

RFID 센서를 이용한 실내 기호공간에서의 위치추적

Location Tracking in Indoor Symbolic Space with RFID Sensors

강 혜 영* 황 정 래** 이 기 준***
Hye Young Kang Jung Rae Hwang Ki Joune Li

요약 최근 실내 공간 내에서의 위치 정보를 이용한 공간정보 서비스가 실외공간에서 제공되는 서비스만큼 공간정보시스템의 중요한 응용분야로 자리 잡고 있다. 실외 공간과 달리, 실내 공간의 위치 정보는 좌표기반이 아닌, 방 번호와 같은 기호를 기반으로 표현된다. 따라서 실내공간에서 이동객체의 위치를 추적하기 위해서는 이동객체의 현재 위치를 이용하여 좌표정보를 예측하는 것이 아니라, 기호적 추론이 필요하다. 이에 본 논문에서는 RFID센서를 이용하여 이동객체의 위치를 항상 명시적으로 결정할 수 있는 추적가능 실내 기호공간을 위한 프레임워크를 제안한다. 우선, 실내기호공간과 실내기호공간에서의 위치추적에 대한 개념을 소개하고, 추적 가능한 실내 기호공간을 위한 접근성 그래프를 정의한다. 둘째로, RFID 리더기의 배치방법, 추적 가능한 실내기호공간을 위한 접근성 그래프 생성방법과 이를 이용한 위치 추적방법을 제시한다. 마지막으로, 제시한 방법의 유효성을 보이기 위하여 실험결과를 보인다.

키워드 : 위치추적, 실내 기호 공간, RFID 센서

Abstract Spatial information services in indoor space are an important application area of GIS as in outdoor space. Unlike in outdoor space, a position in indoor space is specified by a symbolic code such as room number, rather than coordinate. Therefore tracking in indoor space is no longer a prediction of coordinates but a symbolic estimation on the current position of a moving object. In this paper, we propose a framework for tracking moving objects in indoor symbolic space with RFID sensors. First, we introduce the concepts of indoor symbolic space and tracking in indoor symbolic space, and define the accessibility graph for trackable indoor symbolic space. Second, we propose a deployment method of RFID readers and a construction algorithm of accessibility graph for trackable indoor symbolic space. Third, a tracking method is proposed for moving objects in symbolic indoor space with RFID sensors. Finally, we present an implementation example and the result of experiment with real data to validate the proposed method.

Keywords : Tracking, Indoor Symbolic Space, RFID

1. 서론

최근 이동 컴퓨팅과 센서 기술의 발달에 따라, 실외뿐만 아니라 실내에서의 위치 정보 서비스에 대한 요구가 증가하고 있다. 특히 실내공간에서 이동하는 객체의 위치를 추적하는 것은 장애인과 노인을 위한 홈 케어, 화재와 같은 응급상황 등과 같은 다양

한 응용에 이용되는 중요한 컴포넌트이다. 실내공간에서의 위치 측위를 위하여 UWB(Ultra Wide Band), 신호세기를 이용하는 RSSI(Received Signal Strength Indicator)나 RTLS(Real Time Location System)를 이용하는 방법, 또는 여러 대의 카메라, 소리/진동 센서, RFID 태그 등을 이용하는 방법 등 다양한 방법들이 개발되고 있다. 이러한 기술들은

[†] 이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

* 부산대학교 컴퓨터공학과 박사수료, hyezzero@pnu.edu

** 한국건설기술연구원 수석 연구원, jrhwang@kict.go.kr

*** 부산대학교 컴퓨터공학과 교수, lik@pnu.edu(교신저자)

크게 2가지의 카테고리로 나눌 수 있는데 첫째, 좌표(x, y, z)를 얻는 기술과 둘째, 센서의 감지영역 내부에 존재하는지 여부를 통해 위치한 셀을 파악하는 기술이다.

그런데, 실내공간의 위치정보 응용 서비스는 대부분 좌표가 아닌, 단순한 셀 번호(예를 들어 방 번호)만 주어저도 서비스가 가능하다. 즉, 실제 실내 공간 응용에서는 유클리디안 공간상의 좌표보다는 기호를 이용하는 위치참조 체계가 더 유용하다. 이에 본 논문에서는 실내공간의 위치를 기호로 표현할 수 있는 실내 기호공간의 개념을 소개한다. 또한 RFID 기술을 이용하여 실내 기호공간에 속한 객체들의 위치를 추적하는 방법을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 관련연구와 연구 동기에 대하여 소개한다. 3장에서는 RFID 센서를 이용하는 실내 기호공간과 추적 가능한 실내 기호공간에 대하여 소개하고, RFID 센서를 이용하여 추적 가능한 실내 기호공간을 만드는 방법을 제안한다. 4장에서는 추적 가능한 실내 기호공간을 위한 위치 추적 방법을 제시하고, 5장에서는 실험결과를 보인다. 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

본 장에서는 이동객체의 위치 추적과 관련된 기존 연구들-실내 공간에서의 위치 측정기술과 실내 공간에서의 위치 추적 방법-을 살펴본다.

2.1 실내 공간에서의 위치 측정기술

실내 공간에 적합한 위치 측정기술은 실시간이 보장되어야 하며, 최소한 어떠한 공간에 있는지에 대한 정보를 제공할 수 있어야 한다[4]. 좌표로 위치를 표현하는 센서들 중에서, Wi-Fi(IEEE 802.11)은 실내공간에 가장 적합한 센서 중의 하나이다. Wi-Fi의 가장 큰 장점은 WLAN이외의 다른 추가적 장비를 필요로 하지 않는다는 것이다. 그러나, Wi-Fi는 실내 측위방법으로 사용하기에는 전력 소비와 정확도의 문제가 있다.

반면, RFID센서를 이용하여 위치를 측정하는 방법은 위치를 좌표로 표현하지 않고, 기호(Symbol)로 표현하는 방법으로 현재 실내 공간 위치측정에 많이 사용되고 있다[6]. 영상을 이용하여 위치를 인식하는

영상인식 기반의 실내위치 인식 시스템[13]은 이미 지 시퀀스 매칭방법과 마크 검출을 통해 위치를 추정하고, 사전에 정의한 위치 모델을 사용하여 최종 위치를 인식한다. 이러한 방법은 사용자가 카메라를 가지고 있어야만 가능한 방법이다. 또다른 방법으로는 RFID 센서를 이용하여 구성된 위치 인식 시스템은 [1, 5, 7, 10]등이 있다. 이러한 방법들은 RFID 리더 배치 방법에 따라 크게 2가지로 나뉜다. RFID 리더를 실내공간에 설치한 후, 이동 객체가 태그를 가지는 방법[2, 6, 9]와, 태그를 실내공간에 설치한 후, 이동객체가 리더를 가지는 방법[1]이 그것이다. RFID 태그의 가격이 RFID 리더의 가격에 비해 훨씬 저렴하므로, 대부분 리더를 설치한 후, 이동객체가 태그를 가지는 방법을 선호한다.

2.2 실내 공간에서의 위치 추적 방법

실내 공간 내에서의 위치 측위 방법은 실내 공간 전체를 대상으로 하기에는 시설 설비에 따른 부담이 크므로, 설비가 설치되지 않은 지역에 대하여 이동객체의 위치를 추정할 필요가 있다. 이를 위하여 Wi-Fi와 RFID등과 같은 다양한 센서를 이용하여 실내 공간에서 이동객체의 위치를 추적하기 위한 연구[1, 2, 3, 5, 6, 9, 12]가 진행되고 있다. Wi-Fi 기반의 위치 추적 방법 중에서 대표적인 방법으로는 [9]에서 제안한 WHAM!이 있다. WHAM!에서는 사용자의 위치를 계속해서 위치 측정 시스템이 모니터링 하고 있다가, 사용자로부터 요구가 있을 때, 사용자의 실제 위치를 Wi-Fi 지역화 방법을 이용하여 추정하고 있다.

RFID를 이용한 위치 추적으로는 [5]에서 제안한 RFID 배치 그래프를 이용하는 방법이 있다. 입력으로 주어진 실내 공간에 대한 접근성 그래프와 RFID 배치 정보를 이용하여 RFID 배치 그래프를 구성한다. 이렇게 구성한 RFID 배치 그래프와 기호공간의 셀에 의해 주어지는 이동객체의 현재위치를 이용하여 이동객체의 위치를 추정한다. 또한, [5]에서는 온라인 추적방법과 오프라인 추적방법을 각각 제안하였다. 그러나, [5]에서는 이동객체의 이동 방향을 예측하여 위치를 추정하는 것은 불가능하며, 또한 RFID 리더의 배치에 대한 방법론은 제시하지 않는다.

[1]에서는 수동 RFID 태그를 규칙적으로 배치하여 Active환경을 구성하고 이동 에이전트에서는 이

동 RFID 리더로부터 위치를 추정하는 방법을 제공한다. 이 방법은 이동객체가 등속도의 선형 이동을 한다고 가정하고 있으며, RFID 태그를 배치하여 얻어지는 위치를 사각형 등과 같은 전형적인 기하객체로 표현하였다. 그러나, 실제로 RFID의 감지반경은 전형적인 기하객체로 표현되기 어렵다. 이것은 [1]에서 제시한 방법이 장애물이 없는 실외공간에서는 적합할 수 있으나, 실내 공간에서는 부정확한 결과를 가지고 올 수 있음을 의미한다. 그 외에 센서 네트워크 환경에서 이동객체의 이동정보를 시그니처로 구성하여 이동객체의 위치를 추적하는 방법으로 sigMO-TRK[12]도 제안되었다.

본 논문에서는 한 쌍의 RFID 리더를 문과 같이 의미있는 공간에 설치하여, 이동객체의 이동 방향을 추정하고, 이를 이용하여 이동객체의 위치를 추정할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

3. 추적 가능한 실내 기호공간

본 장에서는 추적 가능한 실내 기호공간에 대한 기본 개념과 구성 방법에 대해서 설명한다.

3.1 실내 기호공간의 기본 개념

RFID 센서를 이용하여 실내 기호공간을 정의하기 위하여, 실내 기호공간을 구성하는 셀의 종류를 [8]에서와 같이 2가지 종류로 구분하였다. 이는 실내 기호 공간을 구성하는 셀을 센서인 RFID의 감지반경 영역을 이용하여 정의한 것이다. 그림 1과 같이 적어도 하나의 RFID 리더에 의해 RFID 태그가 감지되는 영역을 화이트 셀이라고 하고, RFID 태그가 감지되지 않는 영역을 블랙 셀이라 한다.

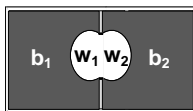


그림 1. 화이트 셀과 블랙 셀

실내 기호 공간을 구성하는 셀은 센서의 감지 반경 영역이외에 건축 구조물에 의해서 정의되는 공간 (예를 들면, 방, 계단, 복도 등)에 따라 정의할 수도 있다. 이와 같이 건축 구조물에 의해 정의되는 셀을 피쳐셀이라고 한다.

각각의 피쳐셀은 블랙 셀과 화이트 셀의 합집합으

로 구성되어 있다. 이와 같이 구성된 실내 기호 공간이 주어질 때, 이동객체의 위치는 화이트 셀과 블랙 셀 간의 연결성에 의해 결정될 수 있다. 예를 들어, 그림 2와 같이 이동객체 m 이 b_1 에서 b_2 로 이동하였을 경우, 이동객체의 위치가 보고되는 순서는 $w_1 \rightarrow w_2$ 이다. 이와 같은 이동객체의 위치 보고의 순서를 통해, 이동객체 m 이 w_2 에서 사라진 이후에 b_2 에 존재함을 알 수 있다.

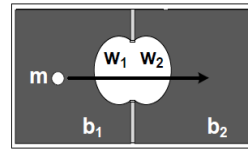


그림 2. RFID리더를 이용한 이동객체 위치 추적[8]

그림 3은 임의의 주어진 공간에 RFID 리더기를 배치하여 구성된 실내 기호공간의 한 예이다. 이와 같이 화이트 셀과 블랙 셀로 실내 공간을 표현하면, 각 셀 사이의 접근성을 정의할 수 있다[3]. 즉, b_1 과 b_3 은 연결되어 있지 않은 반면 b_1 과 w_1 은 연결되어 있다. 이를 통하여, 접근성 그래프를 그리면 그림 4와 같다. 여기에서 블랙 노드는 블랙 셀을, 화이트 노드는 화이트 셀을 각각 의미한다.

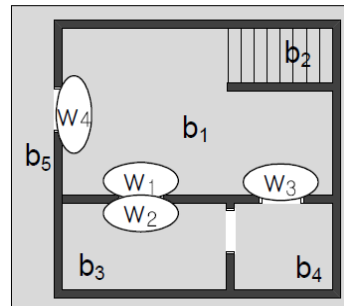


그림 3. 실내 기호공간의 예

3.2 추적 가능한 실내 기호공간

실내 기호공간의 접근성 그래프를 이용하면 아래 그림 2와 같이 직관적으로 추적방법을 만들 수 있다. 만일, $t_1 < t_2 < t_3$ 의 시간에 대하여, 이동객체 m 이 t_1 에 w_1 에서 감지되었으나, t_2 에 어떠한 리더에도 감지되지 않는다면 이동객체 m 은 b_1 에 있음을 직관적으로 알 수 있다. 이와 같이, 특정한 경우에는 이동객체의 위치를 항상 결정하여 추정할 수 있다. 하지만,

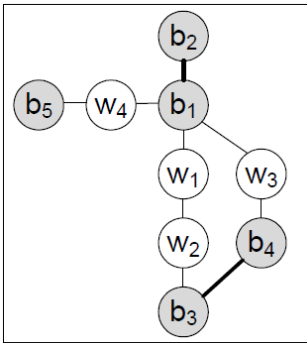


그림 4. 그림 3에 대한 접근성 그래프

$t_3 < t_4 < t_5$ 의 시간에 대하여, 이동객체 m 이 t_3 에서 감지되지 않고, t_4 에서도 감지되지 않았다면, t_5 일 때 이동객체의 위치를 결정 하는 것은 불가능 하다. 이와 같은 관찰을 바탕으로, 본 논문에서는 추적 가능한 실내 기호공간(TISS:Trackable Indoor Symbolic Space)를 다음과 같이 정의한다.

정의 1. 추적 가능한 실내 기호공간(TISS)

시간 $t-1$ 에서의 이동객체 m 의 위치를 알 때, 현재 시간 t 에서의 이동객체 m 의 위치를 항상 명시적으로 결정할 수 있다면, 그 공간은 추적 가능한 실내 기호공간이다.

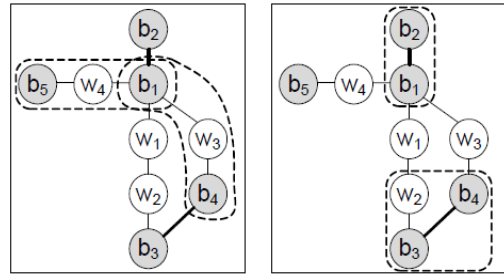
이동객체의 위치를 항상 명시적으로 결정할 수 있는 추적 가능한 실내 기호공간이 되기 위한 충분조건은 접근성 그래프를 통해 살펴보면, 다음과 같다.

[추적 가능한 실내 기호 공간을 위한 충분조건]

조건 1 : 화이트 셀은 최대 1개의 블랙 셀을 이웃으로 가진다.

조건 2 : 블랙 셀의 모든 이웃은 반드시 화이트 셀이다.

앞서 주어진 그림 3의 실내 공간의 경우, 본 논문에서 제시한 2가지 충분조건을 만족하지 못한다. 예를 들어, t_1 일 때 이동객체 m 의 위치가 w_3 이고, t_2 일 때 객체가 감지되지 않았다면, 이동객체 m 의 위치는 b_1 또는 b_4 일 수 있다. 따라서, 그림 5의 (a)와 같이 화이트 셀에 이웃한 블랙 셀이 두 개 이상 일 경우, 이동객체 m 의 위치를 명확하게 결정할 수 없다. 또한, 그림 5의 (b)와 같이, 이동객체 m 이 w_2 에서 감지된 후 사라졌다면, 이동객체 m 의 위치는 b_3 이거나 혹은 b_4 일 수 있다. 이러한 경우에도 이동객체의 위치를 결정할 수 없다. 따라서, 그림 3의 실내 공간은 추적 가능한 실내 기호공간(TISS)가 아니다.



(a) 조건 1의 위배 (b) 조건 2의 위배

그림 5. TISS의 충분조건에 위배되는 경우

주어진 실내 기호공간의 접근성 그래프와 본 논문에서 제시한 2가지 충분조건을 이용하여, 임의의 실내 기호공간이 추적 가능한 실내 기호공간인지 확인하는 알고리즘은 깊이우선 탐색방법 혹은 너비우선 탐색방법을 이용하여 쉽게 구현할 수 있다. 각 노드를 방문하면서, 주어진 2가지 조건을 만족하는지를 체크한다. 따라서, n 개의 노드가 주어지면, $O(n)$ 의 시간 안에 추적 가능한 실내 기호공간 여부에 대한 검사를 마칠 수 있다.

3.3 추적 가능한 실내 기호공간의 생성

실내 기호공간에서 이동 객체의 위치가 항상 명확하게 결정되기 위해서는 접근성 그래프가 TISS 조건을 만족해야 한다. 그러기 위해서는 많은 수의 화이트 셀을 설치하여야 하지만, 화이트 셀을 이루는 RFID 리더의 가격은 여전히 비싸므로, 정확도를 유지하면서 화이트 셀의 수를 줄이는 것은 경제적인 측면에서 중요한 일이다. 이에, 본 절에서는 효과적으로 TISS를 구축하는 방법을 제안한다.

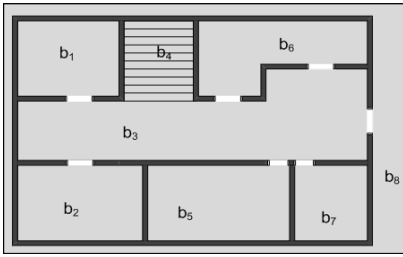
실내 기호 공간을 생성하는 방법은 총 4가지 단계로 이루어진다. 각 단계는 그림 6의 실내 기호공간을 기반으로 하는 예제를 통하여 설명한다.

단계 1 : 초기 접근성 그래프 생성

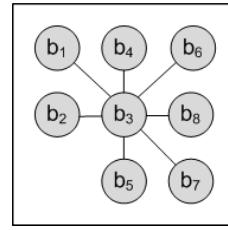
그림 6-(a)와 같이 실내 기호공간이 주어지면, 이를 이용하여 접근성 그래프를 생성한다(그림 6-(b)). 초기 접근성 그래프는 모두 블랙 셀로만 이루어져 있다.

단계 2 : RFID 리더 설치

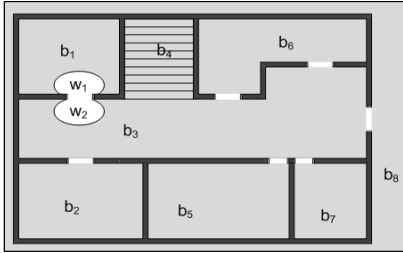
한 쌍의 RFID리더를 문과 같이 2개의 블랙 셀이 연결되어 있는 곳에 설치한다. 단, 이때 2개의 블랙 셀은 RFID리더에 의해서 완벽하게 분리되어야



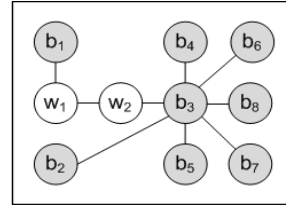
(a) 실내공간 레이아웃



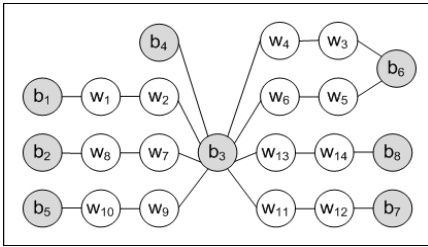
(b) 초기 접근성 그래프



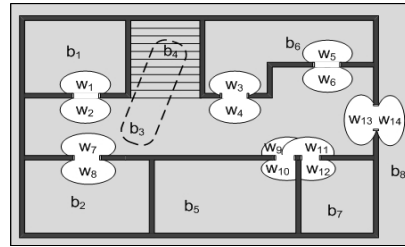
(c) 단계 2 : 한 쌍의 RFID 리더 설치



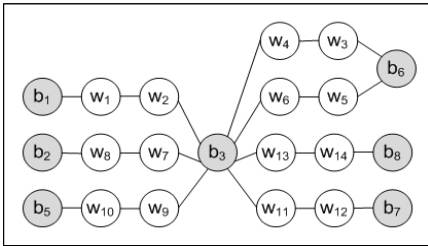
(d) 단계2 : 한 쌍의 화이트 노드를 삽입



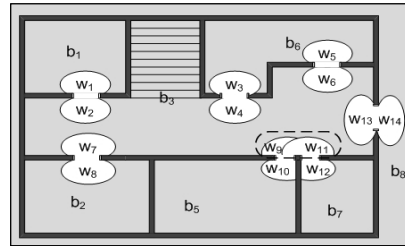
(e) 단계 2를 마친 후 접근성 그래프



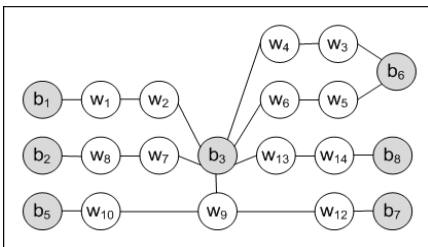
(f) 단계3 : 블랙 셀의 병합



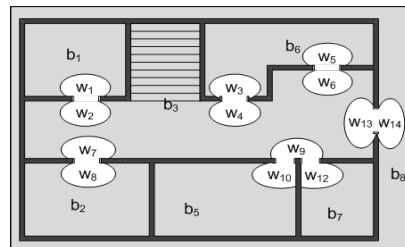
(g) 단계 3을 마친후 접근성 그래프



(h) 단계4 : 화이트 셀의 병합



(i) 단계4를 마친 후 접근성 그래프



(j) 추적 가능한 실내 기호 공간 생성완료

그림 6. TISS 생성 예제

알고리즘 1. Construction_TISS(G_{acc} , r)

입력 : 접근성 그래프 G_{acc} , 감지반경 r
 출력 : 접근성 그래프 G_{TISS}

- 1 $G_{TISS} \leftarrow \text{NULL}$
- 2 $G_{TISS} \leftarrow \text{InsertWhiteNode}(G_{acc}, r);$
- 3 **MergeBlackNode**(G_{TISS});
- 4 **MergeWhiteNode**(G_{TISS}, r);

단계 3. Procedure InsertWhiteNode(G_{acc} , r)

입력 : 접근성 그래프 G_{acc} , 감지반경 r
 출력 : 접근성 그래프 G_{TISS}

- 1 $G_{TISS} \leftarrow G_{acc}$;
- 2 **Forall** each edge $e_i \in G_{acc}$ **do**
- 3 Get node b_i and b_j on e_i ;
- 4 $D \leftarrow$ Find doors on e_i ;
- 5 **Forall** each door $d_j \in D$ **do**
- 6 **if** $\text{cover}(r, d)$ is true **then**
- 7 Create two white nodes w_i and w_j ;
- 8 Insert white nodes on G_{TISS} ;
- 9 **end**
- 10 **end**
- 11 **end**

단계 2. Procedure MergeBlackNode(G_{TISS})

입력 : 접근성 그래프 G_{TISS}
 출력 : 접근성 그래프 G_{TISS}

- 1 **Forall** each black node $n_i \in G_{acc}$ **do**
- 2 **if** n_i has adjacent black nodes **then**
- 3 Merge n_i and adjacent black nodes
- 4 **end**
- 5 **end**

단계 4. Procedure MergeWhiteNode(G_{acc} , r)

입력 : 접근성 그래프 G_{acc} , 감지반경 r
 출력 : 접근성 그래프 G_{TISS}

- 1 **Forall** each black node $n_i \in G_{acc}$ **do**
- 2 $W \leftarrow$ Get adjacent nodes of n_i ;
- 3 **Forall** each pair of white node (w_i, w_j)
 $\in W$ **do**
- 4 **if** $\text{cover}(w_i, w_j) = T$ or $\text{cover}(w_j, w_i) = T$ **then**
- 5 Merge w_i and w_j ;
- 6 **end**
- 7 **end**
- 8 **end**
- 9 **end**

알고리즘 1. 추적 가능한 실내 기호 공간 생성 알고리즘

한다. 그리고, 접근성 그래프에 해당하는 곳에 연결된 2개의 화이트 셀을 삽입한다. 예를 들어, [그림 6]-(c)에서 b_1 과 b_3 은 문으로 연결되어 있다. 이곳에 한 쌍의 리더를 설치하고 접근성 그래프를 수정한다. 이와 같은 방법으로 RFID 리더를 모두 설치하면, [그림 6]-(e)와 같은 접근성 그래프가 생성된다.

단계 3 : 블랙 셀의 병합

단계 2를 마치고 난 후에도, 그림 6-(f)의 b_3 과 b_4 처럼 서로 연결되어서 접근성 그래프 상에서 인접하는 블랙 셀이 존재할 수 있다. 이러한 경우에는 b_3 과 b_4 를 하나의 블랙 셀로 간주하고, 그림 6-(g)와 같이 하나의 블랙 셀로 병합한다. 단계 3을 마친 후에 존재하는 블랙 셀의 개수는 추적 가능한 피쳐 셀과 같다.

단계 4 : 화이트 셀의 병합

마지막으로 동일한 공간을 감지하는 화이트 셀들을 병합한다. 그림 6-(h)의 w_1 과 w_3 는 동일한 공간에서 교차한다. 이러한 경우 둘 중 하나의 화이트

셀을 제거함으로써 화이트 셀을 병합한다. 최종 접근성 그래프는 그림 6-(i)와 같으며, 실제 RFID 리더는 그림 6-(j)과 같이 설치된다.

본 절에서 제시한 방법은 TISS를 생성하기 위하여 휴리스틱 접근을 시도하였으며, 최소한의 RFID 리더개수를 보장하는 방법은 아니지만, 그리드 배치에 비해서 아주 적은 수의 리더를 요구한다. 이에 대한 효율성은 5장 실험을 통해 살펴보도록 한다.

4. 추적 가능한 실내 기호 공간에서 이동 객체 위치 추적

위치 추적의 목적은 이동객체의 이전 위치 정보를 통하여 현재의 위치를 예측하는 것이다. 본 논문에서 제시하는 위치 추적 방법은 다음의 2가지 부분으로 구성된다.

● RFID리더로부터 입력되는 Tag 데이터 관리

RFID 리더는 태그로부터 $tagID$ 를 받아서, 위치추적 서버에게 ($readerID, tagID, t$) 형태의 정보를

일종의 데이터 스트림 형태로 제공한다. 여기서, t 는 RFID리더가 $tagID$ 를 받은 시간을 의미한다. 위치 추적 서버는 RFID리더로부터 받은 데이터를 리딩 데이터베이스[2]에 다음과 같은 형태로 저장한다.

$tag_reading(readingID, readerID, tagID, t_s, t_e)$

t_s 와 t_e 는 태그가 RFID리더의 감지영역 안에서 머무르기 시작한 시간과 종료시간이다. 만약, 태그가 여전히 RFID리더의 감지영역 내에 존재한다면, $t_e = \text{present}$ 이다. 이렇게 구축되는 태그 리딩 데이터베이스는 이동객체의 위치를 추적하는데 사용된다. 리딩 데이터베이스의 각각의 튜플들은 RFID 접근성 그래프상의 하나의 노드와 대응된다. 그림 7은 RFID 태그 리딩 데이터베이스의 예이다.

reading ID	readerID	tagID	t_s	t_e
reading ₁	reader ₁₃	tag ₁	1	3
reading ₂	reader ₁₂	tag ₁	3	5
reading ₃	reader ₉	tag ₁	9	11
reading ₄	reader ₁₀	tag ₁	11	13
reading ₅	reader ₁₀	tag ₁	30	32
reading ₆	reader ₉	tag ₁	32	34
reading ₇	reader ₄	tag ₁	40	43
reading ₈	reader ₂	tag ₁	68	70
reading ₉	reader ₁	tag ₁	70	present

그림 7. RFID 태그 리딩 데이터베이스

● 위치 추적 방법

이동객체의 현재 위치를 요청하면, 앞서 설명한 태그 리딩 데이터베이스로부터 튜플을 검색한다. 만약 $t_e = \text{present}$ 인 튜플이 있다면, 현재 이동객체의 위치는 $readerID$ 에 의해서 결정되며, 더 이상의 위치 추적이 필요하지 않다. 만약 $t_e = \text{present}$ 인 튜플이 없다면, 이는 현재 이동객체가 블랙 셀 내에 존재함을 의미한다. 이 경우, RFID 접근성 그래프의 화이트 노드와 대응되는, 데이터베이스에서 가장 최근의 위치 정보를 가진 튜플을 검색한다. 앞서 3.2절에서 제시한 조건 1에 따라, TISS의 RFID 접근성 그래프의 모든 화이트 노드는 최대 1개의 이웃노드를 가질 수 있다. 따라서, 현재 이동객체의 위치는 화이트 노드의 인접한 블랙노드에 의해서 유일하게 결정될 수 있다. 이러한 위치 추적 방법은 다음의 알고

리즘 2와 같이 정리할 수 있다.

알고리즘 2. $sTracking(tag, readingDB, G_{TISS})$

입력 : 이동객체 tag , 이동객체 위치 데이터 베이스 $reading\ DB$, 접근성 그래프 G_{TISS}
출력 : 이동객체가 위치한 노드

```

1   $r \leftarrow$  almost recent tuple with  $tagID$  from
2      $readingDB$ ;
3   $w \leftarrow$  white node in  $G_{TISS}$  corresponding
4     to  $r.readerID$ ;
5  if  $r.t_e = \text{present}$  then
6     return  $w$ ;
7  else
8      $b \leftarrow$  adjacent black node of  $w$  in  $G_{TISS}$ ;
9  end

```

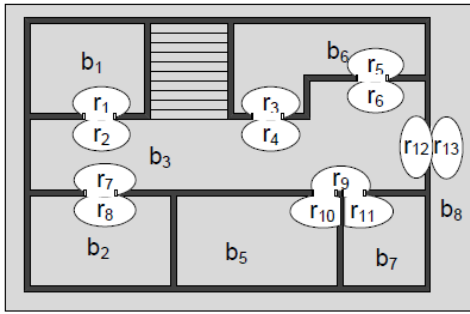
알고리즘 2. 위치 추적 방법

그림 8은 본 논문에서 제시한 위치 추적 방법의 예를 보인다. 실내 기호 공간과 접근성 그래프가 그림 8-(a)와 그림 8-(b)와 같이 주어질 때, 위치 추적 서버에 현재 시간($t=37$)의 tag_1 의 위치를 요청했다고 하자. 위치 추적 서버는 데이터베이스로부터, 가장 최근의 정보를 포함하고 있는 튜플($reading_6$)을 검색한다. 이 튜플의 RFID 리더는 $reader_9$ 이고, t_e 는 present 가 아니므로, $reader_9$ 에 대응하는 화이트 노드를 찾는다. 그림 8-(b)에서 보듯이 $reader_8$ 에 대응하는 화이트 노드는 w_9 이고, 현재 tag_1 은 w_9 의 이웃노드 중에서 블랙 노드인 b_3 에 존재한다는 것을 알 수 있다.

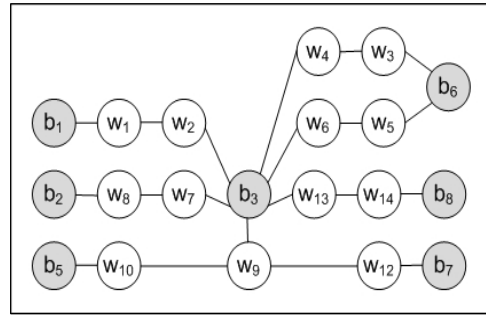
5. 실험평가

본 장에서는 실험을 통하여 본 논문에서 제시한 TISS을 구성하는 방법과, TISS 내의 이동객체 위치 추적방법의 유용성을 보인다. 실험을 위하여 그림 9에서 보는 바와 같이, 71개의 피쳐 셀(45개의 방, 4개의계단과 복도들)로 구성된 2개 층의 실내공간을 대상으로 표 1과 같은 환경을 설정하여 실험하였다. 2개의 층은 4개의 계단을 통하여 연결되어 있다. 태그 데이터 생성을 위해 이동객체 생성기[11]를 이용하였으며, 생성된 데이터는 매초 서버에게 전달되도록 하였다.

표 2에서 보는 바와 같이, RFID 리더의 감지 반경이 클수록 추정 가능한 피쳐 셀의 개수가 늘어났다.



(a) 추적 가능한 실내 기호 공간

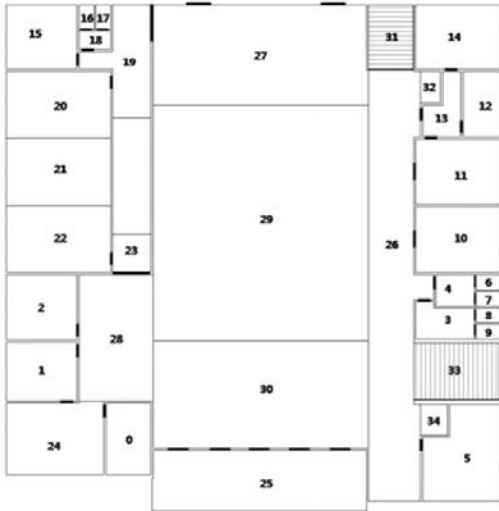


(b) 추적 가능한 실내 기호 공간의 접근성 그래프

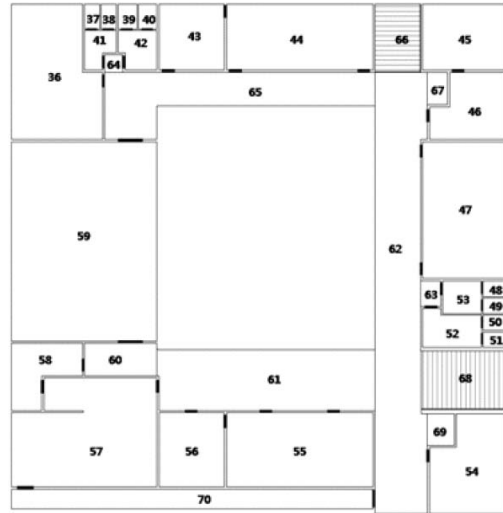
readingID	readerID	tagID	t_s	t_e
reading 1	reader 13	tag1	1	3
reading 2	reader 12	tag1	3	5
reading 3	reader 9	tag1	9	11
reading 4	reader 10	tag1	11	13
reading 5	reader 10	tag1	30	32
reading 6	reader 9	tag1	32	34

(c) $t = 37$ 일 때, 태그 리딩 데이터베이스

그림 8. 추적 가능한 실내 기호공간에서 이동객체의 위치 추적의 예



(a) 1층 평면도



(b) 2층 평면도

그림 9. 실험 대상 건물의 실내 평면도

이는, 추정 가능한 피쳐 셀의 개수가 증가할수록 실내 기호 공간 내에서 위치를 좀 더 세분화 시켜 표현할 수 있음을 의미한다. 그림 10의 (b)에서 점선으로 표시한 블랙 노드는 그림 10의 (a)에서는 존재하지 않지만, RFID 리더의 반경이 증가함에 따라 생성

된 새로운 블랙 셀을 의미한다. 본 실험에서 각각의 블랙 셀은 추정 가능한 피쳐 셀과, 화이트 셀은 RFID 리더와 대응한다. 또한, 본 논문에서 제시한 RFID 배치방법을 이용할 경우, Grid 배치방법에 비해 훨씬 작은 수의 RFID 리더를 필요로 함을 알 수

표 1. 실험을 위한 매개변수 설정

매개변수	설정
이동객체의 수	100개, 200개, 500개
객체의 주기(lifespan)	100, 200, 300, 500초
RFID의 감지반경	1, 1.5, 2m
태그데이터 손실율	5%, 10%, 15%, 20%

표 2. RFID 리더 개수와 추적 가능한 셀의 개수

RFID 반경	본 논문에서 제시한 방법		Grid 방법
	추적 가능한 셀의 개수	RFID 리더개수	RFID 리더개수
1m	41	94	1369
1.5m	46	118	625
2m	48	124	361

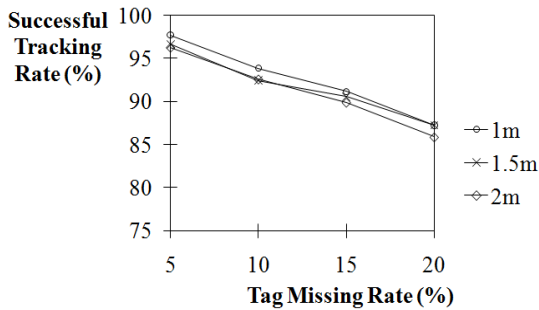


그림 10. RFID 감지 반경에 따른 태그 손실율과 위치 추적 성공률의 관계

있다.

이동 객체의 위치 추적을 위한 실험을 위해서, 앞서 표 1에서 본 바와 같이, 원본 데이터에서 5%, 10%, 15%, 20%씩 데이터를 임의 삭제하여 이동객체의 위치를 추적해 보았다. 태그의 감지 성공율이 100% 미만일 때, 본 논문에서 제시한 위치 추적방법에 따른 추정 결과의 성공률을 측정하였다. RFID 센서가 안정적인 성능을 보이고 있기는 하지만, 다양한 실제 환경에서는 태그의 감지 손실이 발생할 수 있기 때문이다. 위치 추적 성공률과 태그 감지 실패율간의 관계는 RFID 리더의 감지 반경이 1m, 1.5m, 2m일 경우에 대하여 그림 11과 같이 나타난다. 그림 11을 통해, 위치 추적 실패율은 태그 감지 실패율보다 낮으며, 일반적으로 리더의 감지 반경이 작은 경우가 감지 반경이 큰 경우보다 실패율이 낮음을 알 수 있다.

6. 결론

위치 추적은 LBS(Location-Based Services)와 같은 이동객체를 다루는 공간정보 시스템에서 기본적으로 요구되는 기능이다. 본 논문에서는 실내 기호공간 내에서의 이동객체의 위치 추적을 위한 프레임워크를 제시하였다. 본 프레임워크는 다음과 같은 3가지 부분으로 구성된다.

- RFID 센서를 이용한 실내 기호공간의 위치 추적 가능성 여부 판별
- RFID 리더를 이용한 위치 추적 가능한 실내 기호공간 구성
- RFID 센서를 이용한 위치추적 가능 실내 기호공간내의 이동객체의 위치 추적

본 논문의 기여로는 첫째, 기호공간이 아닌, 실내 기호공간을 위한 위치 추적 방법을 제공한다. 둘째, 실내측위 기술 중에서 가장 안정적이고 경제적이고 인정되고 있는 기술 중의 하나인 RFID 측위 기술을 기반으로 한다. 마지막으로, 추적 가능한 실내 기호공간을 만들기 위해 필요한 RFID 리더의 개수를 줄일 수 있는 방법을 제공한다. 향후 연구로는 현재 RFID리더의 감지율이 100%라고 가정하고 있으나, 실제계에서는 불가능한 일이므로, RFID리더의 감지 실패가 존재할 경우에 대한 위치 추적방법의 개선이 필요하다.

참 고 문 헌

[1] Muhammad Atif Mehmood, Lars Kulik, and Egemen Tanin, 2008, "Autonomous navigation of mobile agents using RFID-enabled space partitions," ACM SIGSPATIAL International conference on Advances in Geographic Information Systems, pp. 1-10.

[2] E. Elnahrawy, X. Li, and R. P. Martine, 2004, "The limits of localization using RSS," International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, pp. 273-284.

[3] A. Haerberlen, E. Flannery, A. M. Ladd, A. Rudys, D. S. Wallach and L. E. Kavraki, 2004, "Practical robust localization over large-scale 802.11 wireless networks," International Conference on Mobile computing and networking,

pp.70-84.

- [4] ISO/IEC 24730 information technology - real-time locating system, 2006.
- [5] C. S. Jensen, H. Lu and B. Yang, 2009, "Graph model based indoor tracking," International Conference on Mobile Data Management, pp. 1-10.
- [6] C. S. Jensen, H. Lu and B. Yang, 2010, "Indoor-a new data management frontier," IEEE Data Engineering Bulletin, Vol.33, no.2, pp.12-17.
- [7] Guang-yao Jin, Xiao-yi Lu, Myoung-Soon Park, 2006, "An Indoor Localization Mechanism Using Active RFID Tag," IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing, pp.40-43
- [8] H. Y. Kang, J. S. Kim, K. J. Li, 2010, "sTrack: Tracking in Indoor Symbolic Space with RFID Sensors," ACM SIGSPATIAL International conference on Advances in Geographic Information Systems, pp. 502-50
- [9] Dik Lun Lee, and Qiuxia Chen, 2007, "A model-based WiFi localization method," International conference on Scalable information systems, pp.1-7.
- [10] Lionel M. Ni, Yunhao Liu, Yiu Cho Lau, and Abhishek P. Patil, 2004, "LANDMARC: indoor location sensing using active RFID," Wireless Network, Vol.10, No.6, pp. 701-710.
- [11] 강혜영, 이기준, 2010, "실내 공간 이동객체의 궤적 데이터의 생성," 한국GIS학회 공동춘계학술대회, pp. 51-56.
- [12] 김용기, 김영진, 윤민, 장재우, 2009, "센서네트워크에서 시그니처 기반 데이터 집계를 이용한 이동객체 트래킹 기법", 한국공간정보시스템학회논문지, 제11권 2호, pp.99-110.
- [13] 김종배, 2008, "영상인식 기반의 위치기반 서비스를 위한 실내위치인식시스템", 한국공간정보시스템학회논문지, 제10권 2호, pp.49-62

논문접수 : 2011.03.31

수정일 : 2011.06.14

심사완료 : 2011.06.16



강혜영

2000년 부산대학교 전자계산학과 졸업
(학사)

2002년 부산대학교 전자계산학과 졸업
(석사)

2003년~현재 부산대학교 컴퓨터공학

(박사과정)

관심분야는 시공간DB, GIS, Indoor Space, Ubiquitous Computing



황정래

2007년 부산대학교 지형정보공학 공학
박사

2007년~2008년 부산대학교 기금교수

2008년~현재 한국건설기술 연구원 박사
사후 연구원

관심분야는 Ubiquitous Computing, 시공간DB



이기준

1984년 서울대학교 계산통계학과 졸업
(학사)

1986년 서울대학교 계산통계학과(전자계산학 전공) 졸업(석사)

1992년 프랑스 응용과학원 전자계산학과 전산학박사

1993년~현재 부산대학교 정보컴퓨터공학부 교수

관심분야는 공간DB, 시공간DB, GIS, Telematics 및 Ubiquitous Computing, Indoor space