

Zigbee RSSI 기반의 위치추정 기능을 탑재한 RFID 시스템

김태윤* · 황석승**

RFID System with Localization Function Based on Zigbee RSSI

Tae-Yun Kim* · Suk-Seung Hwang**

요 약

RFID(Radio Frequency Identification)기술은 무선통신 기술이 발전하면서, 그 응용분야가 산업 전반에 걸쳐 확대되었다. RFID 기술의 대표적 응용 분야로는 의료, 물류, 유통 등이 있으며, 라디오파를 이용하기 때문에 비접촉 환경에서의 사용이 용이하다. 최근 들어 RFID를 사용하여 건축자재의 재고 관리를 위한 자재관리 시스템의 구축사례가 증가 하고 있지만, 자재의 재사용에 관한 관련 연구나 실험은 미비한 상태이다. 본 논문에서는 기존의 재고관리 시스템의 재고관리 기능에, 자재의 재사용을 효과적으로 관리할 수 있는 위치추정 유닛이 탑재된 RFID 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 RFID 리더부와 저장부로 구성되고, 자재 위치정보는 RFID 리더의 위치를 추정하여 획득하게 된다. 리더의 위치추정을 위한 거리 값은 Zigbee의 RSSI(Received Signal Strength Indicator)값을 활용하여 계산되며, 5m X 5m의 실내공간에서 제안한 시스템의 위치추정 성능평가를 진행 하였다.

ABSTRACT

Radio Frequency Identification (RFID) technology has a significant attraction throughout various industry sites, along with the development of wireless communication technologies. The typical applications of RFID include medical, logistics, and distribution, and, specially, it is effectively applied to non-contact environments, because it employs radio waves. Although, recently, construction cases of the RFID management systems for the inventory management of the construction materials have been increased, the related researches and experiments for the reused materials are not actively performed. In this paper, we propose the RFID system with the localization function for effectively managing the reuse of the construction materials, adding to the conventional inventory management system. The proposed system consists of a RFID reader unit and a receiver unit, and the location information of the material with the attached RFID tag is obtained by estimating the position of a RFID reader. The distance value for estimating the reader position is calculated using the Received Signal Strength Indicator (RSSI) value of Zigbee, and the performance evaluation of the proposed system is performed in the indoor space of 5 m X 5 m.

키워드

RFID, Location Estimation, Zigbee, Received Signal Strength Indicator, Construction Materials Reuse
RFID, 위치 추정, Zigbee, 수신 강도 표시기, 건축 자재 재사용

* 조선대학교 전자공학과 (skriedk12@chosun.kr)

** 교신저자 : 조선대학교 전자공학과

• 접수일 : 2016. 11. 25

• 수정완료일 : 2016. 12. 13

• 게재확정일 : 2016. 12. 24

• Received : Nov. 25, 2016, Revised : Dec. 13, 2016, Accepted : Dec. 24, 2016

• Corresponding Author : Suk-Seung Hwang

Dept. of Electronic Engineering, Chosun University,

Email : hwangss@chosun.ac.kr

I. 서 론

1948년 RFID(: Radio Frequency Identification)[1] 기술이 처음 소개[2]된 후 무선통신 기술의 발달에 힘입어 RFID의 성능이 크게 향상되었으며, 그로 인해 다양한 산업으로의 RFID 기술 응용이 크게 확대되었다. 대표적인 산업현장의 RFID응용 예로는 물류, 유통분야를 들 수 있으며, 정보를 무선으로 전송 [3]하므로 비접촉 환경에서 사용이 용이하다는 장점을 가진다. 최근 들어, 건축분야에서 RFID를 사용하여 자재를 관리하는 시스템들이 개발되고 있는데, 기존의 RFID 자재관리 시스템은 자재관리 자체에만 초점을 맞추어 재건축 시 자재의 재사용을 위한 일련의 정보를 관리하는 기능을 가지는 시스템에 대한 개발은 활발히 진행되고 있지 않은 실정이다.

본 논문에서는 Zigbee[4]의 RSSI 값을 사용하여 건축자재의 위치를 추정하고, 그 정보를 자재의 재사용 관리에 사용하는 RFID 자재관리 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 UHF(: Ultra-High Frequency) 대역의 RFID를 사용하며, 위치추정을 위한 위치추정 유닛과 리더기의 거리는 Zigbee의 RSSI(: Received Signal Strength Indicator) 값을 측정하여 계산한다. 리더부에서 태그 ID와 위치추정 결과를 저장부로 전송하고, 저장부는 전송된 데이터를 데이터베이스에 저장 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 기존의 RFID 기반의 건축 자재관리 시스템들에 대한 선행연구 및 기존 연구의 문제점에 대하여 고찰하고, 3장에서는 자재의 위치를 추정하기 위한 위치추정 모델을 제시한다. 4장에서는 제안된 RFID 시스템에 대하여 설명하고 5장에서 실험을 통한 위치추정 성능검증에 대한 결과를 확인하고, 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

II. 선행연구 및 기존 연구의 문제점

RFID를 활용한 건축 자재관리 시스템에 대한 다양한 선행연구들이 진행되어 왔지만, 기존연구들은 신규 건축자재 관리 자체에만 집중되어 왔다. 즉, 건축 현장에서의 자재 투입량과 재고과잉 목적의 관리

시스템들이다. 해외의 경우 미국 카네기 멜론대학에서 RFID를 이용한 관리 시스템을 제시 하였고, 현장 실험을 통하여 30%의 능률이 향상된 것을 보였다 [5]. 국내의 경우 건물의 주가 되는 건축자재(철골 콘크리트, 마감자재 등)에 RFID를 활용한 관리시스템에 대한 연구 및 현장실험 사례가 있으며[6-9], [10]에서는 RFID를 활용한 국내 자재관리 선행연구들을 정리해 놓았다. 하지만 기존의 연구들은 자재의 초기상태(적재량, 상태 등)에 대한 정보만 제공할 뿐 재건축시 자재를 재사용하기 위한 정보(이전 건축시 자재가 사용된 위치, 상태, 재사용 횟수 등)들은 고려하지 않았다. 기존 연구들의 문제점을 보완하기 위해 본 논문에서는 Zigbee의 RSSI 측정값을 기반으로 하는 위치추정 기능이 탑재된 건축자재 재사용에 효율적인 RFID 자재관리 시스템을 제안한다.

III. 위치추정 모델

본 논문에서는 건축자재의 위치추정을 위해 리더기의 위치를 계산하는데, 이를 위해 이미 알고 있는 세 개 이상의 위치추정 서버의 좌표와 서버와 리더기의 거리를 계산하여 이를 원의 반지름으로 사용하는 삼각변 측량(Trilateration) 기법을 사용한다. 그림 1은 이 방법에 대한 개략도이다. RFID 리더부에 연결된 메인 Zigbee에서 Remote AT Command Request 프레임에 DB커맨드를 브로드캐스팅으로 전송하면 천장에 부착된 3개의 서버 Zigbee에서 Remote Command Response로 RSSI 값을 16진수의 형태로 전송하고, 전송된 16진수의 RSSI 값을 거리로 환산한다. 환산된 거리 값과 서버의 좌표를 기반으로 건축자재의 위치(=리더의 위치)를 추정한다.

리더의 위치는 식(1)에 의해 계산되는 거리에 기반하여 추정될 수 있다[11].

$$D_n^2 = (x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 \quad (1)$$

여기서 D_n ($n = 1, 2, 3, \dots$)은 RSSI 값 기반으로 계산되는 거리 값이고, x_i, y_i ($i = 1, 2, 3, \dots$)은 i 번째 서버 Zigbee의 좌표, x, y 는 리더의 위치이다.

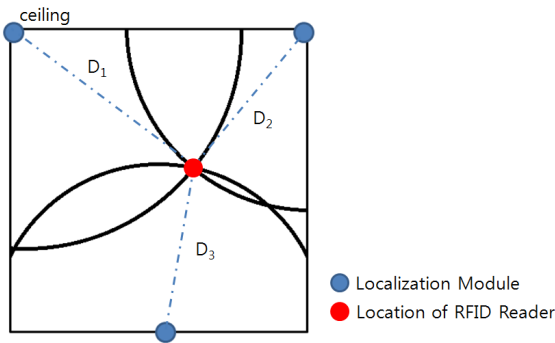


그림 1. 삼각변 측량 위치추정 개략도

Fig. 1 Localization schematic diagram based on trilateration

IV. Zigbee 위치추정 기반의 RFID 시스템

본 장에서는 건설자재 재사용 관리에 유용한 Zigbee 위치추정 기반 RFID 시스템을 소개하고, 그 구현에 대하여 논한다.

4.1 시스템 구조

본 논문에서 제안된 RFID 시스템은 자재에 삽입 혹은 부착되어 있는 태그의 정보를 인식함과 동시에 RFID 리더를 활용하여 자재의 위치정보를 획득한다. 콘크리트나 외장마감재 안쪽에 위치하는 건축 자재의 특성상 직접적으로 건축자재의 위치를 추정하는 것은 어렵다. 또한, 각 자재에 부착된 RFID 태그와 리더기의 거리가 가까우므로, 각 자재의 위치를 추정하기 위해 부착된 태그를 추정하기 보다는 RFID 리더기의 위치를 추정하여 각 자재의 위치로 결정한다. RFID 태그는 자재의 표면에 부착되는데, 자재에 직접 태그를 부착하면 태그의 손상으로 인한 정보누락 및 오류가 발생 할 수 있는데, 이에 대한 연구가 [12]에서 수행되었다. 효율적으로 태그를 인식하기 위해 일정거리 이상 인식이 가능한 UHF 대역의 RFID 리더를 사용한다.

제안된 RFID 시스템은 리더부와 저장부로 구성되며, 리더부는 태그 인식을 위한 UHF RFID 리더 모듈, 시스템 통합제어를 위한 MCU(Micro Control Unit), 자재의 위치추정을 위한 Zigbee S2모듈, 정보

전송을 위한 RF 모듈로 구성된다. 저장부는 데이터 흐름 제어를 위한 MCU, 무선 데이터 수신용 RF모듈, 수신된 데이터 저장을 위한 데이터베이스로 구성된다. 그림 2는 RFID 리더부의 흐름도이고, 그 순서는 아래와 같이 주어진다.

1. 전원 ON
2. 시스템 초기화
3. 태그인식
- 4-1. 인식된 태그가 존재하면 RSSI 값 측정
- 4-2. 존재하지 않으면 재인식
5. 측정된 RSSI값을 기반으로 리더의 좌표계산
6. 태그 ID 및 계산된 좌표 전송
- 7-1. 추가적인 인식이 필요한 경우 3번으로 이동
- 7-2. 종료 시 전원 OFF

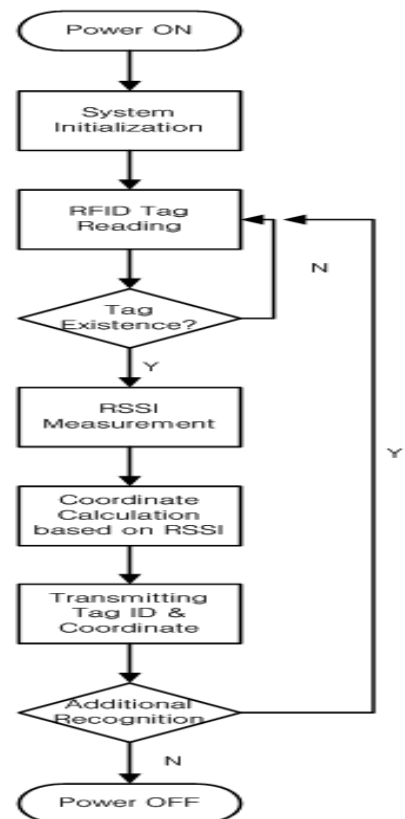


그림 2. 리더부 흐름도

Fig. 2 Flow-chart of reader unit

그림3은 저장부의 흐름도이고, 그 순서는 다음과 같다.

1. 전원 ON
2. 시스템 초기화
3. 전송된 데이터의 유무 확인
- 4-1. 데이터가 수신된 경우 저장
- 4-2. 수신된 데이터가 존재하지 않으면 데이터의 전송 여부 확인.

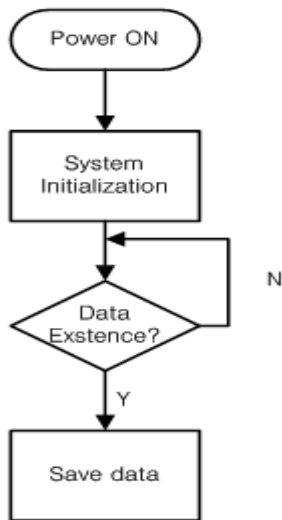


그림 3. 저장부 흐름도
Fig. 3 Flow-chart of memory unit

4.2 시스템 구현

본 논문에서 제안된 자재관리 시스템은 RFID 리더부와 저장부로 구성된다. RFID 리더부는 UHF대역의 RFID 리더 모듈, UHF대역의 RFID 태그, 시스템의 전체적인 제어를 위한 MCU, RSSI값 측정을 위한 주 Zigbee와 3개 이상의 서브 Zigbee, 태그 ID와 위치정보 전송을 위한 무선통신 모듈로 구성되고, 저장부는 데이터를 전송받기 위한 무선통신 모듈, 데이터 제어를 위한 MCU, 데이터 저장을 위한 데이터 베이스로 구성된다. 그림4는 구현된 RFID 리더부와 저장부이다.

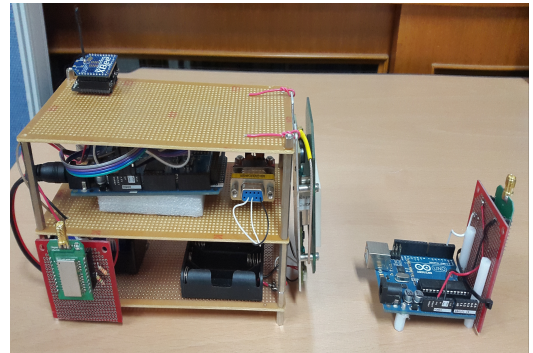


그림 4. 구현된 RFID 리더부와 저장부
Fig. 4 Implemented RFID reader unit and memory unit

4.3 RSSI값 기반 거리환산

이론적인 RSSI 값에 대한 수식은 식(2)와 같고, 이를 거리 값에 대해 정리하면 식(3)과 같다.

$$RSSI = -10n \log(d_i) + TX_{power} \quad (2)$$

$$d_i = 10^{\frac{TX_{power} - RSSI}{10n}} \quad (3)$$

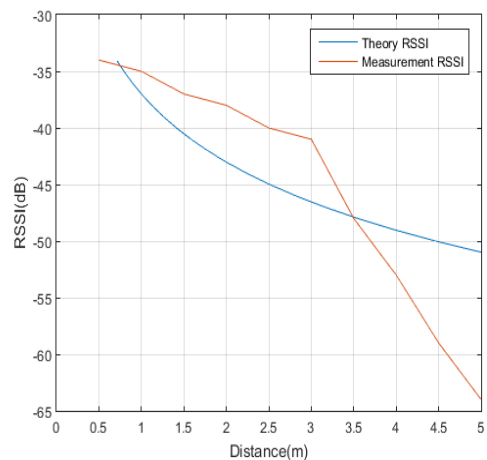


그림 5. RSSI값에 대한 이론상 거리와 측정 거리 비교

Fig. 5 Comparison of theoretical distance and the estimated distance of RSSI value

식 (3)에서 n 은 전파손실도, d_i 는 주 Zigbee와 i 번째 서브 Zigbee 간의 거리, TX_{power} 는 Zigbee에서 사용하는 전송파워를 의미한다. 실제 환경에서는 전파환경 특성상 이론값과 차이가 나게 되고, 측정된 RSSI 값을 사용하여 거리 값을 환산한다. 그림 5는 이론적인 RSSI 값과 측정된 RSSI 값을 나타낸 것이다. RSSI 측정은 개방된 공간에서 50cm간격으로 5m까지 측정하였으며, 전파손실도는 2, TX_{power} 는 3dBm를 사용하였다.

V. 성능평가

본 장에서는 5m X 5m의 2차원 공간에서 메인 Zigbee 모듈과 각각의 서브 Zigbee 모듈 간의 RSSI 값을 측정하고 측정된 RSSI값을 기반으로 계산된 거리 값을 사용하여 RFID 리더의 위치를 추정하는 성능평가에 대한 결과를 보인다. 서브 Zigbee모듈들의 하위 4bit 주소는 F870, 0690, 06EE이고 각 모듈은 좌표 (0, 0) (5, 0) (3, 5)에 위치한다고 가정한다. 그림 6은 RFID 리더가 (3, 3.9)에 위치하고 있는 경우, 추정결과이고 추정된 리더의 위치는 (2.8, 2.98)이

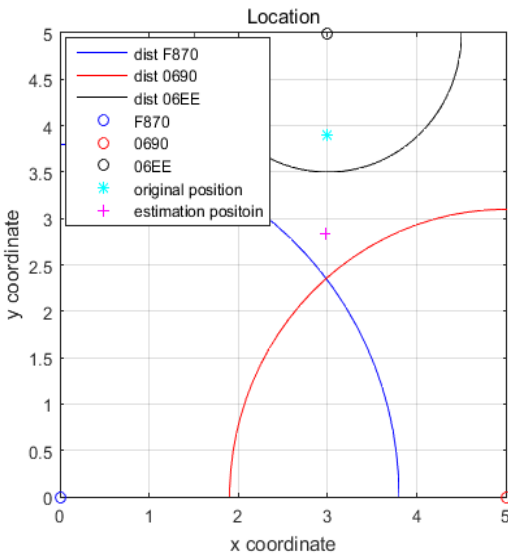


그림 6. RFID 리더가 좌표(3, 3.9)에 위치한 경우
Fig. 6 RFID reader located at coordinates (3, 3.9)

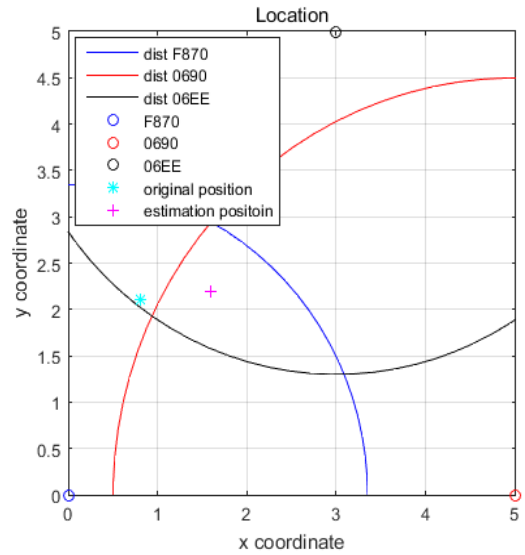


그림 7. RFID 리더가 좌표(0.8, 2.1)에 위치한 경우
Fig. 7 RFID reader located at coordinates (0.8, 2.1)

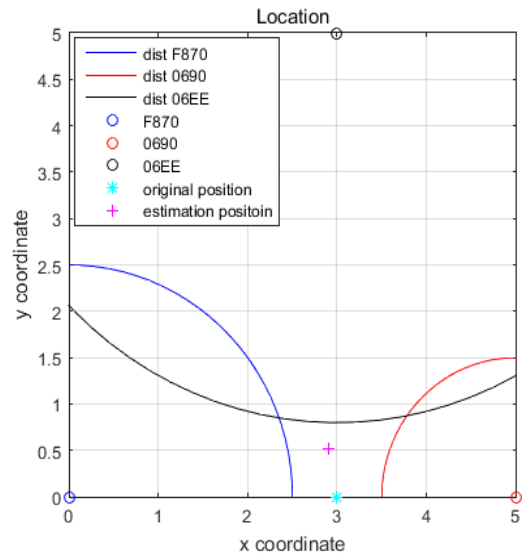


그림 8. RFID 리더가 좌표(3, 0)에 위치한 경우
Fig. 8 RFID reader located at coordinates (3, 0)

다. 그림 7은 RFID 리더가 (0.8, 2.1)에 위치하고 있는 경우, 추정결과이고 추정된 리더의 위치는 (1.6, 2.19)이다. 그림 8은 RFID 리더가 (3, 0)에 위치하고 있는 경우, 추정결과이고 추정된 리더의 위치는 (2.9, 0.52)이다.

추정오차는 식(4)에 의해 계산된다.

$$Error = \sqrt{(x - \hat{x})^2 + (y - \hat{y})^2} \quad (4)$$

여기서 x, y 는 리더의 실제 위치를 의미하며 \hat{x}, \hat{y} 은 추정된 리더의 위치이다. 좌표(3, 3.9)에 위치한 경우 추정오차는 0.94m, 좌표(0.8, 2.1)에 위치한 경우 추정오차는 0.81m, 좌표(3, 0)에 위치한 경우 추정오차는 0.53m로 계산되었다. 본 실험은 좁은 실내 공간에서 시행되어 약간의 오차가 발생하였는데, 넓은 실내 공간에서 실험을 진행할 경우, 상대적 오차는 상당히 작아 질 것으로 예상된다.

VI. 결 론

건축 초기단계에 자재의 유통 및 관리만을 위해 RFID를 사용하는 기존의 RFID 자재관리 시스템과 다르게, 본 논문에서는 효율적인 자재의 재사용을 위해 Zigbee의 RSSI 값을 기반으로 리더의 위치를 추정 하는 기능을 추가한 RFID 자재관리 시스템을 제안하였다. 제안된 RFID 시스템은 측정된 RSSI 값을 활용하여 거리값을 환산하고, 환산된 거리 값을 기반으로 RFID 리더의 위치를 추정한다. RFID 리더 부에서는 자재에 부착되어 있는 RFID 태그를 인식하고 인식된 태그의 ID와 함께 계산된 위치정보를 저장부로 송신한다. 저장부에서는 수신된 정보를 데이터베이스에 저장하여 보다 효율적인 건축자재 재사용 관리가 가능하도록 하였다. 5m X 5m 의 좁은 실내공간에서 리더의 위치를 추정함에 있어 약간의 오차가 발생하였는데, 그 원인은 신호강도 특성상 안테나의 방향 및 주변 구조물의 간섭에 의해 RSSI 값이 정확히 측정되지 않았고, 이로 인해 거리 값이 변화되어 생기는 오차로 예상된다.

참고 문헌

- [1] H. Lee and J. Oh, "Studies on Effective Fluid Monitoring Terminal design with the Use of location-based service," *J. of the Korea Institute of Electronics Communication Sciences*, vol. 11, no. 4, 2016, pp. 421-426.
- [2] G. Kim, S. Cho, and B. Yun, "A Study on Optimal Searching Path Using Handheld RFID Reader and Deployment of a Stationary Reader to Maximize the Efficiency of the Search Process for Missing Medical Assets," *J. of the Korean Operations Research and Management Science Society*, vol. 37, no. 4, 2012, pp. 95-109.
- [3] S. Joung and D. Kim, "Case Study for RFID Applications from Business Model Perspective," *J. of Information Technology Application & Management*, vol. 20, no. 1, 2013, pp. 197-216.
- [4] G. Kim, "Implementation of Real-time Sensor Monitoring System on Zigbee Module," *J. of the Korea Institute of Electronics Communication Sciences*, vol. 6, no. 2, 2011, pp. 312-318.
- [5] J. Han, S. Kwon, and M. Cho, "Development of Material Management System and Field Tests Using RFID Technology on High-Rise Building Construction," *J. of the Architectural Institute of Korea*, vol. 22, no. 10, 2006, pp. 121-128.
- [6] C. Park, O. Kwon, and S. Yun, "A case study on the resource management of the steel structure construction project using RFID technology," *Conf. of the Korea Institute of Building Construction*, Seoul, Korea, Apr. 2007, pp. 93-96.
- [7] S. Park, J. Lee, J. Song, and K. Oh, "RFID Technology Application in Construction Material Management Process," *Conf. of the Architectural Institute of Korea*, Gwangju, Korea, Oct. 2008, pp. 593-596.
- [8] S. Park, J. Song, and K. Oh, "Materials management using RFID in the apartment construction," *Conf. of the Korean Housing Association*, Daegu, Korea, Apr. 2008, pp. 251-255.
- [9] S. Kim, C. Lee, S. Lee, and J. Kim, "Method of RFID Network System Application for Improving of Construction Productivity in Construction Site," *J. of the Korea Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 35, no. 8, 2010, pp. 1224-1231.
- [10] J. Lee, J. Song, and K. Oh, "A Study on Developing a Context - Aware Scenario for

the RFID Application of the Information Management on the Construction Materials," *J. of the Architectural Institute of Korea*, vol. 25, no. 3, 2009, pp. 111-118.

- [11] K. Yoon, "Improved Localization Algorithm for Ultrasonic Satellite System," *J. of the Korea Institute of Electronics Communication Sciences*, vol. 6, no. 5, 2011, pp. 775-781.
- [12] J. Shin and S. Hwang, "Design of RFID Packaging for Construction Materials," *J. of the Korea Institute of Electronics Communication Sciences*, vol. 8, no. 6, 2013, pp. 923-931.

감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2015R1D1A1A01058827).

이 논문은 2014년도 조선대학교 연구비의 지원을 받아 연구되었음.

본 논문은 2016년도 한국전자통신학회 추계 종합학술대회 우수논문의 확장본입니다.

저자 소개

김태윤(Tae-Yun Kim)



2014년 2월 조선대학교 메카트로닉스공학과 졸업

2016년 2월 조선대학교 대학원 전자공학과 석사졸업

2016년 3월 조선대학교 대학원 전자공학과 박사과정

※ 관심분야 : RFID, 이동로봇 플랫폼, 로봇 위치추정, Simultaneous Localization And Mapping

황석승(Suk-Seung Hwang)



1997년 2월 광운대학교 제어계측공학과 졸업

2001년 6월 University of California, Santa Barbara, Electrical & Computer Engineering Department 대학원 졸업 (공학석사)

2006년 University of California, Santa Barbara, Electrical & Computer Engineering Department 대학원 졸업 (공학박사)

2006. 5~2008. 3 삼성전자 통신연구소 책임연구원

2008. 3~2014. 1 조선대학교 메카트로닉스공학과 교수

2014. 2 ~ 현재 조선대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 적응신호처리, 위치추정, 채널추정, 이동로봇용 위치추정, 간섭제거, RFID

