

RFID 시스템에서 고속 태그 식별을 위한 STAC/EPS 알고리즘

임인택*

STAC/EPS Algorithm for Fast Tag Identification in RFID System

Intaek Lim*

Department of Embedded Software, Busan University of Foreign Studies, Busan 46234, Korea

요 약

PS 알고리즘은 리더의 송신 전력을 점진적으로 증가시키면서 리더의 식별 영역 내에 있는 태그들을 그룹화 하여 식별하는 기법이다. 이 기법에서는 스캔 과정을 수행할 때마다 고정된 크기의 프레임을 사용한다. 이로 인하여 PS 알고리즘의 성능은 태그의 수와 프레임 크기에 따라 다양하게 나타나는 문제점이 있다. 본 논문에서는 매 스캔마다 태그의 수를 추정하여 최적의 프레임 크기를 할당하는 EPS 알고리즘을 제안하고, 이를 STAC 프로토콜에 적용한 STAC/EPS 알고리즘의 성능을 분석한다. 성능 분석의 결과, STAC/EPS 알고리즘의 평균 식별지연은 STAC 프로토콜에 비하여 45% 개선됨을 알 수 있었다. 또한 제안한 알고리즘은 전력 증가 값에 관계없이 항상 일정한 식별 지연을 얻을 수 있었다.

ABSTRACT

The PS algorithm divides the number of tags within the identification range of reader into smaller groups by increasing the transmission power incrementally and identifies them. It limits the number of responding tags by grouping the tags within the identification range of the reader, and thus can reduce the probability of tag collision. Also, in the PS algorithm, the reader takes advantages of the difference of identification ranges. This algorithm uses the fixed frame size at every scan. Therefore, it has problems that the performance can be shown variously according to the number of tags and frame size. In this paper, we propose an EPS algorithm that allocates the optimal frame size by estimating the number of tags at each scan, and apply it into the STAC protocol. The simulation results showed that STAC/EPS algorithm can improve the identification delay about 45% compared with STAC protocol. Also, it provides a stable identification delay regardless of power level increase.

키워드 : RFID, 충돌 방지 알고리즘, STAC 프로토콜, PS 알고리즘

Key word : RFID, Anti-collision algorithm, STAC protocol, PS algorithm

Received 22 February 2016, Revised 29 February 2016, Accepted 23 March 2016

* Corresponding Author Intaek Lim(E-mail:itlim@bufs.ac.kr, Tel:+82-51-509-6244)

Department of Embedded Software, Busan University of Foreign Studies, Busan 46234, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkice.2016.20.5.931>

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

RFID 시스템에서 다중 태그를 식별하기 위한 충돌 방지 알고리즘은 크게 확률적 방법과 결정적 방법으로 구분된다. 확률적 방법은 ALOHA 기법을 기반으로 하는 FSA(Frame Slotted ALOHA) 알고리즘을 사용하고 있으며, 이는 EPCglobal Class-1 Gen-2와 ISO/IEC 18000-6 Type C, 및 AutoID 센터에서 13.56MHz RFID 시스템에서 표준으로 채택하고 있다[1-3]. 결정적 방법은 트리 검색 방식을 기반으로 하고 있으며 EPCglobal Class-0와 ISO/IEC 18000-6 Type B에서 표준으로 채택하고 있다[4]. 결정적 알고리즘인 경우 리더와 태그간의 메시지 오버헤드가 많은 반면, 확률적 알고리즘은 알고리즘이 단순한 장점을 갖고 있다.

Auto-ID 센터에서는 13.56MHz RFID 시스템에 대한 충돌 방지 알고리즘으로 STAC(Slotted Terminating Adaptive Collection) 프로토콜을 제안하였다[3]. STAC 프로토콜에서 응답 라운드는 BeginRound 명령으로부터 시작되고, 이를 수신한 태그들은 응답할 슬롯 위치를 임의로 선택하여 슬롯-카운터에 적재하고, 슬롯-카운터의 값이 응답 슬롯 위치가 되면 자신의 EPC 코드로 응답한다. 수신한 응답에 충돌이 없으면 리더는 FixSlot 명령을 전송한다. 반면, 응답 슬롯에 충돌이 발생했거나 아무런 응답이 없으면 리더는 CloseSlot 명령을 전송한다.

태그 식별 성능은 동시에 응답하는 태그들로 인한 충돌 확률과 밀접한 관계가 있다. 태그 충돌 확률을 줄이기 위한 방법으로는 EDFSA(Enhanced Dynamic FSA) 알고리즘과 PS(Progressing Scanning) 알고리즘 등이 있다[5, 6]. 이 중에서 PS 알고리즘은 리더의 송신 전력 세기에 따라 식별영역이 다른 점을 이용한 방법이다. PS 알고리즘에서는 리더의 송신전력 세기에 따라 응답하는 태그를 그룹화하여 식별과정을 수행한다. 또한 식별영역 내에 있는 태그의 수에 관계없이 고정된 크기의 프레임을 사용한다. 이로 인하여 PS 알고리즘의 성능은 태그의 수와 프레임 크기에 따라 다양한 성능을 나타내는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 식별과정을 수행할 때마다 태그의 수를 추정하여 최적의 프레임 크기를 할당하는 EPS(Enhanced PS) 알고리즘을 제안하고, 이를 STAC 프로토콜에 적용한 STAC/EPS 알고리즘의 성능을 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 PS 알고리즘과 STAC 프로토콜의 동작을 기술하고, III장에서는 본 논문에서 제안하는 STAC/EPS 알고리즘을 설명한다. IV장에서는 제안한 기법의 성능 분석 결과를 기술하고, 마지막으로 V장에서는 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1. PS 알고리즘

PS 알고리즘에서 리더는 낮은 전력으로 식별을 시작하여 점차 전력을 증가시키면서 식별영역을 확장한다. 이렇게 함으로써 리더와 가까이 있는 태그들은 멀리 있는 태그와 충돌이 발생하지 않기 때문에 식별 성능이 증가된다. PS 알고리즘의 동작은 다음과 같다[6, 7].

- ① 먼저 리더는 $P_{r,min}$ 의 전력으로 명령을 송신한다. 이 경우 $P_{r,min}$ 의 전력을 수신하는 태그들은 FSA 알고리즘을 이용하여 응답한다.
- ② 리더는 송신전력을 k 만큼 증가시킨 $P_{r,min}+k$ 의 전력으로 명령을 송신하여 스캔 과정을 반복한다. 이전의 스캔 과정에서 응답한 태그들은 응답하지 않고, 새롭게 식별영역 내에 들어온 태그들만 응답한다.
- ③ 리더는 송신전력을 계속하여 k 만큼 증가시키면서 스캔 과정을 반복하고, 마지막으로 송신전력을 최대 전력인 $P_{r,max}$ 로 하여 스캔한다. 이상의 과정을 마치면 하나의 사이클이 완성되고, 하나의 사이클은 $\left\lfloor \frac{P_{r,max} - P_{r,min}}{k} \right\rfloor + 1$ 번의 스캔 과정으로 구성된다.
- ④ 하나의 사이클이 종료되었음에도 불구하고 식별되지 않은 태그가 있으면 위의 과정 ①부터 새로운 사이클을 반복한다.

PS 알고리즘은 매 스캔마다 프레임의 크기가 고정되어 있으므로 프레임의 크기와 태그의 수에 따라 다양한 성능을 나타내는 문제점이 예상된다. 따라서 본 장에서는 시뮬레이션을 통하여 PS 알고리즘의 문제점을 분석한다. 시뮬레이션을 위하여 리더의 최소 전력($P_{r,min}$)과 최대 전력($P_{r,max}$)은 ISO/IEC 2.45GHz RFID 시스템을 가정하여 각각 0.4W와 4.0W로 하였다[8]. 시뮬레이션은 SMPL 라이브러리를 이용하여 Visual C++로 구현하였다.

그림 1은 전력 증가 값(k)을 0.2W로 할 경우, 프레임 크기에 따른 PS 알고리즘의 식별 지연을 나타낸 것이다. 식별 지연은 리더가 모든 태그를 식별하는데 소요되는 시간을 의미한다. 프레임 크기가 크면 초기 사이클에서 많은 태그들이 식별되기 때문에 남아있는 태그들은 그다지 많지 않다. 그럼에도 불구하고 리더는 동일한 프레임 크기로 모든 태그들이 식별될 때까지 사이클을 반복해야하므로 빈 슬롯이 많이 발생하고, 이로 인하여 식별지연은 길어진다. 반면, 프레임 크기가 너무 작은 경우에는 태그의 수가 증가하면 많은 충돌로 인하여 식별지연이 오히려 더 길어진다[9].

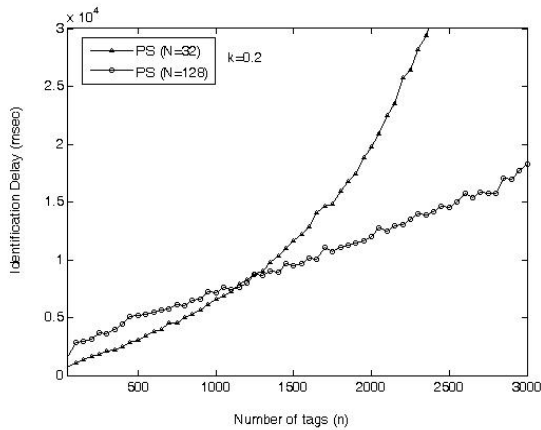


Fig. 1 Identification delay of PS algorithm according to frame size

2.2. STAC 프로토콜

그림 2는 STAC 프로토콜에서 태그의 상태 천이도를 나타낸 것이다. 수동 태그를 사용하므로 태그의 전력은 리더로부터 공급받는다. 리더로부터 전력을 공급받지 못한 태그는 UNPOWERED 상태를 유지한다. UNPOWERED 상태에서 태그가 리더의 신호 영역 안으로 들어와서 충분한 전력을 공급받으면 READY 상태로 천이하여 리더로부터 명령을 기다린다. READY 상태에서 마스크가 일치하는 BeginRound 명령을 수신한 태그는 SLOTTED READ 상태로 천이한다. SLOTTED READ 상태에서는 BeginRound 명령에 있는 정보를 이용하여 응답할 슬롯의 위치를 선택하여 슬롯-카운터에 적재한다.

SLOTTED READ 상태에서 응답을 한 후, 리더로부

터 CloseSlot 명령 또는 CRC (Cyclic Redundancy Code)가 일치하지 않은 FixSlot 명령을 수신하면 충돌 또는 오류로 인하여 식별에 실패한 경우이므로 READY 상태로 천이하여 다음 응답 라운드에 응답을 시도한다. 반면, SLOTTED READ 상태에서 응답을 한 후, 리더로부터 CRC가 일치하는 FixSlot 명령을 수신하면 성공적으로 식별된 경우이므로 FIXED SLOT 상태로 천이한다. SLOTTED READ 상태에 있는 태그가 응답을 하기 전에 리더로부터 CloseSlot 명령 또는 FixSlot 명령을 수신하면 자신이 응답해야할 슬롯이 아니기 때문에 슬롯-카운터를 증가시키고 SLOTTED READ 상태를 유지한다.

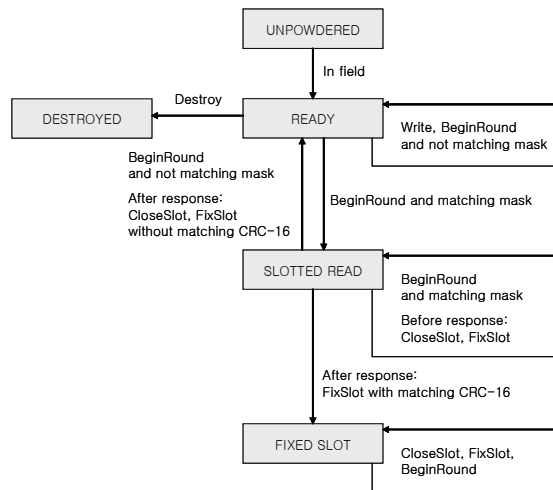


Fig. 2 State transition diagram for tag

III. 제안하는 알고리즘

STAC 프로토콜에서 리더의 식별 영역 내에 태그의 수가 많은 경우 빈번한 충돌로 인하여 식별 성능이 저하된다. 또한 II장에서 살펴본 바와 같이 PS 알고리즘은 매 스캔마다 고정된 크기의 프레임을 사용하므로 태그 수와 프레임 크기에 따라 다양한 성능을 나타낸다. 따라서 본 장에서는 프레임 크기와 전력 증가 값에 관계 없이 항상 안정된 성능을 얻을 수 있는 EPS(Enhanced PS) 알고리즘을 제안하고, 이를 STAC 프로토콜에 적용한 STAC/EPS 알고리즘을 제안한다.

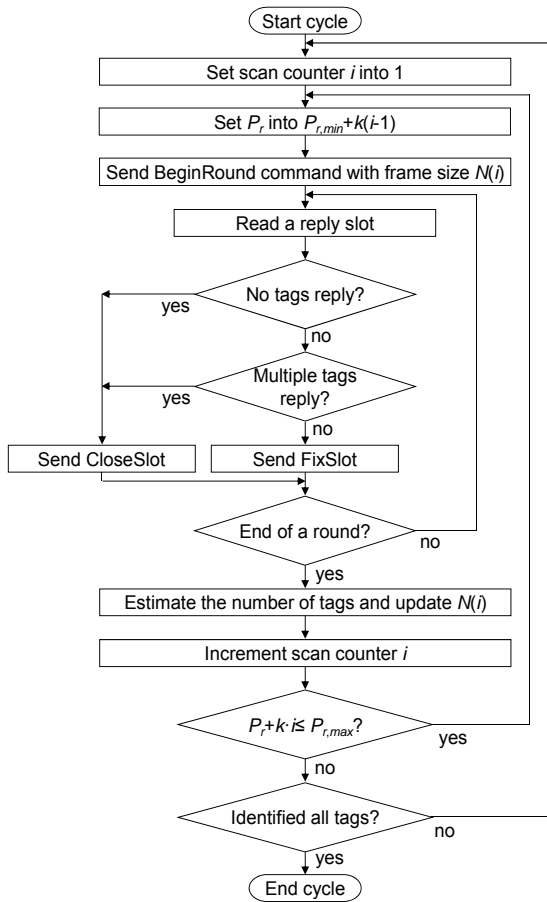


Fig. 3 Reader's operation of STAC/EPS algorithm

그림 3은 본 논문에서 제안하는 STAC/EPS 알고리즘에 대한 리더의 동작을 나타낸 것이다. STAC 프로토콜에서 BeginRound 명령으로 시작되는 식별 라운드는 STAC/EPS 알고리즘의 스캔 개념과 동일하다. 하나의 사이클에서 리더는 i 번째 스캔마다 송신 전력을 $P_{r,min}+k(i-1)$ 로 하여 BeginRound 명령을 전송한 후 STAC 프로토콜과 동일한 방법으로 응답 슬롯을 식별한다. 모든 응답 슬롯을 식별하여 응답 라운드가 종료되면 리더는 스캔 카운터를 증가시킨다.

한편 PS 알고리즘과는 달리 리더는 매 스캔마다 태그의 수를 추정하여 프레임 크기를 결정한다. 태그 수는 태그들이 응답한 결과와 확률적 계산을 통하여 얻은 결과를 조합하여 추정한다. i 번째 스캔에서 리더는 프레임 크기를 $N(i)$ 개 슬롯으로 하여 $P_{r,min}+k(i-1)$ 의 송신

전력으로 명령을 전송하여 태그 식별 과정을 수행한다. 이 과정에서 리더는 식별 영역 내에 있는 태그의 수를 추정한다. i 번째 스캔에서 관측된 빈 슬롯의 수를 $N_e(i)$ 라 하고, 하나의 태그만 응답한 슬롯의 수를 $N_s(i)$ 라 하고, 충돌이 발생한 슬롯의 수를 $N_c(i)$ 라 하면, 충돌이 발생한 태그의 수($n_c(i)$)는 다음과 같다[10].

$$n_c(i) = \begin{cases} (N(i) - N_e(i) - 1) \frac{N_s(i)}{N_e(i)} \\ , \text{if } N_c(i) \neq N_s(i) \neq 0 \\ 2.4N_c(i) , \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

FSA 알고리즘에서 최대의 성능을 얻기 위한 최적의 프레임 크기는 태그의 수와 동일하다. 따라서 리더는 다음 사이클의 i 번째 스캔에서 사용할 프레임 크기 $N(i)$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$N(i) = 2^{\lceil \log_2 n_c(i) \rceil} \quad (2)$$

IV. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 제안한 기법의 성능을 STAC 프로토콜과 비교하여 분석하였다. 성능 분석은 시뮬레이션을 통하여 수행하였으며, 리더의 최소 전력($P_{r,min}$)과 최대 전력($P_{r,max}$)은 각각 0.4W와 4.0W로 하고, 전력 증가 값(k)은 0.4W로 가정하였다. 하나의 응답라운드에 대한 프레임 구조는 그림 4와 같으며, 각 슬롯의 타이밍 값은 참고문헌 [3]에서 정의된 값과 동일하게 가정하여 표 1과 같이 정의하였다.

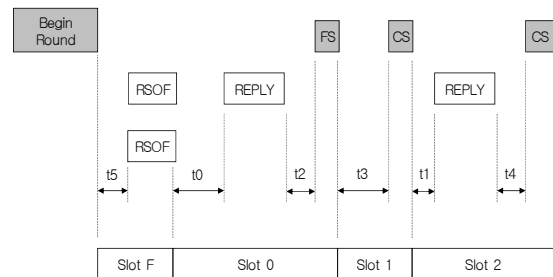


Fig. 4 Frame structure

Table. 1 Slot timing value

Item		Value (msec)
Begin Round		1,623.68
Slot F		188.79
Slot 0	Success	2,756.48
	Collision	2,114.56
	Empty	226.54
Slot i (i>0)	Success	2,945.27
	Collision	2,303.35
	Empty	490.85

그림 5와 6은 태그의 수에 따른 식별 지연과 효율을 각각 나타낸 것이다. 효율은 한 슬롯에서 식별되는 태그의 수를 의미한다. 태그의 수가 700개 미만에서는 두 알고리즘의 식별 지연은 거의 선형적으로 증가한다. 그러나 태그의 수가 700개 이상에서는 태그의 수가 증가함에 따라 STAC 프로토콜의 식별 지연은 급격히 증가한다. STAC 프로토콜의 평균 식별 지연은 23.16sec 이고, STAC/EPS 알고리즘의 평균 식별 지연은 8.9sec 이다. 따라서 STAC/EPS 알고리즘의 평균 식별 지연 성능이 STAC 프로토콜에 비하여 약 45% 개선됨을 알 수 있다.

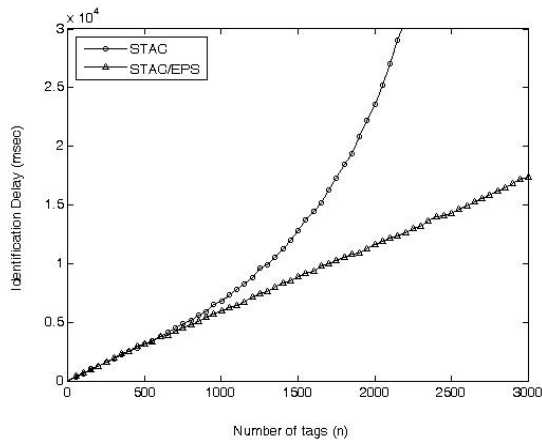


Fig. 5 Identification delay according to number of tags

또한 그림 6에서 나타낸 바와 같이 태그의 수가 적은 경우, STAC 프로토콜의 효율이 STAC/EPS 알고리즘에 비하여 더 우수하다. 이는 STAC/EPS의 경우, 태그의 수가 적음에도 불구하고 전력을 증가시키면서 모든

태그가 식별될 때까지 사이클을 반복하여 빈 슬롯이 많이 발생하기 때문이다. 반면 태그의 수가 증가함에 따라 STAC 프로토콜의 경우 충돌율이 증가하기 때문에 효율은 급격히 감소한다.

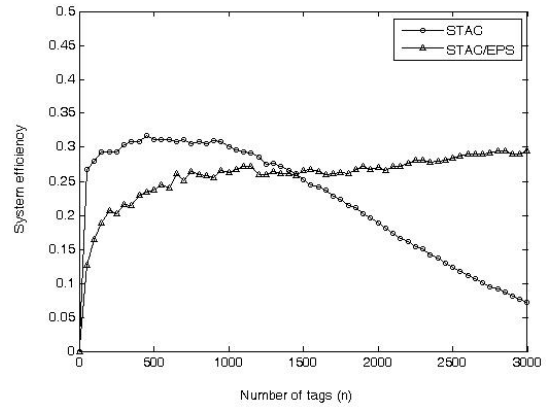


Fig. 6 Efficiency according to number of tags

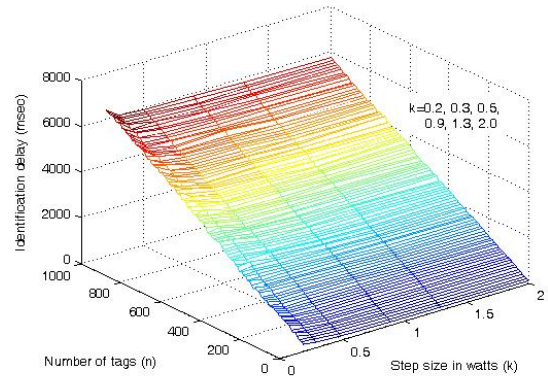


Fig. 7 Identification delay according to step size k

그림 7은 전력 증가 값에 따른 STAC/EPS 알고리즘의 식별 지연을 나타낸 것이다. 전력 증가 값이 크면 한 사이클의 스캔 횟수가 적으므로 매 스캔에서 리더의 식별영역 내에는 많은 태그가 존재한다. 반면, 전력 증가 값이 작으면 한 사이클의 스캔 횟수가 많아지므로 매 스캔마다 식별영역 내에 있는 태그의 수는 적다. 이 경우 매 스캔마다 고정된 크기의 프레임을 할당하면 전력 증가 값과 태그의 수에 따라 매우 다양한 식별 지연을 나타낸다[7].

반면 STAC/EPS 알고리즘에서는 태그의 수를 추정하여 최적의 프레임 크기를 할당하므로 전력 증가 값에 관계없이 항상 일정한 식별 지연을 얻을 수 있다.

V. 결 론

RFID 시스템에서 태그 충돌 확률을 줄이기 위한 방법 중에 하나인 PS 알고리즘은 리더의 송신 전력을 제어함으로써 리더의 식별 영역 내에 있는 태그들을 그룹화 하는 기법이다. PS 알고리즘에서는 새로운 스캔 과정을 수행할 때마다 고정된 크기의 프레임을 사용한다.

본 논문에서는 PS 알고리즘과는 달리 매 스캔마다 태그의 수를 추정하여 최적의 프레임 크기를 할당하는 EPS 알고리즘을 제안하고, 이를 STAC 프로토콜에 적용한 STAC/EPS 알고리즘을 제안하고 이에 대한 성능을 분석하였다. 시뮬레이션을 통한 성능 분석의 결과, 제안한 기법은 STAC 프로토콜에 비하여 충돌율이 낮으므로 식별 시간이 짧음을 알 수 있었고, 전력 증가 값에 관계없이 항상 일정한 식별 지연을 얻을 수 있었다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the research grant of the Busan University of Foreign Studies in 2016.

REFERENCES

- [1] EPCglobal, "EPC Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocols for Communication at 860 MHz-960MHz, Ver.1.2.0," *EPCGlobal Inc.*, Oct. 2008.
- [2] ISO/IEC, "Information Technology - Radio Frequency Identification for Item Management - Part 6: Parameters for Air Interface Communication at 860-960 MHz, 18000-6," *ISO/IEC*, 2006.
- [3] Auto-ID Center, *13.56MHz ISM Band Class 1 Radio Frequency Identification Tag Interface Specification: Candidate Recommendation, Version 1.0.0*, May 2003.
- [4] Auto-ID Center, *860MHz-930MHz Class 0 Radio Frequency Identification Tag Protocol Specification Candidate Recommendation, Version 1.0.0*, June 2003.
- [5] S. Lee, S. Joo, and C. Lee, "An Enhanced Dynamic Framed Slotted ALOHA Algorithm for RFID Tag Identification," *Proc. of the Second Annual International Conf. on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services (MobiQuitous'05)*, pp.166-172, July 2005.
- [6] W. Su, N. V. Alchazidis, and T. T. Ha, "Multiple RFID Tags Access Algorithm," *IEEE Trans. Mobile Computing*, vol.9, no.2, pp.174-187, Feb. 2010.
- [7] I. Lim, "Performance Improvement of STAC Protocol by Grouping the Number of Tags," *Journal of KIICE*, vol.19, no.4, pp.807-812, Apr. 2015.
- [8] ISO/IEC, *18000 Part 4: Parameters for Air Interface Communications at 2.45GHz*, ISO, 2004.
- [9] I. Lim, "An Enhanced Progressive Scanning Algorithm for Improving Tag Identification Performance," *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, vol.9, no.6, pp.93-104, June 2014.
- [10] I. Lim, "Dynamic Frame Size Allocation Scheme based on Estimated Number of Tags," *Journal of KIICE*, vol.13, no.3, pp.469-474, Mar. 2009.



임인택(Intaek Lim)

1984년 2월 울산대학교 전자계산학과 공학사
1986년 2월 서울대학교 계산통계학과 이학석사
1998년 2월 울산대학교 컴퓨터공학과 공학박사
1984년 ~ 1993년 (주)삼성전자 선임연구원
1998년 3월 ~ 현재 부산외국어대학교 임베디드소프트웨어학과 교수
※관심분야 : MAC 프로토콜, RFID, 사물네트워크