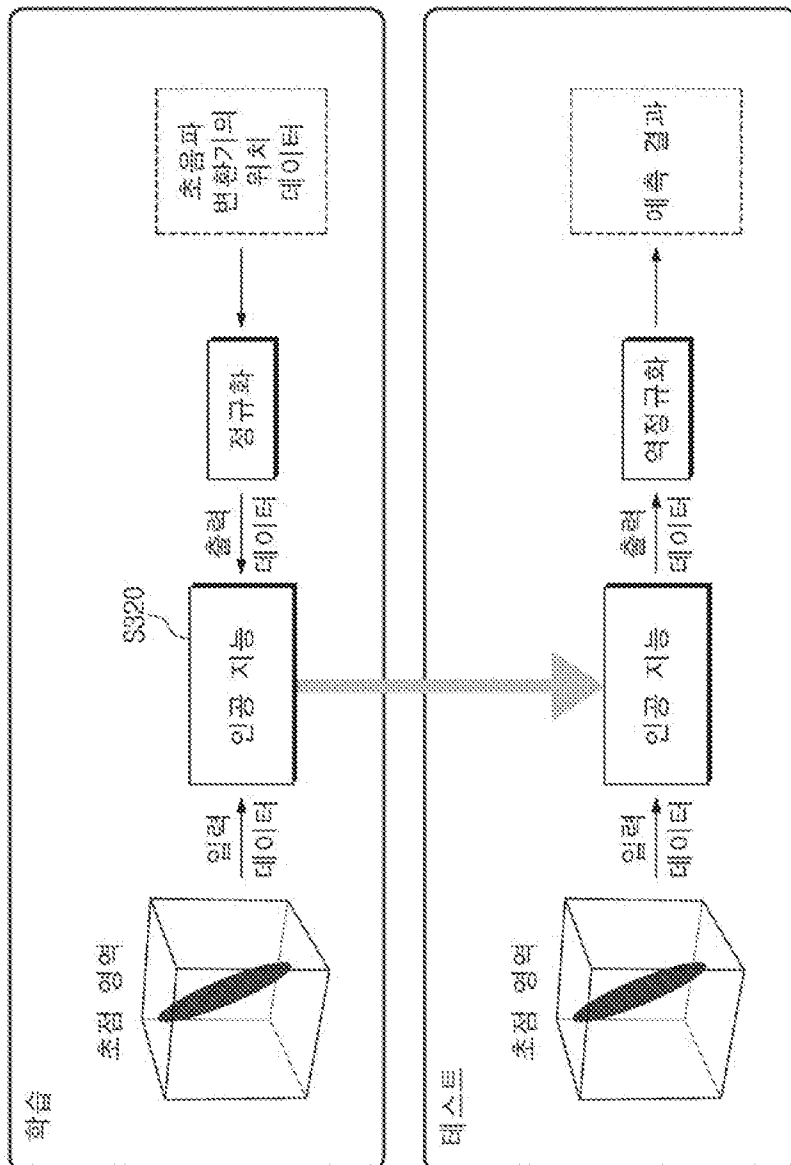
[도6]



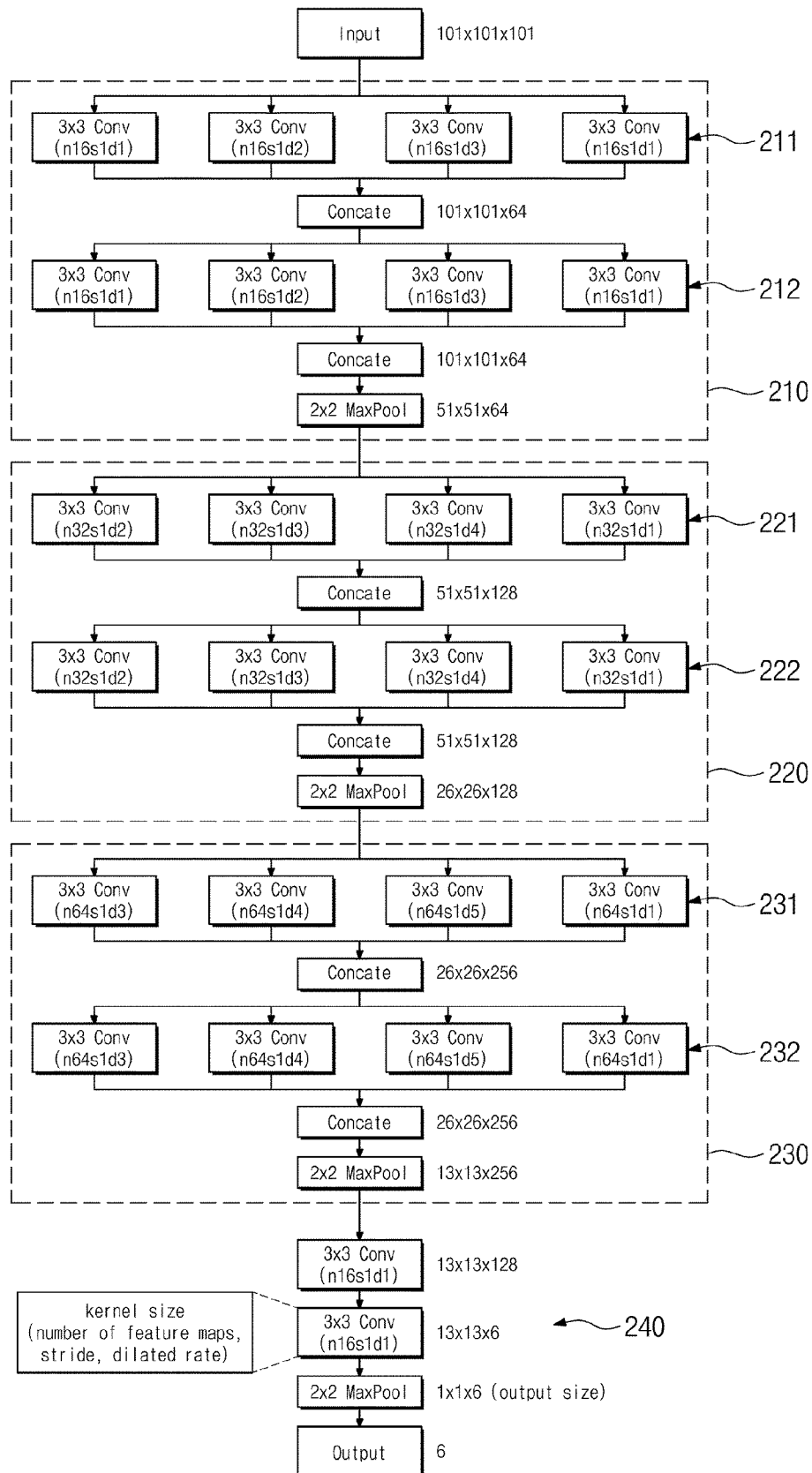
[도7]



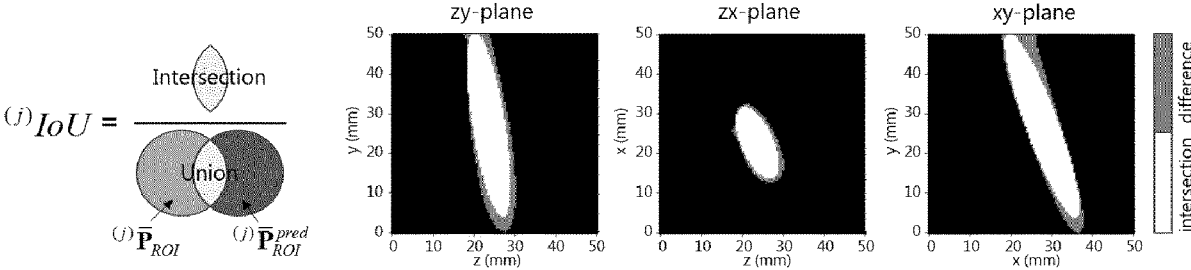
[도8]



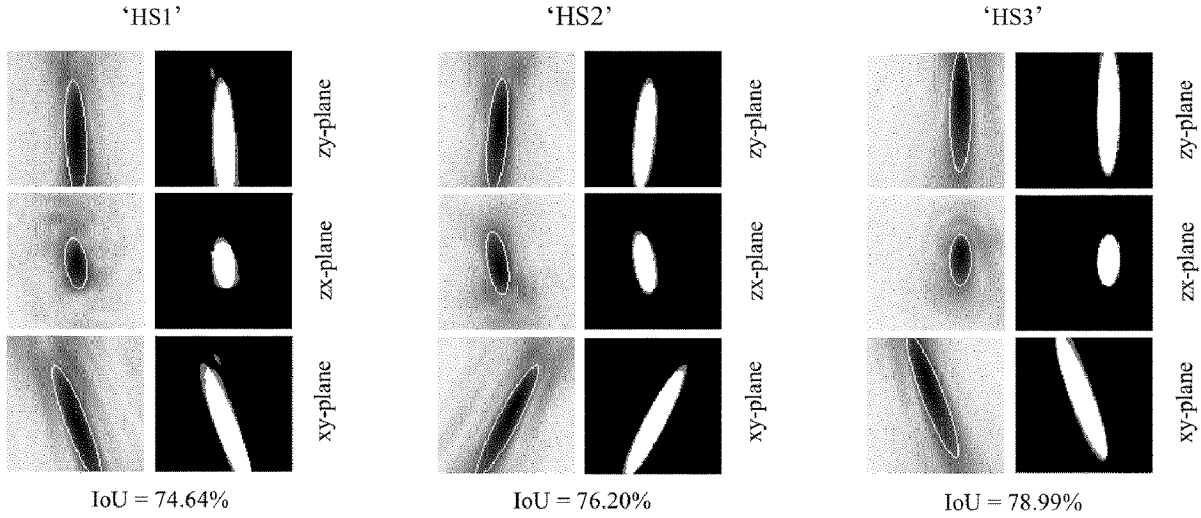
[도9]



[도 10]



[도 11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2022/006608

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
A61N 7/02(2006.01)i; A61N 7/00(2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) A61N 7/02(2006.01); A61B 18/00(2006.01); A61B 19/00(2006.01); A61N 1/40(2006.01); A61N 7/00(2006.01)		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Korean utility models and applications for utility models: IPC as above Japanese utility models and applications for utility models: IPC as above		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) eKOMPASS (KIPO internal) & keywords: 초음파 변환기(ultrasonic transducer), 위치 설정(positioning), 초점 위치(focus position), 인공지능(artificial intelligence), 두개골 형상 데이터(cranial shape data), 위치 데이터(position data), 음압장 형상 데이터(acoustic pressure field shape data)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	KR 10-2019-0108286 A (KOREA INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 24 September 2019 (2019-09-24) See claims 1 and 7; paragraphs [0032]-[0036], [0042]-[0045] and [0066]-[0067]; and figure 6.	1-3,14-15
Y		4-9,12-13,16
A		10-11
Y	JP 2020-533103 A (NEUROPHET INC.) 19 November 2020 (2020-11-19) See claim 1; and paragraphs [0043]-[0045], [0058], [0077]-[0082] and [0129].	4-9,12-13,16
Y	WANG, L. et al. RP-Net: A 3D Convolutional Neural Network for Brain Segmentation From Magnetic Resonance Imaging. IEEE Access. 2019, vol. 7, pp. 39670-39679. See page 39673; and figure 4.	6-9
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "D" document cited by the applicant in the international application "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 02 February 2023		Date of mailing of the international search report 02 February 2023
Name and mailing address of the ISA/KR Korean Intellectual Property Office Government Complex-Daejeon Building 4, 189 Cheongsaro, Seo-gu, Daejeon 35208 Facsimile No. +82-42-481-8578		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2022/006608

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	BENJDIRA, B. et al. Spinal Cord Segmentation in Ultrasound Medical Imagery. Applied Sciences. 2020, vol. 10, article no.: 1370, inner pp. 1-24. See pages 8-9; and figure 8.	8-9
A	JP 2015-521490 A (CHANG GUNG UNIVERSITY) 30 July 2015 (2015-07-30) See entire document.	1-16
X	CHOI, M. et al. Deep Neural Network for Navigation of a Single-element Transducer during Transcranial Focused Ultrasound Therapy. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, thesis presentation. 29 September 2021, inner pp. 1-11. See entire document. *This document is a document `declaring exceptions to lack of novelty` in an earlier application that serves as a basis for claiming priority of the present international application.	1-16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2022/006608

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)
KR	10-2019-0108286	A	24 September 2019	KR	10-2124421 B1	18 June 2020
JP	2020-533103	A	19 November 2020	JP	6935630 B2	15 September 2021
				KR	10-2019-0028900 A	20 March 2019
				KR	10-2060483 B1	30 December 2019
				US	2020-0214569 A1	09 July 2020
				WO	2019-050225 A1	14 March 2019
JP	2015-521490	A	30 July 2015	AU	2013-271506 A1	22 January 2015
				AU	2013-271506 B2	09 March 2017
				CA	2876129 A1	12 December 2013
				CA	2876129 C	21 August 2018
				CN	103479403 A	01 January 2014
				CN	103479403 B	22 June 2016
				EP	2858619 A1	15 April 2015
				EP	2858619 B1	07 November 2018
				JP	6188036 B2	30 August 2017
				KR	10-1851243 B1	11 June 2018
				KR	10-2015-0055613 A	21 May 2015
				US	10166410 B2	01 January 2019
				US	2013-0331685 A1	12 December 2013
				WO	2013-184993 A1	12 December 2013

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC)) A61N 7/02(2006.01)i; A61N 7/00(2006.01)i		
B. 조사된 분야 조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재) A61N 7/02(2006.01); A61B 18/00(2006.01); A61B 19/00(2006.01); A61N 1/40(2006.01); A61N 7/00(2006.01) 조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌 한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우)) eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 초음파 변환기(ultrasonic transducer), 위치 설정(positioning), 초점 위치(focus position), 인공지능(artificial intelligence), 두개골 형상 데이터(cranial shape data), 위치 데이터(position data), 음압장 형상 데이터(acoustic pressure field shape data)		
C. 관련 문헌		
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
X	KR 10-2019-0108286 A (한국과학기술연구원) 2019.09.24 청구항 1, 7; 단락 [0032]-[0036], [0042]-[0045], [0066]-[0067] ; 도면 6	1-3,14-15
Y		4-9,12-13,16
A		10-11
Y	JP 2020-533103 A (NEUROPHET INC.) 2020.11.19 청구항 1; 단락 [0043]-[0045], [0058], [0077]-[0082], [0129]	4-9,12-13,16
Y	WANG, L, 등, "RP-Net: A 3D Convolutional Neural Networkfor Brain Segmentation From Magnetic Resonance Imaging", IEEE Access, 2019, 제7권, 페이지 39670-39679 페이지 39673; 도면 4	6-9
Y	BENJDIRA, B, 등, "Spinal Cord Segmentation in Ultrasound Medical Imagery", Applied Sciences, 2020, 제10권, 아티클넘버: 1370, 내부 페이지 1-24 페이지 8-9; 도면 8	8-9
☒ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다. ☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.		
* 인용된 문헌의 특별 카테고리: "A" 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌 "D" 본 국제출원에서 출원인이 인용한 문헌 "E" 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌 "L" 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌 "O" 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌 "P" 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌 "T" 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌 "X" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다. "Y" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다. "&" 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌		
국제조사의 실제 완료일 2023년02월02일(02.02.2023)		국제조사보고서 발송일 2023년02월02일(02.02.2023)
ISA/KR의 명칭 및 우편주소 대한민국 특허청 (35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사) 팩스 번호 +82-42-481-8578		심사관 허주형 전화번호 +82-42-481-5373

C. 관련 문헌		
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
A	JP 2015-521490 A (CHANG GUNG UNIVERSITY) 2015.07.30 전문	1-16
X	CHOI, M. 등, “Deep Neural Network for Navigation of a Single-element Transducer during Transcranial Focused Ultrasound Therapy”, IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 논문 발표, 2021.09.29. 내부 페이지 1-11 전문 ※위 문헌은 본 국제출원의 우선권주장의 기초가 되는 선출원에서 ‘공지예외주장’된 문헌임	1-16

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-2019-0108286 A	2019/09/24	KR 10-2124421 B1	2020/06/18
JP 2020-533103 A	2020/11/19	JP 6935630 B2	2021/09/15
		KR 10-2019-0028900 A	2019/03/20
		KR 10-2060483 B1	2019/12/30
		US 2020-0214569 A1	2020/07/09
		WO 2019-050225 A1	2019/03/14
JP 2015-521490 A	2015/07/30	AU 2013-271506 A1	2015/01/22
		AU 2013-271506 B2	2017/03/09
		CA 2876129 A1	2013/12/12
		CA 2876129 C	2018/08/21
		CN 103479403 A	2014/01/01
		CN 103479403 B	2016/06/22
		EP 2858619 A1	2015/04/15
		EP 2858619 B1	2018/11/07
		JP 6188036 B2	2017/08/30
		KR 10-1851243 B1	2018/06/11
		KR 10-2015-0055613 A	2015/05/21
		US 10166410 B2	2019/01/01
		US 2013-0331685 A1	2013/12/12
		WO 2013-184993 A1	2013/12/12