



**Journal of Knowledge Information Technology and Systems**

ISSN 1975-7700 (Print), ISSN 2734-0570 (Online)

<http://www.kkits.or.kr>

## **Machine Learning Based Anti-Collision Arbitration Algorithm for RFID Tag Recognition Process**

**Sung-Jin Jang<sup>1</sup>, Won-Hui Lee<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Department of Mechatronics Engineering, Yuhan University*

<sup>2</sup>*Department of Electrical & Electronic Engineering, Seoul Digital University*

### **A B S T R A C T**

Automatic recognition technology is one of the representative technologies of the Fourth Industrial Revolution and is currently used in various fields. RFID and NFC systems that we know are also being used by applying automatic recognition technology. RFID systems have evolved to replace existing barcode systems in a variety of areas that can be utilized as automatic recognition technologies. The biggest problem with today's RFID-enabled auto-recognition systems is the conflict between the leader and the tag that occurs when sharing the radio spectrum. Collision occurs when a tag within the recognition distance sends a signal to the reader simultaneously. If multiple tags are present in the RFID system and want to be recognized at the same time, the recognition performance of the tags will be significantly reduced and the recognition system will be able to recognize them. Causes performance problems. In other words, collision arbitration is aimed at fast and reliable recognition between RFID readers and tags, so it must be done without fail. It's a necessary skill. Existing studies use a variety of complex multi-connection technologies and collision prevention algorithms to mediate conflicts between tags. The anti-collision algorithm between leader and tag proposed in this paper used mechanical learning used in artificial intelligence. The problem with the existing Anti-Collision algorithm is extracted by learning the appropriate number of frames to mediate tag conflicts using instructional learning. Performance was compared with existing algorithms. We would like to study how to improve the leader recognition rate by using collision prevention algorithm using mechanical learning in recognition between tags and readers.

© 2020 KKITS All rights reserved

**KEYWORDS :** Automatic recognition, Fourth Industrial Revolution, Collision arbitration, RFID and NFC, Anti-Collision algorithm, Artificial intelligence, Mechanical learning

**ARTICLE INFO:** Received 13 September 2020, Revised 21 September 2020, Accepted 13 October 2020.

\*Corresponding author is with the Department of Electrical & Electronic Engineering, Seoul Digital University, 424 Gonghang-daero, Gangseo-gu, Seoul, Korea. *E-mail address:* whlee@sdu.ac.kr

## 1. 서 론

현재 우리가 알고 있는 RFID와 NFC 기술은 자동인식 기술을 적용하여 사용되고 있다. 자동 인식 기술 분야의 하나인 RFID 시스템은 인식을 원하는 물체에 태그를 부착하여 동작한다. 이후 리더가 일정 거리에서 고유한 주파수 스펙트럼을 전송하여 인식 거리에 있는 태그를 자동으로 인식할 수 있게 하는 기술이다[1]. 태그에는 인식 정보를 저장하고 있다. 인식 거리에 근접하는 리더가 태그를 인식하고 유효한 정보로 처리하여 사물을 인식하게 된다[2]. 하지만 복수개의 태그들이 RFID 시스템에 존재하여 동시에 인식을 하고자 할 경우 태그의 인식 성능이 매우 저하되어 인식 시스템의 성능에 결정적인 문제를 발생시킨다. 우리는 이것을 태그 간 충돌 현상이라고 한다. RFID 시스템에서 태그 간 충돌이 발생되면 리더는 태그의 정보를 정확하게 인식할 수 없게 되고 충돌로 인하여 신호를 재전송하고 결과적으로 시스템의 효율이 저하되게 된다[3]. 즉 오버헤드와 전송지연 현상을 발생하게 된다[4,5]. 본 논문에서는 이러한 인식성능 저하로 인하여 발생하는 시스템 효율을 향상 시키고자 한다. 기존의 충돌방지 알고리즘에서 추정된 태그 개수와 인공지능의 기계학습 알고리즘에 적용하여 추출한 태그 개수를 비교 하였다. Vogt의 태그 개수 추정을 위한 estimate Tags 함수를 기계학습으로 대체 하였다. 즉 태그의 개수를 2<sup>n</sup>개씩 증가시키면서 지도학습 알고리즘을 반복하여 학습을 시켜 가면서 변화를 관찰하였다. 이후 태그 충돌을 중재할 수 있는 최적화된 프레임 수를 확인하고 기존 알고리즘과 성능을 비교하였다. 향후 최적 프레임 사이즈 역시 기계학습의 지도학습 알고리즘으로 학습하여 기존의 Markov Process에 의한 충돌방지 알고리즘의 성능과 비교하고자 한다.

## 2. 리더 태그 간 충돌방지 알고리즘

RFID 시스템 환경에서 리더의 역할은 일정한 인식 거리 내에 위치하는 모든 태그들을 최대한 빠르게 인식해 내는 것이다[6]. 태그는 리더에게 기본적으로 정의된 동작에 따라서 인식 정보를 포함한 메시지를 전달하고 ID를 확인받게 된다. 복수개의 태그가 응답을 하게 될 때 리더에서는 충돌이 발생하게 된다. 이유는 동일한 무선 채널을 다수의 태그들이 동시에 점유하게 되어 리더에 수신되는 신호들이 충돌을 발생하게 한다. 동시에 태그를 인식하게 되면 충돌이 발생되어 리더는 전체 태그 정보를 인식할 수 없게 된다[7]. 결과적으로 재인식을 위해서 리더는 태그의 정보를 알기 위해서 신호를 재전송 하여야 한다. 충돌이 발생하여 ID 전달시 전송지연을 포함한 오버헤드를 발생하게 된다. 이러한 태그 충돌 상황에서 리더는 인접한 태그의 상황을 인식하지 못하는 상황에 빠져 버리게 된다. RFID 시스템에서 다수의 태그가 하나의 리더를 통하여 동시에 인식 절차를 진행하면 태그의 신호를 정확히 분리해내야 한다[8]. 즉 태그 충돌을 파악하여 인식에 필요한 정확한 태그 개수를 찾아내야 한다. 기존 연구에서 리더 태그 간 충돌에 대한 오차를 줄이고 태그 인식 충돌방지 성능 향상을 위하여 두 가지 충돌방지 알고리즘이 사용된다[9]. 본 논문에서는 태그 충돌방지 알고리즘은 확률방식과 결정방식의 알고리즘들이 제안되었다[10,11]. 본 논문에서는 확률방식인 Framed Slotted Aloha 기반의 알고리즘[12,13]을 기계학습의 지도학습으로 학습시켜 성능을 비교 하고자 한다. 자동인식 기술에서 태그와 리더 간 인식의 가장 중요한 것은 리더가 인식 범위 내에 존재하는 태그들은 최대한 빠르게 인식해야 한다. 리더가 복수개의 태그를 모두 인식하고 이후에 프로세스를 진행해야 한다.

### 3. Framed Slotted Aloha 방식의 충돌방지 알고리즘

리더는 다수개의 태그들을 인식하기 위하여 인식 횟수마다 질의 명령을 하고 프레임을 관찰한다. 여러 번의 라운드를 거쳐서 새로운 태그의 ID를 식별하게 된다. Framed Slotted Aloha 방식의 태그 인식 절차에서 각 프레임은 정해진 타임 슬롯으로 구성된다. 태그는 프레임 당 한번만 응답하게 된다. 리더의 질의에 응답하는 태그는 프레임 마다 하나의 슬롯만을 선택하여 리더에게 ID를 보내게 된다. 즉 여러 번의 프레임에 반복 하면서 태그 인식 절차가 이루어진다. 태그 인식 성능은 태그 수에 따르는 프레임의 크기에 영향을 받게 된다. 즉 프레임 크기가 작으면 타임 슬롯을 점유하려는 태그 수가 많아져서 충돌이 많이 발생한다. 반대로 프레임 크기가 크면 비어있는 타임 슬롯이 많아져 인식 성능이 떨어지게 된다. 결과적으로 리더는 인식이 성공된 슬롯에서만 태그 ID를 식별하게 된다. 그래서 매번 프레임 마다 filled 슬롯, empty 슬롯, collisions 슬롯의 수를 체크 하게 된다[14]. 리더는 위와 같은 정보를 바탕으로 인식할 수 있는 태그의 개수를 추출하고 프레임의 크기를 알 수 있게 된다. 결과적으로 인식 절차에서 새로 인식되는 태그 수는 이전 경우에 인식된 태그 개수의 영향을 받게 된다. 태그 인식 절차는 Markov Process 모델링을 통하여 계산할 수 있다[15-17]. 태그 개수 추정을 위하여 각각 슬롯을 filled, empty, collisions으로 분류 하였을 때  $c = (c_0, c_1, c_k)$ 와 같이 정의할 수 있다. 슬롯에서 태그 할당은 다음과 같은 점유 문제에서 N개의 슬롯과 n개의 태그가 주어졌을 때 하나의 슬롯에서 태그 r은 이항분포를 따른다. 모든 슬롯에 r개의 태그가 할당된 슬롯의 경우 태그 점유 개수  $a_r$ 은 아래와 같은 식으로 계산할 수 있다.

$$a_r = N \binom{n}{r} \left(\frac{1}{N}\right)^r \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-r} \quad (1)$$

모든 충돌에서는 적어도 두 개의 태그가 관련되어 있다. 모든 태그가 하나를 선택하고 메시지를 전송하기 위하여 하나의 슬롯만을 사용 한다. 태그 개수를 알 수 없는 상황에서는 최적 프레임 사이즈를 선택 할 수 없게 된다. 결과적으로 최적의 프레임 크기를 선택할 수 없으면 태그 수를 알 수 없게 된다. 태그 읽기 사이클이 수행되면 더 나은 추정치 숫자를 얻을 수 있고 프레임 사이즈도 얻을 수 있다. 읽기 사이클 결과에서  $c = (c_0, c_1, c_k)$  태그의 실질적인 개수를 추정할 수 있다. 태그 인식 절차에서 충돌은 두개 이상의 태그가 인식과정에서 참여하고 모든 태그는 단지 한 개의 슬롯을 사용하여 태그 ID를 전달한다. 아래 식에서 하한 태그의 개수는 다음과 같이 구할 수 있게 된다.

$$\gamma: (c_0, c_1, c_k) \rightarrow c_1 + 2c_k \quad (2)$$

하한 값으로 태그 개수를 추정 할 수 있으며 예상된 추정치의 오차 읽기 주기는 모든 가능한 결과에 대해 가중치 오차를 합산하여 얻을 수 있다.

$$\epsilon = \sum \gamma(c) - n | P(\mu = c) \quad (3)$$

Markov Process에 의한 태그를 읽는 과정은 homogeneous Markov process  $\{X_s\}$ 로 다음과 같이 모델링할 수 있다. 여기서  $\{X_s\}$ 는 매 사이클마다 인식된 태그의 개수이다.

$$q_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{if } j < i \\ \sum_{k=0}^i P(\mu_1 = k) \frac{\frac{i}{k}}{\frac{n}{k}} & \text{if } j = i \\ \sum_{k=j-i}^n P(\mu = k) \frac{\binom{n-i}{j-i} \binom{i}{k-j+i}}{\binom{n}{k}} & \text{if } j > i \end{cases} \quad (4)$$

랜덤변수  $\mu_r$ 을 r개의 태그가 점유한 슬롯과 같다면 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P(\mu_r = m_r) = \frac{\left( \frac{N}{m_r} \right) \prod_{k=0}^{m_r-1} \left( \frac{n-kr}{r} \right) G(N-m_r, n-r)}{N^m} \quad (5)$$

Vogt에 의한 Markov Process에서 계산되어 구해진 태그의 수는 아래 <표 1>과 같다. 식 (6)에 의해 구하게 된다.

$$G(M, m) = M^m + \sum_{k=1}^m [(-1)^k] \prod_{j=0}^{k-1} \left\{ \left( \frac{m-jr}{r} \right) (M-j) \right\} (M-k)^{m-kr} \frac{1}{k!} \quad (6)$$

표 1. 최적 프레임 사이즈  
Table 1. Optimal Frame Size

N slots	8	16	32	64	128	256
nlow	-	1	10	17	51	112
nhigh	-	9	27	56	129	∞

<표 1>과 같이 Vogt의 태그 인식 프로세스에서는 태그 개수에 따른 최적 프레임 사이즈가 겹치는 문제가 발생된다. 예를 들어 태그의 수가 27일 때 최적 프레임 사이즈는 32와 64에 동시에 포함될 수 있기 때문이다. 결과적으로 최적 프레임 사이즈를 추정하는데 문제를 가져오게 된다. 적절한 프레임 사이즈의 추정이 태그 인식 프로세스의 성능을 좌우하기 때문이다. 본 논문에서는 이와 같은 Vogt의 태그 인식 프로세스 문제를 검증하고 최적 프레임 사이즈를 구하기 위하여 기계학습에서 지도 학습을 사용하였다.

#### 4. 기계학습에서 지도 학습을 적용한 태그 개수 추정 시뮬레이션

지도 학습(supervised learning)은 이미 알려진 환경에서 사용자 입력(input)과 그에 따른 바람직한 출력(output)을 알고리즘으로 제공한다. 그리고 알고리즘은 주어진 입력에서 사용자가 원하는 출력을 만들어 내기 위한 방법을 찾아낼 수 있게 된다. 이 과정을 거치면 알고리즘은 인간의 도움 없이 이전에 한 번도 학습 하거나 경험을 하지 못했던 입력으로부터 출력을 만들어낼 수 있게 된다. 이렇게 입력과 출력 쌍으로부터 학습하는 방법을 지도 학습 알고리즘이라 한다. 지도 학습은 이미 사용자가 데이터의 특성과 원하는 목표 결과 값을 가지고 있는 상태에서 해당 데이터를 가지고 반복적인 학습을 시켜 모델링을 구축하게 된다. 본 논문의 시뮬레이션에서는 태그의 개수를  $2^n$ 개부터 목표치 개수까지 계속 늘려가면서 filled, empty, collisions의 경우를 측정 하였다.

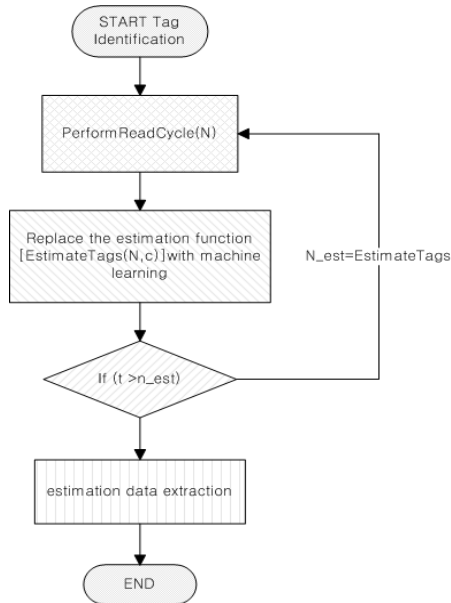


그림 1. 기계학습 적용 태그 개수 추정  
Figure 1. Estimation of the number of tags applied to machine learning

<그림 1>은 기계학습을 적용하여 태그 개수를 추정하는 과정이다. 기존의 태그 개수를 추정하는 Markov Process에서 계산된 태그 개수  $t=estimateTags(N,c)$ 를 기계학습의 지도 학습 알고리즘을 적용하여 반복 학습을 시켜 추출 하는 방법이다. 이와 같은 학습 과정을 거치면서 기존의 복잡한 Markov Process 과정에서 계산된 태그 개수 추정방법을 대체 할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 인공지능의 기계학습에서 지도학습을 사용하여 기존 논문의 태그 개수 추정 방법을 대체 할 수 있었 으며 <그림 2>와 <그림 3>과 같이 기존 Markov Process 방법과 유사한 결과 값을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었다.

<그림 2>와 <그림 3>의 결과에서 태그의 개수를 2<sup>n</sup>개씩 증가 시키면서 지도 학습 알고리즘을 반복 하여 학습을 시켜 기존의 충돌방지 알고리즘에서 추정된 태그 개수와 인공지능의 기계학습 알고리

즘에 적용하여 추출한 태그 개수가 거의 일치 하는 것을 확인할 수 있었다.

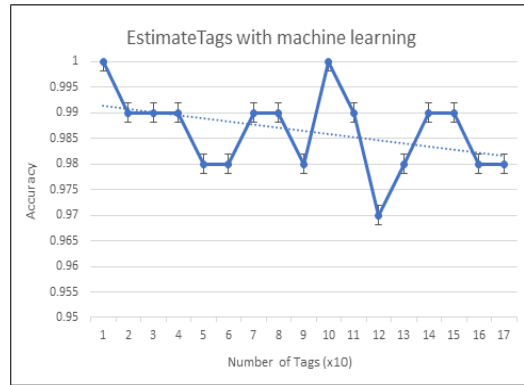


그림 2. 기계학습 적용 태그 개수 추정  
Figure 2. Estimation of the number of Tag

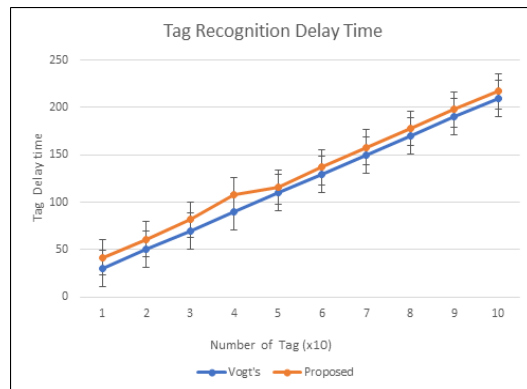


그림 3. 기계학습 적용 태그 지연시간  
Figure 3. Delay Time of the number of Tag

## 5. 결론

태그 간 충돌 현상으로 인식 시스템의 효율이 저하되는 문제는 기존에 다양한 방법의 충돌 중재 알고리즘이 사용되고 있다. 하지만 태그 개수를 정확하게 알 수 없을 때 발생하는 문제점인 프레임 사이즈 추정에서 부족하거나 낭비되는 타임 슬롯의 발생으로 정확하지 못한 태그 인식 결과를 받

생시킴에 된다. 기존 태그 인식 프로세스의 과정에서 태그 개수 추정 부분을 기계학습의 지도학습 알고리즘을 적용하여 반복적으로 학습시킨 결과 태그 개수 추정이 Markov Process에서 계산된 태그 개수와 유사함을 확인할 수 있었다. 향후 기계학습을 적용한 태그 인식 프로세스에서 최적 프레임 사이즈를 추정할 수 있는 부분에도 적용이 가능할 것으로 예상된다.

## References

- [1] EPC global, *Class 1 Generation 2 UHF Air interface protocol standard version 1.2.0*, 2008.
- [2] EPC *Radio-frequency identity protocols generation 2 identity tag (Class 1): Protocol for communications at 860MHz-960MHz*. EPC global hardware action group (HAG), *EPC identity tag (Class 1) generation 2, last-call working draft version 1.0.2*, 2003.
- [3] K. Finkenzeller, *RFID handbook: Radio-frequency identification fundamentals and applications*, Wiley, 2004.
- [4] D. K. Klair, K. W. Chin, and R. Raad, *A survey and tutorial of RFID anti-collision protocols*, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 12, No. 3, pp. 400-421, 2010.
- [5] P. H. Cole, and D. M. Hall, *Fundamental constraints on RFID tagging systems*, research paper, available at <http://autoidlabs.eleceng.adelaide.edu.au/researchpapers.htm>. Jun. 07. 2020.
- [6] S. M. Birari and S. Iyer, *Mitigating the reader collision problem in RFID networks with mobile readers*, Jointly held with the 2005 IEEE 7th Malaysia Inter. Conference on Communication Networks and 2005 13th IEEE Inter. Conf. on Networks, Vol. 1, pp. 463-468, Nov. 2005.
- [7] K. S. Leong, M. L. Ng, and P. H. Cole, *The reader collision problem in RFID systems*, Proc. IEEE Inter. Symp. on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, Vol. 1, pp. 658-661, Aug. 2005.
- [8] H. Vogt, *Efficient object identification with passive RFID tags*, Proceedings of the First International Conference on Pervasive Computing, Seattle, pp. 98-113, 2002.
- [9] J. R. Cha and J. H. Kim, *Novel anti-collision algorithms for fast object identification in RFID system*, Proceedings of the 11th International Conference on Parallel and Distributed Systems, Fukuoka, pp. 63-67, 2005.
- [10] J. Waldrop, D. W. Engels, and S. E. Sarma, *Colorwave: An anti-collision algorithm for the reader collision problem*, IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), pp. 1206-1210, Mar. 2003.
- [11] W.-T. Chen and G.-H. Lin, *An efficient anti-collision method for RFID system*, in IEICE Transactions on Communications., Vol. 89, pp. 3386-3392, 2006.
- [12] F. C. Schoute, *Dynamic frame length ALOHA*, IEEE Transactions on Communications, Vol. 31, No. 4, pp. 565-568, 1983.
- [13] B. Zhen, M. Kobayashi, and M. Shimizui, *Framed Aloha for multiple RFID objects identification*, IEICE Transactions on Communications, Vol. 88, No. 3, pp. 991-999, 2005.
- [14] H. Vogt, *Multiple object identification with*

*passive RFID tags*, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 3, 2002.

- [15] T. S. Flor, W. Niess, and G. Vogler, *RFID: The integration of contact-less identification technology and mobile computing*, The 7th Inter. Conf. on Telecommunications, Vol. 2, pp. 619-623, Jun. 2003.
- [16] E-J. Shin, I-H. Yun, D. X. Hau, S-Y. Kim, and G-C. Jeong, *An efficient recognition method using 2 layer hidden markov model for human driving behavior*, Journal of Knowledge Information Technology and Systems(JKITS), Vol. 9, No. 5, pp. 617-628, 2014.
- [17] G-S. Lee, *Efficient segmentation by phoneme unit using SVMS*, Journal of Knowledge Information Technology and Systems(JKITS), Vol. 9, No. 1, pp. 35-40, 2014.

할 수 있게 되고 성능 문제를 발생시키게 된다. 충돌 증제는 RFID 리더와 태그 간의 빠르고 신뢰할 수 있는 인식을 목표로 하므로 반드시 수행되어야 한다. 기존 연구에서는 다양한 복합 다중접속 기술과 충돌 방지 알고리즘을 사용하여 태그 간의 충돌을 증제한다. 본 논문에서 제안한 리더와 태그 간의 충돌 방지 알고리즘은 인공지능에 사용되는 기계학습의 지도 학습 알고리즘을 사용하였다. 주어진 입력에서 사용자가 원하는 출력을 만들어 내기 위한 방법을 찾아낼 수 있게 된다. 이 과정을 거치면 알고리즘은 인간의 도움 없이 이전에 한 번도 학습 하거나 경험을 하지 못했던 입력으로부터 출력을 만들어낼 수 있게 된다. 태그 개수를 정확하게 알 수 없을 때 발생하는 문제점인 프레임 사이즈 추정에서 부족 하거나 낭비되는 타임 슬롯의 발생으로 정확하지 못한 태그 인식 결과를 발생 시키게 된다. 기존 태그 인식 프로세스의 과정에서 태그 개수 추정 부분을 기계학습의 지도 학습 알고리즘을 적용하여 반복적으로 학습시킨 결과 태그 개수 추정이 Markov Process에서 계산된 태그 개수와 유사함을 확인할 수 있었다.

---

## 머신 러닝 기반 RFID 태그인식 프로세스를 위한 충돌방지 증제 알고리즘

장성진<sup>1</sup>, 이원희<sup>2</sup>

<sup>1</sup>유한대학교 메카트로닉스공학과 교수

<sup>2</sup>서울디지털대학교 전기전자공학과 교수

---

### 요 약

자동인식 기술은 4차 산업혁명의 대표적인 기술 중 하나로 현재 다양한 분야에서 사용되고 있다. 우리가 알고 있는 RFID와 NFC 시스템도 자동인식 기술을 적용해 활용되고 있다. RFID 시스템은 자동 인식 기술로 활용될 수 있는 다양한 분야에서 기존의 바코드 시스템을 대체하기 위해 진화해 왔다. 오늘날 RFID가 가능한 자동 인식 시스템의 가장 큰 문제는 무선 스펙트럼을 공유할 때 발생하는 리더와 태그 사이의 갈등이다. 충돌은 인식 거리 내의 태그가 동시에 판독기에 신호를 보낼 때 발생한다. RFID 시스템에 여러 개의 태그가 존재하여 동시에 인식하고자 할 경우 태그의 인식 성능이 현저히 저하되고 인식 시스템이 인식



**Sung-Jin Jang** received the M.S. degree in the Department of Electronics, Information and Communication Engineering from KonKuk University in 2000. He

received the Ph.D. degree in the Department of ICT convergence technology from Soongsil University in 2013. From 2000 to 2001, he was a researcher at DAEWOO Institute for Advanced Engineering. And from 2001 to 2006, he was a researcher at PANTECH. From 2007 to 2009, he was a researcher at KL-Net. From 2010 to 2011, he was a researcher at PST co. He has been a professor in the Department of Mechatronics Engineering at YuHan University since 2015. His current research interests include delay tolerant network, cognitive ratio network and smart tagging.

E-mail address: interlaken@yuhan.ac.kr



**Won-Hui Lee** received the M.S. and the Ph.D. degree in the Department of Electronics, Information and Communication Engineering from KonKuk University in 2000 and 2003, respectively. From 2002 to 2008, he was a researcher at LG Digital Appliance Laboratory. And from 2008 to 2009, he was a researcher at POSTECH. From 2009 to 2016, he was a researcher at ETRI. He was a professor in the Department of Information & Communication Engineering at Seoil University from 2016 to 2020. He has been a professor in the Department of Electrical & Electronic Engineering at Seoul Digital University since 2020. His current research interests include wireless communication system, EMI shield coating, delay tolerant network and neural network. He is a life member of the KKITS.

*E-mail address:* whlee@sdu.ac.kr