

## 응답 라운드 조기종료와 전송확률 제어를 통한 STAC 프로토콜의 성능 개선

임인택\*

### Performance Improvement of STAC Protocol by Early Release of Reply Round and Transmission Probability Control

Intaek Lim\*

Department of Embedded Software, Busan University of Foreign Studies, Busan 608-738, Korea

#### 요 약

Auto-ID 센터에서는 13.56MHz RFID 시스템에서 다중 태그를 식별하기 위한 충돌 방지 알고리즘으로 STAC 프로토콜을 제안하였다. STAC 프로토콜에서는 다음 응답 라운드의 슬롯 개수를 결정하기 위하여 태그 수 추정 기법을 적용한다. 이 경우 추정된 태그의 수에 오차가 발생하면 충돌 또는 빈 슬롯이 많이 발생할 수 있으므로 식별 성능이 저하되는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 응답 라운드 동안 빈번한 충돌 또는 빈 슬롯이 발생하면 응답 라운드를 종료하는 기법과 태그의 전송확률을 제어하는 기법을 적용한 ERPB 알고리즘을 제안하고, 이에 대한 성능을 분석한다. 시뮬레이션을 통한 성능분석의 결과, 제안한 기법은 충돌률이 STAC 프로토콜에 비하여 39% 정도 낮으므로 태그 식별 시간이 짧음을 알 수 있었다.

#### ABSTRACT

In 13.56MHz RFID system of Auto-ID center, STAC protocol is defined as an anti-collision algorithm for multiple tag reading. In STAC protocol, the reader uses the tag number estimation scheme to determine the number of slots for the next reply round. If errors occur in the estimated number of tags, the identification performances will be degraded due to a lot of collision or idle slots. Therefore, in this paper, we propose an ERPB algorithm that the reader cancels the reply round when it experiences a series of collision or idle slots during the current round. The transmission probability control for the tag is also applied to the proposed algorithm. Through simulations, it is demonstrated that the collision rate for the proposed scheme is about 39% lower than STAC protocol. Therefore, the proposed scheme can achieve faster tag identification time compared with STAC protocol due to the low collision rate.

**키워드** : STAC 프로토콜, 충돌 방지 알고리즘, 조기종료, 전송확률제어

**Key word** : STAC protocol, Anti-collision algorithm, Early release, Transmission probability control

접수일자 : 2013. 07. 16 심사완료일자 : 2013. 08. 05 게재확정일자 : 2013. 08. 19

\* **Corresponding Author** Intaek Lim(E-mail:itlim@bufs.ac.kr, Tel:+82-51-640-3423)

Department of Embedded Software, Busan University of Foreign Studies, Busan 608-738, Korea

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.11.2569>

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. 서론

RFID 시스템에서 리더는 무선채널을 통하여 태그들과 통신하는데, 모든 태그들은 리더가 보낸 신호를 동시에 듣게 된다. 하나의 리더로부터 요청 메시지를 받은 태그들은 동시에 리더로 자신의 식별코드를 전송하기 때문에 태그 충돌이 발생한다[1, 2]. 이 때 리더가 동시에 응답한 여러 개의 태그를 식별해야하는 문제가 발생하는데 이를 해결하는 기술이 충돌 방지(Anti-collision) 알고리즘이며, 이는 RFID 시스템에서 가장 핵심이 되는 기술이다.

리더의 식별영역 내에 있는 태그들을 식별하기 위한 충돌 방지 알고리즘은 크게 확률적 알고리즘과 결정적 알고리즘으로 구분된다. 확률적 알고리즘은 13.56MHz ISM 대역의 Class-1에서 사용하고 있으며[3], 슬롯 ALOHA 방식에 프레임 개념을 추가한 FSA(Framed Slot ALOHA) 알고리즘이 있다. 반면, 결정적 알고리즘은 915MHz 대역의 EPC Class 0에서 채택하고 있으며, 트리 검색 방식을 기반으로 하고 있다[4].

FSA 알고리즘의 효율을 최적화하기 위한 많은 연구가 진행되고 있는데, 이 중에서 DFSA (Dynamic Framed Slot ALOHA) 알고리즘은 리더의 식별영역 내에 있는 태그의 수를 기반으로 질의 라운드의 프레임 크기를 가변적으로 변화시키는 방식이다. DFSA 알고리즘은 리더의 식별영역 내에 있는 태그의 수를 추정하는 방법과 추정된 태그 수를 기반으로 다음 프레임의 크기를 결정하는 방법으로 구성된다. 제안된 대부분의 DFSA 알고리즘은 태그의 수를 추정하여 알고리즘의 성능을 향상시키는 방향으로 연구되어왔다 [5].

Auto-ID 센터에서는 13.56MHz RFID 시스템에 대한 표준안을 제안하였다[3]. 제안한 시스템에서는 리더의 식별영역 내에 있는 태그들을 식별하기 위한 충돌 방지 알고리즘으로 STAC(Slotted Terminating Adaptive Collection) 프로토콜을 사용한다. STAC 프로토콜에서 응답 라운드는 BeginRound 명령으로부터 시작된다. BeginRound 명령을 수신하면 식별되지 않은 태그들은 응답할 자신이 응답할 슬롯 위치를 임의로 선택하여 슬롯-카운터에 적재하고, 슬롯-카운터의 값이 응답 슬롯 위치가 되면 자신의 EPC 코드로 응답한다. 수신한 응답에 충돌이 없으면 성공적으로 식별된 경우이므로 리더는 FixSlot 명령을 전송한다. 반면, 응답 슬롯에 충돌이

발생했거나 아무런 응답이 없으면 리더는 CloseSlot 명령을 전송한다. 하나의 응답 라운드가 종료되면 리더는 식별영역 내에 있는 태그의 수를 추정하여 다음 응답 라운드의 프레임 크기를 결정하고, 새로운 응답 라운드를 위하여 BeginRound 명령을 전송한다.

이 경우, 추정된 태그의 수에 오차가 많이 발생하면 응답 슬롯에 충돌이 빈번하게 발생하거나 빈 슬롯이 많이 발생할 수 있으므로 식별 성능이 저하되는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 리더는 식별 성능을 개선하기 위하여 응답 라운드동안 빈번한 충돌 또는 빈 슬롯이 발생하면 현재의 응답 라운드를 종료하는 기법과 태그의 전송확률을 제어하는 기법을 적용한 ERPB(Early Release with Proportional Backoff) 알고리즘을 제안하고, 시뮬레이션을 통하여 이에 대한 성능을 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 STAC 프로토콜 동작을 기술하고, III장에서는 본 논문에서 제안하는 ERPB 알고리즘을 설명한다. IV장에서는 제안한 기법의 시뮬레이션 결과를 기술하고, 마지막으로 V장에서는 결론을 맺는다.

## II. STAC 프로토콜

그림 1은 STAC 프로토콜에서 리더의 동작을 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 먼저 리더는 식별영역 내에 있는 태그들을 식별하기 위하여 응답 라운드의 시작을 알리는 BeginRound 명령을 전송한다. BeginRound 명령에는 <마스크 길이, 선택 마스크 값, 슬롯의 수, 해쉬 값> 등의 매개변수를 포함하고 있다. 여기서 마스크 길이와 선택 마스크 값은 응답할 태그들을 그룹화하기 위한 용도로 사용되며, 해쉬 값은 응답할 임의의 슬롯을 선택하기 위한 용도로 사용된다. 또한 슬롯의 수는 하나의 응답 라운드를 구성하는 응답 슬롯의 수를 나타낸다.

BeginRound 명령을 수신한 태그들은 자신이 응답할 슬롯 위치를 임의로 선택하여 슬롯-카운터에 적재한다. 적재한 슬롯-카운터 값이 응답 슬롯 위치가 되면 자신의 EPC 코드로 응답한다. 한편, 리더는 매 슬롯마다 응답 슬롯의 정보를 읽는다. 만일 응답 슬롯에 태그의 응답이 없어서 빈 슬롯이거나 또는 여러 개의 태그가 동시에 응답하여 충돌이 발생하면 리더는 CloseSlot 명령을 전송

한다. 반면, 하나의 태그만 응답한 경우에는 FixSlot 명령을 전송한다. 이 과정은 응답 라운드의 모든 응답 슬롯을 식별할 때까지 반복된다. 리더는 하나의 응답 라운드 동안 충돌이 발생한 태그의 수를 추정한다. 하나의 응답 라운드가 종료되었음에도 불구하고 식별영역 내에 있는 모든 태그가 식별되지 않은 경우, 리더는 추정된 태그의 수를 기반으로 다음 응답 라운드의 슬롯 개수를 계산하여 새로운 응답 라운드를 시작한다.

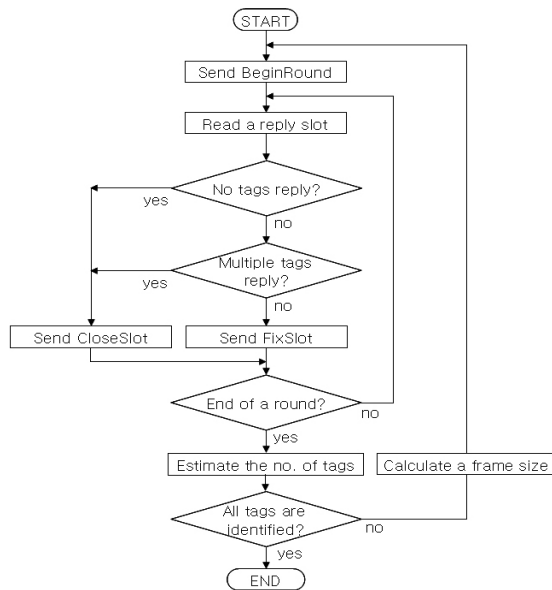


그림 1. STAC 프로토콜의 리더 동작  
Fig. 1 Reader's operation of STAC protocol

### III. ERPB 알고리즘

#### 3.1. 알고리즘 동작

STAC 프로토콜에서는 리더의 식별영역 내에 있는 태그의 수를 추정하여 다음 응답 라운드의 슬롯 개수를 결정한다. 이 경우, 추정된 태그의 수에 오차가 발생하면 식별 성능이 저하되는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 이를 개선하기 위하여 빈번하게 충돌이 발생하거나 빈 슬롯이 많이 발생하면 응답 라운드를 조기에 종료하는 기법을 적용한다.

그림 2는 응답 라운드의 조기 종료와 태그의 전송확률제어 기법을 사용한 ERPB 알고리즘을 적용한 STAC

프로토콜에서 리더의 동작을 나타낸 것이다. 리더는 매 슬롯마다 응답 슬롯의 상태에 따라 SC (Slot Counter) 값을 갱신한다. SC 값은 조기 종료 여부를 결정하고, 다음 응답 라운드의 프레임 크기를 결정하기 위한 용도로 사용된다. 매 슬롯마다 갱신한 SC의 값이 현재 라운드의 SC 값과 다를 경우, 리더는 현재의 응답라운드에서 갱신한 SC 값을 슬롯의 개수로 하는 BeginRound 명령을 전송하여 현재의 응답 라운드를 종료한다. 한편 현재의 응답 라운드가 조기에 종료되지 않고 라운드가 종료되는 경우에도 리더는 갱신한 SC 값을 다음 응답 라운드의 슬롯의 개수로 한다. 또한 리더는 매 응답 라운드마다 태그의 전송 허용 확률을 계산하여 BeginRound 명령과 함께 전송한다. 리더가 계산하는 전송 허용 확률은 리더의 식별영역 내에 남아있는 태그의 수를 추정하여 계산하는 PB (Proportional Backoff) 알고리즘을 사용한다[9].

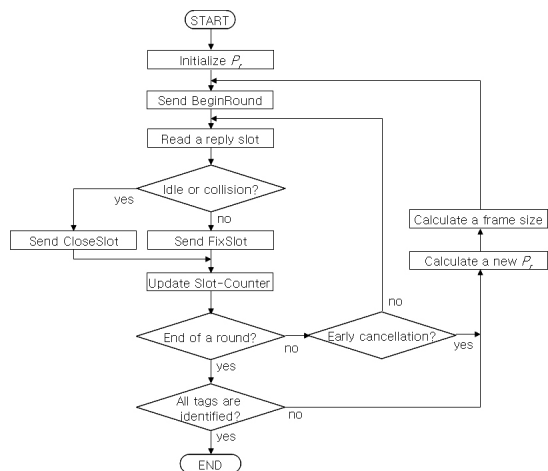


그림 2. ERPB STAC 프로토콜의 리더 동작  
Fig. 2 Reader's operation of ERPB STAC protocol

그림 3은 ERPB 알고리즘을 적용한 STAC 프로토콜에서 태그의 상태 천이도를 나타낸 것이다. 기본적인 태그의 상태 천이 과정은 참고문헌 [3]과 동일하다. 본 논문에서는 태그의 전송확률을 제어하는 기법을 적용하였으므로 전송이 허용되는 경우에만 태그는 응답을 한다. READY 상태 또는 ARBITRATE 상태에서 SC 값이 0이 되어서 응답할 슬롯의 위치가 되고 전송이 허용되면 현재의 슬롯으로 태그는 응답한다.

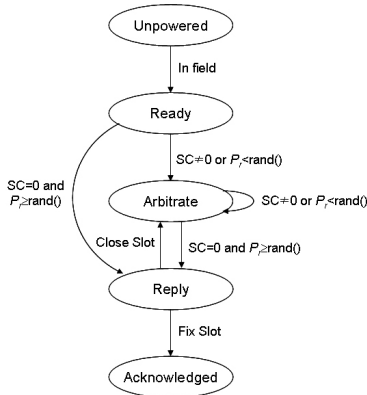


그림 3. 태그 상태 천이도  
Fig. 3 State transition diagram of tag

### 3.2. SC 갱신 기법

본 논문에서는 매 슬롯마다 SC 값을 갱신하기 위하여 슬롯의 길이와 각 슬롯의 충돌 및 빈 슬롯 확률을 이용한다. 13.56MHz RFID 시스템의 응답 라운드 시간은 그림 4와 같다.

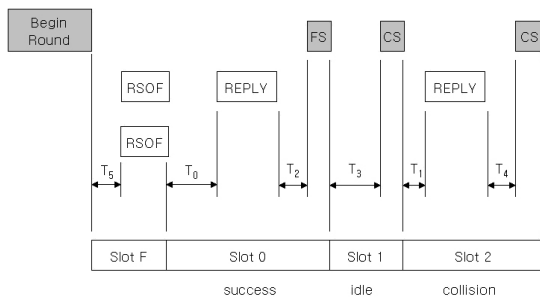


그림 4. 응답 라운드 시간  
Fig. 4 Reply round timing

그림에서 나타낸 바와 같이 응답 슬롯이 충돌인 경우와 무응답인 경우 슬롯의 길이는 각각 다르게 나타난다.  $T_c$ 와  $T_i$ 를 각각 충돌인 경우와 무응답인 경우의 평균 응답 슬롯의 길이라 하면,  $T_c$ 와  $T_i$ 는 각각 다음과 같다.

$$T_c = \left( \frac{T_0 + T_1}{2} \right) + T_{REPLY} + T_4 + T_{CS} \quad (1)$$

$$T_i = \left( \frac{T_0 + T_3}{2} \right) + T_{CS} \quad (2)$$

여기서  $T_{REPLY}$ 와  $T_{CS}$ 는 태그의 응답과 CloseSlot 명령의 전송 시간을 나타낸다. 태그가 응답하는 EPC 코드의 길이를 96비트로 가정할 경우  $T_c$ 와  $T_i$ 는 각각 2208.96 $\mu$ sec 및 358.70 $\mu$ sec로서 충돌 슬롯의 길이가 빈 슬롯의 길이에 비하여 약 6.2배 길다. 이로 인하여 충돌이 많이 발생할수록 식별 시간이 길어진다. 따라서 가능하면 충돌이 발생하지 않도록 슬롯의 개수를 선택할 필요가 있다. FSA 알고리즘에서 하나의 슬롯이 충돌 또는 무응답일 확률  $P_c$ 와  $P_i$ 는 각각 다음과 같다[6].

$$P_c = \lim_{n \rightarrow \infty} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1}{N} \right)^n \left( 1 + \frac{1}{N} \right)^n \right] = \left( 1 - \frac{2}{e} \right) \quad (3)$$

$$P_i = \lim_{n \rightarrow \infty} \left( 1 - \frac{1}{N} \right)^n = \frac{1}{e} \quad (4)$$

여기서,  $N$ 은 한 프레임의 슬롯 개수를 나타내고,  $n$ 은 식별영역 내에 있는 태그의 수를 나타낸다.

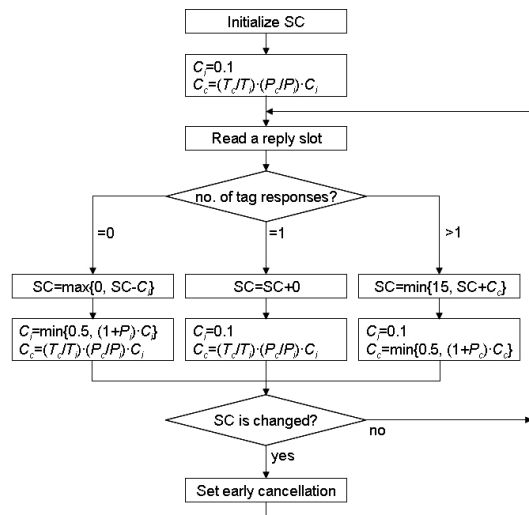


그림 5. SC 갱신 알고리즘  
Fig. 5 SC update algorithm

그림 5는 제안하는 SC 갱신 알고리즘의 동작을 나타낸 것이다. SC 갱신 알고리즘에서는 매 슬롯마다 SC의 값을 갱신한다. 갱신한 SC의 값이 이전의 SC 값과 다를

경우 리더로 하여금 현재의 응답 라운드를 조기 종료하도록 한다. 제안하는 SC 갱신 알고리즘의 기본적인 설계원칙은 다음과 같다. 충돌이 발생할 경우, 빈 슬롯인 경우에 비하여 소요되는 시간이 길기 때문에 가능한 한 빨리 SC 값을 증가시킨다. 또한 하나의 슬롯이 빈 슬롯일 확률이 충돌일 확률에 비하여 크기 때문에 빈 슬롯이면 SC 값을 천천히 감소시킨다.

#### IV. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 제안한 ERPB 알고리즘의 성능을 분석하였다. 시뮬레이션 프로그램은 SMPL 라이브러리[7]로 작성되었으며, 시뮬레이션을 위한 매개변수는 참고문헌 [3]에서 정의된 값과 동일하게 가정하였다. 본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능 분석 결과는 STAC 프로토콜과 비교하여 나타내었다.

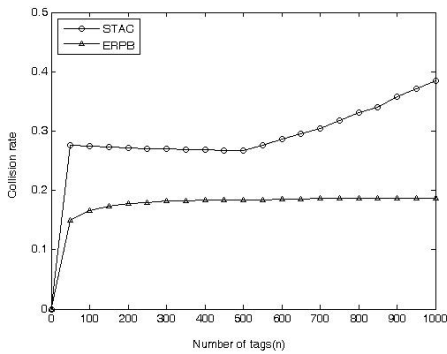


그림 6. 충돌률 비교  
Fig. 6 Comparison of collision ratio

그림 6은 태그의 수에 따른 충돌률을 나타낸 것이다. 여기서, 충돌률은 모든 태그를 식별하기 위하여 소요된 총 슬롯 중에서 충돌이 발생한 슬롯의 수에 대한 비율로 정의한다. 본 논문에서 제안한 ERPB 알고리즘의 SC 갱신 기법에서는 SC 값을 갱신하기 위한 가중치 값을 결정할 때 슬롯의 충돌 확률 및 빈 슬롯 확률을 고려하였다. 시뮬레이션 결과, 제안한 기법의 충돌률은 약 18%이다. 이는 최적의 성능을 나타내는 해석적 방법에 의한 충돌률[8]에 비하여 약 31% 적으며, STAC 프로토콜에 비하여 39% 정도 적다. 또한 그림에서 나타낸 바

와 같이 STAC 프로토콜은 태그 수가 증가함에 따라 충돌률이 증가하는 반면, ERPB STAC 프로토콜은 충돌률이 거의 일정하다.

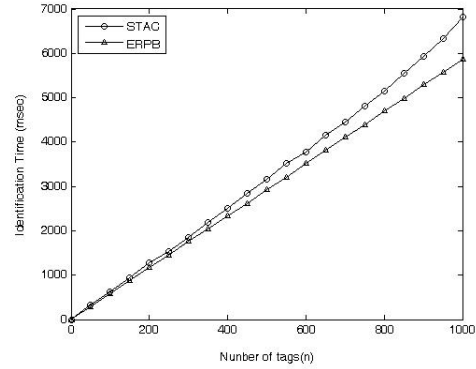


그림 7. 식별 시간 비교  
Fig. 7 Comparison of identification time

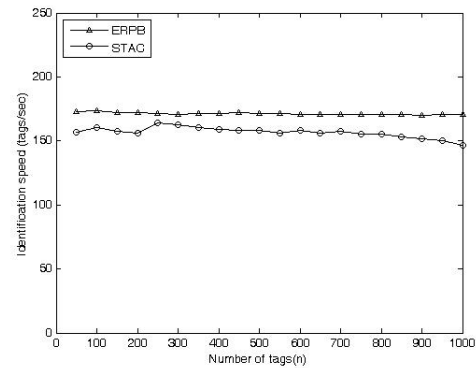


그림 8. 식별 속도 비교  
Fig. 8 Comparison of identification speed

그림 7과 8은 리더의 식별 영역에 있는 태그의 수에 따른 식별 시간 및 식별 속도를 나타낸 것이다. 식별 시간은 리더가 모든 태그들을 식별하는데 소요되는 시간을 의미하며, 식별 속도는 초당 리더가 식별하는 태그의 수를 의미한다. 그림에서 나타낸 바와 같이 태그의 수가 적은 경우, 두 기법의 식별 시간 및 식별 속도는 거의 비슷하다. 그러나 리더의 식별영역 내에 있는 태그의 수가 많을 경우, 본 논문에서 제안한 ERPB STAC 프로토콜은 STAC 프로토콜에 비하여 약 16% 빠르다. 그림 6에서 나타낸 바와 같이 STAC 프로토콜의 충돌률은

태그의 수가 증가할수록 제안한 기법에 비하여 높다. 또한 충돌 슬롯의 길이가 빈 슬롯의 길이에 비하여 길기 때문에 충돌 슬롯이 적으면 적을수록 식별 속도는 빠르다. 따라서 제안한 기법의 식별 시간 및 식별 속도는 그림에서 나타난 바와 같이 STAC 알고리즘에 비하여 비교적 빠르게 나타난다.

## V. 결 론

본 논문에서는 STAC 프로토콜의 식별 성능을 개선하기 위하여 응답 라운드 조기 종료 기법과 태그의 전송 확률제어 기법을 적용한 ERPB 알고리즘을 제안하고, 시뮬레이션을 통하여 이에 대한 성능을 분석하였다. 제안한 기법에서는 매 슬롯마다 SC 값을 갱신하는 알고리즘을 적용하고, 하나의 응답 라운드 동안 충돌 또는 빈 슬롯이 빈번하게 발생하여 SC 값이 변하면 현재의 응답 라운드를 종료한다. 또한 리더는 식별영역 내에 있는 태그의 수를 기반으로 전송허용확률을 계산하고, 태그는 전송허용확률을 기반으로 응답한다. 성능 분석의 결과, 제안한 기법은 STAC 프로토콜에 비하여 충돌률이 낮으므로 식별 시간이 짧음을 알 수 있었다.

### 감사의 글

이 논문은 2013년도 부산외국어대학교 학술연구 조성비에 의해 연구되었음

임인택(Intaek Lim)

한국해양정보통신학회 논문지 제14권 제5호 참조

## REFERENCES

- [1] H. Vogt, "Efficient Object Identification with Passive RFID Tags," *First International Conf. on Pervasive Computing*, LNCS, vol.2414, pp.99-113, Springer-Verlag, 2002.
- [2] W. Chen, and G. Lin, "An Efficient Anti-Collision Method for Tag Identification in a RFID System," *IEICE Trans. Commun.*, vol.E89-B, no.12, pp.3386-3392, Dec. 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] B. Zhen, M. Kobayashi, and M. Shimizu, "Framed ALOHA for Multiple RFID Objects Identification," *IEICE Trans. Commun.*, vol.E88-B, no.3, pp.991-999, Mar. 2005.
- [6] D. Lee, K. Kim, and W. Lee, "Q<sup>+</sup>-Algorithm: An Enhanced RFID Tag Collision Arbitration Algorithm," *Proc. UIC2007*, LNCS, vol.4611, pp.23-32, Hong Kong, China, Jul. 2007.
- [7] M. H. MacDaugall, *Simulating Computer Systems Techniques and Tools*, MIT Press, 1987.
- [8] I. Lim, "A Scheme for Estimating Number of Tags in FSA-based RFID Systems," *International Journal of KIMICS*, vol.7, no.2, pp.164-169, June 2009.
- [9] I. Lim, "Transmission Probability Control Scheme in FSA-based RFID Systems," *International Journal of KIMICS*, vol.8, no.6, pp.677-681, Dec. 2010.