

## 실내 위치 인식을 고려한 RFID 기반 셀 구성 방안에 관한 연구

김태훈<sup>1</sup> · 탁성우<sup>2\*</sup>

### A Study on RFID Cell Planning Schemes for Indoor Location-awareness

Taehoon Kim<sup>1</sup> · Sungwoo Tak<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Computer Science and Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

<sup>2</sup> Department of Computer Science and Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

#### 요 약

본 논문에서는 실내 위치 인식을 고려한 RFID 기반 셀 구성 방안을 제안하였다. RFID 셀 구성을 위한 4개의 목적 함수 설계 및 시뮬레이션 기반 성능 평가뿐만 아니라 RFID 리더를 실내 공간에 실제 배치하여 제안한 기법의 성능 평가를 수행하였다. 성능 평가는 RFID 셀 구성에 필요한 최소 RFID 리더 수, 위치 인식이 가능한 최대 셀 영역, 셀 영역 간의 최소 중첩, 그리고 셀 영역의 최대 위치 인식 정확도 측면에서 수행되었다.

#### ABSTRACT

This paper proposes a RFID cell planning scheme for indoor location-awareness. We theoretically develop four objective functions that yield objective goals significant to the optimal design of a RFID cell topology and simulation is conducted to evaluate the performance of the proposed RFID cell planning scheme. We also evaluate the performance of the proposed technique after practically installing RFID readers in an indoor space to configure a RFID cell topology. Performance evaluations are conducted in terms of the following objective goals: minimal number of RFID readers for configuring a RFID cell topology, maximal RFID cell coverage areas for indoor location-awareness, minimal overlapping cells, and maximal indoor location-awareness accuracy.

**키워드** : RFID, 셀 구성, 실내 공간, 위치 인식

**Key word** : RFID, Cell planning, Indoor space, Location-awareness

접수일자 : 2013. 05. 14 심사완료일자 : 2013. 06. 04 게재확정일자 : 2013. 06. 12

\* **Corresponding Author** Sungwoo Tak(E-mail:swtak@pusan.ac.kr, Tel:+82-51-510-2387)

Department of Computer Science and Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.9.2191>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

본 논문에서는 실내 위치 인식을 고려한 900MHz 대역의 수동형 RFID 기반 셀(Cell) 구성 방안을 제안하였다. 900MHz 대역의 수동형 RFID 리더인 경우, 대당 200만원 이상의 고가의 장비이기 때문에 다수의 RFID 리더를 활용하기에는 경제적인 제약이 있다. 또한 셀 형태의 인식 방식으로 인해 TOA (Time of Arrival) 및 TDOA (Time Differential of Arrival)와 같은 삼변 측량 방식의 거리 기반 측위 기법들과는 다른 측위 조건 및 셀 구성 방안이 요구된다 [1]. 참조 논문 [2]에서는 제한된 RFID 리더 수만을 사용하여 개별 RFID 리더간의 인식 영역이 겹쳐지지 않는 셀 구성 방안을 제안하였다. 참조 논문 [3]에서는 RFID 태그가 적어도 k개 이상의 RFID 리더에 의해 인식되도록 하여, 삼변 측량 기법을 활용할 수 있도록 하였다. 그러나 고가의 리더 비용과 10m 이내의 제한된 인식 영역을 가지는 900MHz 대역의 수동형 RFID 리더로 구현하기에는 많은 비용이 요구된다. 참조 논문 [4]에서는 RFID 리더 배치 비용을 최소화하고 RFID 네트워크 영역을 최대화하는 방안을 제안하였으나, 시뮬레이션 기반의 성능 평가만을 수행하였다. 참조 논문 [5]에서는 RFID 리더 영역을 최대화할 수 있는 RFID 셀을 구성하였다. 그러나 리더를 실제로 배치하여 성능 평가에 사용된 최대 리더 수는 3개이다. 고가의 RFID 리더를 실제 배치하여 성능 평가를 수행하기에는 많은 비용이 소요되기 때문에 기존 연구에서는 시뮬레이션 기반의 성능 평가만을 대부분 수행하고 있는 실정이다. 그리고 RFID 셀 구성 방안에 대한 다양한 성능 평가가 미흡한 실정이다. 이에 본 논문에서는 이론 및 시뮬레이션 기반 성능 평가뿐만 아니라 RFID 리더를 실내 공간에 실제 배치하여 RFID 셀을 구성한 후, 성능 평가를 수행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 RFID 기반 셀 구성 문제를 설계하였다. III장에서는 제안한 셀 구성 방안에 대한 시뮬레이션 및 성능 평가를 수행하였다. IV장에서는 실험에 사용되는 900MHz 대역의 수동형 RFID 리더 및 태그의 성능을 측정 및 분석한 후, 실제 실내 공간 환경에서 RFID 셀 구성 방안에 대한 실험 및 성능 평가를 수행하였다. 마지막으로 V장에서는 결론을 기술하였다.

## II. RFID 기반 셀 구성 문제의 설계

RFID 기반 셀 구성 방안은 4개의 목적 함수와 주어진 목적 함수로부터 근사 최적 해를 생성하는 시뮬레이션 어닐링과 타부 탐색 및 유전자 알고리즘 기반 메타 휴리스틱 알고리즘으로 구성된다. 먼저 목적 함수 설계에 사용되는 변수들은 다음과 같다.

- $i$ : 이동 가능한 물리 공간에서의 RFID 태그 위치 ( $i \in I$  and  $I = \{1, 2, 3, i, \dots, n\}$ )
- $j$ : 설치 가능한 물리 공간에서의 RFID 리더 후보 위치 ( $j \in J$  and  $J = \{1, 2, 3, j, \dots, m\}$ )
- $C_j$ : 후보 위치  $j$ 에 설치된 리더에 의해 태그가 인식될 수 있는 셀 영역 ( $C_j \subset I$ )
- $x_j$ : 후보 위치  $j$ 에 리더가 설치되면 1, 설치되지 않으면 0으로 설정되는 결정 변수
- $a_{ij}$ : 위치  $i$ 로 이동한 태그가 위치  $j$ 에 설치된 리더에 의해 인식되면 1, 인식될 수 없으면 0으로 설정되는 결정 변수

목적 함수 *MDCP* (Minimizing Deployment Cost Problem)는 위치  $i$ 로 이동한 태그가 자신의 위치를 측정하는데 필요한 리더 수를 최소화한다. 목적 함수 *MCCP* (Maximizing Cell Coverage Problem)는 제한된 리더 개수 내에서 셀 인식 영역을 최대화한다. 목적 함수 *MCOP* (Minimizing Cell Overlapping Problem)는 셀 영역의 중첩을 최소화하여 셀 인식 영역의 모호성을 줄인다. 마지막으로 목적 함수 *MCAP* (Maximizing Cell Accuracy Problem)는 태그의 위치 인식 정확도를 최대화한다.

$$MDCP = \min \sum_{j \in J} cost_j x_j \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} a_{ij} x_j \geq 1, \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$x_j \in \{0, 1\}, \quad \forall j \in J \quad (3)$$

수식 (1)에서 기술한 목적 함수 *MDCP*는 고가의 리더 및 설치비용을 고려하여 태그의 위치 인식에 요구되는 리더 개수를 최소화한다.  $cost_j$ 는 후보 위치  $j$ 에 설치되는 리더의 가격 및 설치비용을 나타낸다. 제한 조건을 나타내는 수식 (2)는 각각의 위치 인식 요구 지점  $i$ 에 위치한 태그가 최소 1개 이상의 후보 위치  $j$ 에 설치된

리더에서 인식됨을 나타낸다. 수식 (3)은  $x_j$ 가 이진 결정 변수임을 나타낸다.

$$MCCP = \max \sum_{i \in I} s_i \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} a_{ij} x_j \geq s_i, \quad \forall i \in I \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} \text{cost}_j x_j \geq B \quad (6)$$

$$s_i \geq a_{ij} x_j, \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (7)$$

$$x_j \in \{0, 1\}, \quad \forall j \in J \quad (8)$$

$$s_i \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in I \quad (9)$$

수식 (4)와 수식 (5)에서 기술한 목적 함수  $MCCP$ 는 각 지점  $i$ 에서 위치 인식 가능성 여부를 결정하는 이진 결정 변수  $s_i$ 의 총합을 최대화하여 셀 인식 영역을 최대화한다. 수식 (6)은 전체 리더의 배치 비용이 제한된 비용  $B$ 내에 있어야 함을 나타낸다. 수식 (7)과 수식 (8)은 셀 영역에 포함되는 위치인식 요구지점  $i$ 가 적어도 1개 이상의 리더와 연결되어야 함을 나타낸다. 수식 (9)는  $s_i$ 가 이진 결정 변수임을 나타낸다. 그림 1-(a)는 2개의 RFID 셀 영역이 겹쳐져 있으며, 태그가 부착된 이동 객체가 중첩 영역 내에 머무르는 경우를 보여준다. 이러한 경우, 그림 1-(b)에서 보는 바와 같이 중첩되는 2개의 셀 영역 합이 이동 객체의 잠재적인 추정 위치가 된다. 따라서 중첩되는 RFID 셀 영역이 증가할수록 이동 객체의 위치가 모호해지는 현상이 빈번하게 발생할 수 있다. 이에 RFID 셀 영역의 중첩을 최소화할 수 있는 목적 함수  $MCOP$ 를 수식 (10)에 기술하였다.

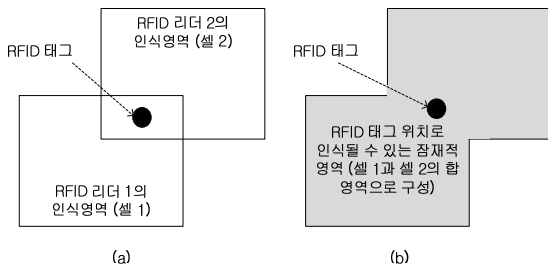


그림 1. RFID 셀 영역 중첩의 예  
Fig. 1 An example of RFID cell overlap

수식 (10)에서 기술한 목적함수  $MCOP$ 는 각 위치 요구 지점에서 2개 이상의 리더와 연결된 형태를 감소시

켜 중첩 셀 영역을 최소화한다.  $MCOP$ 의 제한 조건을 나타내는 수식 (11)부터 (15)까지는 목적 함수  $MDCP$ 와  $MCCP$ 에서 기술하였다.

$$MCOP = \min \sum_{i \in I} \left( \sum_{j \in J} a_{ij} x_j - s_i \right) \quad (10)$$

$$\sum_{j \in J} a_{ij} x_j \geq 1, \quad \forall i \in I \quad (11)$$

$$\sum_{j \in J} a_{ij} x_j \geq s_i, \quad \forall i \in I \quad (12)$$

$$s_i \geq a_{ij} x_j, \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (13)$$

$$x_j \in \{0, 1\}, \quad \forall j \in J \quad (14)$$

$$s_i \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in I \quad (15)$$

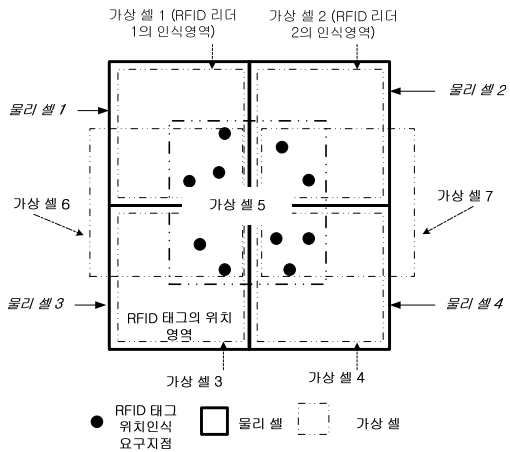


그림 2. RFID 셀 유사도의 예  
Fig. 2 An example of RFID cell similarity

한편, 태그의 위치 인식 정확도를 추정하는데 사용되는 셀 유사도 개념은 다음과 같이 제안하였다. 셀 유사도 측정에는 가상 셀과 물리 셀로 나누어진다. 가상 셀은 RFID 리더가 인식하는 영역을 나타낸다. 물리 셀은 사용 목적에 따라 벽으로 구분된 영역을 나타낸다. 예를 들어, 건물의 물리 셀은 벽과 문으로 구분된 사무실과 회의실 등으로 구성될 수 있다. 그림 2에서는 4개의 물리 셀과 잠재적으로 구성 가능한 7개의 가상 셀이 있다. 가상 셀의 구성 번호는 해당 셀을 구성하는 리더의 번호와 동일하다. 그림 2에서 보는 바와 같이, 가상 셀 5만을 구성하여 4개의 물리 셀에서 요구되는 모든 태그 지점을 모두 인식할 수 있다. 그러나 이러한 경우, 태그의 잠재적인 위치가 4개의 물리 셀에 모두 포함되어 있

기 때문에 위치인식의 정확성이 모호해진다. 가상 셀 6과 7을 구성하여도 위치 인식의 정확성이 모호해진다. 그러나 가상 셀 1, 2, 3, 그리고 4로 구성하는 경우, 가상 셀의 영역과 물리 셀의 영역이 거의 유사하기에 위치인식의 정확도가 증가된다. 물리 셀과 가상 셀 간의 유사도를 정량적으로 표현하기 위하여 제안한 셀 유사도는 수식 (16)에서 기술한 목적 함수  $MCAP$ 으로 정의된다.

$$MCAP = \max \sum_{j \in J} \sum_{p \in P} \left( \frac{n_{jp}}{N_j} \right)^2, \quad (16)$$

where  $n_{j1} + n_{j2} + \dots = N_j, (n_{j1} + n_{j2} + \dots)^2 = N_j^2,$   
and  $n_{j1}^2 + n_{j2}^2 + \dots \leq N_j^2$

$$\sum_{j \in J} a_{ij} x_j \geq 1, \quad \forall_i \in I \quad (17)$$

$$N_j = \sum_{i \in I} a_{ij} x_j, \quad \forall_j \in J \quad (18)$$

$$\sum_{j \in J} a_{ij} x_j \geq s_i, \quad \forall_i \in I \quad (19)$$

$$x_j \in \{0, 1\}, \quad \forall_j \in J \quad (20)$$

$$s_i \in \{0, 1\}, \quad \forall_i \in I \quad (21)$$

수식 (16)에서  $P$ 는 물리 셀의 집합을 나타내며, 개별 물리 셀은  $p$ 로 표현된다.  $N_j$ 는 지점  $j$ 에 설치한 RFID 리더에 의해 형성된 가상 셀에 포함되는 태그 위치 인식 요구 지점의 개수를 나타낸다.  $n_{jp}$ 는 가상 셀  $j$ 에 포함되는 물리 셀  $p$  내에 존재하는 태그 위치 인식 요구 지점의 개수를 나타낸다. 예를 들어, 가상 셀 5인 경우  $N_5$ 는 10이다. 그리고  $n_{51}, n_{52}, n_{53}, n_{54}$ 은 3, 2, 2, 3이며, 수식 (16)을 통해  $(3/10)^2 + (2/10)^2 + (2/10)^2 + (3/10)^2 = 0.26$ 을 가진다. 가상 셀 1, 2, 3, 그리고 4로 구성하는 경우,  $(n_{11}/N_1)^2 + (n_{22}/N_2)^2 + (n_{33}/N_3)^2 + (n_{44}/N_4)^2 = (3/3)^2 + (2/2)^2 + (2/2)^2 + (3/3)^2 = 4$ 를 가진다. 그림 2에서는 가상 셀 1, 2, 3, 그리고 4로 구성하는 경우가 높은 셀 유사도를 가진다. 수식 (17)부터 (21)까지는 목적 함수  $MCAP$ 의 제한 조건을 나타낸다. 이에 대한 설명은 목적 함수  $MDCP$ 와  $MCCP$ , 그리고  $MCOP$ 에서 기술하였다. 지금까지 살펴본 목적 함수를 고려하여 실내 RFID 셀 구성 방안에 적용하면 이동 객체의 위치 인식을 효율적으로 구성할 수 있다. 그러나 실제 실내 공간 환경에서는 이를 적용할 수 없는 상황이 발생할 수 있다. 예를 들어, 값비싼 900MHz 대역의 수동형 RFID 리더를 모든 실내 공간에 설치하는 것은 어려운 실정이다. 이에 접근성

그래프 모델 기반 RFID 셀 구성 방안을 제안하였다. 제안한 셀 구성 방안은 실내 환경 내에서 인지 가능한 공간의 이동 경로가 제한될 수 있는 상황을 활용하였다.

그림 3은 7개의 물리 셀로 나누어진 실내 공간의 평면도 및 접근성 그래프를 보여준다. 평면도에서의 각 공간은 물리 셀로 표현되고, 이는 접근성 그래프에서 정점(Vertex)으로 표현된다. 정점으로 표현된 공간들 간의 이동 경로는 간선(Edge)으로 표현된다. 간선은 “가상 셀 물리셀번호<sub>i</sub>-물리셀번호<sub>j</sub>”로 표현되며, 이동 객체가 물리셀번호<sub>i</sub>로 표시된 공간으로부터 물리셀번호<sub>j</sub>로 표시된 공간으로 이동하는 방향성을 나타낸다. 접근성 그래프에 표시되지 않은 간선은 물리 셀 간의 이동 경로가 없음을 나타낸다. 예를 들어 그림 3-(b)에서 보는 바와 같이, 물리 셀 1과 물리 셀 6은 물리 셀 7을 통해 연결되어 있으므로 물리 셀 1에서 물리 셀 6으로 이동하기 위해서는 물리 셀 7을 지나가야 한다.

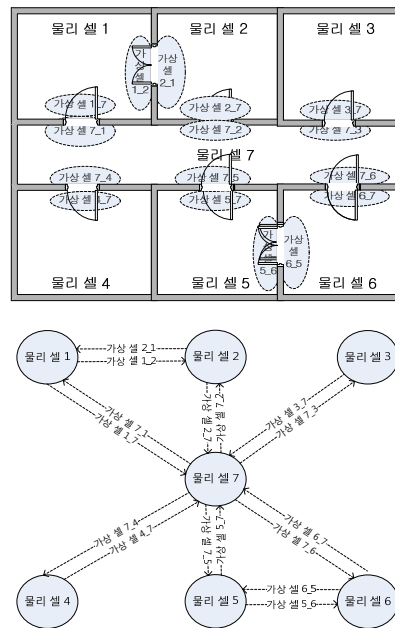


그림 3. 실내 공간 평면도 및 접근성 그래프  
Fig. 3 An indoor space floor and its accessibility graph

4개의 목적 함수를 고려한 RFID 셀 구성 방안은 최적 해를 탐색해야 할 공간이 상대적으로 매우 크기 때문에, 비결정론적 메타휴리스틱 알고리즘을 통해 근사 최적 해를 찾는다. 이에 본 논문에서는 비결정론적 메

타휴리스틱 알고리즘으로 매우 잘 알려져 있는 시뮬레이션 이터드 어닐링, 타부 탐색, 그리고 유전자 알고리즘을 사용하였다. 이 알고리즘에 대한 구현은 참고 문헌 [6] 과 [7]을 참조하여 수행하였다.

### III. 시뮬레이션 및 성능 평가

시뮬레이션 및 성능 평가에서 사용되는 RFID 리더는 Alien사의 ALR-9900 제품이며, 태그는 Alien사의 ALN-9554-M (규격: 94mm×42mm) 이다 [8]. ALR-9900 제품은 직선 편파 (Linear Polarized) 안테나와 원형 편파 (Circular Polarized) 안테나를 제공한다. 시뮬레이션의 실험 인자로 사용하기 위해 측정된 개방형 공간에서의 안테나 성능은 그림 4와 같다.

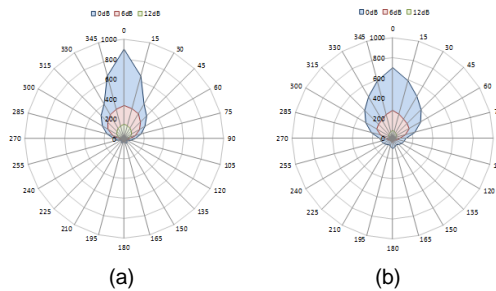


그림 4. 전파감쇄 및 방향에 따른 안테나 성능 (a) 직선 편파 안테나 (b) 원형 편파 안테나  
**Fig. 4** Antenna performance from the perspective of path loss and direction factors (a) Linear polarized antenna (b) Circular polarized antenna

그림 4에서 보는 바와 같이, 원형 편파 안테나가 직선 편파 안테나보다 넓은 영역에서 태그를 인식할 수 있다. 그리고 거리에 따른 전파 감쇄 값이 12dB인 경우에 태그의 인식 성능이 급격히 저하되는 것을 확인하였다. 장애물이 없는 개방형 공간에서 직선 편파 안테나의 최대 인식 거리는 9m이고, 원형 편파 안테나의 최대 인식 거리는 7m이다. 그림 5는 태그와 리더간의 장애물이 3cm 두께를 가지는 표준형 나무문일 때, RFID 리더의 성능을 보여준다. 개방형 공간에서 안테나 방향이 직선 (그림 5에서 0°)과 좌우 30° (그림 5에서 330°와 30°)인 경우, 직선 편파 안테나가 원형 편파 안테나보다 29% 및 4% 정도의 우수한 성능을 보여주었다. 그러나 안테

나 방향이 좌우 60° (그림 5에서 300°와 60°)인 경우, 원형 편파 안테나가 직선 편파 안테나보다 10% 정도의 우수한 성능을 보여주었다. 나무문 장애물이 있는 경우에 원형 편파 안테나가 직선 편파 안테나보다 직선 (그림 5에서 0°), 좌우 30° (그림 5에서 330°와 30°), 그리고 좌우 60° (그림 5에서 300°와 60°)에서 9%, 4%, 그리고 53% 정도의 우수한 성능을 보여주었다. 한편, 3.5cm 두께의 방화벽 철문 인 경우 태그의 인식이 전혀 이루어지지 않았다.

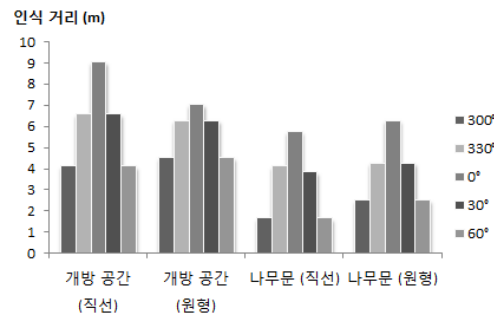


그림 5. 나무문 장애물에 따른 안테나 성능  
**Fig. 5** Antenna performance against a wood door obstacle

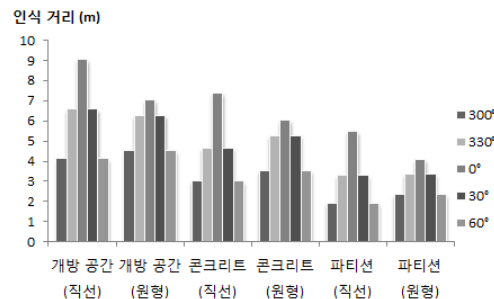


그림 6. 벽 장애물에 따른 안테나 성능  
**Fig. 6** Antenna performance against a wall obstacle

그림 6은 태그와 리더간의 장애물이 콘크리트와 파티션으로 구성되는 벽일 때, RFID 리더의 성능을 보여주었다. 콘크리트 장애물에서 안테나 방향이 좌우 60° (그림 6에서 300°와 60°)와 좌우 30° (그림 6에서 330°와 30°)인 경우, 원형 편파 안테나가 직선 편파 안테나보다 17% 및 13% 정도의 상대적으로 우수한 성능을 보여주었다. 안테나 방향이 직선 (그림 5에서 0°)인 경우, 직선 편파 안테나가 원형 편파 안테나보다 23% 정도의

우수한 성능을 보여주었다. 파티션 장애물에서 안테나 방향이 좌우 60° (그림 6에서 300°와 60°)에서 원형 편파 안테나가 직선 편파 안테나보다 22% 정도의 우수한 성능을 보여주었다. 안테나 방향이 직선 (그림 5에서 0°) 및 좌우 30° (그림 5에서 330°와 30°)인 경우, 직선 편파 안테나가 원형 편파 안테나보다 33% 및 2.6% 정도의 우수한 성능을 보여주었다.

표 1. 목적 함수별 성능 분석

Table. 1 Performance analysis

성능 분석 내용	RFID 셀 구성 방안			
	격자 배치	랜덤 배치	목적함수별 셀 구성	접근성 그래프
실내 공간 내 위치 인식 요구 지점을 포함하는데 필요한 RFID 리더 개수	42	106	목적 함수 MDCP: 24	20
제한된 RFID 리더 개수로 인식 가능한 전체 지점 수	248	178	목적 함수 MCCP: 448	391
중첩된 인식 영역의 지점 수	0	82	목적 함수 MCOP: 6	6
셀 유사도 (%)	50.5	37.4	목적 함수 MCAP: 96.2	96

실내 공간 시뮬레이션 환경은 랜덤으로 50개를 생성하였으며, 생성된 50개의 결과 값에 대한 평균을 측정하였다. 실내 환경은 50m × 50m의 면적을 가지며, 10개의 사무실을 랜덤하게 생성하였다. 그리고 실험 환경은 500개의 태그 위치 인식 요구 지점과 1000개의 설치 가능한 RFID 리더 지점을 가진다. 그리고 물리 셀은 10개의 사무실로 구성되도록 하였으며, 사용 목적에 따라 콘크리트 벽과 나무문으로 구분된 영역으로 랜덤하게 구성하였다. 개별 물리 셀 내에서는 파티션으로 구분된 공간을 별도로 구성하지는 않았다. 방향성에 민감한 직선 편파 안테나 대신에 방향과 장애물에 인식 성능의 차이가 상대적으로 작은 원형 편파 안테나를 가정하였다. 설치 가능한 리더 후보 위치에서의 설치비용은 모두 동일하다고 가정하였다. 그림 4, 5, 그리고 6에서 측정된 값을 기반으로 하여 셀 구성 방안에 대한 10회 시뮬레이션을 시행하였으며, 그 평균값을 계산하였다. 표 1에서 보는 바와 같이, II장에서 기술한 목적 함수 기반 메타 휴리스틱 및 접근성 그래프 기반 셀 구성 방안과 함께 격자 배치 및 랜덤 배치 기반 셀 구성 방안에 대한

시뮬레이션을 수행하였다. 목적 함수 별 셀 구성 방안은 메타 휴리스틱 기법으로 시뮬레이티드 어닐링, 타부 탐색, 그리고 유전자 알고리즘을 사용하였으며, 이들 각각이 생성한 결과 중에서 가장 좋은 값을 선택하였다. 그리고 목적 함수 MCCP, MCOP, MCAP에서는 설치 가능한 리더 수를 20개로 제한하였다. 표 1에서 기술한 바와 같이, 목적 함수별 셀 구성 방안을 사용하는 경우 다른 셀 구성 방안보다 우수한 성능을 보여 주었다.

#### IV. 실제 실험 및 성능 평가

III장에서 보여준 시뮬레이션 기반의 실험뿐만 아니라 실제 실내 공간 환경에서 RFID 셀을 구성한 실험 및 성능 평가가 필요하다.



그림 7. 실내 공간 평면도  
Fig. 7 Indoor space footprint

900MHz 대역의 수동형 RFID 리더가 대당 200만원 이상의 고가의 장비이기 때문에 실험실에서 보유하고 있는 리더는 총 8개이며, 건물 내에 리더를 설치할 수 있는 공간이 제한되어 있어, 목적 함수별 셀 구성 방안을 적용하기는 어려운 실정이다. 이에 비교적 우수한 성능을 생성한 접근성 그래프 기반 RFID 셀 구성 방안을 사용하여 실제 셀 구성 방안에 대한 실험을 수행하였다. 그림 7에서 보는 바와 같이, 실험을 수행한 환경은 부산

대학교 연구 실험동의 3층과 4층의 8개 공간을 위치 인식 공간으로 설정하였다. 각각의 리더에는 2개의 원형 편파 안테나를 연결하여 이동 객체가 들어오는 방향과 나가는 방향을 인식할 수 있도록 하였다. 안테나는 해당 공간의 천장에 설치하여 실내 공간 내의 구조 변형이 발생하지 않도록 하였다. RFID 시스템의 개별 성능을 직접 측정하였으며, 표 2는 측정된 결과이다. 성능 인자별로 총 30회의 실험을 수행하였다. 표 2-(a)는 태그를 지닌 사람의 이동 속도 (정지, 걸음, 뛸)와 태그와 리더 간의 간격 (0.5m와 1m), 태그의 위치 (목걸이 형태의 태그 부착과 상의 주머니 속에 태그 삽입) 및 방향 (0°, 90°, 180°, 270°) 에 따른 인식률을 측정한 값이다. 표 2-(a)에서 보는 바와 같이, 정확한 인식을 위해 태그는 목걸이 형태로 부착하여 리더간의 통신에 장애가 없어야 하며, 리더 안테나와 가시거리 (Line of Sight) 방향으로 있어야 하고, 이동 속도도 느려야함을 보여준다. 표 2-(b)는 태그를 양손으로 잡는 경우, 태그 인식율이 급격히 저하됨을 보여준다. 표 2-(c)는 리더의 안테나로부터 0.5m 떨어진 거리에 다수의 태그가 동시에 진입할 때 측정된 인식율을 보여준다. 태그의 수가 30개 이상일 때 리더의 인식율이 저하됨을 확인하였다. 표 2-(d)는 그림 7의 물리 셀들에 대한 출입 인지 인식율을 나타낸다. 목걸이 태그를 부착하고 문에 서성거리면서 출입하는 경우, 평균 60% 정도의 인식율을 보여준다. 그러나 정직하게 출입하는 경우 평균 90% 정도의 인식율을 보여준다.

표 2-(e)는 4개의 가상 셀이 중첩되는 경우에 이동 방향 탐지 인식율과 물리 셀 출입 인식율을 보여준다. 걷는 경우 평균 80% 이상의 인식율을 보여주었다. 마지막으로, 그림 7에서 보여준 실내 공간에서 10명의 사람이 목걸이 형태로 태그를 부착하고 1시간 동안 평균 4m/s 속도로 랜덤하게 이동하면서 물리 셀들을 지나가도록 하였다. 위치 인식에 사용한 알고리즘은 매우 단순하게 다음과 같이 구현하였다. 출입문 밖에 있는 안테나에서 인식되면 해당 셀로 들어온 상황으로 인지하고 출입문 안에 있는 안테나에서 인식되면, 해당 셀에서 나간 상황으로 인지하며, 두 안테나에서 동시에 인식되었다가 사라지는 경우 판단 불가로 설정하였다. 그리고 해당 실험자들은 메모지를 들고 자신의 공간 출입 상황을 시간대 별로 기록한 후 측정된 태그 인식 결과와 비교하여 인식율을 측정하였다. 실험자 대상이 사람이어서 매 실험마다 실험의 수행 환경에 대한 차이가 발생하였다.

**표 2.** 개별 성능 인자별 태그 인식율 분석 (a) 태그 부착 형태와 리더와 태그간 방향 각도별 성능 지표 (b) 태그를 한손 혹은 양손으로 잡는 경우의 성능 지표 (c) 다중 태그 인식에 대한 성능 지표 (d) 공간 출입 동작별 성능 지표 (e) 4개의 가상 셀이 중첩되는 경우에 대한 성능 지표

**Table. 2** Analysis of a RFID tag recognition ratio (a) Performance evaluation according to tag types and direction angles between readers and tags (b) Performance evaluation in case of holding tag in one hand or two hands (c) Performance evaluation of multiple tags (d) Performance evaluation according to behaving types of entering offices (e) Performance evaluation in case of overlapping four cells

리더와 태그간의 간격 및 동작 상태	태그의 위치	태그와 리더간 장애물이 없음					
		목걸이	주머니	0°	90°	180°	270°
0.5m	정지	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	걸음	90%	50%	95%	90%	100%	85%
	뛸	70%	5%	95%	80%	100%	80%
1m	정지	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	걸음	60%	35%	95%	70%	95%	70%
	뛸	30%	5%	90%	50%	90%	35%

(a)

0.5m	정지	100%	태그를 한손으로 잡는 경우
	걸음	98%	
	뛸	95%	
1m	정지	100%	
	걸음	95%	
	뛸	94%	
0.5m	정지	20%	태그를 양손으로 잡는 경우
	걸음	10%	
	뛸	5%	
1m	정지	10%	
	걸음	5%	
	뛸	0%	

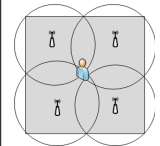
(b)

0.5m	태그 수	5	10	20	30	40	50
	최소 인식률	100%	100%	90%	70%	60%	60%
	최대 인식률	100%	100%	100%	90%	75%	70%
	평균 인식률	100%	100%	98%	80%	68%	65%

(c)

물리 셀로 표현된 공간 출입 인지	정직하게 출입하는 경우	90%
	문에 서성거리다가 출입하는 경우	60%

(d)

	이동 방향 탐지에 대한 인식률	걸음	80%
		뛸	60%
	물리 셀 출입 인식률	걸음	90%
		뛸	70%

(e)

이러한 실험을 30회 반복 수행한 결과, 위치 인식율은 최소 70%에서 최대 85% 정도로 측정되었다.

## V. 결 론

본 논문에서는 실내 위치 인식을 고려한 목적 함수 별 셀 구성 방안을 제안하였다. 이 기법은 RFID 셀 구성 방안에서 고려되는 4개의 성능 인자를 고려하여 향상된 RFID 위치 인식 서비스를 제공할 수 있도록 하였다. 격자 배치, 랜덤 배치, 그리고 접근성 그래프 기반 셀 구성 방안을 사용하여 목적 함수 별 셀 구성 방안에 대한 성능 비교를 수행하였다. 리더 및 태그간의 개별 성능 분석 및 위치 인식 실험을 수행한 결과, 다음과 같은 향후 연구가 필요하다는 것을 확인하였다.

현재 900MHz 대역의 수동형 RFID 시스템의 성능 한계로 인하여 최소 70%에서 최대 85%의 위치 인식율을 보여 주었다. 특히 휴대폰을 사용하면서 실내 공간을 출입하는 경우 인식율이 50%로 저하되는 현상도 발생함을 확인하였다. 따라서 상용 RFID 시스템의 하드웨어 측면에서 인식율의 성능을 높이는 것은 한계가 있기 때문에, 소프트웨어적으로 이동 객체의 위치 인식 및 추적 기능을 향상시킬 수 있는 향후 연구가 필요함을 확인하였다.

## REFERENCES

- [1] L. Ni, D. Zhang, and M. Souryal, "RFID-based localization and tracking technologies," *IEEE Wireless Communications*, vol. 18, no. 2, pp. 45-51, Feb. 2011.
- [2] E. Giampaolo, F. Forn, and G. Marrocco, "RFID-network planning by particle swarm optimization," *Proc. European Conference on Antennas and Propagation*, pp. 1-5, 2010.
- [3] H. Yihua and L. Shilei, "RFID network planning based on k-coverage using plant growth simulation algorithm," *Proc. International Conference on Computing Technology and Information Management*, pp. 196-201, 2012.
- [4] T. Garcia-Valverde, A. Garcia-Sola, J. Botia, and A. Gomez-Skarmeta, "Ubiquitous deployment Configuration of indoor location services," *Proc. International Joint Conference on Neural Networks*, pp. 1-8, 2012.
- [5] Y-J Gong, M. Shen, J. Zhang, O. Kaynak, W-N. Chen, Z-H Zhan, "Optimizing RFID network planning by using a particle swarm optimization algorithm with redundant reader elimination," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 8, no. 4, Apr. 2012.
- [6] T. Kim and S. Tak, "Modeling and performance evaluation of AP deployment schemes for indoor location-awareness," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 17, no. 4, pp. 847-856, Apr. 2013.
- [7] Z. Michalewicz and D. Fogel, *How to Solve It: Modern Heuristics*, Springer, December 2004.
- [8] Alien RFID readers' specification, available at <http://www.alientechnology.com/readers/index.php>, 2013.



김태훈(Taehoon Kim)

2006년 2월 부산대학교 정보컴퓨터공학부 공학사  
2008년 2월 부산대학교 컴퓨터공학과 공학석사  
2008년 3월 ~ 현재 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정  
※관심분야 : 유무선 네트워크, P2P, 위치인식



탁성우(Sungwoo Tak)

2003년 2월 미국미주리주립대학교 Computer Science 박사  
2004년 ~ 현재 부산대학교 정보컴퓨터공학부 교수  
※관심분야 : 유무선 네트워크, 위치인식