(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0140662
(43) 공개일자 2024년09월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 5/02 (2010.01) *G01S 11/06* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01S 5/0263 (2023.05)
G01S 11/06 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0035319
(22) 출원일자 2023년03월17일
심사청구일자 2023년03월17일

(71) 출원인
한림대학교 산학협력단
강원도 춘천시 한림대학길 1, 한림대학교(옥천동)
(72) 발명자
이선우
강원도 춘천시 백석골길22번길 23-82
웅엔후 칸
베트남, 람동성, 달랏시, 2워드, 판딘풍 208D
양보 닌
베트남, 람동성, 달랏시, 8워드, 리남대 로트43
(74) 대리인
특허법인본

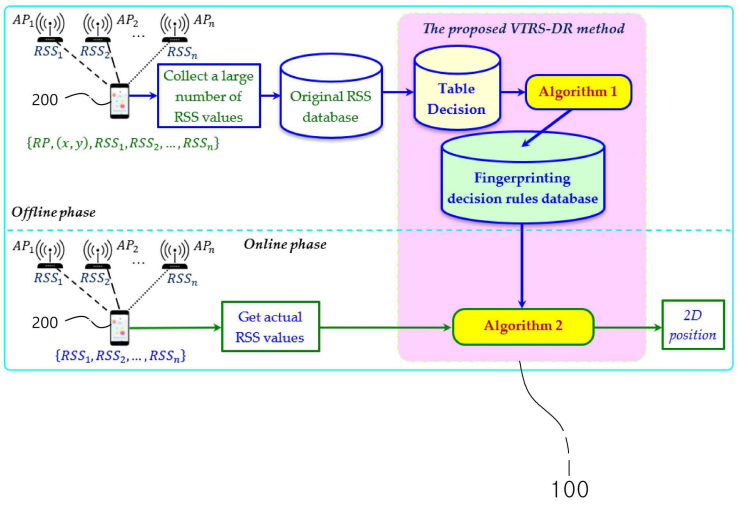
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 **허용적 러프 집합 추론 방법을 이용한 실내 측위 방법**

(57) 요 약

러프집합 이론의 추론법에 기초하여 특정 대상 실내 영역에서 사용자의 단말기의 위치를 식별하는 전자 장치의 동작 방법이 개시된다. 본 동작 방법은, WiFi 무선랜이 설치된 대상 실내 영역에서, 지정된 기준 위치에서 사용자 단말기의 통신기를 이용하여 복수의 AP(Access Point)에서 수신된 신호 세기 RSS(Received Signal Strength) 값을 측정하고 수집한 결과를 러프집합 이론에 기반하여 지문 결정 규칙 데이터베이스를 생성하는 오프라인 단계, 실제 사용자가 대상 영역을 이동할 때 수신되는 RSS 값과 생성된 결정 규칙과 추론법을 이용하여 최적의 기준 위치를 선택하여 사용자 단말의 현재 위치를 식별하는 온라인 단계를 포함한다.

대 표 도 - 도1a



(52) CPC특허분류
G01S 5/0252 (2023.05)
G01S 2205/02 (2023.05)

명 세 서

청구범위

청구항 1

하나 이상의 위치에 대한 지문 결정 규칙 데이터베이스를 포함하며, 사용자 단말의 현재 위치를 식별하기 위한, 전자 장치의 동작 방법에 있어서,

상기 전자 장치가, 상기 사용자 단말로부터, 복수의 AP(Access Point)에서 상기 사용자 단말로 수신된 신호에 대한 복수의 RSS(Received Signal Strength) 값을 수신하는 단계; 및

상기 전자 장치가, 상기 수신된 복수의 RSS 값과 상기 지문 결정 규칙 데이터베이스에 포함된 복수의 객체 간의 허용적 관계(valued tolerance relation)를 바탕으로, 상기 사용자 단말의 위치를 식별하는 단계;를 포함하는, 전자 장치의 동작 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 전자 장치의 동작 방법은,

상기 전자 장치가, 지정된 기준 위치에서 상기 사용자 단말을 이용하여 복수의 AP(Access Point)에서 수신된 신호 세기 RSS(Received Signal Strength) 값을 측정하고, 측정된 결과에 러프집합 이론을 적용하여 지문 결정 규칙 데이터베이스를 생성하는 단계;를 더 포함하고,

상기 지문 결정 규칙 데이터베이스는,

객체로 표현되는 단일 측정 행위에 매칭되는 실제 위치, 상기 실제 위치에서 측정된 RSS 값들, 신뢰도(credibility degree), 및 지원 객체 집합(support object set)을 포함하는, 전자 장치의 동작 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 지문 결정 규칙 데이터베이스를 생성하는 단계는,

상기 사용자 단말이 복수의 위치 각각에 존재할 때마다 상기 사용자 단말로부터 수신되는 복수의 RSS 값을 바탕으로, 단일 측정 행위에 매칭되는 객체를 복수 개 포함하는 결정 테이블을 획득하는 단계;

상기 결정 테이블에 포함된 복수의 객체 간의 허용적 관계를 바탕으로, 각 위치에 대한 결정 클래스의 하한 근사 집합 및 상한 근사 집합을 각각 식별하는 단계;

상기 하한 근사 집합 및 상한 근사 집합 각각에 포함되는 객체의 소속 정도(membership degrees)를 획득하는 단계;

상기 소속 정도를 바탕으로, 상기 복수의 객체에 매칭되는 복수의 결정 규칙 각각의 신뢰도를 획득하는 단계; 및

상기 복수의 결정 규칙 각각의 지원 객체 집합을 획득하는 단계;를 포함하는, 전자 장치의 동작 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 소속 정도를 획득하는 단계는,

이하 수학식에 따라 상기 하한 근사 집합 및 상기 상한 근사 집합에 포함되는 객체의 소속 정도를 각각 획득하고,

$$\mu_{D_A}(u) = \min_{v \in R_A(u)} (max(1 - R_A(u,v),\ \vartheta))$$

$$\mu_{DA}(u) = \max_{v \in R_A(u)} (min(R_A(u,v),\ \vartheta))$$

A는 하나의 RP에서 n개의 AP로부터 수집된 n개의 RSS 값을 포함하는 조건부 속성 집합 C = {RSS_1, RSS_2, ..., RSS_n}의 부분 집합이고, R_A는 A에 대해 구현된 객체들 간의 허용적 관계이고, $\vartheta = \begin{cases} 1, v \in D \\ 0, v \notin D \end{cases}$ or $\vartheta \in \{0, 1\}$이고, $R_A(u,v)$는 객체 u 및 v 간의 허용적 관계인, 전자 장치의 동작 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 신뢰도를 획득하는 단계는,

이하 수학식에 따라 결정 규칙 ρ_i의 신뢰도($\mu_A(\rho_i)$)를 획득하고,

$$\mu_A(\rho_i) = \min_{u \in S_A(\rho_i)} (max(1 - R_A(\rho_i,u),\ \mu_{D_A}(u))) = \min_{u \in R_A(u_i)} (max(1 - R_A(u_i,\ u),\ \mu_{D_A}(u)))$$

상기 신뢰도는, 0과 1 사이에 해당하는, 전자 장치의 동작 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 지원 객체 집합을 획득하는 단계는,

이하 수학식에 따라 결정 규칙 ρ_i의 지원 객체 집합($S_A(\rho_i)$)을 획득하는,

$$S_A(\rho_i) = \{u \in U :\ R_A(\rho_i,u) > 0\} = \{u \in U :\ R_A(u_i,u) > 0\} = R_A(u_i)$$

전자 장치의 동작 방법.

청구항 7

제2항에 있어서,

상기 사용자 단말의 위치를 식별하는 단계는,

상기 복수의 객체 각각에 매칭되는 복수의 결정 규칙 각각을 구성하는 RSS 값들과 상기 수신된 복수의 RSS 값으로 구성된 집합 간의 허용적 관계(valued tolerance relation)를 산출하여, 상기 복수의 결정 규칙 중 상기 집합에 대하여 일정 범위 내의 허용적 관계를 가지는 적어도 하나의 결정 규칙을 선택하고,

상기 선택된 결정 규칙 각각에 대하여, 신뢰도 및 상기 집합에 대한 허용적 관계 중 최소 값을 식별하고,

상기 선택된 결정 규칙 각각에 매칭되는 위치를 식별하고, 동일한 위치에 매칭되는 하나 이상의 결정 규칙에 대해 식별된 상기 최소 값 중 최대 값을 식별하고,

상기 식별된 최대 값을 위치 별로 비교하여, 상기 사용자 단말의 위치를 식별하는, 전자 장치의 동작 방법.

청구항 8

하나 이상의 위치에 대한 지문 결정 규칙 데이터베이스를 포함하는 메모리;

복수의 AP(Access Point)로부터 신호를 수신하는 사용자 단말과 연결된 통신부; 및

적어도 하나의 인스트럭션을 실행하여 제1항의 동작 방법을 수행하는, 프로세서;를 포함하는, 전자 장치.

청구항 9

하나 이상의 위치에 대한 지문 결정 규칙 데이터베이스를 포함하는 사용자 단말의 동작 방법에 있어서,

상기 사용자 단말이 복수의 AP(Access Point)로부터 수신된 신호에 대한 복수의 RSS(Received Signal Strength) 값을 획득하는 단계; 및

상기 사용자 단말이, 상기 획득된 복수의 RSS 값과 상기 지문 결정 규칙 데이터베이스에 포함된 복수의 객체 간의 허용적 관계(valued tolerance relation)를 바탕으로, 상기 사용자 단말의 위치를 식별하는 단계;를 포함하는, 사용자 단말의 동작 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 개시는 무선 WiFi 망이 구현된 실내에서 이동하는 사용자 단말의 위치를 감지하는 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 일정한 임계값(threshold value) 이내에 있는 속성을 동치(equivalence)로 간주하는 허용적 러프집합론 기반 추론 방법(이하 VTRS-DR;Valued Tolerance Rough Set and Decision Rules method로 지칭)을 이용하여 실내 측위를 수행하는 전자 장치 내지 시스템에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 위치 기반 서비스의 시장 활성화에 따라 사용자의 현재 위치를 감지하는 기술은 필요성이 더욱 높아졌다. 실외 환경의 경우 GNSS(Global Navigation Satellite System, 전지구적 위성 항법 시스템)의 사용이 보편적이나, 위성 신호가 건물 벽에 의해 반사되거나 차단되는 실내에서는 동일한 정확도를 보장할 수 없기 때문에 실내 측위 시스템(IPS: Indoor Positioning Systems) 개발에 대한 수요가 매우 높다.

[0003] 현재 실내에서 모바일 사용자의 위치를 감지하는 기술은 다양하게 존재한다. 이러한 기술들 중 본 개시에서는 최근 설치가 보편화되어 있는 WiFi 무선망의 환경 아래에서 이 무선 신호를 수신하는 단말기의 위치를 추정하는 방법 및 시스템에 대한 것이다. 개발된 여러 방법들 중 본 개시는 특정 기준 위치(이하 RP;Reference Point로 지칭)에서 사전에 수집된 수신 무선 신호 세기 (RSS; Received Signal Strength) 특징값 (이를 지문(fingerprint)이라고 칭함)의 데이터베이스를 구축하고, 이 DB를 이용하여 실제 운용하면서 측정된 지문값과의 비교를 통해 현재 위치를 추정하는 방법이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 개시는 각 기준위치에 대한 지문값 DB(보통 라디오지도라 칭함)가 사전에 만들어져 있는 대상 영역(target area) 안에서, 이동하는 단말기가 측정한 지문값을 가지고, 허용적 러프집합론의 추론 방법을 이용하여 복수개의 기준위치 중 가장 가능성 높은 기준위치를 선택하는 과제를 해결하는 전자 장치의 동작 방법을 제공한다. 구체적으로, 본 개시는 이 문제를 해결하는데 허용적 러프집합의 추론방법 (이를 VTRS-DR;Valued Tolerance Rough Set and Decision Rules method로 지칭함)을 적용한 새로운 방법을 제공하는 바, 종래와 차이가 있다.

[0005] 본 개시의 목적들은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 본 개시의 다른 목적 및 장점들은 하기의 설명에 의해서 이해될 수 있고, 본 개시의 실시 예에 의해 보다 분명하게 이해될 것이다. 또한, 본 개시의 목적 및 장점들은 특허 청구 범위에 나타낸 수단 및 그 조합에 의해 실현될 수 있음을 쉽게 알 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 개시의 일 실시 예에 따라 사전에 정의된 하나 이상의 위치(기준위치)에 대한 허용적 러프집합론을 기반으로 만들어진 결정 규칙 데이터베이스(decision rules database)가 저장된 전자 장치의 동작 방법은, 상기 전자 장치가, 사용자 단말로부터, 복수의 AP(Access Point)에서 상기 사용자 단말로 수신된 신호에 대한 복수의 수신신호세기 RSS(Received Signal Strength) 값을 수신하여 현 위치의 지문을 만드는 단계, 상기 전자 장치가, 상기 결정 규칙 DB와 러프집합론에 기반한 추론 방법을 적용하여 주어진 기준위치들 가운데서 가장 적합한 위치를 선택하는 단계를 포함한다.

[0007] 상기 결정 규칙은, 단말기의 위치를 추정할 수 있는 대상 지역에서 사전에 결정된 기준위치(RP)에서 지정된 AP로부터의 수집된 RSS값 (지문) 데이터베이스를 만드는 단계, 이 데이터베이스에 저장된 지문 샘플(러프집합론에서는 객체로 정의됨, 이하 객체)과 AP별로 지정된 임계값(threshold value)에 따른 각 객체별 관계도 값을 계산하여 관계행렬을 만드는 단계, 이 행렬로부터 각 객체의 결정 분류값(decision class)으로 정의된 기준위치에 따른 하한근사(lower approximation)와 상한근사(upper approximation) 집합을 구하는 단계, 모든 객체에 대해 상기한 각 결정 클래스(본 개시에서는 위치로 정의됨)별 상한근사 및 하한근사에 속하는 정도인 소속정도(membership degree)를 계산하는 단계, 각각의 객체를 결정규칙으로 만들기 위해 이 소속정도 값들을 이용하여 각 규칙의 신뢰도(credibility degree)와 지원 객체 집합(support object set)을 만드는 단계를 포함할 수 있다.

[0008] 이렇게 사전에 만들어진 결정 규칙 DB를 가진 전자 장치는 사용자가 단말기를 가지고 대상 영역에서 이동할 때 주기적으로 수신하는 RSS값을 이용하여 상기 사용자 단말의 위치를 식별하는 단계는, 상기 복수의 결정 규칙 각각을 구성하는 RSS 값들과 상기 수신된 복수의 RSS 값을 이용하여 관계도 값을 계산하는 단계, 0보다 큰 값을 가지는 규칙을 선택하여 관계도 값과 신뢰도 값 중에서 작은 값을 계산하는 단계, 모든 결정클래스에 대해 0보다 큰 값의 신뢰도 값을 가지는 클래스를 찾는 단계, 마지막으로 가장 큰 값의 신뢰도를 가지는 클래스(위치)를 선택하여 상기 사용자 단말의 위치를 식별할 수 있다.

발명의 효과

[0009] 후술할 실험을 통해 확인되었듯, 서로 다른 환경 조건에서 수집된 두 경우의 데이터셋 모두에 대해 본 개시에서 제안한 방법의 위치 추정 정확도가 종래의 다른 방법들보다 우수한 것으로 평가되었다.

도면의 간단한 설명

[0010] 도 1a는 본 개시의 일 실시 예에 따라 결정 규칙 데이터베이스를 생성하고, 데이터베이스를 바탕으로 실제 위치를 측정하는 시스템의 구성을 설명하기 위한 도면,

도 1b는 본 개시의 일 실시 예에 따른 전자 장치의 구성을 설명하기 위한 블록도,

도 1c는 본 개시의 일 실시 예에 따른 사용자 단말의 구성을 설명하기 위한 블록도,

도 2는 본 개시의 일 실시 예에 따라 데이터가 수집되는 실내 공간의 예시를 도시한 도면,

도 3은 본 개시의 일 실시 예에 따라 실내 공간(ex. office room)에 설치된 다섯 개의 AP들과 기준위치(RP)의 위치를 도시한 도면,

도 4는 본 개시에 따른 전자 장치의 동작 방법과 종래의 방법들의 위치 오차를 도시한 그래프들(Case 1),

도 5는 본 개시에 따른 전자 장치의 동작 방법과 종래의 방법들의 위치 오차를 도시한 그래프들(Case 2),

도 6은 두 가지 케이스에 대하여 본 개시에 따른 전자 장치의 동작 방법의 위치 오차를 종래의 다른 방법들과 비교하여 위치오차별 누적 분포도를 표시한 그래프들,

도 7은 본 개시에 따른 전자 장치의 동작 방법과 종래의 방법들 각각의 동작 시간을 도시한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011] 본 개시에 대하여 구체적으로 설명하기에 앞서, 본 명세서 및 도면의 기재 방법에 대하여 설명한다.

[0012] 먼저, 본 명세서 및 청구범위에서 사용되는 용어는 본 개시의 다양한 실시 예들에서의 기능을 고려하여 일반적인 용어들을 선택하였다. 하지만, 이러한 용어들은 당해 기술 분야에 종사하는 기술자의 의도나 법률적 또는 기술적 해석 및 새로운 기술의 출현 등에 따라 달라질 수 있다. 또한, 일부 용어는 출원인이 임의로 선정한 용어도 있다. 이러한 용어에 대해서는 본 명세서에서 정의된 의미로 해석될 수 있으며, 구체적인 용어 정의가 없으면 본 명세서의 전반적인 내용 및 당해 기술 분야의 통상적인 기술 상식을 토대로 해석될 수도 있다.

[0013] 또한, 본 명세서에 첨부된 각 도면에 기재된 동일한 참조번호 또는 부호는 실질적으로 동일한 기능을 수행하는 부품 또는 구성요소를 나타낸다. 설명 및 이해의 편의를 위해서 서로 다른 실시 예들에서도 동일한 참조번호 또는 부호를 사용하여 설명한다. 즉, 복수의 도면에서 동일한 참조 번호를 가지는 구성요소를 모두 도시되어 있다고 하더라도, 복수의 도면들이 하나의 실시 예를 의미하는 것은 아니다.

[0014] 또한, 본 명세서 및 청구범위에서는 구성요소들 간의 구별을 위하여 "제1", "제2" 등과 같이 서수를 포함하는 용어가 사용될 수 있다. 이러한 서수는 동일 또는 유사한 구성요소들을 서로 구별하기 위하여 사용하는 것이며 이러한 서수 사용으로 인하여 용어의 의미가 한정 해석되어서는 안 된다. 일 예로, 이러한 서수와 결합된 구성요소는 그 숫자에 의해 사용 순서나 배치 순서 등이 제한되어서는 안 된다. 필요에 따라서는, 각 서수들은 서로 교체되어 사용될 수도 있다.

[0015] 본 명세서에서 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "구성되다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0016] 본 개시의 실시 예에서 "모듈", "유닛", "부(part)" 등과 같은 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 수행하는 구성요소를 지칭하기 위한 용어이며, 이러한 구성요소는 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현되거나 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다. 또한, 복수의 "모듈", "유닛", "부(part)" 등은 각각이 개별적인 특정한 하드웨어로 구현될 필요가 있는 경우를 제외하고는, 적어도 하나의 모듈이나 칩으로 일체화되어 적어도 하나의 프로세서로 구현될 수 있다.

[0017] 또한, 본 개시의 실시 예에서, 어떤 부분이 다른 부분과 연결되어 있다고 할 때, 이는 직접적인 연결뿐 아니라, 다른 매체를 통한 간접적인 연결의 경우도 포함한다. 또한, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 포함한다는 의미는, 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0018] 먼저, 본 개시의 동작 방법에 따라 실내 측위에 활용되는 VTRS-DR 방식을 설명한다. 본 개시는 공지된 기술이하나인 러프집합 이론을 이용하므로 기본 정의 등은 이 이론에서 비롯되었으며, 실내 측위에 적용하는 방법에 국한하여 설명한다.

[0019] 러프집합 이론에서 정의되는 객체 집합 $U = \{u_1, u_2, \ldots, u_m\}$ 와 조건부 속성 집합 C는, 본 개시에서는 대상영역에서 정의된 기준위치별로 수집된 RSS 신호 샘플(데이터)이 객체이며, 대상영역 내에서 단말기가 수신하는 개별 AP가 조건부 속성으로, 기준위치는 결정클래스로 간주된다. 일례로 상기한 대상영역에 n개의 AP가 존재하고 샘플의 개수가 m개라면 객체 집합 $U = \{u_1, u_2, \ldots, u_m\}$, $C = \{RSS_1, RSS_2, \ldots, RSS_n\}$으로 표시한다. 결정 속성 d는 집합 U를 N개의 결정 클래스들($K \leq N$)을 D_l로 구분하며(l1, 2, ..., N), 각각의 RP가 결정 클래스이다.

[0020] 표 1과 같은 의사결정 테이블 DT를 통해 객체와 속성 간의 관계를 나타낼 수 있다. 이 테이블에서 n개의 조건부 속성(즉, n개의 AP와 관련된 n개의 RSS 값) $C = \{RSS_1, RSS_2, \ldots, RSS_n\}$을 부여하고 각 속성 RSS_j(j = 1, 2, ..., n)는 RSS 값이 [-100, 0](dBm) 간격으로 변경된다. 여기서 각 객체(즉, 표 1의 한 행)는 결정 클래스인 주어진 RP에서 측정 수집한 지문(즉, 고유한 RSS 값 집합)을 나타낸다. 의사결정 테이블 DT에서 RP를 순서에 따라 정렬할 필요가 없으며, 각 결정 클래스(즉, 각 RP)의 출현 횟수는 각 RP에서 RSS 스캔 횟수에 따라 다를 수 있다. 예로 표 1의 객체 u_1과 u_3는 동일한 RP에서 측정한 객체다.

표 1

[0021]

U	RSS_1 (dBm)	RSS_2 (dBm)	...	RSS_n (dBm)	d
u_1	−51	−54	...	−52	RP_1
u_2	−46	−47	...	−51	RP_2
u_3	−50	−56	...	−53	RP_1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
u_{m-1}	−76	−43	...	−41	RP_N
u_m	−73	−41	...	−38	RP_N

[0022] 러프집합 이론에서 정의된 다음의 정의를 본 개시에서도 동일하게 사용한다.

[0023] 정의 1. 조건부 속성인 $A \subseteq C$ 의 집합에 대해 구현된 집합 U의 객체들 간의 허용적 관계(valued tolerance

relation)는 R_A로(예를 들어, $R_A : U \times U \rightarrow [0, 1]$) 주어진다. R_A는 이하 두 가지 속성을 만족시킨다. (a) 반사성(reflexive) ($\forall u \in U,\ R_A(u,u) = 1$), (b) 대칭성(symmetric) ($\forall u, v \in U,\ R_A(u,v) = R_A(v,u)$)

[0024] 정의 1은 집합 U의 객체들이 조건부 속성($A \subseteq C$)에 대해 두 객체간의 유사 정도를 나타내는 유사척도에 의해 판단되며, 만약, 객체의 쌍이 허용적 관계를 가지는 경우, 해당 객체들은 동일한 클래스에 포함될 수 있다.

[0025] 정의 2. $u, v \in U$와 같이 정의되는 어떠한 두 개의 객체에 대해, 각각의 속성 RSS_j의 허용적 관계는 $R_j(u,v)$와 같이 정의되며 이하와 같이 산출될 수 있다.

수학식 1

[0026]
$$R_j(u,v) = \frac{max(0,\ min(RSS_j(u),\ RSS_j(v)) + k_j - max(RSS_j(u),\ RSS_j(v)))}{k_j}$$

[0027] 여기서, $RSS_j \in A \subseteq C$이고, $k_j > 0$ 는 속성 RSS_j(j=1, 2, ..., n)의 차별 임계 값에 해당한다. k_j는 속성 RSS_j의 두 값 간의 유사도를 측정하기 위해 이용된다. 상술한 수학식 1에서, $\forall u, v \in U:\ R_A(u,v) = 1 \Leftrightarrow RSS_j(u) = RSS_j(v)$, $R_A(u,v) = 0 \Leftrightarrow |RSS_j(u) - RSS_j(v)| \geq k_j$, $0 < R_A(u,v) < 1 \Leftrightarrow |RSS_j(u) - RSS_j(v)|$ 이다. 상술한 값 k_j는 러프집합 이론에서 각 속성과 관련하여 두 객체가 식별할 수 없는지(동등한지) 여부를 판단할 수 있다.

[0028] 정의 2는 $RSS_j \in A \subseteq C$에 해당하는 조건부 속성에 구현된 집합 U 내의 객체들의 쌍 간의 허용적 관계를 산출하기 위한 것이다. 본 정의는 이하 정의 3의 두 객체 간의 허용적 관계의 산출을 지원한다.

[0029] 정의 3. 조건부 속성인 $A \subseteq C$ 상의 두 객체들 $u, v \in U$ 간의 허용적 관계는 $R_A(u,v)$로 정의되고, 이하와 같이 산출된다.

수학식 2

[0030]
$$R_A(u,v) = \min_{RSS_j \in A}(R_j(u,v))$$

[0031] 수학식 2에서, $\forall u, v \in U:\ 0 \leq R_A(u,v) \leq 1$이고, $R_A(u,v)$는 (a), (b)라는 허용적 관계의 두 속성을 만족한다.

[0032] 정의 3은 조건부 속성인 $A \subseteq C$ 상의 집합 U 내의 객체들의 쌍 간의 허용적 관계를 결정하기 위한 것이다. 만약, $R_A(u,v) = 0$인 경우, 두 객체들 $u, v \in U$은 서로 유사하지 않다. 만약, $0 < R_A(u,v) < 1$ 인 경우, 두 객체들은 허용적 관계를 가진다. 여기서, $R_A(u,v)$가 1에 가까울수록 두 객체는 동치임을 의미한다. 그리고, 허용적 관계 행렬은 모든 객체에 대한 허용적 관계의 값을 행렬로 표현한 것이다. 상기 행렬은 주 대각 성분이 1에 해당하는 대칭 행렬이 된다.

[0033] 정의 4. 특정 결정 클래스의 집합 $D \subseteq U$에서, 조건부 속성의 부분 집합 $A \subseteq C$에 대해 허용적 관계에 있는 데이터에 관한 한한 근사 집합 D_A 및 상한 근사 집합 D^A은 다음과 같이 정의된다.

수학식 3

[0034] $$D_A = \{\forall u \in U : R_A(u) \subseteq D\}$$

수학식 4

[0035] $$D^A = \{\forall u \in U : R_A(u) \cap D \neq \emptyset\}$$

[0036] 하한 근사 집합은 특정 결정 클래스에 항상 포함되는 객체들을, 상한 근사는 하나라도 허용적 관계에 있는 객체들의 집합의 의미를 가진다. 그러므로, 하한 및 상한 근사 집합의 결정은 VTRS-DR 방법의 성능에 중요한 역할을 한다. D_A와 D^A가 D에 가까울수록 결과가 정확하고 계산 비용이 낮아진다.

[0037] 정의 5. 결정 클래스의 집합 D에 있어서, 하한 근사 D_A 및 상한 근사 D^A에 속하는 객체 u의 소속 정도(membership degrees)는 각각 $\mu D_A(u)$ 및 $\mu D^A(u)$로 정의되며 이하와 같이 산출된다.

수학식 5

[0038] $$\mu_{D_A}(u) = \min_{v \in R_A(u)} (max(1 - R_A(u,v), \hat{v}))$$

수학식 6

[0039] $$\mu_{D^A}(u) = \max_{v \in R_A(u)} (min(R_A(u,v), \hat{v}))$$

[0040] 여기서 $\hat{v} = \begin{cases} 1, v \in D \\ 0, v \notin D \end{cases}$ or $\hat{v} \in \{0, 1\}$.

[0041] 정의 6. 결정테이블을 구성하기 위한, 결정 규칙 (decision rule) ρ_i의 신뢰 정도(credibility degree)는 $\mu_A(\rho_i)$로 정의되며 이하와 같다.

수학식 7

[0042] $$\mu_A(\rho_i) = \min_{u \in S_A(\rho_i)} (max(1 - R_A(\rho_i, u), \mu_{D_A}(u))) = \min_{u \in R_A(u_i)} (max(1 - R_A(u_i, u), \mu_{D_A}(u)))$$

[0043] 신뢰정도 $\mu_A(\rho_i)$ 값은 0과 1 사이에 해당한다. 해당 값이 1에 가까울수록 u_i 가 결정 클래스 D에 포함된다는 판단에 대한 신뢰도가 높다. 이는, 새로운 객체를 결정 클래스에 분류하기 위한 중요한 기준이다.

[0044] 정의 7. 결정 규칙(ρ_i)의 지원 객체 집합(support object set)은 $S_A(\rho_i)$로 정의되며 이하와 같이 산출될 수 있다.

수학식 8

[0045] $$S_A(\rho_i) = \{u \in U : R_A(\rho_i, u) > 0\} = \{u \in U : R_A(u_i, u) > 0\} = R_A(u_i)$$

[0046] 수학식 8은, 결정 규칙 ρ_i가 객체 u_i로 만들어진 것이므로, 이 객체와 허용적 관계 값이 0보다 큰 객체들의 집합을 의미한다. 만약 많은 결정 클래스의 신뢰도가 같으면 객체 u_i가 속한 클래스를 결정하기 어렵다. 따라서, 각 클래스의 지원 객체 집합은 분류 문제를 해결하는 데에 도움이 된다.

[0047] 상기한 정의들을 이용하여 허용적 러프집합 추론 방법을 WiFi 지문 인식법 (fingerprinting technique)에 적용하는 방법을 설명한다.

[0048] 도 1a는 본 개시에 따라 제안하는 방법의 전체 구조를 보여준다. 도 1a가 보여주는 것과 같이 개시하는 방법은 먼저 오프라인 단계를 통해 지문 결정 규칙 데이터베이스를 사전에 만들고, 그 다음으로 온라인 단계에서 사용자 단말기의 위치를 식별한다. 여기서, 오프라인 단계는, 사용자 단말(200)이 각 기준위치(RP)에 있을 때마다 복수의 AP(Access Point)로부터 수신되는 신호의 RSS 값을 바탕으로, 지문 결정 규칙 데이터베이스를 생성하는 단계이다. 그리고, 온라인 단계는, 전자 장치(100)는 사용자 단말(200)로부터 실시간으로 RSS 값(: 복수의 AP로부터 수신된 값)을 수신하고, 이를 바탕으로 허용적 러프 집합 추론법으로 사용자 단말(200)의 위치를 식별할 수 있다.

[0049] 도 1b는 본 개시의 일 실시 예에 따른 전자 장치(100)의 구성을 설명하기 위한 블록도이다. 전자 장치(100)는 적어도 하나의 컴퓨터를 포함하는 서버로 구현될 수 있으나, 이에 한정되지 않는다.

[0050] 메모리(110)는 전자 장치(100)의 구성요소들의 전반적인 동작을 제어하기 위한 운영체제(OS: Operating System) 및 전자 장치(100)의 구성요소와 관련된 적어도 하나의 인스트럭션 또는 데이터를 저장하기 위한 구성이다. 메모리(110)는 ROM, 플래시 메모리 등의 비휘발성 메모리를 포함할 수 있으며, DRAM 등으로 구성된 휘발성 메모리를 포함할 수 있다. 또한, 메모리는 하드 디스크, SSD(Solid state drive) 등을 포함할 수도 있다. 일 실시 예로, 메모리(110)는 상술한 데이터베이스를 포함할 수 있다. 이때, 복수의 결정 규칙을 포함하는 데이터베이스는 사용자 단말 별로 별도로 저장될 수 있다.

[0051] 통신부(120)는 다양한 유무선 통신방식으로 적어도 하나의 외부 장치와 통신을 수행하기 위한 회로, 모듈, 칩 등을 포함할 수 있다.

[0052] 통신부(120)는 다양한 네트워크를 통해 외부 장치들과 연결될 수 있다.

[0053] 네트워크는 영역 또는 규모에 따라 개인 통신망(PAN; Personal Area Network), 근거리 통신망(LAN; Local Area Network), 광역 통신망(WAN; Wide Area Network) 등일 수 있으며, 네트워크의 개방성에 따라 인트라넷(Intranet), 엑스트라넷(Extranet), 또는 인터넷(Internet) 등일 수 있다.

[0054] 통신부(120)는 LTE(long-term evolution), LTE-A(LTE Advance), 5G(5th Generation) 이동통신, CDMA(code division multiple access), WCDMA(wideband CDMA), UMTS(universal mobile telecommunications system), WiBro(Wireless Broadband), GSM(Global System for Mobile Communications), DMA(Time Division Multiple Access), WiFi(Wi-Fi), WiFi Direct, Bluetooth, NFC(near field communication), Zigbee 등 다양한 무선 통신 방식을 통해 외부 장치들과 연결될 수 있다.

[0055] 또한, 통신부(120)는 이더넷(Ethernet), 광 네트워크(optical network), USB(Universal Serial Bus), 선더볼트(ThunderBolt) 등의 유선 통신 방식을 통해 외부 장치들과 연결될 수도 있다.

[0056] 한편, 기술의 발전에 따라 새롭게 등장하는 통신 방식 내지 통신 수단이 통신부(110)에 적용될 수 있음은 물론이다.

[0057] 일 실시 예로, 전자 장치(100)는 통신부(120)를 통해 현재 위치에서 신호가 존재하는 복수의 AP로부터 사용자 단말(200)에 도달하는 신호 세기 값(RSS)을 수신할 수 있다.

[0058] 프로세서(130)는 전자 장치(100)를 전반적으로 제어하기 위한 구성이다. 구체적으로, 프로세서(130)는 메모리(110)와 연결되는 한편 메모리(110)에 저장된 적어도 하나의 인스트럭션을 실행함으로써 본 개시의 다양한 실시

예들에 따른 동작을 수행할 수 있다.

[0059] 프로세서(130)는 하나 이상의 프로세서로 구성될 수 있다. 이때, 하나 이상의 프로세서는 CPU, AP, DSP(Digital Signal Processor) 등과 같은 범용 프로세서, GPU, VPU(Vision Processing Unit) 등과 같은 그래픽 전용 프로세서 또는 NPU와 같은 인공지능 전용 프로세서 등을 포함할 수 있다.

[0060] 도 1c는 본 개시의 일 실시 예에 따른 사용자 단말(200)의 구성을 설명하기 위한 블록도이다. 사용자 단말(200)은 사용자가 소지한 단말 기기로, 스마트폰, 태블릿 PC, 노트북 PC, 웨어러블 장치 등 다양한 기기에 해당할 수 있다.

[0061] 사용자 단말(200)은 메모리(210), 통신부(220), 프로세서(230) 등을 포함할 수 있다. 사용자 단말(200)은 통신부(220)를 통해 복수의 AP와 연결될 수 있으며(ex. 와이파이), 이를 통해 복수의 신호의 RSS 값을 식별할 수 있다.

[0062] 한편, 본 개시의 실시 예들에 있어 데이터베이스의 구축 과정 및 사용자 단말(200)의 위치를 식별하는 과정이 전자 장치(100)를 통해 수행되는 경우를 전제로 하여 주로 설명되고 있으나, 이러한 과정들이 모두 사용자 단말(200) 단독으로 수행될 수 있음은 물론이다. 이 경우, 사용자 단말(200)의 메모리(210) 상에 복수의 결정 규칙이 포함된 데이터베이스가 저장될 수 있다.

[0063] 오프라인 단계에서, 전자 장치(100)는 사용자 단말(200)이 복수의 위치 각각에 존재할 때마다 사용자 단말(200)로부터 수신되는 복수의 RSS 값을 바탕으로, 이하 알고리즘 1에 따라 데이터베이스를 구축할 수 있다.

[0064] 구체적으로, 오프라인 단계의 경우, 사용자 단말(200)은 각 기준점 RP_l(l = 1, 2, ..., N)에서, n개의 AP로부터 다수의 RSS 값을 수집한다. 그런 다음, 전자 장치(100)는 표 2와 같이 원본 RSS 지문 데이터베이스를 생성한다. 이 데이터베이스의 구조는 다음과 같다. {Position, Coordinate, RSS values from APs}.

[0065] 이 데이터베이스를 결정 테이블 DT와 유사하게 만들기 위해, 전자 장치(100)는 표 1의 두 부분 {Position, RSS values from APs}을 원본 데이터베이스에 복사하고 각 행의 인덱스를 첫 번째 열로 추가하여 객체를 표시할 수 있다.

[0066] 마지막으로, 전자 장치(100)는 이하 알고리즘 1을 DT에 적용하여 지문 결정 규칙 데이터베이스를 만들 수 있다. 이 데이터베이스의 구조는 다음과 같은 형식으로 표 3에 나와 있다. {Rule, Conditions of rule, Decision attribute, Support components}. 여기서, 지원 구성(support components)는 신뢰 정도(credibility degree) 및 지원 객체 집합(support object set)이라는 두 가지 값을 포함한다.

Algorithm 1: The Construction of a Fingerprinting Decision Rules Database for IPS

Input: The decision table DT.
Output: The fingerprinting decision rules database.
Step 1. Create the valued tolerance relation matrix from relations of all pairs of two objects (two rows) in DT: $R_A(u, v)$, $\forall u, v \in U$ (Equation (1) and Equation (2)).
Step 2. Determine the tolerance granule, $R_A(u)$, $\forall u \in U$ (Equation (3)).
Step 3. Determine the set of decision classes D (i.e., a total number of RPs) of decision table, DT, based on the decision attribute, d. For each decision class, D_l, calculate the lower approximations, $(D_l)_A$ and the upper approximations, $(D_l)^A$, $l = 1, 2, \ldots, N$ (Equation (4) and Equation (5)).
Step 4. Calculate the membership degrees, $\mu_{(D_l)_A}(u)$ and $\mu_{(D_l)^A}(u)$, of object u, corresponding to $(D_l)_A$ and $(D_l)^A$, $\forall u \in U$, $\forall D_l \in \{D_1, D_2, \ldots, D_N\} \equiv \{RP_1, RP_2, \ldots, RP_N\}$ (Equation (6) and Equation (7)).
Step 5. Define the decision rule, ρ_i, that describes the object, $u_i \in U$, on the set of attributes A, $i = 1, 2, \ldots, m$ (Equation (8)).
Step 6. Calculate the credibility degree, $\mu_A(\rho_i)$, of a decision rule, ρ_i, $i = 1, 2, \ldots, m$ (Equation (9)).
Step 7. Define the support object set, $S_A(\rho_i)$, of a decision rule, ρ_i, for the set of attributes A, $i = 1, 2, \ldots, m$ (Equation (10)).
Step 8. Create the fingerprinting decision rules database.

[0067]

표 2

Position	Coordinates	RSS_1 (dBm)	RSS_2 (dBm)	⋯	RSS_n (dBm)	
RP_1	(x_1, y_1)	−51	−54	⋯	−52	K fingerprints
RP_1	(x_1, y_1)	−50	−56	⋯	−53	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
RP_1	(x_1, y_1)	−54	−58	⋯	−55	
RP_2	(x_2, y_2)	−46	−47	⋯	−51	K fingerprints
RP_2	(x_2, y_2)	−44	−49	⋯	−50	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
RP_2	(x_2, y_2)	−48	−45	⋯	−49	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
RP_N	(x_N, y_N)	−76	−43	⋯	−41	K fingerprints
RP_N	(x_N, y_N)	−73	−41	⋯	−38	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
RP_N	(x_N, y_N)	−75	−44	⋯	−39	

[0068]

표 3

Rule	Conditions of Rule				Decision Attribute	Support Components		
	RSS_1 (dBm)	RSS_2 (dBm)	⋯	RSS_n (dBm)	d (Position)	Credibility Degree (μ_A)	Support Object Set (S_A)	
ρ_1	−51	−54	⋯	−52	RP_1	$\mu_A(\rho_1)$	$S_A(\rho_1)$	K rules
ρ_2	−50	−56	⋯	−53	RP_1	$\mu_A(\rho_2)$	$S_A(\rho_2)$	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
ρ_K	−54	−58	⋯	−55	RP_1	$\mu_A(\rho_K)$	$S_A(\rho_K)$	
ρ_{K+1}	−46	−47	⋯	−51	RP_2	$\mu_A(\rho_{K+1})$	$S_A(\rho_{K+1})$	K rules
ρ_{K+2}	−44	−49	⋯	−50	RP_2	$\mu_A(\rho_{K+2})$	$S_A(\rho_{K+2})$	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
ρ_{2K}	−48	−45	⋯	−49	RP_2	$\mu_A(\rho_{2K})$	$S_A(\rho_{2K})$	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
$\rho_{(N-1)K+1}$	−76	−43	⋯	−41	RP_N	$\mu_A(\rho_{(N-1)K+1})$	$S_A(\rho_{(N-1)K+}$	K rules
$\rho_{(N-1)K+2}$	−73	−41	⋯	−38	RP_N	$\mu_A(\rho_{(N-1)K+2})$	$S_A(\rho_{(N-1)K+}$	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
ρ_{NK}	−75	−44	⋯	−39	RP_N	$\mu_A(\rho_{NK})$	$S_A(\rho_{NK})$	

[0069]

[0070] 이하에서는 상기한 오프라인 단계, 즉 지문 결정 규칙 데이터베이스를 생성하는 방법을 구체적인 예를 가지고 설명한다. 대상 영역에 다섯 개의 AP가 있고 10개의 기준 위치(RP_1, RP_2, ..., RP_{10})가 있음을 가정한다.

[0071] 먼저 데이터베이스를 구축하는 과정에 있어, 이하 표 4와 같이 각 위치에서 RSS 값이 두 번씩 수집되었으며, 이하 표 5과 같이 결정 테이블이 구성되었다.

표 4

Position	Coordinates	RSS_1 (dBm)	RSS_2 (dBm)	RSS_3 (dBm)	RSS_4 (dBm)	RSS_5 (dBm)
RP_1	(x_1, y_1)	−57	−48	−64	−45	−52
RP_1	(x_1, y_1)	−58	−49	−63	−48	−53
RP_2	(x_2, y_2)	−57	−43	−65	−51	−53
RP_2	(x_2, y_2)	−58	−42	−67	−51	−55
RP_3	(x_3, y_3)	−55	−54	−63	−52	−57
RP_3	(x_3, y_3)	−56	−51	−62	−52	−58
RP_4	(x_4, y_4)	−40	−50	−57	−52	−53
RP_4	(x_4, y_4)	−43	−51	−61	−53	−53
RP_5	(x_5, y_5)	−41	−53	−62	−39	−50
RP_5	(x_5, y_5)	−42	−53	−63	−39	−49
RP_6	(x_6, y_6)	−50	−49	−61	−53	−50
RP_6	(x_6, y_6)	−50	−50	−61	−53	−51
RP_7	(x_7, y_7)	−50	−56	−65	−45	−48
RP_7	(x_7, y_7)	−51	−56	−69	−46	−49
RP_8	(x_8, y_8)	−57	−46	−65	−48	−56
RP_8	(x_8, y_8)	−58	−47	−64	−50	−55
RP_9	(x_9, y_9)	−59	−49	−63	−47	−56
RP_9	(x_9, y_9)	−60	−51	−64	−47	−54
RP_{10}	(x_{10}, y_{10})	−67	−51	−66	−51	−42
RP_{10}	(x_{10}, y_{10})	−66	−53	−66	−51	−43

[0072]

표 5

U	RSS_1 (dBm)	RSS_2 (dBm)	RSS_3 (dBm)	RSS_4 (dBm)	RSS_5 (dBm)	d (Position)
u_1	−57	−48	−64	−45	−52	RP_1
u_2	−58	−49	−63	−48	−53	RP_1
u_3	−57	−43	−65	−51	−53	RP_2
u_4	−58	−42	−67	−51	−55	RP_2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
u_{19}	−67	−51	−66	−51	−42	RP_{10}
u_{20}	−66	−53	−66	−51	−43	RP_{10}

[0073]

[0074] 상술한 정의 2와 정의 3을 이용하여 모든 객체 쌍 간의 허용적 관계를 계산할 수 있다. 예를 들어, 두 객체 u_3 및 u_4에 대하여 이하와 같이 허용적 관계가 주어진다.

[0075]
$$R_A(u_3, u_4) = min\{R_1(u_3, u_4), R_2(u_3, u_4), R_3(u_3, u_4), R_4(u_3, u_4), R_5(u_3, u_4)\}$$
$$= min\{0.868,\ 0.725,\ 0.213,\ 1.0,\ 0.517\} = 0.213$$

[0076] 모든 객체들 쌍에 대해 계산하여 표 6과 같은 허용적 관계 행렬을 만들 수 있다.

표 6

[0077]

R_A	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7	u_8	u_9	u_{10}	u_{11}	u_{12}	u_{13}	u_{14}	u_{15}	u_{16}	u_{17}	u_{18}	u_{19}	u_{20}
u_1	1.0	0.274	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.034	0	0.034	0.174	0	0
u_2	0.274	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.174	0.449	0.275	0.449	0	0
u_3	0	0	1.0	0.213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.174	0	0	0	0	0
u_4	0	0	0.213	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u_5	0	0	0	0	1.0	0.174	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u_6	0	0	0	0	0.174	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u_7	0	0	0	0	0	0	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u_8	0	0	0	0	0	0	0	1.0	0	0	0.073	0.073	0	0	0	0	0	0	0	0
u_9	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	0.606	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u_{10}	0	0	0	0	0	0	0	0	0.606	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u_{11}	0	0	0	0	0	0	0	0.073	0	0	1.0	0.725	0	0	0	0	0	0	0	0
u_{12}	0	0	0	0	0	0	0	0.073	0	0	0.725	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0
u_{13}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	0	0	0	0	0	0	0
u_{14}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	0	0	0	0	0	0
u_{15}	0.034	0.174	0.174	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	0.516	0.174	0	0	0
u_{16}	0	0.449	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.516	1.0	0.274	0	0	0
u_{17}	0.034	0.275	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.174	0.274	1.0	0.449	0	0
u_{18}	0.174	0.449	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.449	1.0	0	0
u_{19}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	0.449
u_{20}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.449	1.0

[0078] 결정 테이블에 따르면, 이하와 같은 10개의 결정 클래스(기준 위치)가 주어진다.

[0079] $D_1 = \{u_1, u_2\}$ $D_2 = \{u_3, u_4\}$

[0080] $D_3 = \{u_5, u_6\}$ $D_4 = \{u_7, u_8\}$

[0081] $D_5 = \{u_9, u_{10}\}$ $D_6 = \{u_{11}, u_{12}\}$

[0082] $D_7 = \{u_{13}, u_{14}\}$ $D_8 = \{u_{15}, u_{16}\}$

[0083] $D_9 = \{u_{17}, u_{18}\}$ $D_{10} = \{u_{19}, u_{20}\}$

[0084] 그리고, 각 결정 클래스에 대하여 이하와 같이 하한 근사 집합 및 상한 근사 집합을 만들 수 있다(정의 4).

$$
\begin{aligned}
&(D_1)_A = \phi; && (D_1)^A = \{u_1, u_2, u_{15}, u_{16}, u_{17}, u_{18}\}.\\
&(D_2)_A = \{u_4\}; && (D_2)^A = \{u_3, u_4, u_{15}\}.\\
&(D_3)_A = \{u_5, u_6\}; && (D_3)^A = \{u_5, u_6\}.\\
&(D_4)_A = \{u_7\}; && (D_4)^A = \{u_7, u_8, u_{11}, u_{12}\}.\\
&(D_5)_A = \{u_9, u_{10}\}; && (D_5)^A = \{u_9, u_{10}\}.\\
&(D_6)_A = \phi; && (D_6)^A = \{u_8, u_{11}, u_{12}\}.\\
&(D_7)_A = \{u_{13}, u_{14}\}; && (D_7)^A = \{u_{13}, u_{14}\}.\\
&(D_8)_A = \phi; && (D_8)^A = \{u_1, u_2, u_3, u_{15}, u_{16}, u_{17}\}.\\
&(D_9)_A = \phi; && (D_9)^A = \{u_1, u_2, u_{15}, u_{16}, u_{17}, u_{18}\}.\\
&(D_{10})_A = \{u_{19}, u_{20}\}; && (D_{10})^A = \{u_{19}, u_{20}\}.
\end{aligned}
$$

[0085]

[0086] $(D_1)_A$ 및 $(D_1)^A$에 속하는 객체 u에 대한 소속 정도는 정의 5에 따라 이하와 같이 산출된다.

$$
\begin{aligned}
\mu_{(D_1)_A}(u_1) &= \min_{v \in R_A(u_1)} (max(1 - R_A(u_1, v), \hat{v}))\\
&= min(max(1 - R_A(u_1, u_1), 1), max(1 - R_A(u_1, u_2), 1),\\
&\quad max(1 - R_A(u_1, u_{15}), 0); max(1 - R_A(u_1, u_{17}), 0), max(1 - R_A(u_1, u_{18}), 0))\\
&= min(1.0, 1.0, 0.966, 0.966, 0.826) = 0.826\\
\mu_{(D_1)^A}(u_1) &= \max_{v \in R_A(u_1)} (min(R_A(u_1, v), \hat{v}))\\
&= max(min(R_A(u_1, u_1), 1), min(R_A(u_1, u_2), 1), min(R_A(u_1, u_{15}), 0),\\
&\quad min(R_A(u_1, u_{17}), 0), min(R_A(u_1, u_{18}), 0))\\
&= max(1.0, 0.274, 0.0, 0.0, 0.0) = 1.0.
\end{aligned}
$$

[0087]

[0088] 각 객체에 대하여 산출된 소속 정도는 정의 6에 의해 이하 표 7과 같이 계산된다.

표 7

[0089]

U	$\mu_{(D_1)_A}$	$\mu_{(D_1)_A^C}$	$\mu_{(D_2)_A}$	$\mu_{(D_2)_A^C}$	$\mu_{(D_3)_A}$	$\mu_{(D_3)_A^C}$	$\mu_{(D_4)_A}$	$\mu_{(D_4)_A^C}$	$\mu_{(D_5)_A}$	$\mu_{(D_5)_A^C}$	$\mu_{(D_6)_A}$	$\mu_{(D_6)_A^C}$	$\mu_{(D_7)_A}$	$\mu_{(D_7)_A^C}$	$\mu_{(D_8)_A}$	$\mu_{(D_8)_A^C}$	$\mu_{(D_9)_A}$	$\mu_{(D_9)_A^C}$	$\mu_{(D_{10})_A}$	$\mu_{(D_{10})_A^C}$
u_1	0.826	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.034	0	0.174	0	0
u_2	0.551	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.449	0	0.449	0	0
u_3	0	0	0.826	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.174	0	0	0	0
u_4	0	0	1.0	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u_5	0	0	0	0	1.0	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u_6	0	0	0	0	1.0	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u_7	0	0	0	0	0	0	1.0	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u_8	0	0	0	0	0	0	0.927	1.0	0	0	0	0.073	0	0	0	0	0	0	0	0
u_9	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0
u_{10}	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0
u_{11}	0	0	0	0	0	0	0	0.073	0	0	0.927	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0
u_{12}	0	0	0	0	0	0	0	0.073	0	0	0.927	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0
u_{13}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	1.0	0	0	0	0	0	0
u_{14}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	1.0	0	0	0	0	0	0
u_{15}	0	0.174	0	0.174	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.826	1.0	0	0.174	0	0
u_{16}	0	0.449	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.551	1.0	0	0.274	0	0
u_{17}	0	0.275	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.274	0.725	1.0	0	0
u_{18}	0	0.449	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.551	1.0	0	0
u_{19}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	1.0
u_{20}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	1.0

[0090] 다음으로 결정 규칙 데이터베이스를 형성하기 위해, 결정 규칙의 신뢰성 지수가 정의 6에 의해 이하와 같이 산출될 수 있다.

[0091]
$$\begin{aligned}\mu_A(\rho_1) &= \min_{u\in R_A(u_1)}\left(\max\left(1-R_A(u_1,\,u),\mu_{D_A}(u)\right)\right)\\ &= \min\Big(\max\left(1-R_A(u_1,u_1),\mu_{(D_1)_A}(u_1)\right),\ \max\left(1-R_A(u_1,u_2),\ \mu_{(D_1)_A}(u_2)\right),\\ &\quad \max\left(1-R_A(u_1,u_{15}),\ \mu_{(D_8)_A}(u_{15})\right),\ \max\left(1-R_A(u_1,u_{17}),\ \mu_{(D_9)_A}(u_{17})\right),\\ &\quad \max\left(1-R_A(u_1,u_{18}),\ \mu_{(D_9)_A}(u_{18})\right)\Big)\\ &= \min(0.826,\ 0.726,\ 0.966,\ 0.966,\ 0.826) = 0.726.\end{aligned}$$

[0092] 또한, 정의 7에 따라 규칙 ρ_1에 대해 허용적 관계 값이 0보다 큰 객체들을 찾아 지원 객체 집합을 구할 수 있다.

[0093]
$$S_A(\rho_1) = R_A(u_1) = \{u_1, u_2, u_{15}, u_{17}, u_{18}\}$$

[0094] 결과적으로, 이하 표 8과 같이 지문 결정 규칙 데이터베이스가 구축되어 전자 장치(100)에 저장된다.

표 8

[0095]

Decision Rule	RSS_1 (dBm)	RSS_2 (dBm)	RSS_3 (dBm)	RSS_4 (dBm)	RSS_5 (dBm)	d	Credibility Degree ($\mu_A(\rho_i)$)	Support Object Set ($S_A(\rho_i)$)
ρ_1	−57	−48	−64	−45	−52	RP_1	0.726	$\{u_1, u_2, u_{15}, u_{17}, u_{18}\}$
ρ_2	−58	−49	−63	−48	−53	RP_1	0.551	$\{u_1, u_2, u_{15}, u_{16}, u_{17}, u_{18}\}$
ρ_3	−57	−43	−65	−51	−53	RP_2	0.826	$\{u_3, u_4, u_{15}\}$
ρ_4	−58	−42	−67	−51	−55	RP_2	0.826	$\{u_3, u_4\}$
ρ_5	−55	−54	−63	−52	−57	RP_3	1.0	$\{u_5, u_6\}$
ρ_6	−56	−51	−62	−52	−58	RP_3	1.0	$\{u_5, u_6\}$
ρ_7	−40	−50	−57	−52	−53	RP_4	1.0	$\{u_7\}$
ρ_8	−43	−51	−61	−53	−53	RP_4	0.927	$\{u_8, u_{11}, u_{12}\}$
ρ_9	−41	−53	−62	−39	−50	RP_5	1.0	$\{u_9, u_{10}\}$
ρ_{10}	−42	−53	−63	−39	−49	RP_5	1.0	$\{u_9, u_{10}\}$
ρ_{11}	−50	−49	−61	−53	−50	RP_6	0.927	$\{u_8, u_{11}, u_{12}\}$
ρ_{12}	−50	−50	−61	−53	−51	RP_6	0.927	$\{u_8, u_{11}, u_{12}\}$
ρ_{13}	−50	−56	−65	−45	−48	RP_7	1.0	$\{u_{13}\}$
ρ_{14}	−51	−56	−69	−46	−49	RP_7	1.0	$\{u_{14}\}$
ρ_{15}	−57	−46	−65	−48	−56	RP_8	0.551	$\{u_1, u_2, u_3, u_{15}, u_{16}, u_{17}\}$
ρ_{16}	−58	−47	−64	−50	−55	RP_8	0.551	$\{u_2, u_{15}, u_{16}, u_{17}\}$
ρ_{17}	−59	−49	−63	−47	−56	RP_9	0.551	$\{u_1, u_2, u_{15}, u_{16}, u_{17}, u_{18}\}$
ρ_{18}	−60	−51	−64	−47	−54	RP_9	0.551	$\{u_1, u_2, u_{17}, u_{18}\}$
ρ_{19}	−67	−51	−66	−51	−42	RP_{10}	1.0	$\{u_{19}, u_{20}\}$
ρ_{20}	−66	−53	−66	−51	−43	RP_{10}	1.0	$\{u_{19}, u_{20}\}$

[0097] 이렇게 오프라인 단계에서 결정 규칙 데이터베이스를 생성한 후에는 실제 사용자 단말기의 위치를 식별하는 온라인 단계를 시행할 수 있다.

[0098] 온라인 단계에서, 알려지지 않은 위치에서 측정되어 수신된 RSS 값 $\theta = (\theta_1, \theta_2, \ldots, \theta_n)$ 에 기초하여, 전자 장치(100)는 사용자 단말기의 위치를 이하 알고리즘 2에 의해 획득한다. 알고리즘 2는 러프집합 이론의 추론 방법을 이용하여 전체 RP 중에서 최적의 RP 후보를 사용자의 위치로 선택한다.

Algorithm 2: The Advanced Positioning Algorithm Based on the Proposed VTRS–DR Method

Input: Set of measured RSS values, θ, fingerprinting decision rules database.
Output: Position of the user.
Step 1. Calculate the valued tolerance relation between θ to conditions of rule ρ_i: $R_A(\theta, \rho_i)$, $i = 1, 2, \ldots, m$ (i.e., $R_A(\theta, \rho_i) = \min_{RSS_j \in A}\left(R_j(\theta, \rho_i)\right)$, as in Equation (2)).
Step 2. Determine the smallest value $\mu_{\rho_i}(\theta)$ between the valued tolerance relation $R_A(\theta, \rho_i)$ and the credibility degree of rule ρ_i: $\mu_{\rho_i}(\theta) = min(R_A(\theta, \rho_i), \mu_A(\rho_i))$, $i = 1, 2, \ldots, m$.
Step 3. Calculate the credibility degree of θ to each decision class D_l (i.e., one RP), $l = 1, 2, \ldots, N$: $\mu_{D_l}(\theta) = \max_{\rho_i \in R(D_l)}(\mu_{\rho_i}(\theta))$, where $R(D_l)$ is the set of all decision rules that belongs to D_l and having $\mu_{\rho_i}(\theta) > 0$, $i = 1, 2, \ldots, m$.
Step 4. Choose the class D_l that maximizes the credibility degree $\mu_{D_l}(\theta)$. If $\exists! D_l : \mu_{D_l}(\theta)$ is at the maximum, then choose this D_l as the user's position.
Step 5. If the same maximum credibility degrees exist on different L ($L < N$) decision classes, $\{D_{l_1}, D_{l_2}, \ldots, D_{l_L}\}$, then calculate the relative supports of rules in $\{D_{l_1}, D_{l_2}, \ldots, D_{l_L}\}$, as denoted by $Supp(\rho_i)$. Note that $Supp(\rho_i)$ is a ratio of the number of the support object set $S_A(\rho_i)$ to the total number of the set of all objects in any decision class which has the rule ρ_i.
Step 6. Calculate the aggregated support of θ as $Supp_{D_{l_p}}(\theta) = \max_{\rho_i \in R(D_{l_p})}(Supp(\rho_i))$, $p = 1, 2, \ldots, L$.
Step 7. Choose the D_{l_p} that maximizes the aggregated support $Supp_{D_{l_p}}(\theta)$. If $\exists! D_{l_p} : Supp_{D_{l_p}}(\theta)$ is at the maximum, then choose this D_{l_p} as the user's position.
Step 8. If the same maximum aggregated support values, $Supp_{D_{l_p}}(\theta)$, exist on many decision classes, then use the Euclidean distance to choose the decision class D_{l_p} which has the minimum distance between the set of measured RSS values θ and the mean of RSS values of that decision class; then choose that class (i.e., one RP) as the user's position.

[0099]

[0100] 이하에서 상기한 구체적인 예를 이용하여 온라인 단계의 구체적 방법을 설명한다. 예를 들어, 현재 사용자 단말

기가 위치 RP_1에 있고, 측정한 지문이 Θ = (-56, -48, -62, -46, -51)(dBM)이라고 가정하낟. 각각의 값은 5개 개별 AP로부터 수집된 RSS 값이다.

[0101] 이때, 상술한 알고리즘 2에 따라 전자 장치(100) 상에서 이하 과정이 수행된다.

[0102] Step 1 : 앞서 획득된 결정 규칙(ρ_i) 각각의 속성 값에 대한 Θ의 허용적 관계를 산출한다. 이때, 허용적 관계는 ρ_1, ρ_2, ρ_{16}, ρ_{18}의 4개의 결정 규칙에 대해서만 0보다 크다. $R_A(\Theta, \rho_1) = 0.213$, $R_A(\Theta, \rho_2) = 0.516$, $R_A(\Theta, \rho_{16}) = 0.032$, $R_A(\Theta, \rho_{18}) = 0.174$

[0103] Step 2 : 결정 규칙 ρ_i에 대한 허용적 관계 $R_A(\Theta, \rho_i)$ 및 신뢰 정도 $\mu_A(\rho_i)$ 중 최소 값($\mu_{\rho i}(\Theta)$)은 ρ_1, ρ_2, ρ_{16}, ρ_{18}의 4개의 결정 규칙에 대해서만 0보다 크며, 이하와 같다.

[0104] $\mu_{\rho 1}(\Theta) = \min(0.213, 0.726) = 0.213$

[0105] $\mu_{\rho 2}(\Theta) = \min(0.516, 0.551) = 0.516$

[0106] $\mu_{\rho 16}(\Theta) = \min(0.032, 0.551) = 0.032$

[0107] $\mu_{\rho 18}(\Theta) = \min(0.174, 0.551) = 0.174$

[0108] Step 3 : 신뢰 정도 $\mu_{D_l}(\theta) = \max_{\rho_i \in R(D_l)} (\mu_{\rho_i}(\theta))$ 는 D1, D8, D9를 포함하는 세 개의 결정 클래스들에 대해서만 0보다 크다.

[0109] $$\mu_{D_1}(\theta) = \max_{\rho_i \in R(D_1)} (\mu_{\rho_i}(\theta)) = max(\mu_{\rho_1}(\theta), \mu_{\rho_2}(\theta)) = max(0.213, 0.516) = 0.516$$

[0110] $$\mu_{D_8}(\theta) = 0.032$$

[0111] $$\mu_{D_9}(\theta) = 0.174$$

[0112] Step 4 : $\exists! D_1 : \mu_{D_1}(\theta) = 0.516$ 이 최대 값이기 때문에, 현재 수집된 집합 Θ는 결정 클래스 D_1에 속하므로, 알고리즘 2는 현재 위치를 RP_1(정확하게 분류된 포지션)로 출력한다. 따라서 위치 오류는 0m에 해당한다.

[0114] 이하 내용을 통해서는, 본 개시에 따라 제안하는 방법의 효율성과 정확성을 검증하기 위해 수행된 실험 내용 및 결과를 설명한다.

[0115] 본 실험에서는, 대상 영역의 면적은 9.0 × 6.5 m^2이다. 5개의 AP를 서로 다른 위치에 설치하였고 각각은 도 2에서와 같이 지상에서 1.1m ~ 1.6m로 고정하였다. 스마트폰은 스캔한 RSS 값을 서버(예를 들어, 노트북)로 전송하는 클라이언트의 역할에 해당한다. 서버는 RSS 값을 저장한다. 도 3은 2차원 좌표에서 AP와 RP의 위치를 보여준다. 여기서, 방에는 205개의 RP가 존재하고 두 개의 인접한 RP 사이의 간격은 0.5m이다.

[0116] 오프라인 단계에서 대상자는 자신의 몸 앞에 스마트폰을 들고 지정된 각 RP에 서서 5개의 RSS 값을 수집한다. 각 RP에 대해 대상자는 RSS 값을 서로 다른 방향으로 100번 스캔하여 값을 수집했다. 즉, 205개의 RP에 대해 20,500개의 샘플이 저장됐다. 다양한 환경 조건(예: 사람 및 전기 장치의 밀도, 사용자의 방향, 하루 중 기간 등) 아래에서 데이터 수집이 진행되었다. 온라인 단계의 성능 평가를 위한 데이터도 서로 다른 환경 조건(사람 수 및 전자 장치의 수 차이)으로 설정된 두 개의 시험 경우에서 수집되었다. 각각의 경우에 대상자는 각 RP에서 1개 샘플을 수집했다. 즉, 경우 별로 205개 샘플씩 2가지 경우 410개 샘플을 수집했다.

[0117] 앞서 언급한 20,500개의 샘플(즉, 20,500행)에 해당하는 20,500개의 객체와 5개의 AP(즉, 5개의 열)에 해당하는 5개의 조건부 속성, 각 클래스(즉, 각 RP)에 대해 100개의 규칙이 있으며, 이는 각 RP에 대해 100개의 수집된 지문(즉, RSS 값 집합)이 있음을 의미한다. 실험에서 사용된 조건부 속성(각 AP)에 대한 식별 임계값들 k는 표 9에 나와 있다. 이 값들은 시행 착오 방법으로 결정되었다.

표 9

[0118]

Attribute	RSS_1	RSS_2	RSS_3	RSS_4	RSS_5
k_j	1.97	1.98	1.96	1.95	1.99

[0119] 제안한 방법의 성능을 평가하기 위해 최근접이웃 (NN;Nearest Neighborhood) 방법(즉, 1-NN 및 WKNN(Weighted K-NN, K=3)) 및 무작위 통계(RS;Random Statistics) 방법(Radaelli, L. et al.)과 비교하였다. NN 방법은 원본 지문 데이터베이스를 사용하고 RS 방법은 표준화된 지문 데이터베이스를 사용한다. 한편, 본 개시에 따라 제안하는 방법은, 온라인 단계에서 측정된 RSS 값을, 오프라인 단계에서 생성된 지문 결정 규칙 데이터베이스와 상기한 알고리즘2를 이용하여 205개 RP 중 하나를 선택하였다.

[0120] 도 4와 도 5는 2가지 실험 경우에 대한 네 가지 방법의 위치 오류 결과를 보여준다.

[0121] 도 4에서 알 수 있듯이 VTRS-DR 방식이 사전에 정의된 RP들 중 정확한 사용자의 위치(즉, 사용자가 서 있던 RP와 동일한 위치)를 대부분 알아낼 수 있어 가장 좋은 결과를 내는 것을 알 수 있고, 이는 오류 없음(0 m)을 의미한다. 도 4에서 본 개시의 제안 방법이 잘못된 결과를 얻은 위치는 4개(15, 44, 86, 162번째 위치)에 불과한 반면, 1-NN 및 RS 방법은 93, 113개의 잘못된 결과를 얻었다. 4개의 잘못된 추정 위치에 해당하는 위치 오차는 각각 1m, 3.35m, 1.80m 및 0.71m이다. 평균 포지셔닝 오차를 비교하면 1-NN, WKNN, RS 방법은 각각 1-NN의 경우 1.13m, WKNN의 경우 1.17m, RS의 경우 0.94m인 약 1m의 오차를 나타냈다. 반면, 본 개시에서 제안하는 방법의 평균 오차는 0.033m로 다른 방법보다 월등히 우수하다. 오류 위치에 대한 더 깊은 통계적 비교는 표 10에 나와있다. 결과적으로, Case 1의 데이터셋에 대해 본 개시의 VTRS-DR 방법이 다른 방법보다 분류 정확도를 53.17%, 43.42% 향상시켜 다른 방법보다 우월함을 보여준다.

표 10

[0122]

	1-NN	WKNN	RS	VTRS-DR
No. of Errors	113	205	93	**4**
Max (m)	8.02	7.03	6.73	**3.35**
Min (m)	0.50	**0.05**	0.50	0.71
Mean (m)	2.05	**1.17**	2.06	1.71
Stdev (m)	1.69	1.15	1.52	**1.03**

[0123] 도 5는 Case 2의 환경(작업자 수와 전자 장치가 더 많음) 조건에서의 결과를 보여준다.

[0124] 전반적으로, 테스트 조건이 더 복잡하더라도 본 개시의 제안 방법은 다른 방법에 비해 4개의 오류(46번째, 62번째, 86번째 및 99번째 위치)로 매우 적은 수의 잘못된 추정 위치를 유지하므로 여전히 다른 방법인 1-NN(116) 및 RS(108) 방법보다 우수했으며, 상대적으로 분류 오류를 각각 54.64% 및 50.73% 줄였다. 4개의 잘못된 추정 위치에 해당하는 위치 오차는 각각 1.58m, 3.16m, 1.80m 및 1.41m이다. 본 개시에서 제안하는 방법의 평균 측위 오차는 0.039m로 가장 우수하고 나머지는 1.2m 내외이다. 표 11은 오류 위치에서 Case 2의 네 가지 방법에 대한 추가 통계 분석을 보여준다.

표 11

[0125]

	1-NN	WKNN	RS	VTRS-DR
No. of Errors	116	205	108	**4**
Max (m)	7.65	7.00	7.02	**3.16**
Min (m)	0.50	**0.001**	0.50	1.41
Mean (m)	2.10	**1.26**	2.21	1.99
Stdev (m)	1.67	1.20	1.62	**0.69**

[0126] 또한, 두 가지 테스트 케이스에 대한 누적 위치 오차 분포는 도 6과 같다. Case 1(a)의 경우 60번째 백분위수에서 본 개시의 제안 방법의 위치 오차는 0m이고, 90번째 백분위수에서 오차는 여전히 0m이며, 0m 오차는 98번째 백분위수까지 계속된다. 동일한 백분위수에서 NN, WKNN 및 RS 방법의 오차는 각각 60번째 백분위수에서 0.68m, 0.48m 및 0.93m이고 90번째 백분위수에서 각각 3.24m, 3.02m 및 2.61m이다. 이 결과에서 본 개시의 VTRS-DR 방법은 확실히 다른 방법에 비해 훨씬 더 나은 정확도를 달성함이 확인된다. Case 2(b)의 경우 역시, 본 개시에서 제안한 방법의 오차가 다른 방법에 비해 같은 백분위수에서 훨씬 작게 된다. 본 개시의 제안 방법의 놀라운 결과에 대한 주된 이유는 많은 분류 수준(즉, 허용적 관계, 신뢰도, 지원 객체 집합 값 및 유클리드 거리 계산)을 사용하기 때문이다.

[0127] 구현된 네 가지 방법의 계산 비용은 MATLAB(R2019a)에서 각 방법의 실행 시간을 계산하여 분석했다. 본 실험에서, 인텔(R) 코어(TM) i7-8550U CPU @1.80GHz 프로세서, 8GB RAM 및 128GB SSD가 장착된 Dell Vostro 노트북을 사용했고, 운영 체제는 Microsoft Windows 10 Professional Edition(64비트)이다. 오프라인 단계에서 지문 결정 규칙 데이터베이스를 생성하는 데 드는 계산 시간은 약 96.62분이며, 허용적 관계 행렬을 생성하는 데 걸리는 시간은 전체 실행 시간의 89.34%를 차지한다. 또한 도 7은 온라인 단계에서 사용자의 위치를 분류하기 위해 Case 1에서 205 RP에 대한 4가지 알고리즘의 실행 시간을 보여준다. 그림은 1-NN이 약 0.0002초로 가장 작은 시간이 드는 반면 VTRS-DR 방법은 약 0.12초로 가장 큰 평균 시간을 필요로 하는 것으로 나타났다. 동시에 WKNN 및 RS 방법은 각각 0.0077 및 0.0155초의 평균 값이 확인되었다. 위의 두 단계에 걸친 비용으로부터 본 개시에서 제안하는 방법이 지문 결정 규칙 데이터베이스, 특히 허용적 관계 매트릭스를 구축하는 데 많은 시간이 소요되는 것을 쉽게 알 수 있지만, 온라인 단계에서 사용자의 위치를 측정하는 과정에서는 많은 시간을 필요로 하지 않는다. 이는 본 개시에서 제안된 방법이 실시간 시나리오에서 사용될 수 있음을 의미하며, 데이터베이스 생성은 서버에서 쉽게 수행될 수 있다.

[0128] 한편, 이상에서 설명된 다양한 실시 예들은 서로 저촉되거나 모순되지 않는 한 두 개 이상의 실시 예가 서로 결합되어 구현될 수 있다.

[0129] 한편, 이상에서 설명된 다양한 실시 예들은 소프트웨어(software), 하드웨어(hardware) 또는 이들의 조합된 것을 이용하여 컴퓨터(computer) 또는 이와 유사한 장치로 읽을 수 있는 기록 매체 내에서 구현될 수 있다.

[0130] 하드웨어적인 구현에 의하면, 본 개시에서 설명되는 실시 예들은 ASICs(Application Specific Integrated Circuits), DSPs(digital signal processors), DSPDs(digital signal processing devices), PLDs(programmable logic devices), FPGAs(field programmable gate arrays), 프로세서(processors), 제어기(controllers), 마이크로 컨트롤러(micro-controllers), 마이크로 프로세서(microprocessors), 기타 기능 수행을 위한 전기적인 유닛(unit) 중 적어도 하나를 이용하여 구현될 수 있다.

[0131] 일부의 경우에 본 명세서에서 설명되는 실시 예들이 프로세서 자체로 구현될 수 있다. 소프트웨어적인 구현에 의하면, 본 명세서에서 설명되는 절차 및 기능과 같은 실시 예들은 별도의 소프트웨어 모듈들로 구현될 수 있다. 상술한 소프트웨어 모듈들 각각은 본 명세서에서 설명되는 하나 이상의 기능 및 작동을 수행할 수 있다.

[0132] 한편, 상술한 본 개시의 다양한 실시 예들에 따른 전자 장치에서의 처리동작을 수행하기 위한 컴퓨터 명령어(computer instructions) 또는 컴퓨터 프로그램은 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체(non-transitory computer-readable medium)에 저장될 수 있다. 이러한 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체에 저장된 컴퓨터 명령어 또는 컴퓨터 프로그램은 특정 기기의 프로세서에 의해 실행되었을 때 상술한 다양한 실시 예에 따른 전자 장치에서의 처리 동작을 상술한 특정 기기가 수행하도록 한다.

[0133] 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체란 레지스터, 캐쉬, 메모리 등과 같이 짧은 순간 동안 데이터를 저장하는 매체가 아니라 반영구적으로 데이터를 저장하며, 기기에 의해 판독(reading)이 가능한 매체를 의미한다. 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체의 구체적인 예로는, CD, DVD, 하드 디스크, 블루레이 디스크, USB, 메모리카드, ROM 등이 있을 수 있다.

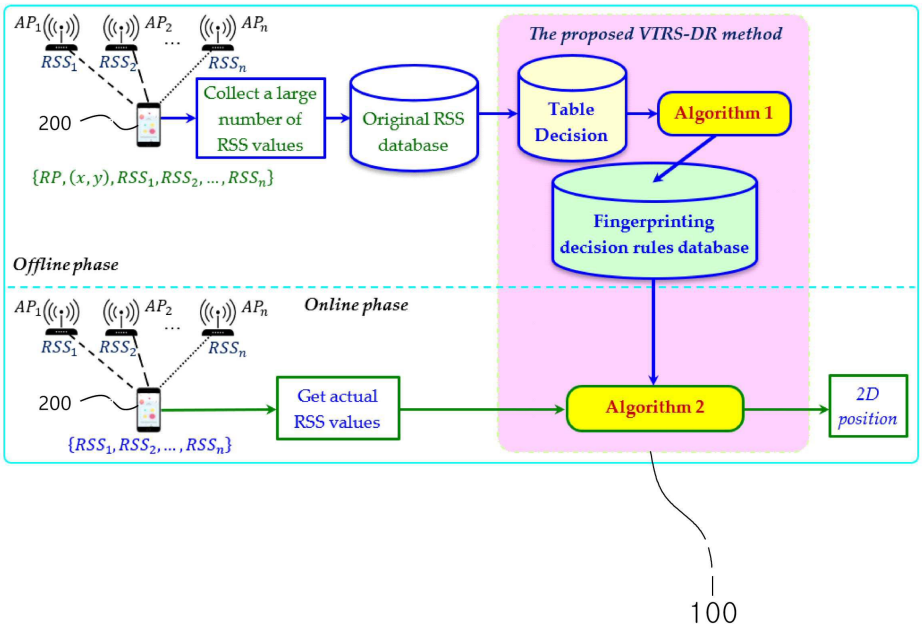
[0134] 이상에서는 본 개시의 바람직한 실시 예에 대하여 도시하고 설명하였지만, 본 개시는 상술한 특정의 실시 예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 개시의 요지를 벗어남이 없이 당해 개시에 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 다양한 변형실시가 가능한 것은 물론이고, 이러한 변형실시들은 본 개시의 기술적 사상이나 전망으로부터 개별적으로 이해되어서는 안될 것이다.

부호의 설명

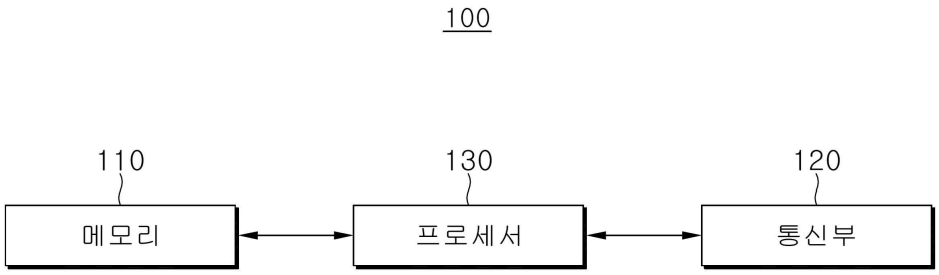
[0135] 100: 전자 장치 200: 사용자 단말

도면

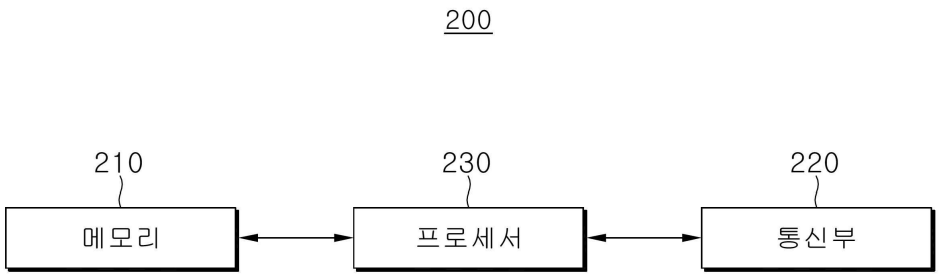
도면1a



도면1b



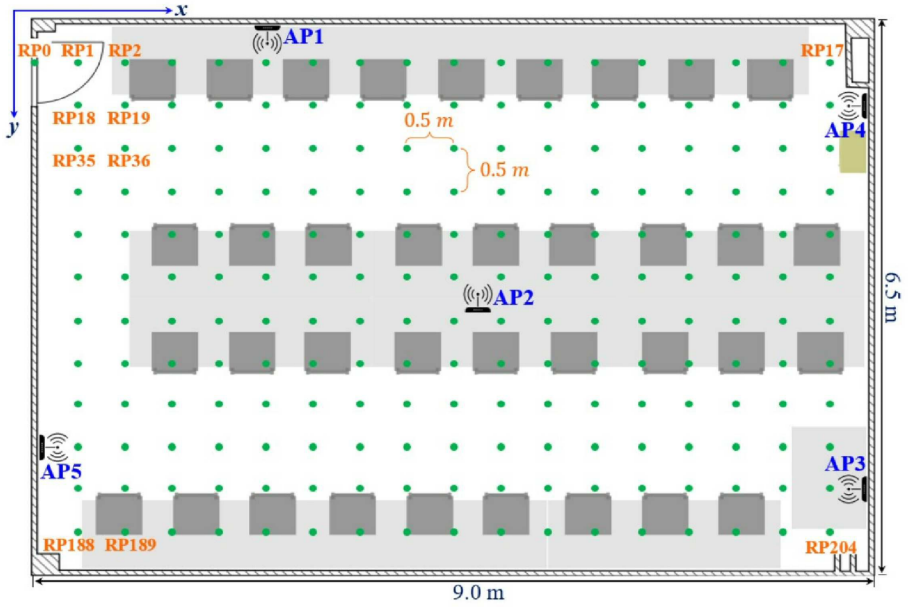
도면1c


200
210
230
220
메모리
프로세서
통신부

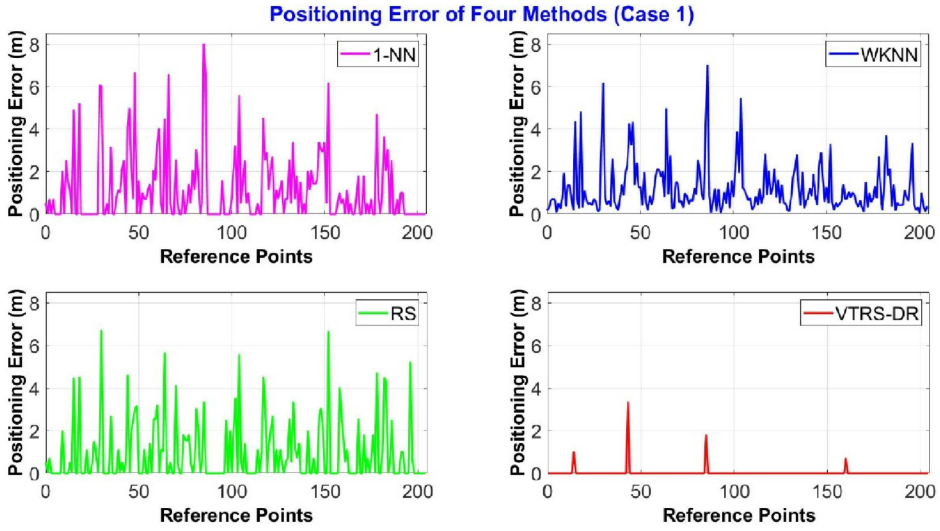
도면2


Wireless LAN: USB WiFi
Server
WiFi: AP1
WiFi: AP2
WiFi: AP3
WiFi: AP3
WiFi: AP4
WiFi: AP2
WiFi: AP5
Client: Android Smartphone

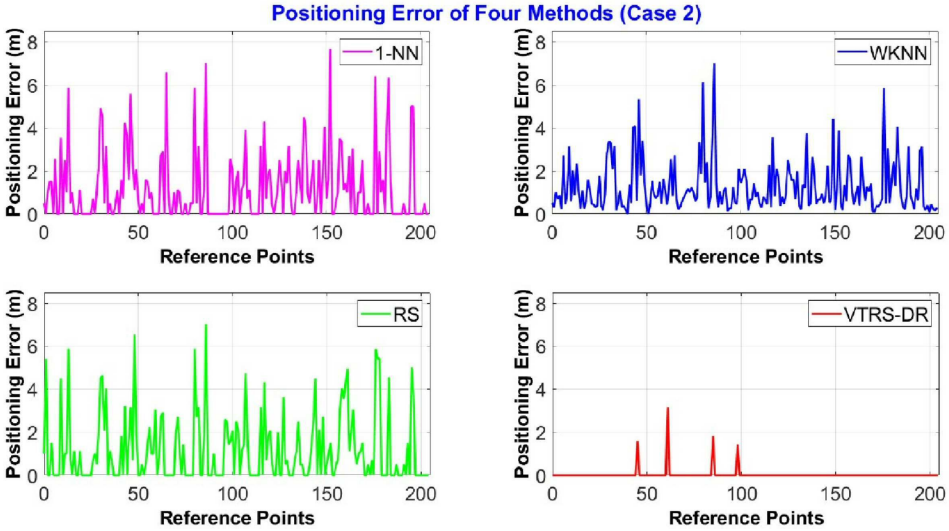
도면3


x
y
AP1
RP0 RP1 RP2
RP17
RP18 RP19
0.5 m
0.5 m
AP4
RP35 RP36
AP2
6.5 m
AP5
AP3
RP188 RP189
RP204
9.0 m

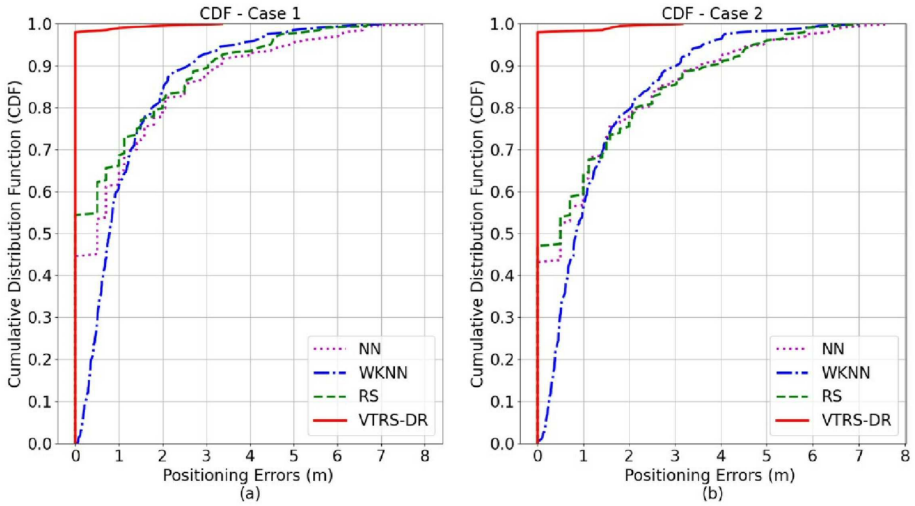
도면4


Positioning Error of Four Methods (Case 1)
1-NN
WKNN
RS
VTRS-DR
Positioning Error (m)
Reference Points

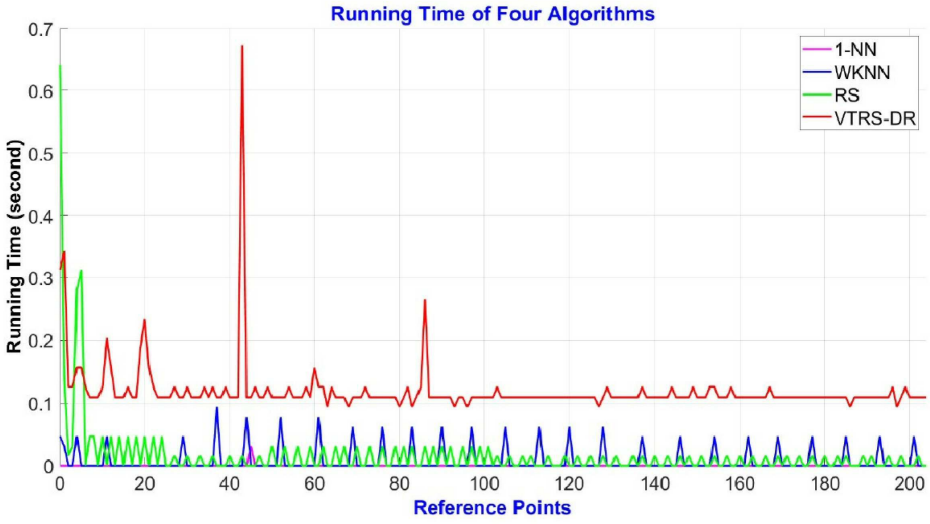
도면5


Positioning Error of Four Methods (Case 2)
1-NN
WKNN
RS
VTRS-DR
Positioning Error (m)
Reference Points

도면6


CDF - Case 1
CDF - Case 2
Cumulative Distribution Function (CDF)
Positioning Errors (m)
NN
WKNN
RS
VTRS-DR
(a)
(b)

도면7


Running Time of Four Algorithms
1-NN
WKNN
RS
VTRS-DR
Running Time (second)
Reference Points
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200