

고속 태그 수집을 위한 개선된 능동형 RFID 시스템용 프레임 Slotted ALOHA 알고리즘 구현

김지태*, 강병권°, 이강원*

Implementation of Improved Frame Slotted ALOHA Algorithm for Fast Tag Collection in an Active RFID System

Ji-Tae Kim*, Byeong-Gwon Kang°, Kang-Won Lee*

요약

본 논문에서는 능동형 RFID 시스템용 고속 태그 수집을 위한 개선된 알로하 알고리즘을 제안하고, 이를 TI사의 CC2530 칩을 사용하여 태그와 리더기 각각의 기능을 구현하여 시험함으로써 그 성능을 증명하였다. 기존의 ISO/IEC 18000-7 등의 능동형 RFID 규격에서 제시하고 있는 태그 수집 알고리즘에서는 리더기와 태그의 통신이 성공적으로 종료된 후 리더기가 각 태그들에게 별도의 슬립 명령을 전송하는 반면, 제안된 방식에서는 통신이 종료된 태그들은 두 번째 명령어를 확인한 후 즉시 슬립 모드로 진행할 수 있도록 함으로써 리더기의 태그 수집 시간을 대폭 감소시켰다. 리더기와 태그를 구현하여 시험한 결과 30개의 태그가 평균 400 ms 이내에서 모두 인식되었으며, 1초 이내에 인식되는 인식률은 99.7% 이상임을 확인하였다. 리더기와 태그 간의 거리가 2m 이내인 경우 태그는 100% 인식되었으며, 2.5m 이내인 경우와 3m 이내인 경우 초당 인식 확률이 각각 99.94%와 99.7%였다. 각 거리의 경우를 평균하여 99.91%로 나타남으로써 실제 현장에의 적용 가능성을 보였다.

Key Words : Slotted ALOHA, Active RFID, Tag collection, ISO/IEC 18000-7, 125kHz, 2.4GHz

ABSTRACT

In this paper, we suggest a modified slotted ALOHA algorithm for fast tag collection in active RFID system and implement the reader and tag operation using CC2530 chip of Texas Instruments Co. to prove the performance of the proposed algorithm. In the present international standard related with active RFID including ISO/IEC 18000-7 the reader sends sleep command to each tag after successful obtaining tag's information. Meanwhile, in this paper, the tags decide to sleep after checking the second command from the reader resulting in enormously decreased tag collection time. We tested the proposed algorithm with 30 tags over the range of 0-3m and the results showed that the tag collection process was completed in 400msec at average. And 30 tags are collected in one second with 99.7% and the collection rate is 100% in 2m distance between reader and tag. The collection rates are 99.94% and 99.7% for distance 2.5m and 3m, respectively. The average collection rate is 99.91% over all range and it is concluded that the proposed algorithm is enough to apply to real fields.

* First Author : Department of Industrial & Information System Engineering, Seoul National University of Science & Technology, jtk82@seoultech.ac.kr, 정회원

° Corresponding Author : Department of Information & Communication Engineering, Soonchunhyang University, bgkang@sch.ac.kr, 종신회원

* Third Author : Department of Industrial & Information System Engineering, Seoul National University of Science & Technology, kwlee@seoultech.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2014-08-301, Received August 12, 2014; Revised August 22, 2014; Accepted August 22, 2014

I. 서 론

최근 10여년에 걸쳐 RFID(Radio Frequency Identification)는 국내외적으로 많은 관심을 받아 왔으며, 국제표준화기구(ISO)에서도 ISO/IEC 18000시리즈라고 하는 표준들을 주파수 대역별로 정의하여 국제 표준으로 공개하였다. RFID는 리더기(Reader)라고 하는 장치가 무선 통신을 통하여 태그(Tag)에 저장되어 있는 정보를 취득하는 기술로서 리더기와 태그를 비롯한 하드웨어와 취득한 정보를 처리하기 위한 미들웨어 및 소프트웨어로 구성되는 무선인식 기술이다. RFID에서는 태그가 사물의 식별 정보 또는 센싱 정보를 가지고 있다가 리더기의 요청 명령에 따라 태그가 리더기로 정보를 전송하며, 리더기는 수집된 태그들의 정보를 미들웨어를 통하여 네트워크로 전송한다¹⁾.

RFID 태그는 전원 공급 방법에 따라 리더기의 동력만으로 칩의 정보를 읽고 통신하는 수동형(Passive) 태그, 태그에 배터리가 내장되어 있어 태그 칩의 정보를 읽을 경우 배터리를 사용하고, 리더기와 태그의 통신에는 리더기의 동력을 사용하는 반수동형(Semi-passive) 태그, 그리고, 태그 자체의 배터리로 리더기와 통신을 하는 능동형(Active) 태그로 구분할 수 있다.

이러한 RFID 시스템의 성능은 보다 빠른 시간 내에 보다 많은 태그를 읽어내는 것으로 정의할 수 있으며, 많은 연구들이 프레임 슬롯에서 다중의 태그가 충돌하는 것을 감소시킴으로써 성능을 향상 시키는 것에 초점을 맞추어 왔다. 본 논문에서 연구 대상으로 고려한 능동형 태그를 사용하는 능동형 RFID 시스템에 관한 연구를 살펴보면, W. J. Yoon 등은 인식 슬롯 스캔 기반 태그 수집 알고리즘을 제안하고, 충돌 혹은 비어있는 슬롯을 검출하여 다음 라운드에서 이들 슬롯을 효율적으로 운영함으로써 대량의 데이터를 최소한의 시간에 읽을 수 있는 방법을 제시하였다^{2,3)}. 한편, Z. Luo 등은 1차 라운드에서 검출되지 않은 태그 수를 추정하여 프레임 크기를 조절하는 방법을 제안하였으며⁴⁾, H. Wong 등은 태그 신호의 프리앰블과 데이터 사이에 펄스 버스트(pulse burst)를 삽입하여 리더기가 이를 검출하는 경우 충돌이 발생한 것으로 인식하여 리더기가 비지톤(busy tone)을 발생시킴으로써 태그들이 불필요하게 해당 구간에서 신호를 전송하지 않도록 하였다⁵⁾. C. S. Lee 등은 태그가 통신 할 슬롯을 미리 알 수 있게 하여 태그들이 통신하는 기간 동안만 활성화 상태에 있도록 함으로써 태그의 배터리 소모를 줄일 수 있는 프로토콜을 제안하였다⁶⁾.

이상과 같은 논문을 포함하여 많은 연구들은 일반적인 상황을 고려하여 능동형 RFID 시스템의 성능을 향상시키고자 하였다⁷⁻⁸⁾. 본 논문에서는 다수의 태그가 출입 게이트를 통과하는 실제적인 상황을 고려하여 능동형 RFID 시스템의 성능을 혁신적으로 개선할 수 있는 알고리즘을 제안하였고 실험을 통하여 성능을 증명하였다. 즉, 기존의 ISO/IEC 18000-7⁹⁾ 등의 규격에서 제시하고 있는 태그 수집 알고리즘을 개선하였는 바 각 슬롯에서 리더기와 태그의 통신이 종료된 후 리더기가 각 태그들에게 별도의 슬립 명령을 전송하는 기존의 방법 대신 통신이 종료된 태그들은 즉시 슬립 모드로 진행할 수 있도록 함으로써 리더기의 태그 수집 시간을 대폭 감소시켰다. 본 논문에서의 실제적인 상황은 이동하는 인력이 가장 밀집되어 이동하는 조건을 고려하기 위하여 국토교통부 ‘복합환승센터 설계 및 배치 기준’ 고시¹⁰⁾에 제시된 규정을 기준으로 하였으며, 이것을 근거로 본 논문에서 제안한 방식의 효율성을 검증하였다.

II. 관련 연구

본 장에서는 국토교통부 ‘복합환승센터 설계 및 배치 기준’ 고시에 제시되어 있는 내용을 검토하여 본 논문에서 실험하고자 하는 내용의 기준을 설정하고 ISO/IEC 18000-7에 제시되어 있는 기존 slotted ALOHA 알고리즘을 설명한다.

2.1 국토교통부 관련 고시

국토교통부 ‘복합환승센터 설계 및 배치 기준’ 고시에 제시되어 있는 보행통로에 관한 서비스 수준(LOS, level of service) 관련 내용은 다음과 같다.

보행통로에서 성인이 보행을 하기 위해 필요한 최소한의 면적인 0.67m²를 LOS E의 최저수준으로 하며, 보행속도를 자유롭게 선택할 수 있는 수준을 LOS A로 한다. 점유면적(m²/인)과 보행속도(인/분/m)간 관계를 통해 환산한 보행교통류율(인/분/m)은 LOS A가 0~27.15(인/분/m), LOS E가 59.51~73.70(인/분/m)이다. 본 논문에서 고려하고자 하는 상태는 위급 상황 시 다수 인원의 이동 상황을 가정한 LOS D로서, 보행교통류율(인/분/m)이 45.44~59.51이고, 점유 면적은 최대 1.61m²이다. 이때의 점유 면적은 전후 좌우로 각각 약 1.02~1.27m인 경우이다. 단, 출입구의 폭은 규정상 보행통로의 LOS D 기준을 적용하며, 보행교통류율이 59.51(인/분/m) 이하가 되도록 하여야 한다. 건설 현장 등에서의 출입구 폭은 6m 가 되어야 하며,

1.5m 폭 당 1명이 지난다고 계산하면, 약 200명 정도의 인원이 폭 6m의 게이트를 지나는데 약 51초가 소요되며, 본 논문의 실험 결과를 적용하면 게이트 양쪽으로 리더기를 설치한 경우, 1분 이내에 100% 인식이 가능하고, 통로를 따라 6m 간격으로 리더기를 설치한 경우에는 1초 이내에 200개의 태그를 모두 인식할 수 있다. 여기서, 6m는 125kHz wake-up용 저주파 (LF) 통신의 도달 거리를 3m로 가정한 것이다.

표 1. 보행통로의 LOS
Table 1. LOS of walking corridor

LOS	Walking flow rates (man/min/m)	Occupied area (m ² /man)	Walking Status
A	0~27.15	≥ 2.84	Free walking speed available
B	27.15~34.34	2.21~2.84	Outrunning with normal speed
C	34.34~45.44	1.61~2.21	Outrunning is limited
D	45.44~59.51	1.05~1.61	Walking speed is limited
E	59.51~73.70	0.67~1.05	Normal walking speed is not available
F	> 73.70	< 0.67	Blocked walking, stopped status

2.2 ISO/IEC 18000-7 태그 수집과 충돌 중재

ISO/IEC 18000-7에 제시되어 있는 태그 수집 및 충돌 중재 알고리즘은 다음과 같다. 태그 정보를 수집하는 동안 이루어지는 충돌 중재의 목적은 리더기의 통신 범위 내에 존재하는 태그들의 정보를 효율적이고 규칙적으로 수집하고, 그림 1과 같은 수집 시퀀스에서 태그의 능력과 데이터 내용에 대한 정보를 수신하기 위한 것이다. 태그가 전송하는 정보는 리더기로부터 온 명령어에서 설정된 플래그에 의해 지정 된다. 리더기는 하나 또는 복수 태그와의 통신에서 마스터(master) 역할을 한다.

충돌 중재는 특정 수집 라운드(윈도우 크기) 내에서 태그 송신을 슬롯에 할당하는 메커니즘을 사용한다. 최초 윈도우 크기는 그림 1에서와 같이 57.3ms로 정해진다. 수집 라운드는 몇 개의 슬롯으로 이루어져 있으며, 각 슬롯은 리더기가 태그의 응답을 수신할 수 있도록 충분히 길다. 슬롯의 실제 길이는 리더기의 수집 명령어 형식에 의해 결정되며 태그 송신 시간에 따라 달라진다. 리더기의 무선 통신 범위 내에 놓인 태

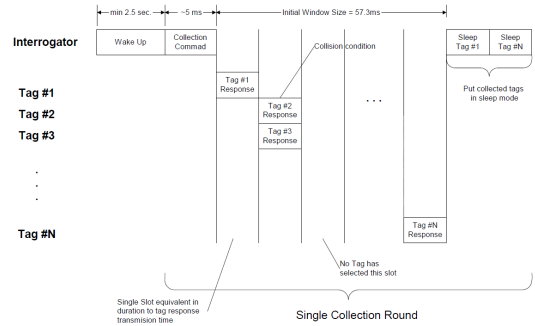


그림 1. 수집 시퀀스와 타이밍
Fig. 1. Collection sequence and timing

그는 리더기에 의해 브로드캐스트 되는 기동 신호를 수신할 때 준비상태(Ready state)로 들어간다.

리더기는 수집(Collection) 명령어를 브로드캐스트 함으로써 태그 수집 프로세스를 개시한다. 수집 명령어를 수신한 태그는 응답할 슬롯을 무작위로 선택하지만 즉시 송신을 시작하지는 않는다. 현재의 수집 라운드에서 슬롯의 수는 리더기의 명령어 타입에 의해 결정된다. 각 수집 명령어는 하나의 슬롯 시간 내에서 태그에 의해 전송될 데이터의 특정 형식과 양을 정의한다. 이후의 충돌 중재 프로세스에서 리더기는 라운드에서의 충돌 횟수를 근거로 다음 수집 라운드를 위한 최적 윈도우 크기를 가변적으로 결정한다. 수집 명령어를 받자마자 태그는 응답할 슬롯을 선택한다. 선택은 의사 난수 생성기(pseudo-random number generator)에 의해 결정된다. 하나의 태그가 슬롯 번호를 선택하면 응답하기 전에 ‘슬롯 번호’ 곱하기 ‘슬롯 폭’의 시간에 해당하는 의사 난수 지연 시간 동안 기다린다. 슬롯의 수는 현재 윈도우 크기에 의해 정해지며, 리더기의 수집 명령어 타입에 포함되어 표현된다.

리더기가 수집 명령어를 송신한 후에는 다음 3가지 중 하나의 결과가 가능하게 된다.

- a) 어떤 태그도 하나의 슬롯도 선택하지 않았거나 리더기가 태그의 응답을 검출하지 못했기 때문에 리더기가 응답을 받지 못한다. 이 경우 리더기는 현재의 수집 라운드를 종료한다.
- b) 리더기가 두 개 또는 그 이상의 태그 응답 사이에서 충돌을 검출한다. 충돌은 다수의 송신으로부터 야기되는 회선 쟁탈(contention)에서 검출되거나 또는 무효의 CRC를 검지함으로써 검출되기도 한다. 리더기는 충돌을 기록하고 이후의 슬롯에서 새로운 태그의 신호를 계속 수신한다.
- c) 리더기는 오류 없는 즉 타당한 CRC의 태그 응답을 수신한다. 리더기는 태그 데이터를 기록하고 차

후의 슬롯에서 새로운 태그의 신호를 계속 수신한다. 수집 라운드는 라운드 내의 모든 슬롯이 탐지될 때까지 계속된다. 수집 라운드가 완료되었을 때, 리더기는 이전 수집 라운드 동안에 수집된 모든 태그에게 슬립(Sleep) 명령어를 송신하기 시작한다. 슬립 명령어를 수신한 태그는 슬립 모드로 들어가고 이후의 라운드에서는 태그 수집에 참여하지 않는다.

III. 제안된 고속 태그 수집 알고리즘

ISO/IEC 18185-1과 ISO/IEC 24730-2 등 기존 능동형 RFID 표준은 태그 wake-up을 위한 LF(125kHz)의 통신 시간이 길고, 이를 활용한 즉각적인 태그 인식의 기능이 없으며, 규격상 433MHz를 사용하는 ISO/IEC 18000-7 또한 태그 wake-up 시간이 최소 2.4초이다. UHF 대역을 사용하여 태그를 wake-up 시키는 것은 태그 내 코일에 충분한 자계 에너지를 전달하기 어려우므로 태그 스스로 주기적으로 깨어나는 blink 기능을 이용해야 하는데, blink 주기에 따라 태그를 모두 읽어 들이는데 필요한 시간이 달라지고, 태그의 임의의 blink 시간 동안 태그가 리더기의 명령을 수신하지 못하면 다음 blink 시간까지 기다려야 하는 등 태그 수집 시간이 크게 증가한다. 이와 같은 절차상의 복잡도, 통신 시간의 증가 등으로 임의의 시점에서의 짧은 시간 내에 다수의 태그를 읽어내는데 큰 어려움이 있다.

본 논문에서는 기존의 ISO/IEC 18000-7의 Frame Slotted ALOHA 알고리즘을 수정하여 개선된 알로하 알고리즘을 Modified Frame Slotted ALOHA로 명명하여 제안하고, 이를 IEEE 802.15.4를 만족하는 TI사의 CC2530 칩을 사용하여 태그와 리더기 각각의 기능을 구현하여 시험함으로써 그 성능을 증명하였다. 제안된 알고리즘은 다량의 태그를 인식하기 위한 수백 ms 정도의 시간동안 리더기와 태그 간에 통신을 하는 절차로서 태그의 동작대기 시간을 최소화하는 것이 특징이다.

기존 알고리즘 방식과 제안된 알고리즘 방식의 차이점을 그림 2와 그림 3에 나타내었다. 기존의 방식은 그림 2에서와 같이 저주파 브로드캐스트 명령에 의하여 모든 태그가 활성화되고, 이후의 슬롯에서 2.4GHz 대역의 통신을 수행한다. 태그를 효율적으로 제어하기 위해서 LF와 UHF 두 개의 RF를 혼합 운용하고, 기본적으로 Inquiry 방식으로 운용할 수 있도록 리더기는 LF wake-up 으로 태그와의 통신을 시작한다. 이것은 기존의 방식과 제안된 방식의 공통된 사항이다. 그

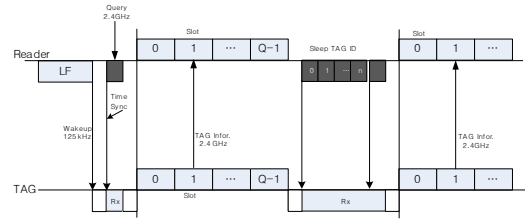


그림 2. 기존의 슬롯 알로하 프레임 구조
Fig. 2. Previous slot ALOHA frame structure

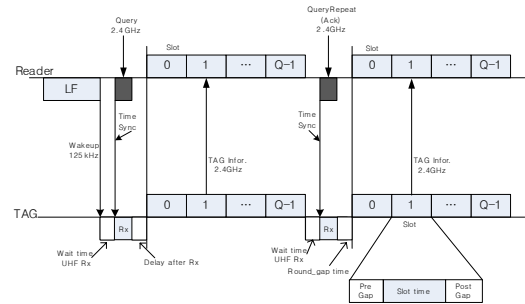


그림 3. 본 논문에서 제안한 슬롯 알로하 프레임 구조
Fig. 3. Proposed slot ALOHA frame structure

림에서 태그의 정보를 리더기로 전송하는 것을 화살표로 나타내었다. 주어진 개수 만큼의 슬롯에서 태그의 정보 전송이 완료되면, 리더기는 성공적으로 정보를 전송한 태그에게 슬립 명령어를 내린다. 이 명령어는 하나의 태그마다 전송하게 되는데 태그 ID 4바이트 및 리더기 ID 2바이트를 포함하여 최소 14바이트가 필요하다. 따라서, 모든 슬롯에서의 통신이 성공한 경우 슬롯 개수 곱하기 14바이트의 시간이 소요된다. 본 논문에서 제안한 새로운 방식은 그림 3과 같다. 슬롯을 이용한 통신은 동일하지만 주어진 슬롯만큼의 시간이 모두 지난 후에 개별적 태그에 대한 슬립 명령어 대신 Query Repeat 명령어를 전송한다. 이 명령어는 명령어의 비트 길이를 포함하는데, 이 비트 길이는 직전 통신에서의 슬롯의 개수를 의미한다. 즉, 비트 길이 이후의 첫 번째 비트는 첫 번째 슬롯을 의미하며, 마지막 비트는 마지막 슬롯을 의미하여 비트 값이 1이면 첫 번째 슬롯을 사용했던 태그의 통신이 성공했음을 의미하고, 0이면 실패를 의미한다. 따라서, 태그들은 이 브로드캐스트 명령어를 수신하여 자신의 정보가 성공적으로 전송되었는지를 판단하며, 만일 성공하였을 경우 슬립 모드로 들어가고, 실패하였을 경우 다음 태그 수집 라운드에 참여하게 된다. 따라서, 본 알고리즘을 사용하게 되면 기존의 방식에서 하나의 태그에게 슬립 명령어를 전송할 시간에 태그 수집에 참여한다

모든 태그에게 슬립 명령 또는 Query 명령을 전송할 수 있게 된다.

한편, 통신에서 발생할 수 있는 타이밍 오차로 인한 시간 손실을 최소화하기 위하여 리더와 태그간의 통신 시점 마다 명확하게 구분되는 통신 시점과 통신 시간 표시가 절차상에 포함된다. 먼저 LF wake-up 으로 시작되는 태그는 LF로 데이터를 수신하고, LF 종료 시점을 기준으로 일정한 명령 대기 시간 동안 UHF Rx를 기다린다. 이에 리더기는 UHF로 최초 명령을 태그에 전달하고, 리더기와 태그는 명령 전달 혹은 수신 시점의 시간을 기준으로 시작 시간 정보를 다시 설정한다. 리더기 및 태그는 각각의 수행 지연 시간 (보통 2ms) 이후에서부터 응답 슬롯을 시작한다. 그림 3 과 같이 태그는 응답 슬롯에서 송신 전에 pre-gap time을 0.5ms 지연한 후 송신하고, 데이터를 전송하는 시간 2ms와 데이터 전송 후의 post-gap time 0.5ms 등 총 한 슬롯 당 총 3ms의 시간이 소요된다. 리더기는 태그의 데이터 전송을 전후한 gap time까지를 포함한 시간을 하나의 슬롯 시간으로 간주하여 태그 응답을 수신한다. 태그는 명령 수신 후 자신의 응답 슬롯까지는 슬립 상태에 있으며, 응답한 후 다시 다음 명령을 수신할 시점까지 슬립 상태로 전환된다. 리더기는 전체 슬롯이 끝나는 시점에서 다음 명령을 전송하기 전까지의 시간 round_gap time (보통 2ms) 동안에 슬롯 응답의 내용을 분석하고, 다음 명령을 선택한다. 리더는 round_gap time 이후에 gap time 지연 이후 선택한 명령을 송신한다.

명령 수신 시점에서 스스로 깨어난 태그는 일정 시간 리더기의 명령을 수신하고, 태그는 명령에 포함된 인지 정보를 확인하여 자신의 응답에 대한 인지가 있는 경우 즉, 자신의 정보가 정확하게 전송되었음을 확인하면 바로 슬립 모드로 전환되어 다음 LF wake-up 까지 대기한다. 만일 인지가 없는 경우 태그는 명령 수신 시점을 기준으로 다시 시간을 설정하여 각각의 수행 지연 시간 (보통 2ms) 이후에서부터 응답 슬롯을 시작하여 절차를 반복한다.

그림 2와 3에서 “time sync”로 표시된 부분은 매 시간 정보를 재설정하는 시점이고, 슬롯 시작 전 “delay after Rx” 시간이 정의되며, 슬롯이 종료된 후 다시 명령 전달 사이에는 round 사이 시간이 별도로 정의된다.

태그는 그림에서 표시된 것과 같이 자신이 응답하지 않는 대부분의 시간에 슬립 상태에 있게 되며, 응답 시에는 Pre-gap time의 지연 후에 송신한다. 이 전체 과정을 Inventory Tags라고 한다. 그림 4는 기존의

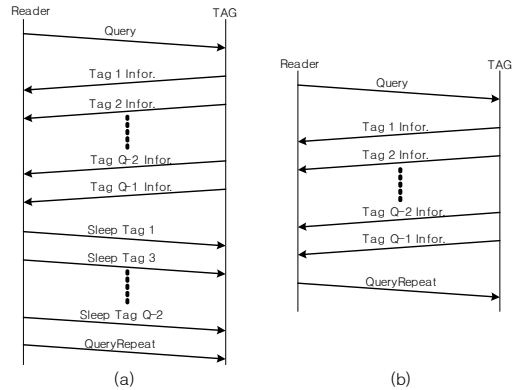


그림 4. 리더기와 태그 간의 메시지 교환 (a) 기존 알고리즘 (b) 제안된 알고리즘
Fig. 4. Message exchange between reader and tag (a) Previous algorithm (b) Proposed algorithm

방식과 제안된 방식에서의 메시지 교환을 나타낸다. 기존의 방식에서는 리더기가 일차적인 태그 수집이 종료된 후에 각 태그에게 슬립 명령을 내리는 반면, 제안된 방식에서는 두 번째 태그 수집 명령인 Query Repeat에서 태그들이 자신이 전송했던 슬롯이 1이면 전송에 성공한 것으로 판단하여 슬립 모드로 들어가게 되고, 자신이 전송했던 슬롯의 값이 0이면 재전송을 위하여 다시 송신할 슬롯을 결정하고 전송을 위해 대기하게 된다. 따라서, 리더기의 태그 수집 과정에서 수집 대상 태그 수를 50개라 하면 슬립 명령어 14바이트 약 200msec 만큼 시간이 절약된다.

IV. 실험 및 결과

본 논문의 실험을 위하여 사용한 리더기와 태그는 아래 그림 5와 같이 구현하였다. 리더기와 태그는 IEEE 802.15.4를 만족하는 TI사의 CC2530 칩과 LF 수신부에는 MICROCHIP사의 MCP2030 칩을 사용하여 각각의 기능을 구현하였다. 그림 5에서 위의 그림은 태그의 앞면과 뒷면이며, 아래 그림은 리더기의 모습이다.

구현된 능동형 RFID 시스템의 실제 동작 상태를 그림 6과 같이 오실로스코프를 통해 확인하였다. 그림에서 A와 B는 LF 송출 신호와 태그의 동작 전환 타이밍을 나타낸다. A는 LF 최초 시작 후 안정화 시간을 나타내는데 안정화 시간이란 태그 내부 회로가 저주파 신호를 수신하기 시작하여 에너지를 축적하고 약속된 신호를 확인한 후 안정적으로 동작을 시작하기 위한 준비시간이다. 즉, 리더기가 저주파 125kHz

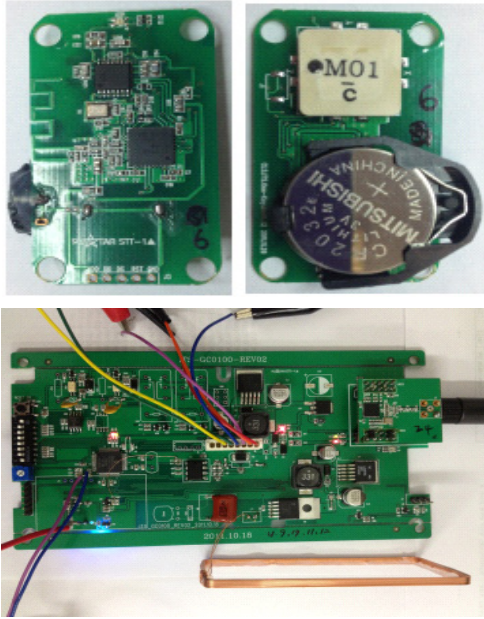


그림 5. 구현된 태그(상) 및 리더기(하)
Fig. 5. Implemented tag(upper) and reader(lower)

로 브로드캐스트하는 신호로서 그림 3에서의 wake-up 신호에 해당한다. 이때 태그는 약속된 신호가 존재하지 않는 경우 wake-up 하지 않고 다시 슬립 상태로 들어감으로써 오동작을 방지한다. B는 채널 번호 및 리더기 ID, CRC-8를 포함하는 신호로서 LF 종료 시점까지 태그들에게 브로드캐스트된다. 리더기는 UHF로 Tx 명령을 즉, 그림 3에서의 Query 명령을 전달한 후 2 ms 대기 시간을 가지며, 이후 슬롯마다 태그가 전송한 신호를 수신하는 과정을 진행한다. gap time을 포함한 slot time은 3ms 로 설정되었으며, pre와 post gap time은 각각 0.5 ms, round 간의 gap time은 2ms

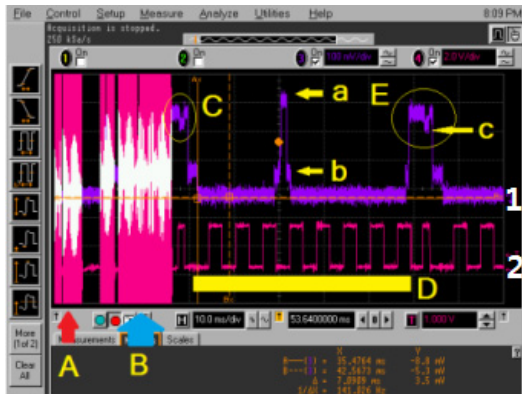


그림 6. 리더기와 태그의 동작 파형
Fig. 6. Operation waveforms of reader and tag

로 설정하였으며, 슬롯에서의 통신은 그림 6에서 2번 파형으로 표시하였으며, 실험에서의 태그 수가 30이므로 슬롯의 수도 원래 30이어야 하나 사진으로 캡처하기 위하여 그림 6에서는 16으로 설정하였다.

그림 6에서 1번 파형은 태그의 배터리 전원을 모니터링 한 파형으로서 C 부분을 자세히 보면 업-다운-업 형태로 구성되어 있다. 앞의 업 파형은 태그가 리더기의 명령을 수신하기 위하여 대기하는 상태이고, 다운 파형은 리더기의 UHF 명령을 수신하는 기간이며, 태그는 그 시점을 기준으로 타이밍 정보를 수정한다. 수신이 종료되면 다시 일시적으로 업 파형의 상태가 된다. 1번 파형이 완전히 기저까지 내려간 부분은 슬립 상태이며, b 상태는 wake-up 하여 대기 상태, a 상태는 태그의 ID를 송신하는 UHF Tx 상태이며, 태그가 응답하는 시점이다. 응답 후 바로 슬립 상태로 전환되며, 다음 명령 수신 대기 시점에서 다시 wake-up 되어 소문자 c 상태로 전환된다. 리더기는 모든 슬롯에서 응답이 없을 때까지 태그 수집과정을 진행하고 라운드를 종료하게 된다. D는 16개 슬롯의 전체 시간 구간을 나타낸다.

한편 고속 태그 수집 성능 시험을 위하여 30개의 태그를 준비하여 그림 7과 같은 시험 환경을 구축하였다. 리더기와 태그는 그림과 같이 배치하고, 30개의 태그를 인식 거리별로 1000회 이상 인식 시험을 실시하였다. 즉, 리더기와 태그 간의 거리를 1.5m 이내인 경우, 1.5~2m 인 경우, 2~2.5m 인 경우와 2.5~3m 인 경우의 네 가지 경우로 나누어 시험하였으며, 시험 결과는 아래 표 2와 같다.

시험 결과 제안된 알고리즘은 30개의 태그를 평균적으로 400 ms 이내에서 모두 수신하며, 1초 이내에 인식되는 인식률은 99.7% 이상임을 확인하였다. 리더기와 태그 간의 거리가 2m 이내인 경우 태그는 100%

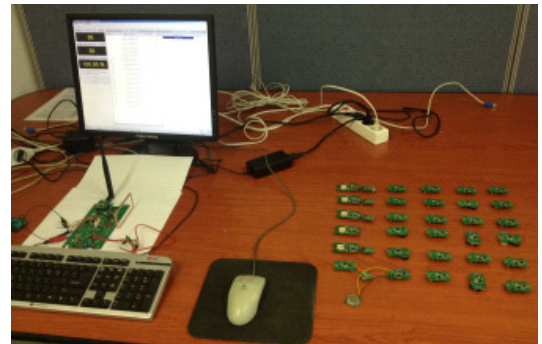


그림 7. 시험 환경
Fig. 7. Test environments

표 2. 시험 결과
Table 2. Test results

Distance (m)	Number of tags	Number of tests	Reading rates in one second (%)	Average reading time (ms)	Reading speed (tags /sec)
~1.5	30	1500	100%	367	81.8
1.5~2.0	30	1000	100%	359	83
2.0~2.5	30	3500	99.94%	365	82.2
2.5~3.0	30	2000	99.70%	373	80.5

인식되었으며, 2.5m 이내인 경우와 3m 이내인 경우 초당 인식 확률이 각각 99.94%와 99.7% 였다. 거리가 멀어짐에 따라 다소 인식률이 떨어지나 횡수로 보면 일 만 번을 측정할 경우 각각 6회와 30회의 오류가 나는 것으로서 다중 리더기 사용 등의 방법으로 보완할 경우 현장에서 즉시 사용할 수 있는 수준이며, 실제 현장의 출입관리에서는 태그 간의 간격이 더 넓어짐으로 인하여 상호 간섭이 적어져 오류율이 더욱 감소된다.

평균적으로 읽는 시간도 모두 400ms 이하이며, 태그 30개를 모두 읽는 시간은 1.5~2m 인 경우가 가장 짧았으며, 오히려 1.5m 이내인 경우가 2.0m 이내 또는 2.5m 이내인 경우보다 다소 길게 나타났다. 이것은 전파의 특성상 주파수에 따른 최적 인식 거리가 환경에 따라 다소 달라질 수 있음을 보여준다.

결과적으로 본 논문에서 제안한 알고리즘을 사용하여 실제 시스템을 구현하여 실험한 결과 1초 이내 인식률이 4가지 거리의 경우를 평균하여 99.91%로 나타났으므로 현장에 적용 가능성을 제시하였다. 제작한 리더기 및 태그의 회로 안정화와 오류 방지 기술의 추가 등으로 나머지 0.09%를 보완한다면 100% 완벽한 능동형 RFID 시스템을 구현할 수 있을 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 논문에서는 기존의 ISO/IEC 18000-7의 Frame Slotted ALOHA 알고리즘을 수정하여 개선된 알로하 알고리즘을 제안하고, 이를 TI사의 CC2530 칩을 UHF부에, 태그의 LF수신부에는 MICROCHIP사의 MCP2030칩을 각각 사용하여 태그와 리더기 각각의 기능을 구현하여 시험함으로써 그 성능을 증명하였다. 기존의 능동형 RFID 국제 표준 등의 규격에서 제시하고 있는 태그 수집 알고리즘에서는 리더기와 태그의 통신이 종료된 후 리더기가 각 태그들에게 별도의 슬

립 명령을 전송하나, 본 논문에서는 통신이 종료된 태그들이 즉시 슬립 모드로 진행할 수 있도록 함으로써 리더기의 태그 수집 시간을 대폭 감소시켰다. 리더기와 태그를 구현하여 시험한 결과 30개의 태그가 평균 400 ms 이내에서 모두 인식되었으며, 1초 이내에 인식되는 인식률은 99.7% 이상임을 확인하였다. 이와 같은 결과로부터 실제 산업 현장에서 태그 간격 확장이나 다중 리더기 등을 적용하는 경우 100% 완전한 태그 수집의 가능성을 보였다. 본 연구는 태그의 존재 유무를 검출하는 경우에 적합하며, 개별 태그의 정보를 수집하는 경우 시간이 증가하게 되고, 향후 이러한 경우에 대한 알고리즘 개발이 필요하다.

References

- [1] Valueadd Co., "RFID(radio frequency identification) market trend," *J. Electron. Inf. Center*, KETI, pp. 1-18, May 2013.
- [2] W. J. Yoon, "Improvement of an identified slot scan-based active RFID tag collection algorithm," *J. KICS*, vol. 38B, no. 3, pp. 199-206, Mar. 2013.
- [3] 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. Ind. Electron.*, vol. 59, no. 3, pp. 1662-1672, Mar. 2012.
- [4] Z. Luo, Y. Shen, H. Wang, and J. Jiang, "An approach of adjusting frame size in anti-collision algorithm for active RFID system," *IEEE ICCT*, pp. 328-332, Jinan, Sept. 2011.
- [5] H. Wang, C. Pei, and B. Su, "Collision-free arbitration protocol for active RFID systems," *J. Commun. Networks(JCN)*, pp. 34-39, 2012.
- [6] C.-S. Lee, D.-H. Kim, and J.-D. Kim, "An energy efficient active RFID protocol to avoid overhearing problem," *IEEE Sensors J.*, pp. 15-24, 2014.
- [7] J. H. Joo and S. H. Chung, "Implementation of an efficient slotted CSMA/CA anti-collision protocol for active RFID system," *J. KICS*, vol. 37A, no. 12, pp. 1013-1022, Dec. 2012.

- [8] S. R. Lee, Y. W. Lee, and Y. I. Joo, "An RFID tag anti-collision protocol for port logistics system," *J. KICS*, vol. 38C, no. 2, pp. 202-207, Feb. 2013.
- [9] ISO/IEC 18000-7.2, *Information technology AIDC techniques - Radio frequency identification for item management - Air interface, Part 7: Parameters for active interface communications at 433MHz*, 2008.
- [10] Administrative Rule, *Design and assignment regulation for complex transfer center*, Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korea, 2013. 7. 20.

김 지 태 (Ji-Tae Kim)



1983년 2월: 경상대학교 해양
과학대 전자통신학과(공학사)
2007년 2월: 서울과학기술대학
교 전자공학과(공학석사)
2007년 3월~현재: 서울과학기술
대학 교 IT정책전문대학원
박사과정

2000년 8월~2007년 5월 (주)크레디팩스 연구소장
2007년 6월~2011년12월 (주)엔디에스 연구소장
2012년 1월~현재: (주)한맥이엔지 상무이사
<관심분야> 위치추적시스템, RFID, 무선센서네트워크

강 병 권 (Byeong-Gwon Kang)



1986년 2월: 연세대학교 전기
공학과(공학사)
1988년 2월: 연세대학교 전기
공학과(공학석사)
1993년 2월: 연세대학교 전기
공학과(공학박사)
1993년 3월~1997년 8월: 한국

전자통신연구원 이동통신기술연구단 선임연구원
2005년 8월~2006년 7월: 미국 조지아공대 방문 교수
1997년 9월~현재: 순천향대학교 정보통신공학과 교수
<관심분야> 근거리 무선통신, 위치추적시스템, 지폐
계수 시스템, 차세대 이동통신, RFID

이 강 원 (Kang-Won Lee)



1980년 2월: 서울대학교 산업
공학과(공학사)
1982년 2월: 서울대학교 산업
공학과(공학석사)
1985년 2월: Kansas State Univ.
산업공학과(공학박사)
1982년 12월~1985년 12월: 미

국 캔사스 주립대학교 연구조교
1985년 12월~1989년 12월: 한국전자통신연구원 선
임연구원
1989년 1월~현재: 서울과학기술대학교 글로벌융합산
업공학과 교수
<관심분야> 정보통신, 품질 및 신뢰성, O.R., 차세
대 이동통신, RFID