(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0043003
(43) 공개일자 2024년04월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 5/18 (2006.01) *G01N 29/14* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01S 5/18 (2013.01)
G01N 29/14 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0121977
(22) 출원일자 2022년09월26일
심사청구일자 2022년09월26일

(71) 출원인
(주)예측진단기술
울산광역시 남구 대학로 93, 울산대학교 산학협동관 711호 (무거동)
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)
(72) 발명자
김종면
울산광역시 울주군 범서읍 장검길 88, 106동 1802호 (문수산 더샵)
김재영
울산광역시 남구 대학로121번길 59, 103동 906호 (무거동, 무거현대아파트)
(74) 대리인
김종선, 이형석

전체 청구항 수 : 총 10 항

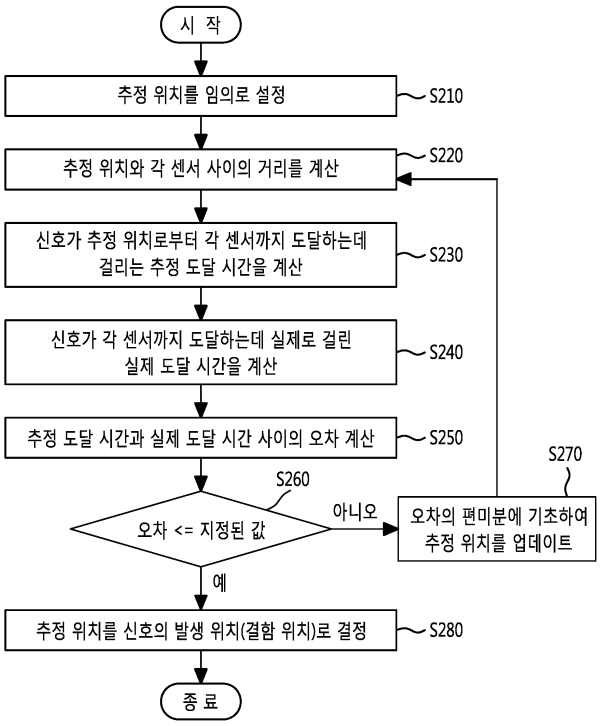
(54) 발명의 명칭 **다수의 센서를 이용하여 신호의 발생 위치를 추정하는 장치 및 방법**

(57) 요 약

본 발명은 다수의 센서를 이용하여 신호 발생 위치를 추정하는 장치 및 방법에 관한 것이다. 상기 장치는 구조물의 서로 다른 위치 상에 배치되며, 상기 신호를 감지하는 다수의 센서; 및 상기 다수의 센서와 연결된 프로세서를 포함할 수 있다. 상기 프로세서는 추정 위치를 임의로 설정하고, 상기 설정된 추정 위치와 각 센서 사이의 거

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도2



리를 계산하고, 상기 계산된 거리 및 상기 신호의 속도를 기반으로, 상기 신호가 상기 추정 위치로부터 각 센서까지 도달하는데 걸리는 추정 도달 시간을 계산하고, 상기 신호가 각 센서까지 도달하는데 걸린 실제 도달 시간을 계산하고, 상기 추정 도달 시간과 상기 실제 도달 시간의 오차를 계산하고, 상기 오차가 지정된 값 이하이면, 상기 추정 위치를 상기 신호의 발생 위치로 결정하고, 및 상기 오차가 상기 지정된 값을 초과하면, 상기 오차에 기초하여, 상기 추정 위치를 업데이트하고, 상기 업데이트된 추정 위치를 기반으로 위치 추정 절차를 반복할 수 있다. 본 발명은 다수의 센서를 이용하여 신호가 발생한 위치(예: 결함 위치)를 정확하게 추정할 수 있다. 본 발명은 과학기술정보통신부의 재원으로 한국지능정보사회진흥원의 2022년 5G기반 디지털트윈 공공선도사업(사업명: 울산 디지털트윈 기반 산업단지 통합관리 플랫폼 구축 사업, 사업기간: 2022년 4월 15일 ~ 12월 31일, 협약번호: 2022-융합-위05)의 지원을 받아 수행되었다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415175911
과제번호	HRUS2112
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업단지공단
연구사업명	산업집적지경쟁력강화(R&D)
연구과제명	제품 및 설비 불량현상 공유 시스템
기 여 율	1/1
과제수행기관명	우수AMS(주)
연구기간	2021.10.01 ~ 2022.09.30

명 세 서

청구범위

청구항 1

다수의 센서를 이용하여 신호의 발생 위치를 추정하는 장치에 있어서,

구조물의 서로 다른 위치 상에 배치되며, 상기 신호를 감지하는 다수의 센서; 및

상기 다수의 센서와 연결된 프로세서를 포함하고,

상기 프로세서는

추정 위치를 임의로 설정하고,

상기 설정된 추정 위치와 각 센서 사이의 거리를 계산하고,

상기 계산된 거리 및 상기 신호의 속도를 기반으로, 상기 신호가 상기 추정 위치로부터 각 센서까지 도달하는데 걸리는 추정 도달 시간을 계산하고,

상기 신호가 각 센서까지 도달하는데 걸린 실제 도달 시간을 계산하고,

상기 추정 도달 시간과 상기 실제 도달 시간의 오차를 계산하고,

상기 오차가 지정된 값 이하이면, 상기 추정 위치를 상기 신호의 발생 위치로 결정하고, 및

상기 오차가 상기 지정된 값을 초과하면, 상기 오차에 기초하여, 상기 추정 위치를 업데이트하고, 상기 업데이트된 추정 위치를 기반으로 위치 추정 절차를 반복하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 프로세서는

상기 다수의 센서의 중심을 상기 추정 위치로 설정하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 프로세서는

상기 신호가 상기 다수의 센서 각각에 도달한 도달 시간들의 차에 기반하여 상기 실제 도달 시간을 계산하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 프로세서는

상기 오차의 편미분을 계산하고, 상기 추정 위치에서 상기 계산된 오차의 편미분을 빼서 상기 추정 위치를 업데이트하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 프로세서는

상기 추정 위치에서 상기 계산된 오차의 편미분을 빼기 전에 상기 오차의 편미분에 지정된 가중치를 곱하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 6

다수의 센서를 이용하여 신호의 발생 위치를 추정하는 방법에 있어서,

추정 위치를 임의로 설정하는 단계;

상기 설정된 추정 위치와 각 센서 사이의 거리를 계산하는 단계;

상기 계산된 거리 및 상기 신호의 속도를 기반으로, 상기 신호가 상기 추정 위치로부터 각 센서까지 도달하는데 걸리는 추정 도달 시간을 계산하는 단계;

상기 신호가 상기 발생 위치로부터 각 센서까지 도달하는데 걸린 실제 도달 시간을 계산하는 단계;

상기 추정 도달 시간과 상기 실제 도달 시간의 오차를 계산하는 단계;

상기 오차가 지정된 값 이하이면, 상기 추정 위치를 상기 신호의 발생 위치로 결정하는 단계; 및

상기 오차가 상기 지정된 값을 초과하면, 상기 오차에 기초하여, 상기 추정 위치를 업데이트하고, 상기 업데이트된 추정 위치를 기반으로 위치 추정 절차를 반복하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 추정 위치를 임의로 설정하는 단계는

상기 다수의 센서의 중심을 상기 추정 위치로 설정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8

제 6 항에 있어서,

상기 실제 도달 시간을 계산하는 단계는

상기 신호가 상기 다수의 센서 각각에 도달한 도달 시간들의 차에 기반하여 상대적으로 계산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9

제 6 항에 있어서,

상기 추정 위치를 업데이트하는 단계는

상기 오차의 편미분을 계산하는 단계; 및

상기 추정 위치에서 상기 계산된 오차의 편미분을 빼는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 추정 위치를 업데이트하는 단계는

상기 추정 위치에서 상기 계산된 오차의 편미분을 빼기 전에 상기 오차의 편미분에 지정된 가중치를 곱하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 다수의 센서를 이용하여 신호의 발생 위치를 추정하는 장치 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근 들어, 사회가 도시화, 산업화, 전문화되면서 다양한 산업설비(예: 수도관, 가스관, 보일러, 발전기 등)의 구축이 계속되고 있다. 하지만, 산업설비의 안정성에 대한 우려 역시 높아지고 있다. 특히, 외부로 노출되지 않고 은폐된 산업설비의 내부 구조물에 결함이 발생된 경우에는 쉽게 관찰할 수 없어 안정성에 대한 우려가 커지고 있다.

[0003] 따라서 산업설비용 내부구조물의 결함(예: 변형, 균열 등)여부를 초기에 감지하여 적절히 대처할 수 있는 방안이 요구되고 있다. 최근에는 대상물에 손상을 가하지 않고 결함여부를 검사할 수 있는 비파괴검사법(non-destructive inspection)이 각광받고 있다. 특히, 높은 감도와 지속적인 검사가 가능한 것은 물론, 대상물의 구조나 결함의 크기, 방향 등에 구애받지 않아 접근이 제한된 경우에도 적용이 가능하다는 장점으로 인하여, 음향방출(Acoustic Emission : AE) 신호를 이용한 비파괴검사법이 주목받고 있다. 상기 음향방출신호를 이용한 비파괴검사법은 검사 대상물의 결함(예: 변형 또는 균열) 발생 시 자체적으로 발생되어 대상물의 내부를 따라 전파되는 탄성파(elastic wave)를 이용하여 결함 여부를 판단한다.

[0004] 하지만, 음향방출신호는 저주파 대역으로부터 고주파 대역에 달하는 여러 가지 잡음(noise)이 혼입되므로 정확한 해석이 어렵고, 센서의 감도 등에 따라 결과가 달라지는 등 신뢰성과 반복 재현성이 떨어지는 문제점이 있다. 따라서, 음향 방출 신호를 이용한 비파괴검사 시스템은 다양한 구조물에서 결함(예: 균열, 변형 등)이 발생한 위치를 정확하게 추정할 수 있는 방안이 요구되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 목적은, 상술한 문제점을 해결하기 위한 것으로, 다수의 센서를 이용하여 신호가 발생한 위치(예: 결함이 발생한 위치)를 정확하게 추정할 수 있는 장치 및 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 이와 같은 목적을 달성하기 위한, 본 발명의 일 실시 예에 따른 다수의 센서를 이용하여 신호의 발생 위치를 추정하는 장치는 구조물의 서로 다른 위치 상에 배치되며, 상기 신호를 감지하는 다수의 센서; 및 상기 다수의 센서와 연결된 프로세서를 포함할 수 있다. 상기 프로세서는 추정 위치를 임의로 설정하고, 상기 설정된 추정 위치와 각 센서 사이의 거리를 계산하고, 상기 계산된 거리 및 상기 신호의 속도를 기반으로, 상기 신호가 상기 추정 위치로부터 각 센서까지 도달하는데 걸리는 추정 도달 시간을 계산하고, 상기 신호가 각 센서까지 도달하는데 걸린 실제 도달 시간을 계산하고, 상기 추정 도달 시간과 상기 실제 도달 시간의 오차를 계산하고, 상기 오차가 지정된 값 이하이면, 상기 추정 위치를 상기 신호의 발생 위치로 결정하고, 및 상기 오차가 상기 지정된 값을 초과하면, 상기 오차에 기초하여, 상기 추정 위치를 업데이트하고, 상기 업데이트된 추정 위치를 기반으로 위치 추정 절차를 반복할 수 있다.

[0007] 상기 프로세서는 상기 다수의 센서의 중심을 상기 추정 위치로 설정할 수 있다.

[0008] 상기 프로세서는 상기 신호가 상기 다수의 센서 각각에 도달한 도달 시간들의 차에 기반하여 상기 실제 도달 시간을 계산할 수 있다.

[0009] 상기 프로세서는 상기 오차의 편미분을 계산하고, 상기 추정 위치에서 상기 계산된 오차의 편미분을 빼서 상기

추정 위치를 업데이트할 수 있다.

[0010] 상기 프로세서는 상기 추정 위치에서 상기 계산된 오차의 편미분을 빼기 전에 상기 오차의 편미분에 지정된 가중치를 곱할 수 있다.

[0011] 본 발명의 일 실시 예에 따른 다수의 센서를 이용하여 신호의 발생 위치를 추정하는 방법은 추정 위치를 임의로 설정하는 단계; 상기 설정된 추정 위치와 각 센서 사이의 거리를 계산하는 단계; 상기 계산된 거리 및 상기 신호의 속도를 기반으로, 상기 신호가 상기 추정 위치로부터 각 센서까지 도달하는데 걸리는 추정 도달 시간을 계산하는 단계; 상기 신호가 상기 발생 위치로부터 각 센서까지 도달하는데 걸린 실제 도달 시간을 계산하는 단계; 상기 추정 도달 시간과 상기 실제 도달 시간의 오차를 계산하는 단계; 상기 오차가 지정된 값 이하이면, 상기 추정 위치를 상기 신호의 발생 위치로 결정하는 단계; 및 상기 오차가 상기 지정된 값을 초과하면, 상기 오차에 기초하여, 상기 추정 위치를 업데이트하고, 상기 업데이트된 추정 위치를 기반으로 위치 추정 절차를 반복하는 단계를 포함할 수 있다.

[0012] 상기 추정 위치를 임의로 설정하는 단계는 상기 다수의 센서의 중심을 상기 추정 위치로 설정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0013] 상기 실제 도달 시간을 계산하는 단계는 상기 신호가 상기 다수의 센서 각각에 도달한 도달 시간들의 차에 기반하여 상대적으로 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

[0014] 상기 추정 위치를 업데이트하는 단계는 상기 오차의 편미분을 계산하는 단계; 및 상기 추정 위치에서 상기 계산된 오차의 편미분을 빼는 단계를 포함할 수 있다.

[0015] 상기 추정 위치를 업데이트하는 단계는 상기 추정 위치에서 상기 계산된 오차의 편미분을 빼기 전에 상기 오차의 편미분에 지정된 가중치를 곱하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0016] 본 발명의 다양한 실시 예는 다수의 센서(예: 3개 이상)를 이용하여 신호가 발생한 위치(예: 결함이 발생한 위치)를 정확하게 추정(또는 표정)할 수 있다. 이로 인하여, 본 발명은 구조물(예: 압력 용기, 석유 탱크, 배관, 원자로, 항공기, 콘크리트 교각 등)의 결함으로 인한 문제 발생을 초기에 방지할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 다수의 센서를 이용하여 신호의 발생 위치를 추정하는 원리를 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 다수의 센서를 이용하여 신호의 발생 위치를 추정하는 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 3a 내지 도 8b는 본 발명의 일 실시 예에 따른 다수의 센서를 이용하여 신호의 발생 위치를 추정하는 방법을 설명하기 위한 예시도이다.

도 9는 본 발명의 일 실시 예에 따른 다수의 센서를 이용하여 신호의 발생 위치를 추정하는 장치의 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명한다. 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 이하에서 동일한 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.

[0019] 비록 제1, 제2 등이 다양한 소자, 구성요소 및/또는 섹션들을 서술하기 위해서 사용되나, 이들 소자, 구성요소 및/또는 섹션들은 이들 용어에 의해 제한되지 않음은 물론이다. 이들 용어들은 단지 하나의 소자, 구성요소 또는 섹션들을 다른 소자, 구성요소 또는 섹션들과 구별하기 위하여 사용하는 것이다. 따라서, 이하에서 언급되는 제1 소자, 제1 구성요소 또는 제1 섹션은 본 발명의 기술적 사상 내에서 제2 소자, 제2 구성요소 또는 제2 섹션일 수도 있음은 물론이다.

[0020] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "이루어지다(made of)"는 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.

[0021] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또한, 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.

[0022] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 다수의 센서를 이용하여 신호의 발생 위치를 추정하는 원리를 설명하기 위한 도면이다.

[0023] 도 1을 참조하면, 본 발명은 다수의 센서(101, 102, 103, 104, 105)를 이용하여 신호의 발생 위치(10)를 추정(또는 표정)할 수 있다. 상기 신호의 발생 위치(10)는 구조물(예: 압력 용기, 석유 탱크, 배관, 원자로, 항공기, 콘크리트 교각 등)에서 결함(예: 변형, 균열, 또는 파괴)이 발생한 위치를 의미한다. 다수의 센서(101, 102, 103, 104, 105)는 결함에 의해 발생되는 신호(예: 탄성파(elastic wave))를 감지하는 음향 방출(Acoustic Emission: AE) 센서일 수 있다. 다수의 센서(101, 102, 103, 104, 105)는 결함 여부를 검사하고자 하는 구조물(미도시)에 부착될 수 있다.

[0024] 본 발명은, 다수의 센서(101, 102, 103, 104, 105)를 구조물에 부착한 후, 결함 위치(10)에서 발생한 신호(예: 탄성파)가 결함 위치(10)에서 각 센서까지 도달하는데 걸리는 실제 도달 시간과 임의로 설정된 추정 위치에서 각 센서까지 도달하는데 걸리는 추정 도달 시간의 오차에 기초하여 결함 위치(10)를 추정할 수 있다. 상세하게는, 임의로 추정 위치를 설정하고, 상기 오차가 지정된 값 이하가 될 때까지 오차를 반영하여 추정 위치를 지속적으로 업데이트하고, 상기 오차가 지정된 값 이하가 되면 업데이트된 추정 위치를 결함 위치(10)로 결정할 수 있다. 이에 대한 상세한 설명은 도 2 내지 도 8b를 참조하여 후술하기로 한다.

[0025] 한편, 도 1에서는 5개의 센서(101, 102, 103, 104, 105)를 도시하였지만, 이는 일예일 뿐, 본 발명은 3개 이상의 센서를 이용하여 결함 위치를 추정할 수 있다.

[0026] 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 다수의 센서를 이용하여 신호의 발생 위치를 추정하는 방법을 설명하기 위한 흐름도이고, 도 3a 내지 도 8b는 본 발명의 일 실시 예에 따른 다수의 센서를 이용하여 신호의 발생 위치를 추정하는 방법을 설명하기 위한 예시도이다.

[0027] 도 2 내지 도 8b를 참조하면, 본 발명의 일 실시 예에 따른 다수의 센서를 이용하여 신호의 발생 위치를 추정하는 방법(이하, 위치 추정 방법)은 추정 위치를 임의로 설정하는 단계(S210)를 포함할 수 있다. 상기 S210 단계는 구조물에 설치된 다수의 센서의 중심을 추정 위치로 설정할 수 있다. 예를 들어, 추정 위치(Ps)는, 도 3a에 도시된 바와 같이, 6개의 센서들(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6)의 중심으로 설정될 수 있다. 한편, 도 3a에서 "source"는 신호 발생 위치(결함위치)를 의미한다. 또는, S210 단계는 센서들(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6)의 신호 세기를 비교하고, 신호 세기가 큰 센서의 주변에 추정 위치를 임의로 설정할 수 있다.

[0028] 위치 추정 방법은 추정 위치와 각 센서 사이의 거리를 계산하는 단계(S220)를 포함할 수 있다. 추정 위치와 각 센서와의 거리는 아래의 <식 1>에 의해 계산될 수 있다.

[0029] $$d_i = |p_i - p_s| = \sqrt{(x_i - x_s)^2 + (y_i - y_s)^2} \quad \cdots\cdots\cdots <식\ 1>$$

[0030] 상기 <식 1>에서, "d_i"는 i번째 센서와 추정 위치(P_S) 사이의 거리를 의미하고, "P_i"는 i번째 센서의 위치를 의미하고, "x_i"는 i번째 센서의 x 좌표를 의미하고, "x_s"는 추정 위치의 x 좌표를 의미하고, "y_i"는 i번째 센서의 y 좌표를 의미하고, "y_s"는 추정 위치의 y 좌표를 의미 한다. 여기서, 각 센서의 위치(좌표)는 구조물에 센서를 설치할 때 알 수 있다.

[0031] 위치 추정 방법은 신호가 추정 위치로부터 각 센서까지 도달하는데 걸리는 추정 도달 시간을 계산하는 단계(S230)를 포함할 수 있다. 추정 도달 시간은 아래의 <식 2>에 의해 계산될 수 있다.

[0032] $$\hat{t}_i = d_i / v \quad \cdots\cdots\cdots\cdots <식\ 2>$$

[0033] 상기 <식 2>에서, "$\hat{t}_i$"는 i번째 센서의 추정 도달 시간을 의미하고, "v"는 신호의 전파 속도를 의미한다. 여기서, 신호의 전파 속도는 측정을 통해 알 수 있다. 이때, 도 3b를 참조하면, 추정 위치가 센서들(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6)의 중심에 설정된 바, 추정 도달 시간은 "0.01"로 동일할 수 있다.

[0034] 위치 추정 방법은 신호가 각 센서까지 도달하는데 걸리는 실제 도달 시간을 계산하는 단계(S240)를 포함할 수 있다. 상기 실제 도달 시간은 상기 신호(예: 탄성파)가 각 센서까지 도달하는데 걸리는 시간(이하, 신호 도달 시간)들의 차에 기반하여 상대적으로 계산될 수 있다. 예를 들어, i번째 센서의 실제 도달 시간은 i번째 센서의 신호 도달 시간과 기준 센서(예: 신호 도달 시간이 가장 작은 센서)의 신호 도달 시간의 차가 될 수 있다. 여기서, 상기 신호 도달 시간은, 신호가 발생한 실제 시각을 알 수 없기 때문에, 지정된 시각(즉, 센서들이 측정을 시작한 시각)을 기준으로 측정될 수 있다.

[0035] 위치 추정 방법은 추정 도달 시간과 실제 도달 시간의 오차를 계산하는 단계(S250)를 포함할 수 있다. 상기 오차는 아래의 <식 3>에 의해 계산될 수 있다.

[0036] $$e = \Sigma(t_{ic} - \hat{t}_i)^2 \quad \cdots\cdots\cdots \text{<식 3>}$$

[0037] 상기 <식 3>에서, "t_{ic}"는 i번째 센서의 실제 도달 시간을 의미한다, 즉, 상기 오차는 각 센서의 실제 도달 시간과 추정 도달 시간의 차의 제곱들을 더한 값일 수 있다.

[0038] 위치 추정 방법은 상기 오차가 지정된 값 이하(또는 미만)인지 확인하는 단계(S260)를 포함할 수 있다. 상기 S260 단계의 확인 결과, 오차가 지정된 값 이하가 아닌 경우 위치 추정 방법은 오차의 편미분에 기초하여 추정 위치를 업데이트하는 단계(S270)를 포함할 수 있다. 여기서, 상기 오차의 편미분($\acute{e}$)은 아래의 <식 4>에 의해 계산되고, 업데이트된 추정 위치($\hat{p}s$)는 아래의 <식 5>에 의해 계산될 수 있다. 즉, 업데이트된 추정 위치($\hat{p}s$)는 추정 위치(Ps)에서 오차의 편미분($\acute{e}$)에 속도(v)를 곱한 값을 뺀 값일 수 있다.

[0039] $$\acute{e} = \begin{bmatrix} \acute{e}_x \\ \acute{e}_y \end{bmatrix} = \frac{\partial err}{\partial p_s} = \frac{\partial err}{\partial \hat{t}_i} \frac{\partial \hat{t}_i}{\partial d_i} \frac{\partial d_i}{\partial p_s} \quad \cdots\cdots\cdots \text{<식 4>}$$

[0040] $$\hat{p}_s = p_s - \alpha \acute{e} v \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{<식 5>}$$

[0041] 상기 <식 5>에서, "α"는 편미분($\acute{e}$)에 곱해지는 가중치로, 오차의 편미분 값이 추정위치에 반영되는 정도를 의미한다. 즉, "α"가 1보다 작은 경우 편미분 값이 축소되어 추정 위치에 반영되고, 1보다 큰 경우 편미분 값이 확대되어 추정 위치에 반영될 수 있다. 한편, 상기 <식 5>에서, "α"는 생략(즉, "α"= 1)될 수 있다.

[0042] 상기 추정 위치를 업데이트한 후, 위치 추정 방법은 S220 단계로 복귀하여 오차가 지정된 값 이하가 될 때까지 오차에 기반한 추정 위치 업데이트를 반복 수행할 수 있다. 상기 오차에 기반한 추정 위치 업데이트 횟수가 늘어남에 따라, 실제 위치를 정확하게 추정할 수 있다. 예를 들어, 도 4 a 내지 도 7b에 도시된 바와 같이, 업데이트 횟수가 늘어남에 따라 추정 위치(P_S)가 소스(source) 방향으로 점차 이동하며, 추정 도달 시간과 실제 도달 시간 사이의 간격이 줄어듬을 알 수 있다.

[0043] 반면에, 오차가 지정된 값 이하인 경우 위치 추정 방법은 추정 위치를 신호의 발생 위치(결함 위치)로 결정하는 단계(S280)를 포함할 수 있다. 도 8a 및 도 8b에 도시된 바와 같이, 추정 위치가 100회 업데이트되면, 오차가 지정된 값 이하가 될 수 있다. 즉, 도 8a에 도시된 바와 같이, 추정 위치(P_S)는 소스 위치(source)에 근접하며, 도 8b에 도시된 바와 같이, 센서들(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6)에 대한 추정 도달 시간 및 실제 도달 시간이 거의 동일함을 알 수 있다. 따라서, 본 발명은 추정 위치를 실제 신호 발생 위치로 결정할 수 있다.

[0044] 도 9는 본 발명의 일 실시 예에 따른 다수의 센서를 이용하여 신호의 발생 위치를 추정하는 장치의 블록도이다.

[0045] 도 9를 참조하면, 본 발명의 일 실시 예에 따른 다수의 센서를 이용하여 신호의 발생 위치를 추정하는 장치(이

하, 위치 추정 장치)(900)는 메모리(910), 디스플레이(920), 프로세서(930), 센서 모듈(940), 및 통신 모듈(950)을 포함할 수 있다.

[0046] 메모리(910)는 프로세서(930)와 전기적으로 연결될 수 있고, 위치 추정 장치(900)를 동작시키기 위한 다양한 프로그램들, 및 프로세서(930)를 동작시키기 위한 다양한 명령 및/또는 인스트럭션들을 저장할 수 있다. 메모리(910)는 내장 메모리 또는 외장 메모리 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 내장 메모리는 휘발성 메모리(예: DRAM, SRAM, 또는 SDRAM 등), 비휘발성 메모리(예: OTPROM(one time programmable ROM), PROM, EPROM, EEPROM, mask ROM, flash ROM, 플래시 메모리, 하드 드라이브, 또는 솔리드 스테이트 드라이브(SSD) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 외장 메모리는 다양한 인터페이스를 통하여 위치 추정 장치(900)와 연결될 수 있는 SD(secure digital), Micro-SD, Mini-SD, 또는 USB(universal serial bus) 메모리 등을 포함할 수 있다. 메모리(910)는 상술한 위치 추정 방법을 수행하는 소프트웨어 프로그램인 위치 추정 모듈(911)을 저장할 수 있다.

[0047] 디스플레이(920)는 입력 기능 및/또는 출력 기능을 제공할 수 있다. 예를 들어, 디스플레이(920)는 터치 패널 및/또는 표시 패널을 포함할 수 있다. 디스플레이(920)는 추정된 위치를 표시할 수 있다.

[0048] 프로세서(930)는 메모리(910)로부터 명령(command) 또는 인스트럭션들(instructions)을 수신하고, 수신된 명령 또는 인스트럭션들에 따라 각 구성 요소들을 제어하여, 다양한 기능들을 수행할 수 있다. 프로세서(930)는 중앙처리 장치(central processing unit: CPU), 마이크로 컨트롤 유닛(micro control unit: MCU), 마이크로 프로세서 유닛(micro processor unit: MPU) 등으로 형성될 수 있다. 본 발명의 일 실시 예에 따른 프로세서(930)는 위치 추정 모듈(911)을 이용하여 신호 발생 위치를 추정하는 절차를 제어할 수 있다. 이에 대한 상세한 설명은 도 2 내지 도 8b를 참조하여 설명한 바 생략하기로 한다.

[0049] 센서 모듈(940)은 다수의 센서(예: 3개 이상)를 포함할 수 있다. 예를 들어, 센서 모듈(940)은 구조물의 결함 위치에서 발생되는 신호(예: 탄성파)를 감지할 수 있다.

[0050] 통신 모듈(950)은 외부 장치(예: 구조물을 관리하는 서버)와 통신할 수 있다. 통신 모듈(950)은 위치 추정에 의해 결정된 신호 발생 위치를 외부 장치로 전송할 수 있다.

[0051] 이상과 같이 본 발명의 도시된 실시 예를 참고하여 설명하고 있으나, 이는 예시적인 것들에 불과하며, 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 요지 및 범위에 벗어나지 않으면서도 다양한 변형, 변경 및 균등한 타 실시 예들이 가능하다는 것을 명백하게 알 수 있을 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적인 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0052] 900: 위치 추정 장치

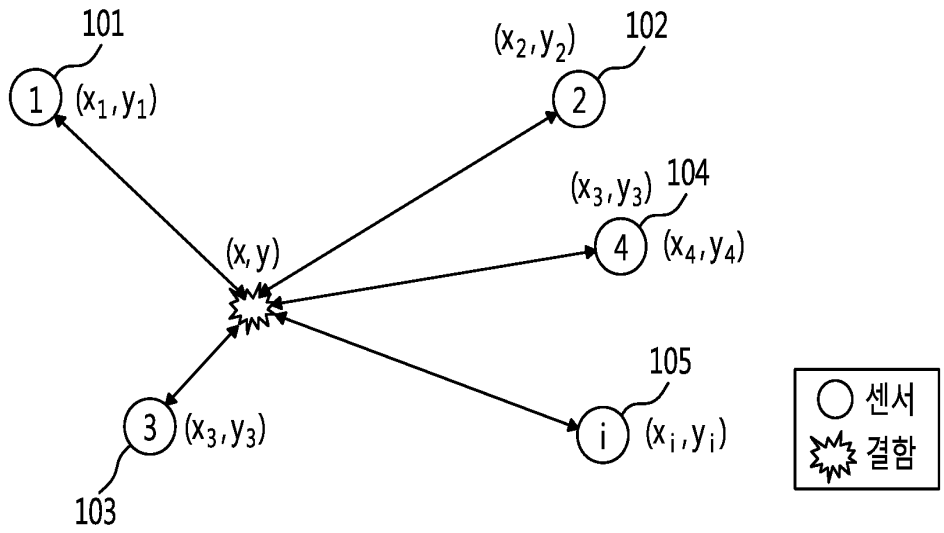
910: 메모리 920: 디스플레이

930: 프로세서 940: 센서 모듈

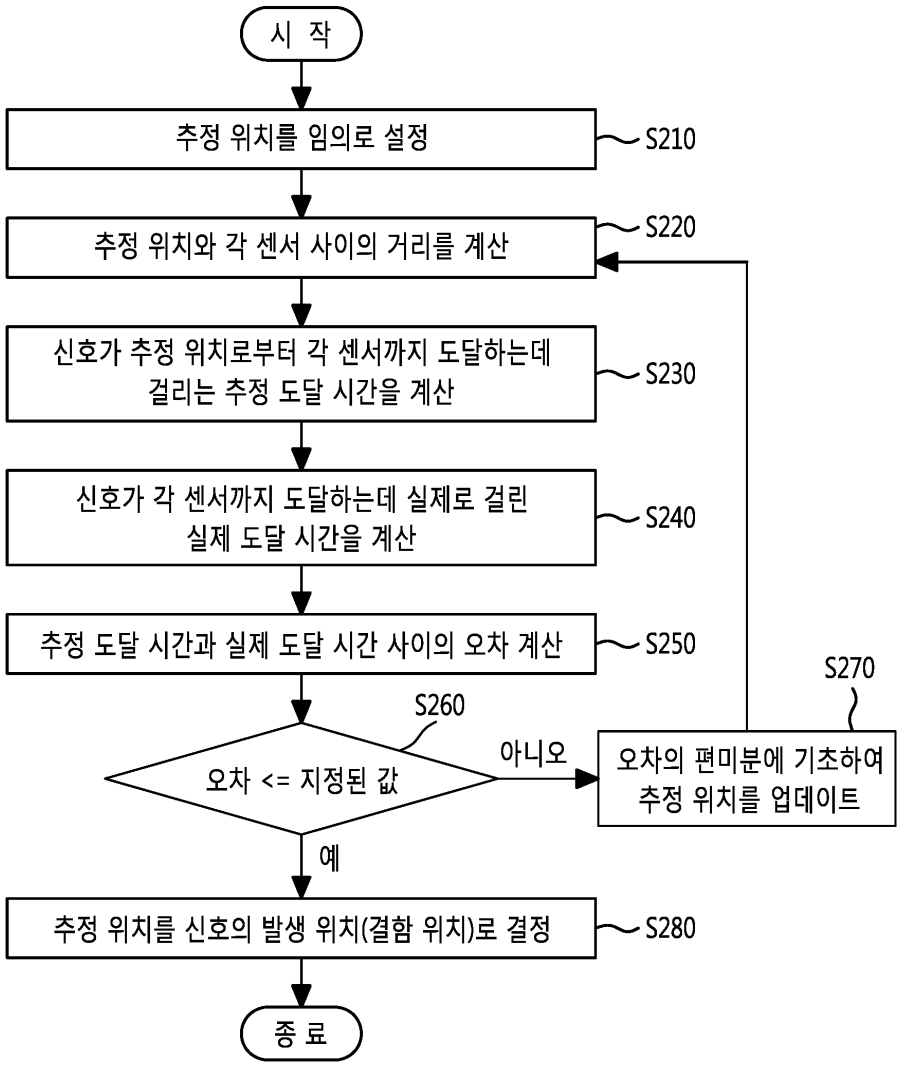
950: 통신 모듈

도면

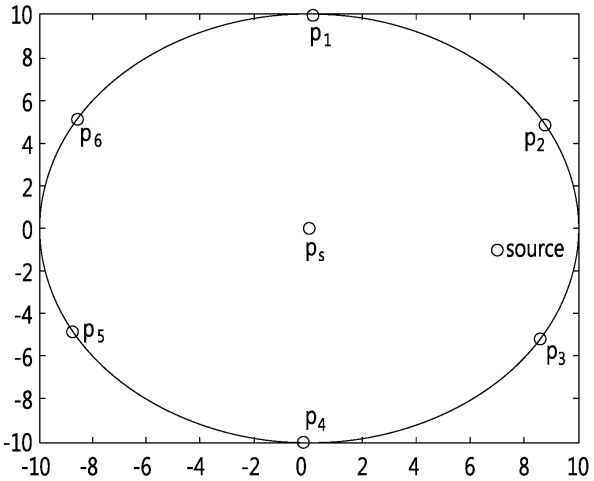
도면1


101
1
(x_1, y_1)
(x_2, y_2)
102
2
(x_3, y_3)
104
4
(x_4, y_4)
(x, y)
105
i
(x_i, y_i)
3
(x_3, y_3)
103
센서
결함

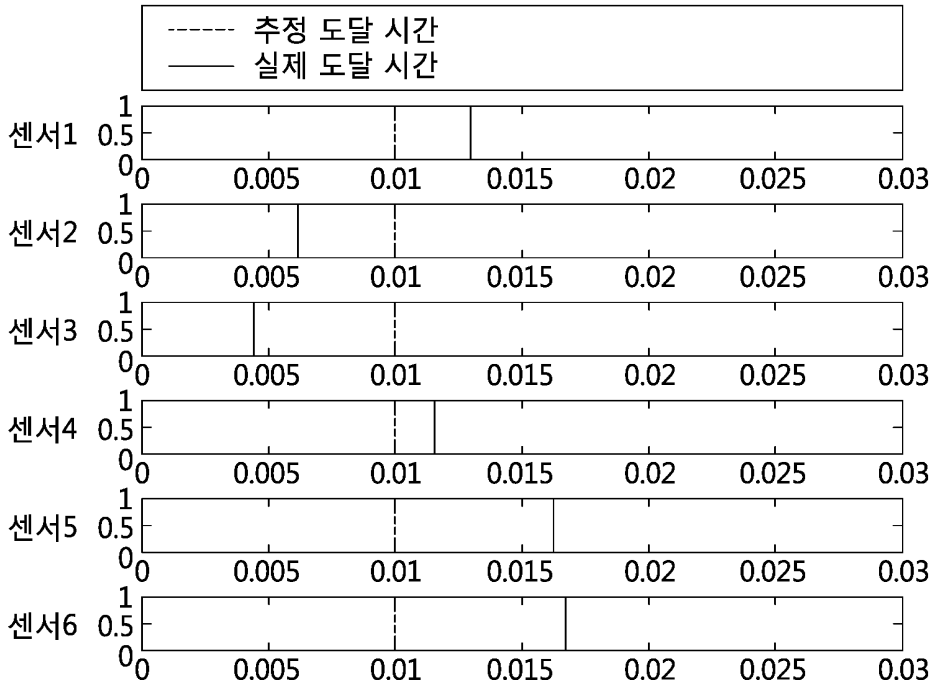
도면2


시 작
추정 위치를 임의로 설정
S210
추정 위치와 각 센서 사이의 거리를 계산
S220
신호가 추정 위치로부터 각 센서까지 도달하는데 걸리는 추정 도달 시간을 계산
S230
신호가 각 센서까지 도달하는데 실제로 걸린 실제 도달 시간을 계산
S240
추정 도달 시간과 실제 도달 시간 사이의 오차 계산
S250
S260
오차 <= 지정된 값
아니오
S270
오차의 편미분에 기초하여 추정 위치를 업데이트
예
추정 위치를 신호의 발생 위치(결함 위치)로 결정
S280
종 료

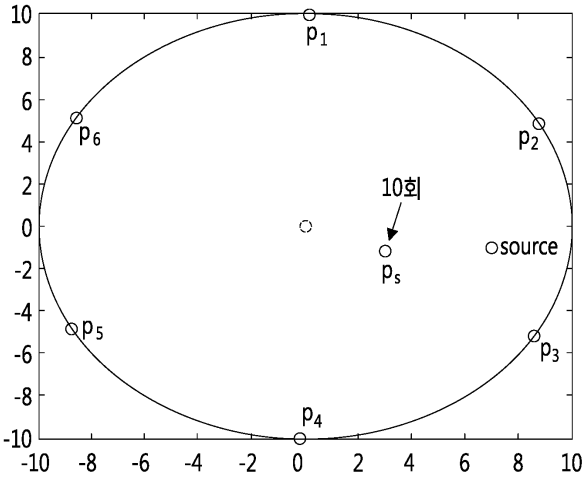
도면3a


p1
p2
p3
p4
p5
p6
ps
source
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-10
-8
-6
-4
-2
0
2
4
6
8
10

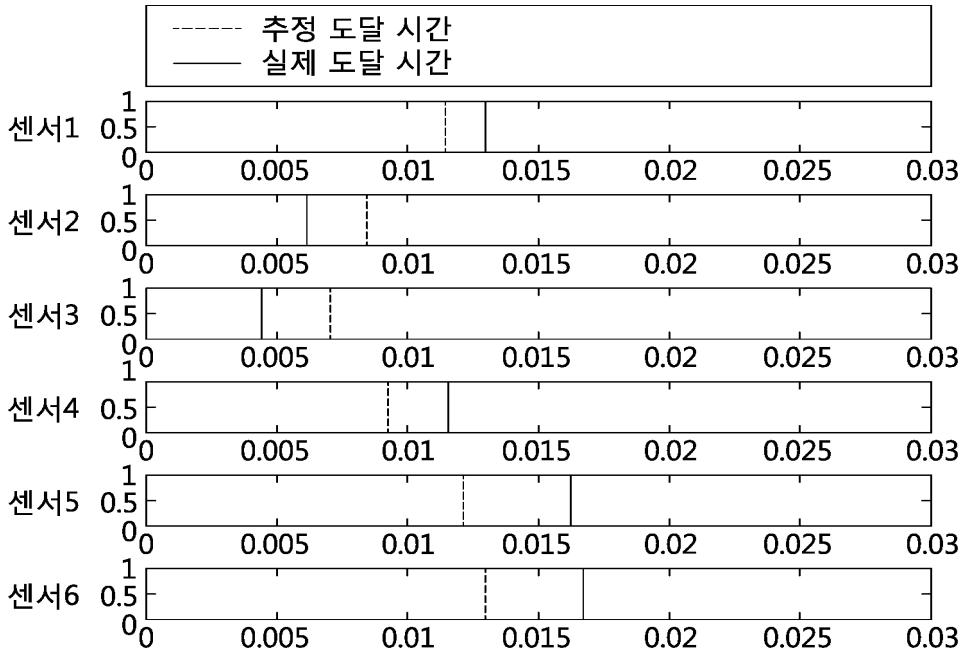
도면3b


추정 도달 시간
실제 도달 시간
센서1
센서2
센서3
센서4
센서5
센서6
0
0.5
1
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025
0.03

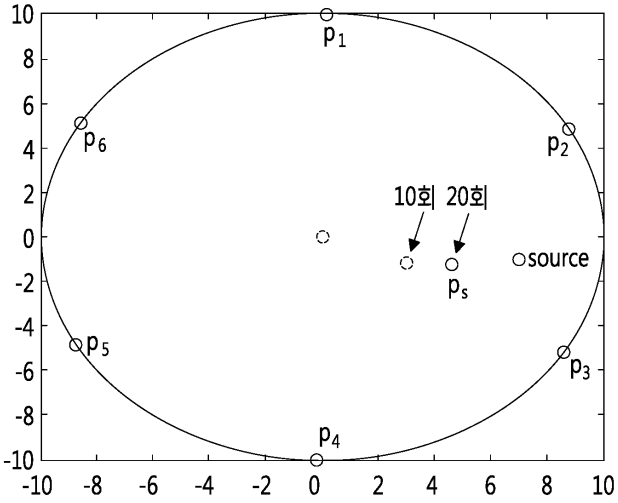
도면4a


p1
p2
p3
p4
p5
p6
ps
10회
source

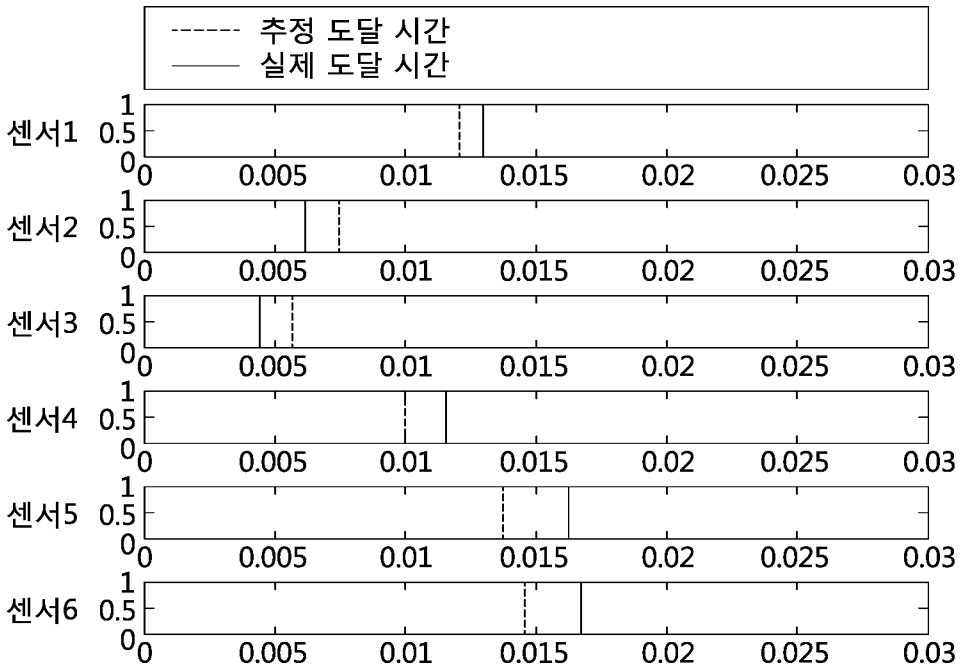
도면4b


추정 도달 시간
실제 도달 시간
센서1
센서2
센서3
센서4
센서5
센서6
0
0.5
1
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025
0.03

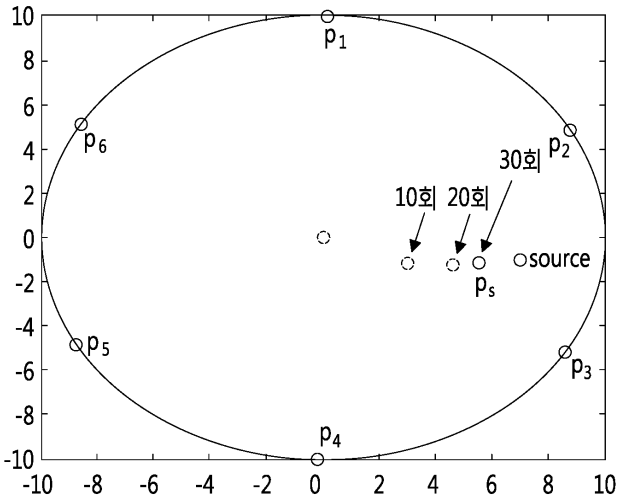
도면5a


p1
p2
p3
p4
p5
p6
10회
20회
source
ps
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10

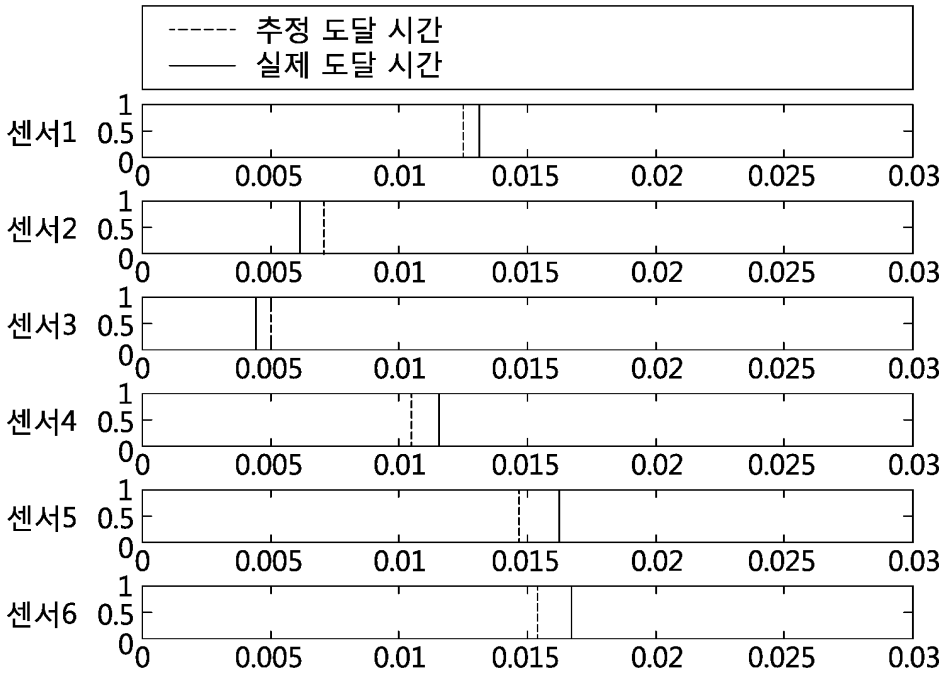
도면5b


추정 도달 시간
실제 도달 시간
센서1
센서2
센서3
센서4
센서5
센서6
0
0.5
1
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025
0.03

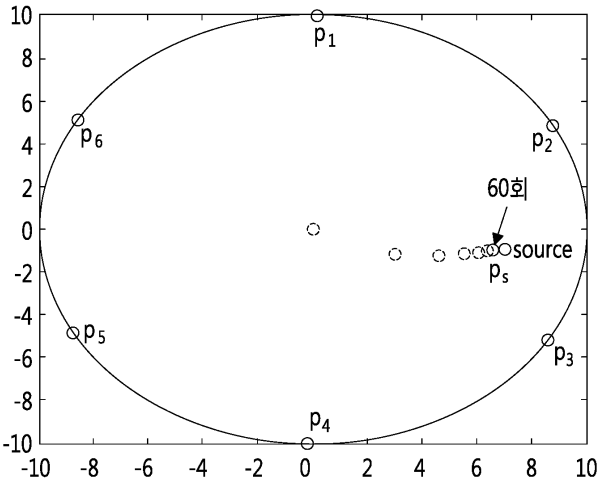
도면6a


p1
p2
p3
p4
p5
p6
ps
source
10회
20회
30회
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10

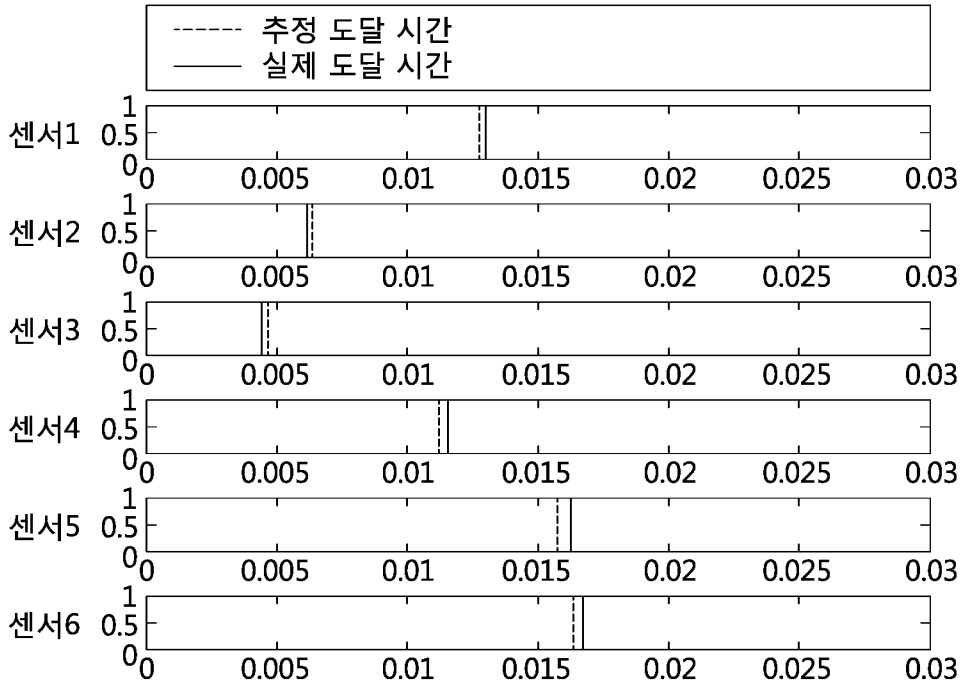
도면6b


추정 도달 시간
실제 도달 시간
센서1
센서2
센서3
센서4
센서5
센서6
1
0.5
0
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025
0.03

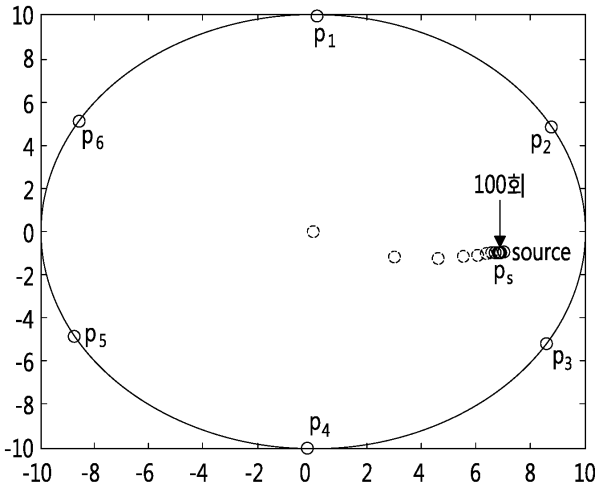
도면7a


p1
p2
p3
p4
p5
p6
60회
source
ps
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-10
-8
-6
-4
-2
0
2
4
6
8
10

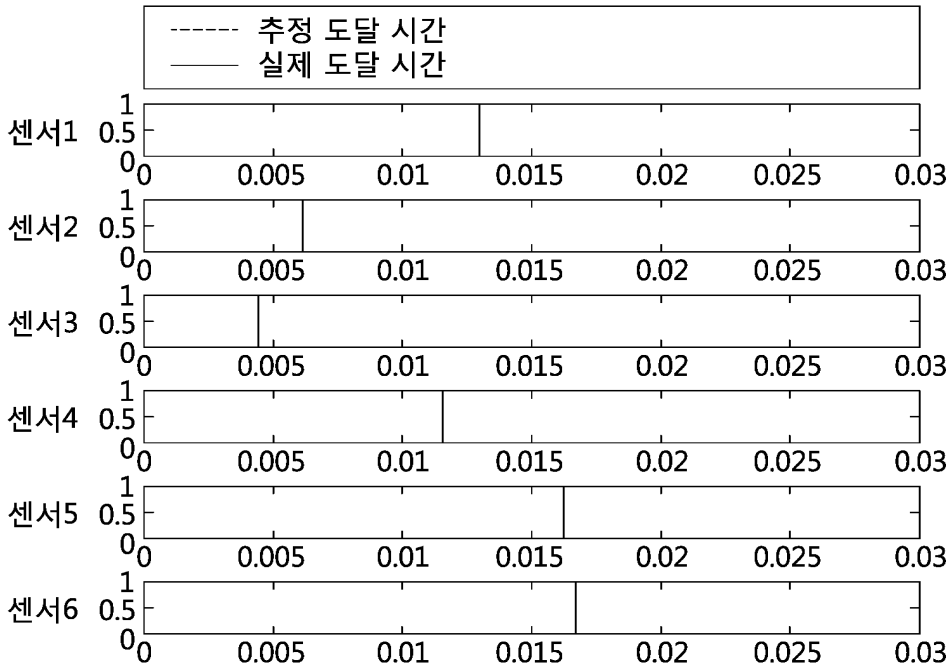
도면7b


추정 도달 시간
실제 도달 시간
센서1
센서2
센서3
센서4
센서5
센서6
1
0.5
0
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025
0.03

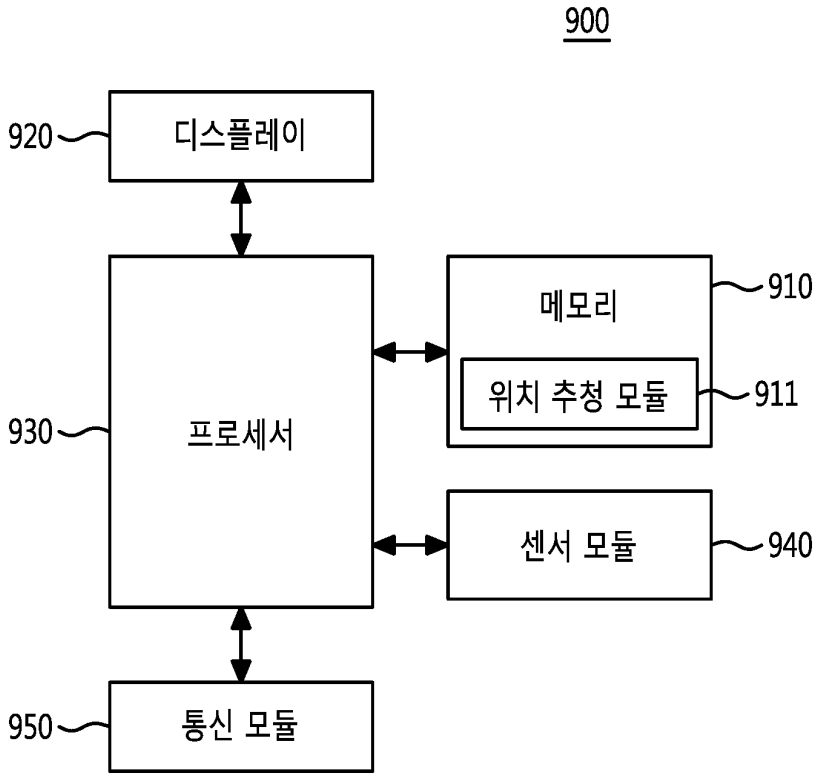
도면8a


p1
p2
p3
p4
p5
p6
100회
source
ps
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10

도면8b


추정 도달 시간
실제 도달 시간
센서1
센서2
센서3
센서4
센서5
센서6
1
0.5
0
0
0.005
0.01
0.015
0.02
0.025
0.03

도면9


900
920
디스플레이
메모리
910
위치 추청 모듈
911
930
프로세서
센서 모듈
940
950
통신 모듈