

# 능동형 RFID 시스템을 위한 효율적인 Slotted CSMA/CA 충돌방지 프로토콜의 구현

주진훈\*, 정상화<sup>o</sup>

## Implementation of an Efficient Slotted CSMA/CA Anti-collision Protocol for Active RFID System

Jin-hoon Joo\*, Sang-hwa Chung<sup>o</sup>

요약

RFID 시스템에서 태그 수집은 가장 중요한 기능이다. 태그들은 리더의 수집 명령에 따라서 동일한 채널에서 응답하게 되며, 2개 이상의 태그가 동시에 응답할 때 RFID 시스템에서 태그 충돌이 발생한다. 태그 충돌은 RFID 시스템에서 성능을 저하 시키는 중요한 요소이다. 능동형 RFID 시스템에서는 태그 충돌을 해결하기 위하여 프레임 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜을 널리 사용하고 있다. 많은 연구에서 프레임 슬롯 ALOHA 방식의 최대 시스템 효율은 36.8%임을 나타내고 있다. 본 논문에서는 기존의 프레임슬롯 알로하 보다 개선된 태그 수집 성능 위해 RFID 시스템에 정합하는 efficient slotted CSMA/CA를 제안한다. IEEE 802.15.4 저 전력 센서 네트워크에서 널리 사용 중인 slotted CSMA/CA를 RFID 시스템에 적용하기 위한 프레임 구조를 제시 하며, 주변의 태그 개수에 따라 유동적 프레임 사이즈 조절을 통한 수집성능을 향상한다. 실제 433MHz 능동형 RFID 리더와 태그 40대에서 실험을 통하여 제안한 slotted CSMA/CA가 프레임 슬롯 ALOHA 방식보다 태그 수집시간, 수집 라운드 및 충돌 횟수에서 각각 18%, 37.4%, 77.8%의 성능향상을 보였다.

**Key Words** : Active RFID, Slotted CSMA/CA, ISO/IEC 18000-7 Mode2, Tag collection

ABSTRACT

Tag collection is one of the major concerns in radio frequency identification(RFID) system. All tags in RFID reader's transmission range send response message back to the reader in response to collection request message on the given rf channel. When multiple tags respond simultaneously, tag-collision may occur. Tag-collision problem is one of the most important issues in active RFID performance. To mitigate this problem, frame slotted ALOHA(FSA) anti-collision protocol is widely used in active RFID system. Several studies show that the maximum system efficiency of FSA anti-collision protocol is 36.8%. In this paper, we propose an efficient slotted CSMA/CA protocol to improve tag collection performance. We compare our protocol to the FSA anti-collision protocol. For the experiment, an 433MHz active RFID system is implemented, which is composed of an RFID reader and multiple tags. We evaluated the tag collection performance using one RFID reader and 40 tags in the real test bed. The experimental result shows that proposed protocol improves the tag collection time, round and collision probability by 18%, 37.4% and 77.8%, respectively.

※ 본 연구는 지식경제부 산업융합원천기술개발사업으로 지원된 연구결과입니다[10041947, 고 신뢰성 해양 센서 노드 및 센싱 요소 기술 개발].

◆ 주저자 : 부산대학교 컴퓨터공학과 임베디드 네트워크 시스템 연구실, joojinhoon@gmail.com, 준회원

○ 교신저자 : 부산대학교 컴퓨터공학과 임베디드 네트워크 시스템 연구실, shchung@pusan.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2012-02-097, 접수일자 : 2012년 2월 29일, 최종논문접수일자 : 2012년 12월 6일

## I. 서 론

RFID 시스템에서 가장 중요하며 또한 많은 연구가 이루어지고 있는 부분은 많은 물품에 붙어 있는 다량의 태그 정보를 한 번에 오류 없이 읽어 오는 태그수집(Tag Collection) 방법이다. 리더는 RF 통신 범위 내에 존재하는 모든 태그들에게 방송(Broadcasting)을 통하여 수집 명령을 전달하고, 태그들은 자신의 응답을 리더에게 전달하게 된다. 다량의 태그 정보를 한 번에 인식 할 수 있다는 장점이 있지만, 같은 주파수에서 2개 이상의 태그가 동시에 응답할 시 서로 간섭을 일으키게 되며 이는 정상적인 데이터 수신을 방해한다. 이러한 문제를 태그 충돌(Tag Collision)이라고 한다. RFID 시스템에서는 태그 충돌이 일어나면 재전송을 통하여 데이터를 수신하게 된다. 능동형 RFID에서 빈번한 데이터 재전송은 수집시간을 늦출 뿐만 아니라 태그의 빠른 배터리소모를 야기 시킨다. 이는 곧 태그의 수명과도 직결되는 문제이다.

능동형 RFID 시스템에서는 ALOHA 기반의 충돌방지 프로토콜을 이용하여 태그들이 랜덤으로 시간 Slot을 선택하여 전송하는 방법으로 태그 충돌 발생 확률을 줄인다. 능동형 RFID 시스템 관련 표준인 ISO/IEC 18000-7에서는 ALOHA 기반의 프로토콜 중에서도 성능이 좋고 간단하게 구현 할 수 있는 프레임 슬롯 ALOHA(Slotted Aloha)를 채택하고 있으며, 현재 능동형 RFID 시스템에서 가장 널리 사용되고 있다.

능동형 RFID 시스템 표준 ISO/IEC 18000-7 프로토콜은 몇 가지 문제점들을 안고 있다. 그 첫 번째로 표준상의 표현의 모호함이 있다. 이 때문에 많은 곳에서 능동형 RFID 시스템을 사용하고 있지만, 서로 다른 표준 해석으로 인한 호환이 잘 이루어지지 않는 부분이다. 두 번째로는 RFID 시스템에서 중요한 기능중의 하나인 태그 정보 수집 성능이다. 현재 표준에서 사용중인 프레임 슬롯 ALOHA 프로토콜은 ALOHA 프로토콜 중에서 좋은 성능을 내고 있지만 다량의 태그가 위치하는 환경에서 더 좋은 성능의 충돌방지 프로토콜의 필요성 또한 커지고 있다. 현재 이러한 표준의 모호한 정의를 해결하고 프로토콜 전반적인 성능 향상을 위한 능동형 RFID의 새로운 표준인 18000-7 MODE2 연구가 진행되고 있다. 진행 중인 표준의 특징은 기존의 MAC에서 사용하던 프레임 슬롯 ALOHA를 대신하여 CSMA/CA를 사용, 조금 더 신뢰성 있는 MAC을

지원한다. 또한 Routing, Ad-hoc, IPv6, Sensor등을 지원함으로써 기존의 RFID에서 벗어나 유비쿼터스 시대에 적합한 근거리 네트워크를 타겟 하고 있는 것으로 보인다.

본 논문에서는 기존의 프레임슬롯 알로하 보다 개선된 태그 수집성능 위해 RFID 시스템에 정합하는 efficient slotted CSMA/CA를 제안한다.

본 논문의 2장에서 RFID 충돌방지 관련 연구들에 대해서 설명하였다. 3장에서는 본 논문에서 제시하고 있는 효율적인 slotted CSMA/CA에 대하여 설명한다. 4장에서는 본 논문에서 제안한 방법과 ISO/IEC 18000-7에서 제시하는 ALOHA 기반의 프레임 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜을 비교한다. 마지막으로 결론 및 향후 과제에 관하여 정리한다.

## II. 관련 연구

18000-7 mode1의 표준 MAC 프로토콜인 프레임 슬롯 ALOHA 프로토콜은 구현의 간단함과 좋은 성능으로 RFID 시스템에서 가장 널리 사용되는 충돌 방지 프로토콜 중의 하나이다. 하지만 많은 관련 연구에서 프레임 슬롯 ALOHA의 성능이 최대가 되었을 때 대략 36.8%의 시스템 효율을 보였다. 이는 60% 이상의 슬롯이 낭비 되고 또한 충돌의 확률도 높다는 것을 알 수 있다. 특히 태그 개수가 많고 밀집하게 분포되어 있는 환경에서는 수집 성능을 더욱 떨어뜨리며 이를 해결하기 위해 CSMA기반의 연구가 활발히 이루어지고 있다.

IEEE 802.11[1]기반의 CSMA/CA에서는 RTS/CTS 메시지 교환을 통하여 station이 데이터 통신에 필요한 시간을 할당 받아 통신하게 되며 지속적인 Carrier sensing을 통하여 채널이 IDLE 하다고 판단되면 Random 지연을 통하여 채널을 점유하게 된다. 이는 모든 데이터에 대해서 Carrier sensing을 수행하기 때문에 저 전력 기반의 센서네트워크 및 RFID 시스템에서는 적합 하지 않다.

저 전력 센서네트워크 및 RFID 시스템에서는 채널의 상태를 지속적으로 관찰하지 않는 non-persistent CSMA를 주로 채택하고 있다. 이미 IEEE802.15.4 LR-WPAN(Low Rate Wireless Personal Networks)표준[2]에서는 저전력 저속의 근거리 무선 네트워크의 PHY 계층과 MAC 계층을 정의하고 있으며 채널 접근 방식으로 non-persistent 기반의 CSMA/CA 프로토콜을 정의하고 있다. RFID 시스템에서 non-persistent CSMA 기법의 성

능평가에 대한 연구[3]에서는 다양한 프레임 크기에서의 제안된 기법과 프레임 슬롯 ALOHA 프로토콜의 성능을 비교하고 있다.

제안 하는 CSMA/CA 메커니즘은 슬롯을 사용하여 채널 점유 경쟁을 한다는 점에서 저 전력을 지향하는 IEEE802.15.4의 slotted CSMA/CA와 유사하다. 하지만 RFID 시스템의 중요한 성능 지표중의 하나인 대량 태그들을 상대로 한 태그 수집 명령을 수행함에 있어 IEEE802.15.4의 슈퍼프레임 구조에서는 제한된 16개의 슬롯 개수와 비교적 큰 슬롯의 크기를 사용하기 때문에 다량의 태그가 동시에 응답을 하는 RFID 시스템에서는 태그 개수가 증가함에 따라 수집 성능이 확연히 떨어지는 것을 알 수 있다. 연구[4~5]에서는 IEEE802.15.4의 성능 평가를 통하여 slotted CSMA/CA의 성능을 나타내었다. 이런 단점을 보완하기 위해 연구[6]에서는 IEEE802.15.4의 슈퍼프레임 크기를 유동적으로 조절하는 연구 및 성능 비교를 수행 하였다.

본 논문에서는 non-persistent CSMA/CA를 RFID에 적용하기 위하여 개선된 슈퍼프레임 구조를 제시 하고 추정되는 태그 개수에 따라 슈퍼프레임 사이즈를 유동적으로 조정하여 태그 수집성능을 향상 시킨다.

### III. CSMA/CA기반 충돌방지 프로토콜

#### 3.1. 제안하는 프레임 구조

본 논문에서 새롭게 제시하고 있는 슈퍼프레임 구조는 경쟁 구간과 연속적인 슬립 명령 구간으로 구성되어 있다. 경쟁 구간에서는 다수의 태그들이 RFID 리더의 명령에 대한 응답으로 CSMA/CA를 통하여 채널을 점유하는 방식을 취하며, 연속적인 슬립 명령 구간에서는 RFID 리더에서 성공적으로 데이터를 수신한 태그에 대해 성공적으로 데이터를 수신하였음을 알리고 저 전력으로 동작시키기 위한 슬립 명령을 내리게 된다. 연속적인 슬립 명령 구간의 크기는 정해져 있지 않으며 정상적으로 응답 수신을 한 태그에 대해서 슬립 명령을 P2P로 전송 후 즉시 다음 라운드를 시작하게 된다. 그림 1은 본 논문에서 제안하는 슈퍼프레임 구조이다.

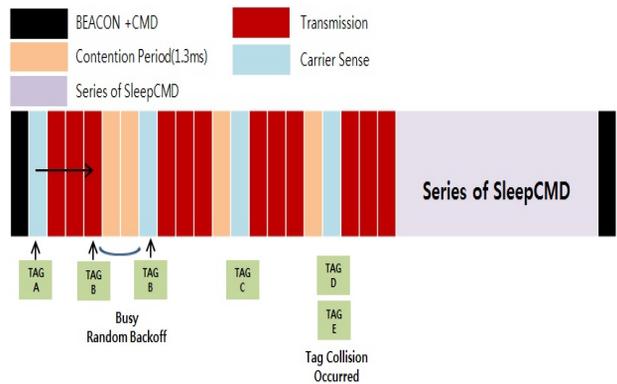


Fig. 1. Proposed super frame structure

동작 절차는 RFID 리더에서 현재 슬립 상태로 동작중인 태그들을 깨우기 위한 웨이크업 명령을 방송 후 수집 명령을 통하여 태그 수집 절차를 수행 한다. 이후 슈퍼프레임 구간에서 태그들이 Beacon +수집 명령에 맞춰서 동기화를 거친 후 경쟁을 통한 response를 하게 된다. 리더는 성공적으로 데이터를 수신한 태그에 대해서 연속적인 슬립 명령 구간에서 일괄적으로 슬립 명령을 내리게 된다. 슬롯의 개수는 Frame Size / 1.3 개이며, 실제 데이터 송수신은 여러 슬롯에 걸쳐서 수행 되게 된다.

IEEE802.15.4에서는 요청에 대한 ACK 메시지를 매번 보내게 되므로 ACK 메시지의 보장을 위하여 두 번의 연속적인 CCA(Clear Channel Assesment)를 수행하게 된다. RFID 시스템에서 태그가 응답할 때 마다 슬립 명령을 보내게 되면 1.3ms의 Slot 시간으로 슬립 명령의 수신을 보장 할 수가 없다. 테스트를 통하여 확인한 결과 태그가 응답 후 다시 슬립 명령을 받는데 걸리는 최소 시간 2.7ms가 소요 되었다. 결론 적으로 슬립 명령 수신을 보장하기 위해서는 더욱 큰 슬롯 크기와 CCA 시간이 필요하게 된다. 때문에 IEEE 802.15.4에서는 두 번의 CCA를 통하여 슬립 명령의 성공적인 송수신을 보장하고 있다. 태그의 수집 성능이 중요한 성능 지표 중의 하나인 RFID 시스템에서 매번 태그가 응답하고 나서 슬립 명령의 Turn around 시간인 2.7ms를 기다리는 것을 채널의 낭비와 동시에 채널 점유 시간이 길어짐으로 다른 태그의 채널 점유 확률을 떨어뜨리게 된다.

제안된 방식에서는 리더가 경쟁 구간에서 수집한 태그의 ID 정보를 저장한 뒤 연속적인 슬립 명령 구간에서 한 번에 정상적으로 데이터를 수집한 태그에 대해 P2P명령을 통하여 슬립 명령을 송신하게

된다. 이렇게 동작 하였을 때 연속적인 TX만을 수행하기 때문에 RX-TX에 대한 switching 시간이 현저하게 줄어들었고 CCA를 두 번의 연속 슬롯 동안 할 필요가 없다. 그 결과로 슬립 명령을 연속적으로 송신 할 수 있어 채널 낭비를 줄일 수 있었고, 동시에 1.3ms의 작은 슬롯크기와 슬립 명령의 Turn around 시간을 기다리지 않으므로 같은 시간의 경쟁 구간에서 훨씬 많은 슬롯을 통하여 slotted CSMA/CA를 수행 할 수 있어 빈 슬롯의 채널 낭비 및 충돌 확률을 줄일 수 있다. 반면에 데이터 전송이 여러 슬롯에 걸쳐서 이루어지기 때문에 다른 태그에서 CCA 과정에 채널이 busy한 상황 또한 증가 할 것이라 생각 된다.

에너지 소모 관점에서 보면 433MHz 대역의 38.7Kbps 데이터 전송률을 사용할 때 슬립 모드에서 0.5uA, Rx 모드에서 15.7mA, Tx 모드에서 16mA, CCA 수행 시 39uA의 전력이 소모됨을 Datasheet를 통해서 확인 할 수 있었다. 수치로 확인한 결과 CCA 수행 횟수는 데이터 충돌로 인한 에너지 소모에 비해 크게 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다. 따라서 충돌 횟수를 줄이는 것이 에너지 소모 관점에서 더욱 효율적이라고 생각 할 수 있다.

3.2. 메시지 포맷

메시지 포맷은 ISO/IEC 18000-7의 웨이크업 메시지와 태그 응답 메시지를 사용하였고 본 논문에서 제안한 slotted CSMA/CA 동작을 위해 태그 수집 요청 명령어 메시지를 표 1 과 같이 정의 하였다.

Table 1. Tag collection command

Preamble	Sync Word	Packet length	Protocol ID	Packet Option	Interrogator ID	Command Code	Frame Size	Backoff Enable	CRC Code
4BYTE	2BYTE	1BYTE	0x40	1BYTE	2BYTE	1BYTE	1BYTE	1BYTE	2BYTE

기존 ISO/IEC 18000-7의 태그 수집 요청 명령어 메시지에서 Frame Size(슬롯 개수) 필드를 추가 하여 매 라운드에서 유동적이 프레임 사이즈 조절이 가능 하도록 하였다. 또한 Backoff Enable 필드를 추가 하여 빈 슬롯의 비율에 따라 경쟁구간 내

의 Random Backoff를 통한 재전송을 가능하게 하였다.

3.3. 제안한 방식의 동작 과정

아래 그림 2는 논문에서 제안하는 리더의 효율적인 slotted CSMA/CA 기반 충돌방지 프로토콜의 동작 과정을 보여준다. 리더는 웨이크업 신호를 방송 하여 리더의 RF 범위 안에 있는 모든 태그를 준비상태로 변경한다. 이후 프레임 사이즈(Frame size / 1.3ms = 슬롯개수)를 수집 명령과 함께 방송 하여 태그 수집 절차를 시작한다. 내부 타이머를 통하여 프레임 사이즈 동안 RF 인터럽트를 활성화 하여 태그로 부터의 정보를 수집하며 데이터 수신시 CRC 체크를 통하여 충돌이 일어난 태그 및 성공적으로 수신된 태그 빈 슬롯을 확인 할 수 있다. 프레임 시간이 끝나게 되면 성공적으로 수신한 태그 ID에 대하여 P2P 명령으로 슬립 명령을 송신하게 된다. 3번의 프레임동안 태그의 응답이 없을 경우 리더는 태그 수집절차를 종료하게 된다. 그렇지 않을 경우 이전 라운드에서 수집한 성공, 충돌, 빈 슬롯의 정보를 바탕으로 다음 라운드의 프레임 사이즈를 결정하여 태그 수집 절차를 수행하게 된다.

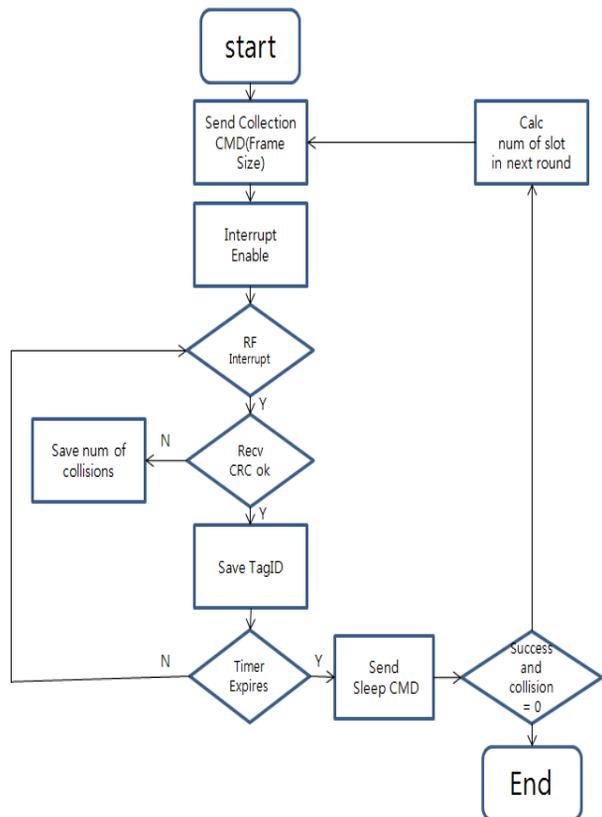


Fig. 2. RFID Reader flow chart

아래 그림 3은 제안하는 태그의 효율적인 slotted CSMA/CA 기반 충돌방지 프로토콜의 동작 과정을 보여준다. RFID 태그는 웨이크업 명령 수신 후 태그 수집 명령에 의해서 시작한다. 태그 수집 명령에 포함되어 있는 경쟁 구간의 7크기 정보를 가지고 MCU내부 타이머를 이용하여 시간 동기화를 하게 된다. 경쟁구간 내의 Random Backoff를 수행한 뒤 CCA를 수행하게 된다. CCA는 100us 동안 수행하게 되며, 채널이 IDLE 하다고 판단되면 즉시 전송을 시작한다. CCA 이후 TX상태로 상태 전이 시간이 대략 1.2ms 걸리기 때문에 실제 데이터 전송은 다음 슬롯의 시작점에서 일어나게 된다. 태그는 응답 메시지 송신 후 슬립 메시지를 받을 기간 동안 저 전력 모드로 대기 하게 되며, 연속적인 슬립 명령 구간에서 깨어나 슬립 메시지를 받게 된다. 만약 슬립 메시지를 받지 못하면 다음 라운드에 다시 시도 하게 된다. 채널이 IDLE하지 않다면 다음 라운드에서 다시 시작하게 된다. 하지만 슬롯의 크기가 57.3ms(최소슬롯)이고 채널이 65%이상 Idle할 때 통신을 위한 빈 슬롯이 많다고 판단 Backoff Enable을 1로 설정 하여 경쟁구간 내에서 Backoff

를 통한 재전송을 한다. 본 논문의 실제 리더와 태그 구현에서는 최대 라운드 크기를 10으로 정하였으며, 10라운드 안에 성공하지 못하면 태그 응답 실패로 간주 하였다.

3.4. 빈 슬롯을 이용한 태그개수 추정 방법

본 논문에서는 이전 라운드의 빈 슬롯 비율을 이용하여 남은 태그 개수를 추정 하였다. 태그 개수 추정에 필요한 파라미터들을 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} \text{프레임 크기(슬롯 개수)} &= F \\ \text{총 태그 개수} &= N \\ \text{빈 슬롯 비율} &= E \\ \text{응답 전송 시 필요한 슬롯 개수} &= P \\ \text{태그/프레임 비율} &= N/F \end{aligned}$$

N/F는 프레임 사이즈에 대한 실제 태그가 사용하는 슬롯의 개수의 비율로  $N/F = \frac{NP}{F} \times 100$  같이 나타낼 수 있다.

Table 2. Tag/Frame Percentage to the empty slots

Num of slot(F)	Num of tags(N)	Tag/Frame percentage (N/F)	Empty slot percentage (E)
500	1	1	99
500	2	2	98.02
500	3	3	97.04
500	4	4	96.1
500	5	5	95.18
500	6	6	94.25
500	7	7	93.3
500	:	:	:
500	216	216	27.11
500	217	217	26.85
500	218	218	26.93
500	219	219	27.03
500	220	220	26.47
500	221	221	26.60
500	222	222	26.48
500	223	223	26.65
500	224	224	26.36
500	225	225	26.45
500	226	226	26.03
500	:	:	:
500	1500	1500	1

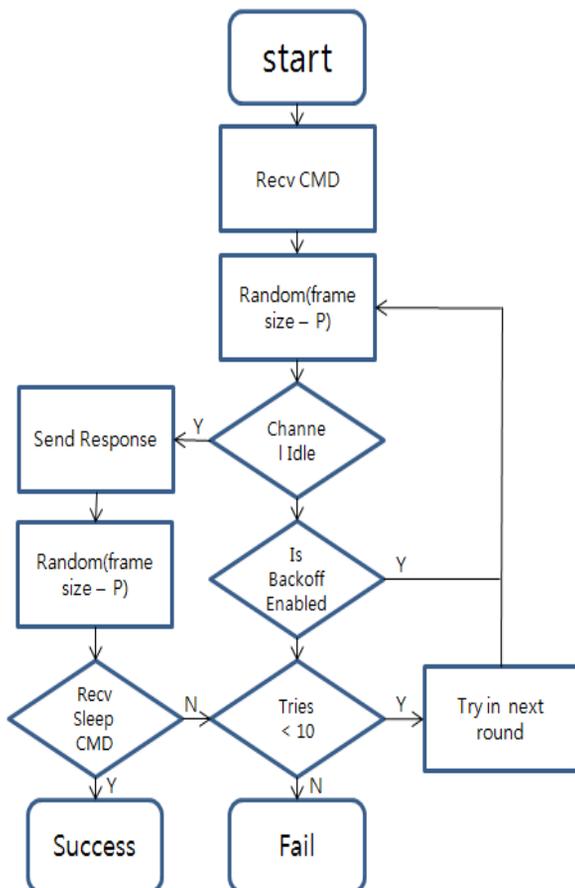


Fig. 3 RFID Tag flow chart

표 2에서는 실제 환경과 동일한 파라미터를 적용한 시뮬레이션을 통하여 프레임 사이즈를 500으로 고정하고 태그개수를 1~1500개 까지 늘여가며 첫 번째 라운드에 대한 빈 슬롯 비율을 구하였다. 아래 표 3에서는 빈 슬롯 비율이 0 ~ 100%까지의 경우에 대하여 태그/프레임 비율을 실험 500번을 통하여 평균치를 구하여 나타내었다.

아래의 수치는 위의 실험을 통하여 빈 슬롯 0%에서 100%까지의 태그/프레임 비율을 차례로 나타내었다.

{1500,1400,1200,992,880,781,711,655,590,555,511,481,453,420,401,380,360,338,321,305,291,280,270,255,245,232,225,215,203,196,190,186,175,170,165,154,152,148,140,135,130,124,122,118,113,108,106,101,98,93,90,88,85,82,79,76,72,70,67,64,62,60,57,55,53,51,49,46,45,43,41,39,38,35,34,32,30,28,27,25,24,22,21,20,18,17,15,14,13,12,11,10,8,7,6,5,4,3,2,1,0}

표 3. Tag/Frame Percentage to the empty slots

시뮬레이션 실험을 통하여 프레임 사이즈 50, 100, 200, 400, 500로 고정하고 태그 개수 1~1500개 까지 늘여갔을 때 태그/프레임 비율이 유사하게 나타나는 것을 확인 하였다. 따라서 실험을 통하여 측정된 빈 슬롯 0~100%에 따른 대한 태그/프레임 비율의 테이블 정보를 가지고 있을 때 이전 라운드에서 얻어진 프레임 크기 및 빈 슬롯 비율을 통하여 현재 남아 있는 태그의 개수를 추정 할 수 있다.

빈 슬롯 비율은 이전 라운드의 인식태그 개수 및 충돌태그 개수 정보를 바탕으로 식 1과 같이 구할 수 있다. 남은 태그의 개수는 식 1에서 얻어진 빈 슬롯 비율정보를 바탕으로 표 1에서 태그/프레임 비율을 알 수 있으며 식 2와 같이 남은 태그 개수를 추정할 수 있다.

$$E = \left\{ 1 - \frac{(\text{인식태그 개수} + \text{충돌태그 개수}) \times P}{F} \right\} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{측정된 남은 태그 개수} = \left\{ (N/F) \times F \times \frac{1}{100} \times \frac{1}{P} \right\} - \text{인식태그 개수} \quad (2)$$

태그 수집 성능을 위해서 적절한 프레임 크기를 선택하는 것이 중요하다. 태그 개수에 비해 프레임 크기가 너무 커지면 낭비되는 프레임이 생기게 되고, 프레임 크기가 너무 작아지면 태그 충돌 발생 확률이 높아지게 된다. slotted Aloha의 많은 관련 연구 및 실험을 통하여 프레임 비율과 태그의 비율이 같을 때 좋은 성능을 나타내는 것을 보였다. 따라서 식 4와 같이 측정된 남은 태그 개수를 통하여 다음 프레임 크기를 정할 수 있다.

$$\text{다음 프레임 크기} = \text{측정된 남은 태그 개수} \times P \quad (3)$$

#### IV. 실험 및 분석

##### 4.1. 실험 환경 설정

본 논문에서는 실제 환경에서의 실험을 위해 433MHz 능동형 RFID 리더와 40대의 능동형 RFID 태그를 제작하여 slotted CSMA/CA 및 프레임 슬롯 ALOHA를 각각 구현하여 비교 실험을 진행하였다. 시뮬레이션을 위해 C언어의 배열(슬롯)과 랜덤함수를 사용하여 slotted CSMA/CA에서 슬롯을 선택, 성공 및 실패를 나타내었으며, 실제 환경의 슬롯 지연시간을 적용하여 실험 하였을 때 실제 환경에서와 비슷한 양상을 보였다. 때문에 시뮬레이션을 통한 태그 500개 환경의 실험은 신뢰성이 있다고 생각되며, 실험을 통하여 성능 분석을 하였다. 단 실제 환경에서 발생 할 수 있는 포획효과(Capture Effect)는 무시 하였다.

리더는 STMicroelectronics 사의 STM32F103RET6 마이크로 컨트롤러를 사용 하였다. 태그는 저 전력 프로세서인 Atmel사의 ATmega128L 8bit 프로세서를 사용 하였다. 그림 4는 실제 실험에 사용된 왼쪽 RFID 리더와 오른쪽 태그의 사진을 보여주고 있다.

리더와 태그에서 사용되는 RF 트랜시버는 동일한 UHF 대역 RF 트랜시버인 Texas Instruments사의 CC1101을 이용하여 구현하였다. CC1101은 64BYTE의 송수신 FIFO를 내장하고 SPI 인터페이스를 통해 제어 할 수 있다. 리더는 UART 인터페이스를 통해 PC와 연결되어 명령을 전달하고 응답 할 수 있도록 구현되어 있다.



Fig. 4. RFID Reader and Tag

Table 3. RF Configuration

Frequency	433.919Mhz
Data Rate	38.4Khz
Modulation	GFSK
Deviation	20Khz
Channel	200Khz
Data Encoding	Manchester
Preamble	4Byte
Sync word	2Byte
CRC	

#### 4.2. 실험 결과 및 분석

실험에서는 먼저 ISO/IEC 18000-7의 프레임 슬롯 ALOHA와 본 논문에서 제안한 효율적인 slotted CSMA/CA의 태그 수집률, 수집시간, 라운드, 충돌 개수를 측정 하였다. 제안한 방법의 프레임 사이즈는 표준과 동일한 57.3ms를 기본으로 추정되는 태그의 개수에 따라 다음 라운드에서 유동적으로 조정 하였다. 최소프레임 사이즈는 57.3ms에서 최대 13,000ms까지를 허용 범위로 정하였다. 태그는 리더로부터 약 10m 떨어진 곳에 임의로 배치하였고 태그 5개에서 40개까지 5개 단위로 증가 시키면서 수집 실험을 진행 하였다. 실험은 각각 200회씩 반복하여 실험 하였으며 수집된 데이터의 평균값을 구하여 측정하였다. 또한 실제 환경과 동일한 파라미터를 적용한 시뮬레이션에서 동일한 실험을 수행 하여 시뮬레이션의 정상 동작을 확인하였으며, 태그 500개의 대량 태그 환경에서 본 논문에서 제시하고 있는 태그 개수 추정 방식의 성능을 입증하였다.

그림 5의 실험을 통한 수집률 결과에서는 프레임 슬롯 ALOHA 방식과 제안한 방식에서 각각 99.75%와 100%의 태그 수집률을 보였다. 40개의 실험에서는 수집률에서 큰 차이를 보이지 않았으며 두 방식 모두 좋은 성능을 보였다.

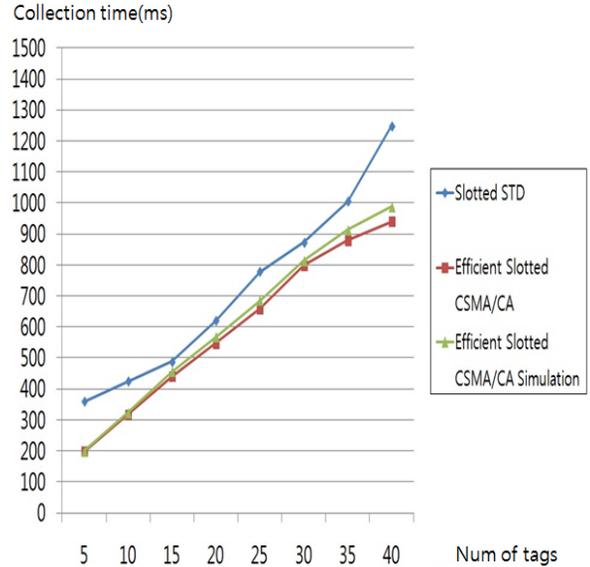


Fig. 5. Collection time

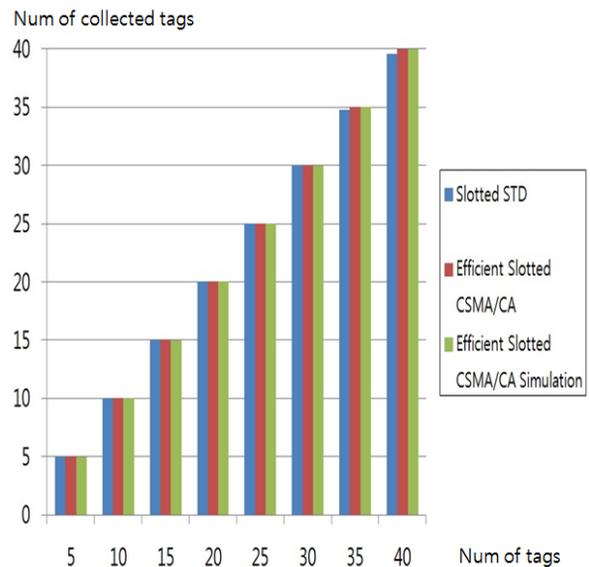


Fig. 6. Collection success

그림 6의 수집시간은 제안한 방식에서 프레임 슬롯 ALOHA에 비해 18%의 성능 향상을 보였다. 시뮬레이션에서도 실제와 비슷한 성능과 양상을 보였으며 그래프에서 볼 수 있는 것처럼 실제 환경보다 조금 성능이 떨어지는 것은 실제 환경에서는 포획 효과에 의해 두 개의 태그가 동시에 응답을 하여도 성공하는 경우가 존재하기 때문인 것으로 보인다.

그림 7의 수집 라운드에서는 제안한 방식이 37.4% 가량 성능 향상을 보였다. 프레임 슬롯 ALOHA에서는 태그 개수가 많아지는 시점인 30개에서 성능이 급격하게 떨어지는 것을 제안한 방식에서는 태그 개수가 증가함에 따라 프레임사이즈를

조절하여 수집 라운드 횟수에서 완만한 곡선을 보였다.

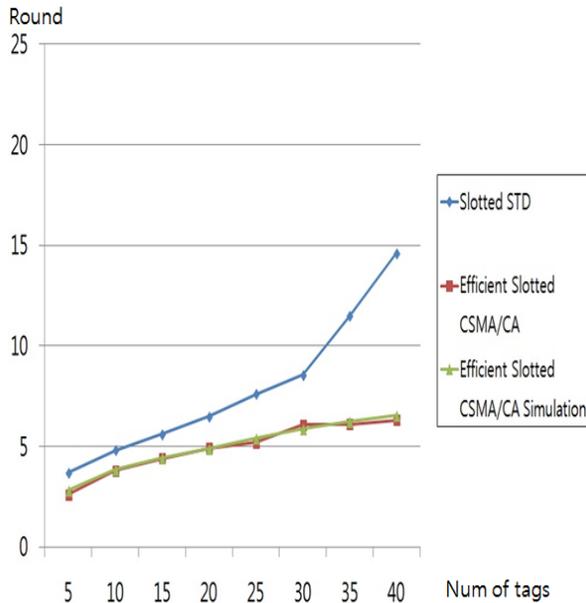


Fig. 7. Collection round

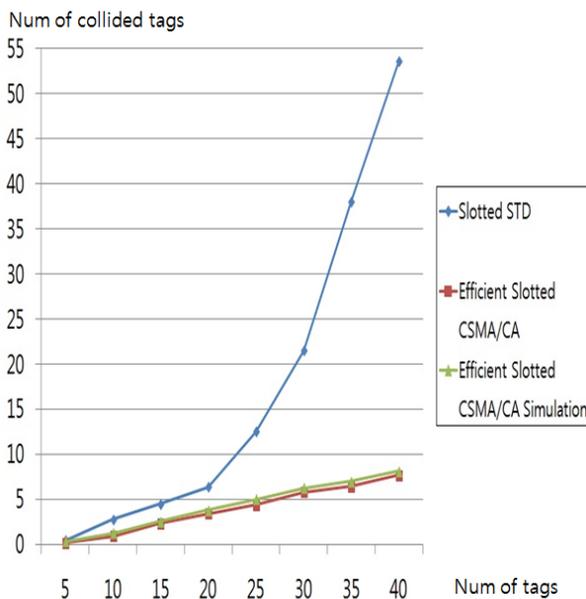


Fig. 8. Number of collisions

그림 8의 충돌 개수에서는 제안한 방식과 시뮬레이션에서 각각 77.8%와 75.6%의 성능 향상을 보였다. 프레임 슬롯 ALOHA에서는 태그 개수가 증가함에 따라서 충돌 개수가 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있으며 제안한 방식에서는 동일한 프레임 사이즈에 더욱 많은 슬롯개수와 유동적인 프레임 사이즈 조절을 통하여 태그개수가 늘어났을 때에도 비교적 완만한 곡선을 보이고 있다. 이는 태그 전송횟

수를 크게 줄여 전송 속도 뿐만 아니라 태그 전력 소비 측면에서도 큰 향상을 나타낼 것으로 예상된다.

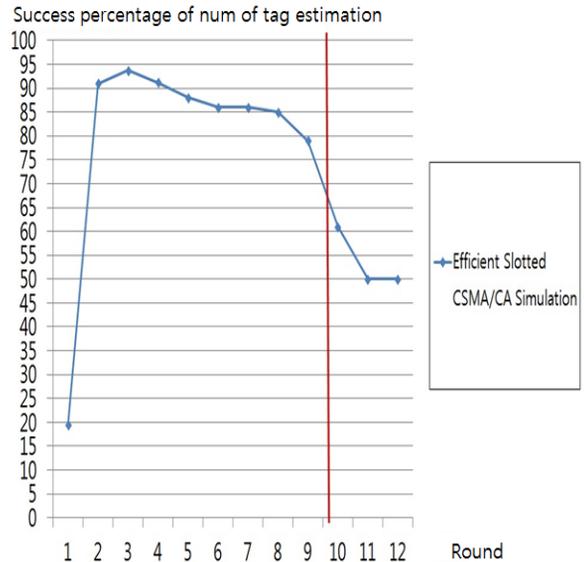


Fig. 9. Number of tag estimation success percentage

그림 9에서는 시뮬레이션을 통하여 태그 개수가 500일 때 각각의 라운드에서 실제 남은태그의 개수 및 추정한 태그 개수의 비율을 통하여 태그개수 추정 성공률을 나타내었다. 첫 번째 라운드에서는 초기 프레임사이즈가 57.3ms로 작기 때문에 정확한 태그 개수 추정이 어렵지만 프레임 사이즈가 증가한 2번째 라운드부터 태그 개수 추정 성공률이 실제와 상당히 근접함을 볼 수 있다. 태그 수집이 완료되어 가는 시점인 9번째 라운드에서는 추정 성공률이 줄어드는 것을 볼 수 있는데 이는 추정 성공률을 실제 남은개수 및 추정한 태그 개수의비율로 구하였기 때문에 태그 개수가 얼마 남지 않았을 때 이러한 양상을 보인다. 하지만 이 시점에서는 최소 프레임사이즈 57.3ms의 응답가능 태그 개수보다 적은 태그가 존재하기 때문에 무시할 수 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 능동형 RFID 시스템의 주요 성능 지표중의 하나인 태그 수집성능 향상을 위하여 충돌 확률을 줄일 수 있는 효율적인 slotted CSMA/CA 슈퍼프레임 구조를 제시 하였다. 제안한 CSMA/CA 프로토콜에서는 충돌 확률을 줄이기 위하여 슬롯 크기를 1.3ms의 작은 크기로 고정 하였으며 실험 결과에서 충돌이 크게 줄었음을 보였다. 또한 빈 슬롯 비율을 이용 남아있는 태그 개수 추정 및 프레임 사이즈를 효율적으로 조정 하여 수집

속도, 수집률, 충돌 확률 향상을 위한 연구를 하였다. 제안한 충돌 방지 프로토콜을 실제 RFID 시스템에 맞게 적용하여 구현 및 프레임 슬롯 ALOHA와 비교를 통하여 성능 입증을 하였다.

실험을 통하여 제안한 프로토콜이 수집 시간, 수집 라운드, 충돌 개수에서 프레임 슬롯 ALOHA에 비해 각각 18%, 37.4, 77.8%의 성능 향상을 보였다.

향후 과제에서는 조금 더 낮은 통신을 위하여 RF 트랜시버의 전송 속도 및 전송 하고자 하는 패킷의 사이즈에 따라서 적절한 슬롯의 크기를 정하는 것이 필요하다.

### References

[1] IEEE 802.11, "Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer specifications," Sep. 1999.

[2] IEEE 802.15.4 standard specification for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), Sep. 2006

[3] N. Nasri, A. Kachouri, and M. Samet, "CSMA-based MAC protocol for collision avoidance in a dense RFID network," in *Proc. Int. Conf. Informatics and Systems (INFOS)*, pp, 1-5 Mar. 2010.

[4] G. Lu, B. Krishnamachari and C. Raghavendra, "Performance evaluation of the IEEE 802.15.4 MAC for low-rate low-power wireless networks," in *Proc. IEEE Int. Conf. Performance, Computing, and Communications*, pp. 701-706, April. 2004.

[5] V. Kumar, A. S. Raghuvansi, and S. Tiwari, "Performance study of beacon-enabled IEEE 802.15.4 standard in WSNs with clustering," in *Proc. Int. Conf. Power, Control and Embedded Systems (ICPCES)*, Nov. 2010

[6] B. H. Lee and H. K. Wu "Study on a dynamic superframe adjustment algorithm for IEEE 802.15.4 LR-WPAN," in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. (VTC 2010-Spring)*, May 2010.

[7] ISO/IEC 18000-7, *Information technology - Radio frequency identification (RFID) for*

*itemmanagement - Part 7: Parameters for active air interface communications at 433 MHz*, Aug. 2008.

[8] K. Finkenzeller, *RFID Handbook: Fundamental and application in contactless smart Card identification*, 2<sup>nd</sup> Ed., John Wiley & Sons, 2003.

[9] E. Egea-López, J. Vales-Alonso, A. S. Martínez-Sala, M. V. Bueno-Delgado, "Performance evaluation of non-persistent CSMA as anti-collision protocol for active RFIDTags," *Wired/Wireless Internet Commun.*, pp, 279-289, May. 2007.

[10] G. Bianchi and L. Fratta, *Performance Evaluation and Enhancement of the CSMA/CA MAC Protocol for 802.11 Wireless LANs*, IEEE 0-7803-3692-5/96, Jun. 1996.

[11] W.-J, Yoon, "Efficient tag collection algorithms for identification of massive tags in active RFID systems," Pusan national university doctor thesis., Feb, 2010.

[12] W.-J, Yoon and S. H. Chung, "ISS-TCA: An identified slot scan-based tag collection algorithm for performance improvement in active RFID systems," *IEEE Trans. Industrial Electr.*, pp, 1662-1672, Mar, 2012.

[13] W.-J, Yoon, S. H. Chung and Y. S. Moon, "Improvement of Tag Collection Performance for Active RFID Systems," *The Korean Institute of Communications and Information Sciences*, pp, 518~527 July, 2008.

[14] B. -S, Joo, H. J. Ki and T. J. Lee, "Partitioned Contention Access Mechanism to Enhance the Performance of IEEE 802.15.4 MAC Layer," *The Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, pp. 436~440 June, 2008.

[15] STMicroelectronic, STM32F103Datasheet, Sep. 2009. from [/datasheetpdf/view/303543/STM32F103C4.html](http://datasheetpdf/view/303543/STM32F103C4.html)

[16] ATMEL, ATmega128(L)Datasheet, Mar. 2008. from

[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2467.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2467.pdf)

- [17] Texas Instruments,  
CC1101Datasheet, Apr. 2009. form  
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc1101.pdf>

주진훈 (Jin-hoon Joo)



2010년 2월 울산대학교 컴퓨터  
공학과 학사  
2012년 2월 부산대학교 컴퓨터  
공학과 석사  
2012년 3월~현재 LIG Nex1  
Research Engineer  
<관심분야> 전자공학, 무선통  
신공학, 광통신 공학

정상화 (Sang-hwa Chung)



1985년 2월 서울대학교 전기  
공학과 학사  
1988년 5월 Iowa State Univ.  
컴퓨터공학과 석사  
1993년 8월 Univ. of Southern  
California 컴퓨터공학과 박사  
1993년~1994년 Univ. of Central  
Florida 컴퓨터공학과 조교수  
1994년~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 교수, 컴퓨  
터 및 정보통신연구소 연구원  
2002년~2003년 Oregon State Univ. 컴퓨터공학과  
초빙교수  
<관심분야> 클러스터 시스템, TOE, RDMA, RFID,  
무선랜 메쉬 네트워크