DBpia

능동형 RFID 시스템을 위한 인식 슬롯 스캔 기반 태그 수집 알고리즘

종신회원 윤 원 주*, 정 상 화**°, 준회원 권 윤 근**

Identified Slot Scan-based Tag Collection Algorithm for Active RFID Systems

Won-Ju Yoon*, Sang-Hwa Chung**° *Lifelong Members*, Yoon-Geun Kwon** *Associate Member*

요 약

본 논문에서는 능동형 RFID 시스템에서 태그 수집의 성능을 향상시키기 위한 새로운 태그 수집 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘에서 리더는 인식 슬롯 스캔 과정을 통해 빈 슬롯과 충돌 슬롯의 발생을 검출하고 이들에 의한 시간 낭비를 감소시켜서 태그 수집의 성능을 향상시킨다. 본 논문에서는 실제 환경에서의 실험을 통해 제안하는 태그 수집 알고리즘의 성능 향상을 평가하기 위해 능동형 RFID 리더와 태그를 구현하였다. 하나의 리더와 60개의 태그를 이용한 실험 결과에서 제안하는 태그 수집 알고리즘은 ISO/IEC 18000-7 표준의 태그 수집 알고리즘에 비해 평균 21.7%의 태그 수집 시간 감소와 평균 28.3%의 인식 처리율 향상을 보였고, 20개의 태그를 대상으로 한 배터리 소모 실험에서는 평균 22.7%의 태그 배터리 소모 감소를 보였다.

Key Words : Active RFID, Slot Scan, Tag Collection, Battery Consumption, ISO/IEC 18000-7

ABSTRACT

In this paper, we propose a novel tag collection algorithm to improve tag collection performance in active RFID systems. In the proposed algorithm, the reader detects the occurrence of empty slots and collided slots through the identified slot scan process and reduces the time wasted by empty slots and collided slots, resulting in improvement of tag collection performance. To evaluate the performance improvement by the proposed tag collection algorithm via the experiments in a real-world environment, we implemented an active RFID reader and tags. The experimental results with the reader and 60 tags showed that the proposed algorithm could reduce the average tag collection time by 21.7% and improve the average identification throughput by 28.3%, compared with the standard tag collection algorithm in ISO/IEC 18000-7. In addition, the proposed algorithm reduced the average battery consumption on tags by 22.7% in the battery consumption experiment with 20 tags.

Ⅰ. 서 론

RFID(Radio Frequency Identification)는 라디오 주파수를 사용하여 물품에 부착된 전자 태그의 데이터를 인식하는 비접촉 자동 인식 기술이다. RFID 태그는 전원공급을 위한 배터리 장착 유무에 따라 크게 능동형 RFID 태그와 수동형 RFID 태그로 구분된다. 이 중 능동형 RFID 태그는 자체적으로 배

※ 이 논문은 2009년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임 (지역거점연구단육성사업/차세대물류IT기술연구사업단)
* 한국항공우주연구원 발사체연구본부 발사체체계사업단 체계종합팀(wj.yoon@kari.re.kr)
** 부산대학교 컴퓨터공학과 임베디드네트워크시스템연구실(shchung@pusan.ac.kr, yoons@pusan.ac.kr) (°:교신저자)
논문번호 : KICS2009-12-637, 접수일자 : 2009년 12월 29일, 최종논문접수일자 : 2010년 4월 19일

www.dbpia.co.kr

터리를 구비하여서 수동형 RFID 태그에 비해 태그 단가가 비싸며 주기적으로 배터리를 교체하거나 충전해야 되는 단점이 있으나, 인식거리가 길고 금속 물체에 적용이 용이하며 태그에 센싱 기능 추가가 용이한 장점이 있다. 이러한 특징으로 인해 능동형 RFID 태그를 사용하는 능동형 RFID 시스템은 넓은 지역에서 대량의 금속 컨테이너들을 대상으로 하는 항만 물류 관리 시스템에서 가장 널리 사용되며, 그 외에도 국방 분야, 의료 분야, 자동차 분야 등의 다양한 응용분야에서 사용된다.

RFID 시스템에서 가장 중요한 이슈 중 하나는 다중 태그 인식에 관련된 태그 수집(tag collection) 문제이다. 태그 수집은 리더가 자신의 RF 통신 범위 내의 모든 태그들로부터 ID 정보 및 데이터를 수집하는 작업으로써, 리더의 가장 중요한 역할 중 하나이다. 태그 수집 과정에서 리더는 더욱 빠르고 효율적으로 태그들의 정보를 수집하기 위해서 다중 태그들이 동시에 자신의 응답을 전송할 때 발생하는 태그 충돌 문제를 해결해야 되는데, 이를 위해 충돌방지 프로토콜을 이용한다. 충돌방지 프로토콜은 크게 트리(tree) 기반 프로토콜과 알로하(aloha) 기반 프로토콜의 2가지로 분류된다[1]. 이 중 트리 기반 프로토콜은 태그 수집의 수행 과정에서 리더와 태그에서 많은 전원 소모를 발생시키기 때문에 태그가 배터리를 기반으로 동작하는 능동형 RFID 시스템에서 이는 심각한 문제가 된다[2]. 따라서 트리 기반 프로토콜은 수동형 RFID 시스템에 보다 적절하며, 능동형 RFID 시스템에서는 주로 알로하 기반 프로토콜이 사용된다. 433MHz 주파수 대역에서의 능동형 에어 인터페이스(air interface)를 정의하는 대표적인 능동형 RFID 시스템 관련 표준인 ISO/IEC 18000-7에서는 프레임 슬롯 알로하(framed slotted aloha) 충돌방지 프로토콜을 이용하는 태그 수집 알고리즘을 정의한다[3].

본 논문에서는 능동형 RFID 시스템에서 태그 수집의 성능을 향상시키기 위한 인식 슬롯 스캔 기반 태그 수집 알고리즘을 제안한다. 제안하는 태그 수집 알고리즘에서 리더는 태그 수집의 초기 과정에서 태그들이 최소한의 응답만을 전송하는 인식 슬롯 스캔 단계를 수행함으로써 빈 슬롯과 충돌 슬롯의 발생을 검출하고 이들에 의한 시간 낭비를 감소시켜서 태그 수집의 성능을 향상시킨다. 또한 제안하는 알고리즘은 태그 수집 시간을 감소시키고 리더와 태그 간에 송수신되는 메시지 전송량을 감소시킴으로써 태그의 배터리 소모도 감소시킨다. 본 논문에서는 제안하는 태그 수집 알고리즘을 지원하는 리더와 태그들을 실제로 구현하고, 이들을 이용한 실제 환경에서의 실험을 통해 제안하는 태그 수집 알고리즘의 성능 향상을 평가한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구를 설명한다. 3장에서는 능동형 RFID 시스템에서 표준 태그 수집 알고리즘의 동작과정에 대해 설명하고, 4장에서는 제안하는 태그 수집 알고리즘에 대해 설명한다. 5장에서는 리더와 태그의 구현에 대해 설명하고 실험을 통해 제안하는 알고리즘의 성능 향상을 분석한 실험 결과를 제시한다. 마지막으로 6장에서는 본 논문을 마무리 짓는다.

Ⅱ. 관련 연구

프레임 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜을 이용한 태그 수집에서는 사용되는 프레임 크기(frame size)가 수집될 태그의 개수와 비슷할 때 최적의 성능을 가지는 것으로 연구되어졌다. 따라서 대부분의 관련 연구들은 태그 수집의 성능을 향상시키기 위해 태그 수집 과정에서 어떻게 수집될 태그의 개수를 정확히 추정하고 그에 따른 최적의 프레임 크기를 동적으로 적절히 선택할 것인가에 초점을 맞추어서 연구되어 왔다[4-9]. 하지만 이들과는 다른 관점에서 프레임 슬롯 알로하 기반 태그 수집의 성능을 향상시키기 위한 연구들이 있었다.

비트 슬롯 기법(Bit-Slot Mechanism)은 관련 연구 [10]에서 처음으로 제안되었다. 제안하는 방법에서 태그들은 일반적인 프레임 슬롯 알로하 프로토콜과 달리 리더의 명령어를 수신한 이후 태그-ID의 크기와 동일한 크기를 가지는 특별 임의 숫자(specific random number)를 생성해서 리더에게 동시에 전송하는데, 이때의 특별 임의 숫자는 임의의 한 비트만이 1의 값을 가지고 나머지 비트들은 모두 0의 값을 가지는 특징을 가진다. 태그들로부터 특별 임의 숫자를 동시에 수신한 리더는 각 비트별로 검사를 하여 하나의 태그만이 1의 값을 전송한 비트의 위치를 찾아내고, 그에 해당하는 태그들에게 순차적으로 각 태그들이 생성한 것과 동일한 특별 임의 숫자를 전송하여 실제 태그의 정보를 요청한다. 이러한 과정을 반복하여 리더는 모든 태그들로부터 정보를 수집하게 된다.

이러한 비트 슬롯 기법이 실제 태그 수집에 적용된다면 빈 슬롯과 충돌 슬롯에 의한 시간 낭비를

www.dbpia.co.kr

크게 줄일 수 있다. 하지만 실제 적용을 위해서는 모든 태그들이 비트 레벨에서 정밀하게 동기화되어서 자신이 생성한 특별 임의 숫자를 동시에 전송할 수 있어야 하고, 리더는 수신된 다중 태그의 응답을 비트별로 검사하여 하나의 태그만이 1의 값을 전송한 비트의 위치를 구분해낼 수 있어야 하기 때문에 현실적으로 적용하기가 매우 어렵다.

앞서 설명한 비트 슬롯 기법을 응용하여 관련 연구 [11]에서는 빈 슬롯의 발생에 의한 시간 낭비를 줄이기 위해 BIS 알고리즘을 제안하였다. BIS 알고리즘은 빈 슬롯 스캐닝 단계와 태그 인식 단계의 2단계로 구성된다. 먼저 빈 슬롯 스캐닝 단계에서 리더가 프레임 크기를 L로 설정한 SCAN 명령어를 전송하면, 이를 수신한 태그들은 응답을 전송할 슬롯을 L개 중에서 임의로 선택하고 해당 슬롯에서 한 비트의 1 값만을 전송한다. 프레임 기간이 완료되면 리더는 L비트 문자열을 생성하는데, 문자열의 각 비트는 프레임 내의 각 슬롯을 나타내고 비트의 값이 0인 것은 해당 슬롯이 아무 태그도 응답을 전송하지 않은 빈 슬롯이라는 것을 값이 1인 것은 빈 슬롯이 아니라는 것을 나타낸다. 리더는 생성된 L비트 문자열을 RESPONSE_BIT_SLOT 명령어에 담아서 태그들에게 전송하고, 이를 수신한 태그들은 L비트 문자열에서 자신이 선택한 슬롯에 해당하는 비트가 몇 번째 1의 값을 가지는 비트인지를 조사하여 다음 단계인 태그 인식 단계에서 자신이 응답을 전송할 슬롯 번호를 조정한다. 빈 슬롯 스캔 단계가 완료되면 태그는 프레임 슬롯 알로하 프로토콜과 동일한 방식으로 태그 인식 단계를 수행하여 태그들로부터 실제 정보들을 수집하고, 이 때 프레임 크기는 빈 슬롯들이 제거되어 L-c_0(c_0: 0 값의 비트 개수)이 된다.

BIS 알고리즘은 빈 슬롯 스캔 과정을 이용하여 태그 수집 과정에서 빈번히 발생하는 빈 슬롯에 의한 시간 낭비를 줄여줌으로써 태그 수집 성능을 향상시킴이 시뮬레이션을 통해 평가되었다. 하지만 BIS 알고리즘은 수동형 RFID 시스템에서의 태그 수집 방식에 중점을 두고 제안된 방법이며, 실제 RFID 시스템에서는 태그가 빈 슬롯 스캔 과정에서 한 비트만을 응답으로 보내는 것이 어려우며, 태그들로부터 실질적인 정보를 수집하는 태그 인식 단계에서 빈 슬롯은 제거하였지만 여전히 충돌 슬롯에 의한 시간 낭비가 존재하는 문제점이 있다.

Ⅲ. 능동형 RFID 시스템에서의 프레임 슬롯 알로하 기반 태그 수집

능동형 RFID 시스템 관련 표준인 ISO/IEC 18000-7에서는 태그 충돌 문제를 해결하기 위해 프레임 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜을 이용하는 태그 수집 알고리즘을 정의한다. 그림 1은 표준에서 정의하는 태그 수집 알고리즘의 동작 과정과 타이밍을 보여준다. 태그 수집 과정을 수행하기에 앞서 리더는 전원 소모를 최소화하기 위해 슬립(sleep) 모드에 있는 태그들을 리더로부터의 명령어를 받을 수 있도록 준비(ready) 모드로 전환시키기 위한 wake-up 과정을 수행한다. 그 이후에 리더는 여러 번의 수집 라운드(collection round)를 반복하여 RF 통신 범위 내의 모든 태그들로부터 태그-ID 및 데이터를 수집한다.

하나의 수집 라운드는 리더가 태그들에게 태그 수집(Collection) 명령어를 브로드캐스팅 함으로써 시작되며, 이후 Listen Period(LP)와 Acknowledge Period(AP)로 구성된다. 리더가 전송하는 태그 수집 명령어에는 프레임 크기(frame size) 인자가 포함되어 있는데, 이는 그림 1에서 보는 바와 같이 LP 단계에서 태그들이 응답을 전송하는데 사용될 시간 슬롯의 개수를 지정한다.[1] 태그 수집 명령어를 수신한 태그는 임의 숫자(random number)를 생성하고 이를 이용하여서 여러 개의 시간 슬롯 중에 하나를 임의로 선택하여 자신의 응답을 전송한다. LP 단계의 시간 슬롯들은 다음과 같이 3가지 종류로 분류되어진다. 첫 번째는 리더가 하나의 태그 응답을 정상적으로 수신하는 인식 슬롯(그림 1의 첫 번째와 네 번째 슬롯), 두 번째는 두 개 이상의 태그가 응답을 동시에 전송하여 리더가 응답을 정상적으로 수신하지 못하는 충돌 슬롯(그림 1의 두 번째 슬롯), 세 번째는 어떤 태그도 응답을 전송하지 않는 빈 슬롯(그림 1의 세 번째 슬롯)이다. 그림 1의 예에서 리더는 2개의 태그 응답을 정상적으로 수신하였고, 충돌된 태그들은 계속되는 다음 수집 라운드에서 다시 수집된다.

1) ISO/IEC 18000-7 표준에서는 프레임 대신에 그와 유사한 윈도우(window)라는 개념을 사용한다. 윈도우 크기는 태그 응답 수신을 위한 전체 시간을 지정하는데, 이는 결국 태그 응답 수신을 위한 여러 개의 시간 슬롯으로 구성되기 때문에 프레임 크기 개념과 거의 동일하다. 본 논문에서는 기존 관련 연구에서의 태그 개수 추정 및 동적 프레임 크기 조절 방법을 적용하기 위해 윈도우 크기 대신에 프레임 크기를 사용하는 것을 정의한다.

www.dbpia.co.kr

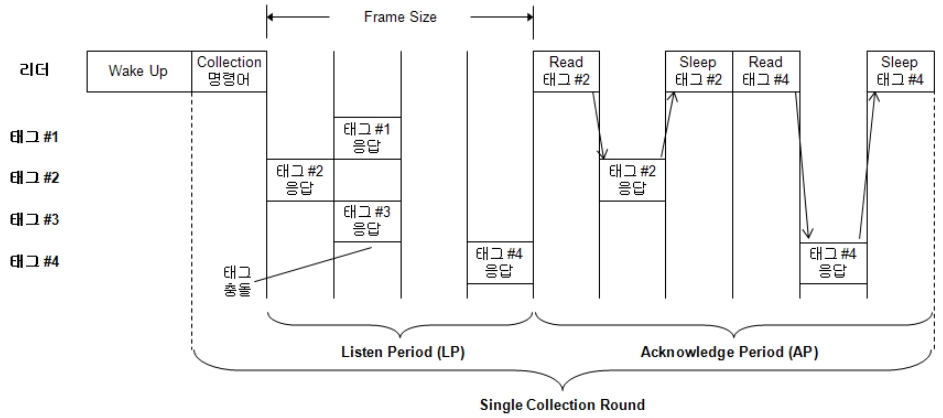

그림 1. ISO/IEC 18000-7 표준의 태그 수집 알고리즘 동작 과정 및 타이밍

LP 단계가 완료된 이후, 리더는 프레임 내에서 정상적으로 응답을 수신한 태그들을 대상으로 태그-ID 외에 추가적인 데이터를 수집하는 AP 단계를 수행한다. 그림 1에서 보는 바와 같이 리더는 각각의 태그들에게 일대일(point-to-point)로 데이터 읽기(Read) 명령어를 전송하여 태그들로부터 데이터 응답을 수신하고, 데이터 수집이 완료된 태그에게는 슬립(Sleep) 명령어를 전송한다. 리더로부터 슬립 명령어를 수신한 태그는 리더가 자신이 전송한 데이터를 성공적으로 수집하였음을 확인하고, 전원 소모를 줄이기 위해 다시 슬립 모드로 전환하여 연속되는 수집 라운드에 더 이상 참여하지 않는다.

만약 태그들이 LP 단계의 응답 전송 시에 ID 정보 외에 추가적인 데이터를 함께 담아서 전송한다면, 리더는 AP 단계에서 일대일 데이터 읽기 명령어를 이용하여 추가적인 데이터를 수집할 필요 없이 태그들에게 슬립 명령어만을 전송하고 수집 라운드를 완료할 수 있다. 하지만 그럴 경우, 프레임 내에서 사용되는 슬롯의 크기는 모두 동일하기 때문에 태그 응답을 정상적으로 수신하기 위한 인식 슬롯의 크기뿐 아니라 빈 슬롯과 충돌 슬롯의 크기마저 같이 커지고 이들로 인한 시간 낭비 발생이 커져서 오히려 태그 수집 시간이 증가될 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 LP 단계의 태그 응답들은 데이터 없이 ID 정보만을 포함하도록 정의한다.

하나의 수집 라운드가 종료되면 리더는 즉시 새로운 태그 수집 명령어를 전송함으로써 다음 수집 라운드를 시작한다. 이 때, 리더는 앞선 수집 라운드에서 획득한 인식 슬롯, 충돌 슬롯, 빈 슬롯의 개수 정보를 이용하여 다음 수집 라운드에서 사용될 최적의 프레임 크기를 결정하고 그것을 태그 수집 명령어에 포함시킨다. 이러한 태그 수집 과정은 연속적인 세 번의 수집 라운드 동안 더 이상 태그가 발견되지 않을 때까지 계속해서 진행된다.

Ⅳ. 인식 슬롯 스캔 기반 태그 수집 알고리즘

본 장에서는 관련 연구에서 살펴보았던 BIS 알고리즘을 응용하여 능동형 RFID 시스템에서 인식 슬롯 스캔 과정을 통해 프레임 슬롯 알로하 기반 태그 수집 과정에서 발생하는 빈 슬롯과 충돌 슬롯에 의한 시간 낭비를 감소시킴으로써 태그 수집 성능을 향상시키는 인식 슬롯 스캔 기반 태그 수집 알고리즘을 제안한다. 제안하는 태그 수집 알고리즘은 크게 인식 슬롯 스캔 단계(Identified Slot Scan Phase)와 태그 수집 단계(Tag Collection Phase)의 2가지 단계로 구성된다.

먼저 리더는 스캔(Scan) 명령어를 전송함으로써 인식 슬롯 스캔 단계를 시작하는데, 이는 그림 1에서 보이는 표준 태그 수집 과정의 LP 단계와 유사하다. 차이점은 태그가 자신이 임의로 선택한 슬롯에서 리더가 태그 충돌을 검출할 수 있는 최소한의 짧은 메시지만을 응답으로 전송한다는 것이다. 능동형 RFID 시스템을 포함한 일반적인 무선 네트워크 시스템에서의 통신은 기본적으로 바이트 단위의 패킷 형태로 이루어진다. 그러므로 본 논문에서는 인식 슬롯 스캔 과정에서 태그가 최소의 응답으로써 1바이트 임의숫자(random number)와 1바이트의 CRC 값으로 구성된 2바이트의 응답을 전송하는 것을 정의한다. 1바이트의 임의 숫자는 각 태그들의 응답을 구별하기 위한 값이고, 1바이트의 CRC 값은 태그가 전송한 응답이 유효한지를 검사하여 해

www.dbpia.co.kr

당 슬롯이 인식 슬롯인지 충돌 슬롯인지를 구분하기 위해서 사용된다. 인식 슬롯 스캔 과정에서의 2바이트 태그 응답 크기는 표준의 태그 수집에서 최소 태그 응답 크기인 15바이트에 비해 매우 작으며, 이에 따라 인식 슬롯 스캔 단계에서 사용되는 슬롯의 크기는 표준의 태그 수집에서 사용되는 슬롯 크기에 비해 매우 작게 된다.

인식 슬롯 스캔 과정을 통해 프레임 내의 슬롯들을 인식 슬롯, 충돌 슬롯, 빈 슬롯으로 분류해낸 리더는 이를 기반으로 비트 슬롯 기법을 적용하여 스캔 비트 맵(Scanned Bit-Map)을 생성한다. 스캔 비트 맵은 프레임 크기와 동일한 비트로 이루어지고, 각 비트는 프레임 내의 각 슬롯을 나타내며, 해당 슬롯이 인식 슬롯인 경우는 1의 값을 빈 슬롯이나 충돌 슬롯인 경우에는 0의 값을 가진다.

그림 2는 제안하는 알고리즘을 이용한 태그 수집 과정에서 1단계인 인식 슬롯 스캔 단계의 동작 과정 예를 보여주며, 그림 3은 이 과정을 통해 생성된 스캔 비트 맵을 보여준다. 이 예에서 리더는 8개의 슬롯 중에서 2번째와 7번째 슬롯에서만 정상적으로 태그 응답을 수신하였기 때문에 생성된 스캔 비트 맵은 해당 비트만이 1의 값을 가지고, 나머지 비트들은 모두 0의 값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 만약 인식 슬롯 스캔 단계에서 인식 슬롯이 하나도 존재하지 않는다면, 리더는 다음 단계인 태그 수집 단계로 넘어가지 않고 현재 라운드를 완료한 뒤에 다시 새로운 수집 라운드의 인식 슬롯 스캔 단계를 수행한다.

인식 슬롯 스캔 단계를 완료한 리더는 생성된 스캔 비트 맵을 태그 수집(Collection) 명령어에 포함시켜 전송함으로써 2단계인 태그 수집 단계를 시작하고 실질적인 태그의 ID 및 데이터를 수집한다. 이 때 프레임 크기는 인식 슬롯 스캔 단계에서의 인식 슬롯 개수와 동일하다. 태그 수집 명령어를 수

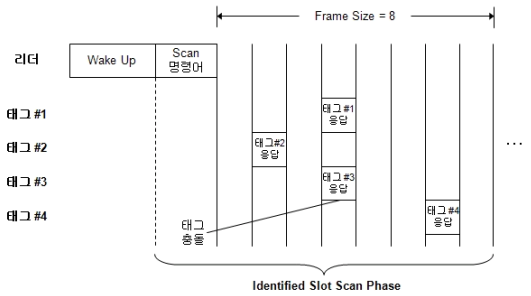

그림 2. 인식 슬롯 스캔 단계의 동작 과정

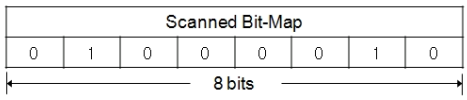

그림 3. 생성된 스캔 비트 맵

신한 태그들은 명령어에 포함된 스캔 비트 맵에서 자신이 인식 슬롯 스캔 단계에서 선택했던 슬롯에 해당하는 비트의 값을 확인한다. 만약 해당하는 비트의 값이 0이면 태그는 자신이 선택한 슬롯이 충돌 슬롯임을 인식하고 아무런 응답도 전송하지 않는다. 그렇지 않고 해당 비트의 값이 1이면 태그는 자신의 전체 응답 메시지를 리더에게 전송하는데, 이때 태그가 응답을 전송하기 위한 슬롯 번호는 자신이 선택한 슬롯이 몇 번째 인식 슬롯인지에 의해 결정되고, 이는 스캔 비트 맵에서 해당 비트가 몇 번째 1의 값을 가지는 비트인지를 검사함으로써 알 수 있다.

그림 4는 그림 2의 인식 슬롯 스캔 단계 이후에 수행되는 2단계인 태그 수집 단계의 동작 과정 예를 보여준다. 앞서 설명했듯이 태그 수집 단계에서 사용되는 프레임 크기는 인식 슬롯 스캔 단계에서 측정된 인식 슬롯의 개수와 동일하기 때문에 2가 되었다. 그림 4에서 태그 수집 명령어를 받은 태그 2는 그림 3의 스캔 비트 맵을 검사해서 자신이 인식 슬롯 스캔 단계에서 선택한 슬롯에 해당하는 비트 값이 1이며 첫 번째 1의 값을 가진 비트인 것을 확인한 후 첫 번째 슬롯에서 리더에게 응답을 전송한다. 이와 유사하게 태그 4는 두 번째 슬롯에서 자신의 응답을 전송한다. 이 때 태그의 응답에는 ID 정보와 함께 추가적인 데이터가 같이 포함된다. 태그 수집 단계에서 프레임 시간이 완료되면 리더는 기존의 태그 수집 방식과 동일하게 정상적으로 수

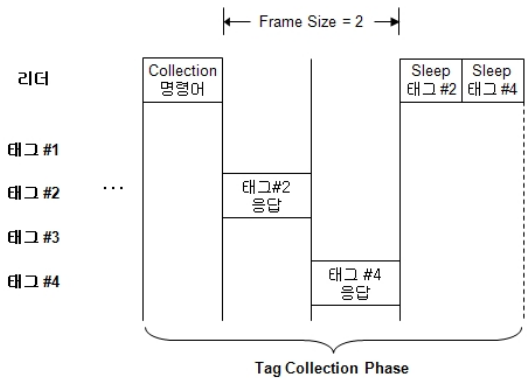

그림 4. 태그 수집 단계의 동작 과정

www.dbpia.co.kr

집 완료된 태그들에게 슬립 명령어를 전송하고 현재의 수집 라운드를 완료한다.

하나의 수집 라운드가 종료되면, 리더는 표준의 태그 수집 알고리즘과 유사하게 인식 슬롯 스캔 단계에서 획득한 인식 슬롯, 충돌 슬롯, 빈 슬롯의 개수 정보를 바탕으로 남은 태그 개수를 추정하여서 다음 수집 라운드를 위한 최적의 프레임 크기를 조정하고 이를 포함한 스캔 명령어를 전송함으로써 계속적으로 태그 수집 과정을 수행한다.

제안하는 태그 수집 알고리즘은 인식 슬롯 스캔 단계를 이용하여 일반적인 태그 수집에서 빈번하게 발생하는 빈 슬롯과 충돌 슬롯에 의한 시간 낭비를 줄임으로써 태그 수집 시간을 크게 감소시킨다. 표준의 태그 수집 과정에서는 그림 1에서 보는 것과 같이 LP 단계에서는 태그들의 ID 정보만을 수집하고, 추가적인 데이터 수집은 AP 단계에서 일대일 명령어를 사용하여 이루어진다. 이는 3장에서 설명한 바와 같이 LP 단계에서 태그-ID 외에 데이터를 같이 포함시켜서 응답을 전송하면 프레임 내의 슬롯 크기가 커짐에 따라 빈 슬롯과 충돌 슬롯에 의한 시간 낭비가 심각해져서 오히려 태그 수집 시간이 증가되기 때문이다. 하지만 이와 달리 제안하는 태그 수집 알고리즘에서 리더는 인식 슬롯 스캔 단계에서 빈 슬롯과 충돌 슬롯의 발생을 검출하고 이를 제거해서 인식 슬롯만이 존재하는 태그 수집 단계를 수행한다. 그러므로 태그 수집 단계에서는 태그-ID 외에 추가 데이터를 포함시켜 전송하도록 하여 슬롯의 크기가 커지더라도 빈 슬롯과 충돌 슬롯에 의한 시간 낭비 증가는 발생하지 않는다. 이는 결론적으로 태그들로부터의 추가적인 데이터 수집을 위해 별도로 일대일 명령어를 사용할 필요 없이 리더는 태그 수집 단계에서 태그-ID와 함께 추가적인 데이터를 동시에 응답으로 전송받을 수 있게 되고, 이는 리더와 태그 간의 RF 통신 양을 감소시켜 주어서 태그 수집 시간을 더욱 감소시키고 태그의 배터리 소모도 감소시킬 수 있다.

V. 실험 및 성능 평가

5.1 능동형 RFID 리더 및 태그 구현

본 논문에서는 실제 환경에서의 실험을 통해 제안하는 인식 슬롯 스캔 기반 태그 수집 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서 능동형 RFID 리더 및 태그를 구현하였다. 리더는 STMicroelectronics사의 STM32F103RET6 마이크로컨트롤러와 가장 널리 사용되고 있는 UHF 대역 RF 트랜시버 중의 하나인 TI사의 CC1101 기반 RF 모듈을 탑재하도록 설계되었다. STM32F103RET6는 32비트 Cortex 프로세서 코어를 기반으로 하고, 최대 72MHz의 동작 속도를 가지며, 512KB 플래쉬 메모리와 64KB 램을 내장한 고성능 마이크로컨트롤러이다. 리더는 UART 인터페이스를 통해 호스트 PC에 연결되어 명령을 전달받고 응답을 반환한다. 태그는 Atmel사의 ATmega128L 마이크로컨트롤러와 리더에 사용된 것과 동일한 CC1101 기반 RF 모듈을 탑재하도록 설계되었다. ATmega128L은 저전력 8비트 마이크로컨트롤러로써 최대 8MHz 동작 속도를 가지며, 128KB 플래쉬 메모리와 4KB 램 및 4KB EEPROM을 내장하고 있다. 태그는 1.5V AA 배터리 2개로 전원을 공급받아서 동작한다.

리더와 태그는 표준의 태그 수집 알고리즘과 제안하는 태그 수집 알고리즘을 모두 지원하도록 개발되었다. 리더와 태그 간의 통신 시에 사용되는 중심 주파수로는 다른 무선 주파수와의 간섭을 제거하기 위해 ISO/IEC 18000-7 표준에서 정의하는 433.92MHz 대신에 국내 주파수 분배표에서 예비대역으로 사용을 보류하고 있는 417.5MHz를 사용하였고, 데이터 전송률은 CC1101 제조사에서 권장하는 기본 설정 값들 중에서 표준의 27.7kbps와 가장 유사한 38.4kbps로 설정하였다. 리더가 태그 수집 과정에서 동적으로 프레임 크기를 조절하기 위해 남은 태그 개수를 추정하는 방법으로는 관련 연구[9]에서 제안한 빈 슬롯 개수를 기반으로 태그 개수를 추정하는 방법을 적용하였으며, 빈 슬롯의 발생 유무는 캐리어 신호 감지(carrier sensing)를 통해 검출하도록 개발하였다.

그림 5와 6은 구현된 능동형 RFID 리더와 태그

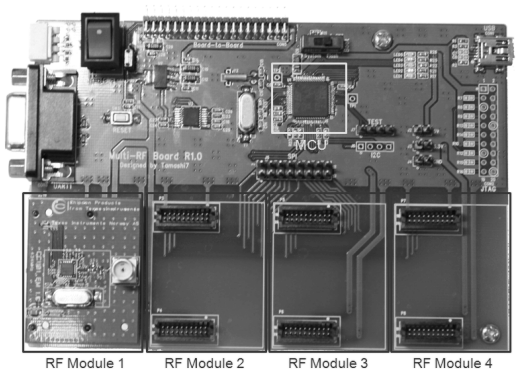

그림 5. 구현된 능동형 RFID 리더

www.dbpia.co.kr

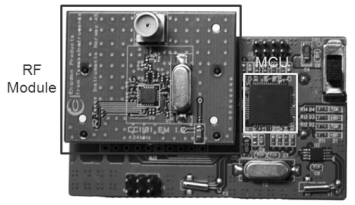

그림 6. 구현된 능동형 RFID 태그

의 실물사진을 보여준다. 리더는 최대 4개의 RF 모듈을 탑재할 수 있도록 설계되었으나 본 논문에서는 하나의 RF 모듈만을 탑재하였고, 실험에서 리더와 태그는 모두 다이폴 안테나를 장착하였다.

5.2 실험 결과 및 분석

실험에서는 하나의 능동형 RFID 리더와 60개의 능동형 RFID 태그를 사용하였다. 실험에서 리더는 태그들로부터 ID 외에 50바이트의 추가적인 데이터를 수집하도록 하였고, 태그 수집 과정에서 사용되는 슬롯 크기는 38.4kbps의 데이터 전송률과 표준에서의 슬롯 크기 계산 방식에 따라서 표 1과 같이 설정되었다. 실험에서는 태그 개수를 10개에서 60개까지 10개 단위로 변화시키면서 각 실험 경우마다 300번의 태그 수집을 반복 수행하여 평균값을 측정하였다.

그림 7은 실험에서 태그 수집을 위해 소요된 평균 시간을 비교해서 보여준다. 실험 결과에서 보듯이 제안하는 태그 수집 알고리즘은 표준 태그 수집 알고리즘에 비해 감소된 태그 수집 시간을 보임을 확인할 수 있다. 이는 제안하는 태그 수집 알고리즘이 인식 슬롯 스캔 단계를 통해 빈 슬롯과 충돌 슬롯의 발생을 검출하고 실제 태그 수집 단계에서 이들을 제거함으로써 빈 슬롯과 충돌 슬롯에 의해 낭비되는 시간을 줄이며, 태그로부터 추가적인 데이터를 수집하기 위해 별도의 일대일 명령어를 이용하여 데이터를 요청하지 않고 태그 수집 단계에서 ID와 데이터를 같이 수집함으로써 전체적으로 태그 수집 시간이 감소되는 것이다. 그림 7의 실험 결과

표 1. 슬롯 크기 설정 값

	Slot Size
표준 태그 수집 알고리즘의 LP 단계	7 ms
제안하는 태그 수집 알고리즘의 인식 슬롯 스캔 단계	3 ms
제안하는 태그 수집 알고리즘의 태그 수집 단계	17 ms

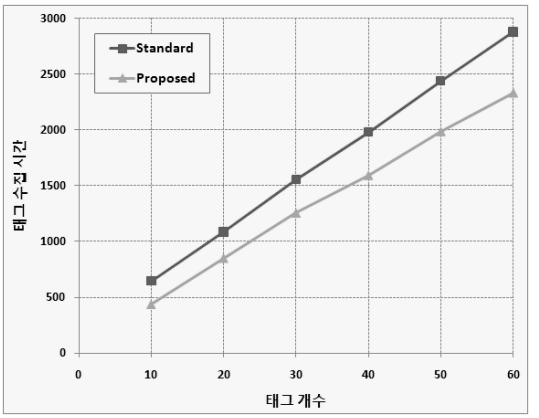

그림 7. 태그 수집 시간

에서 제안하는 태그 수집 알고리즘은 표준 태그 수집 알고리즘에 비해 평균 21.7%의 태그 수집 시간 감소를 보였으며, 태그 개수가 최대 60개일 때 545.8ms의 태그 수집 시간 감소를 보였다.

그림 8은 태그 수집 실험에서 리더의 초당 태그 인식 개수를 나타내는 인식 처리율에 대한 실험 결과를 보여준다. 제안하는 태그 수집 알고리즘은 앞선 실험 결과에서 확인한 바와 같이 태그 수집 시간을 감소시킴으로써 리더의 인식 처리율을 향상시키는 것을 그림 8의 그래프에서 확인할 수 있다. 그림 8의 실험 결과에서 제안하는 태그 수집 알고리즘은 표준 태그 수집 알고리즘에 비해 평균 28.3%의 인식 처리율 증가를 보였다.

다음으로는 태그의 배터리 소모 면에서 제안하는 태그 수집 알고리즘과 표준 태그 수집 알고리즘을 실험을 통해 비교 분석하였다. 태그에서 동작을 위해 사용되는 배터리는 2개의 AA 알카라인 건전지

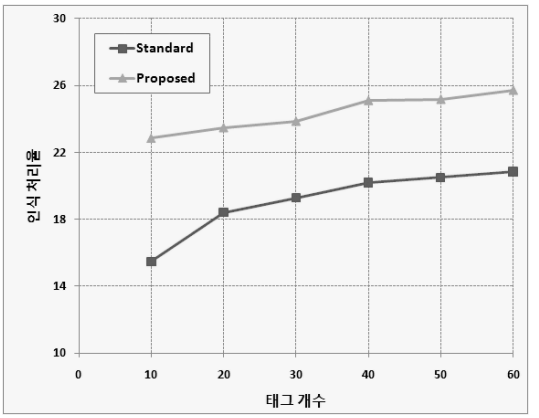

그림 8. 인식 처리율

www.dbpia.co.kr

표 2. 태그 수집 실험에서의 태그 배터리 소모 결과

	평균	표준편차
표준 태그 수집 알고리즘	52.75mV	0.72
제안하는 태그 수집 알고리즘	40.8mV	0.83

이며, 알카라인 건전지의 소모량은 전압 강하량을 통해 측정할 수 있다. 따라서 배터리 소모 측정 실험에서는 20개의 태그를 대상으로 3,000번의 태그 수집을 반복 수행한 이후에 각 태그의 배터리 전압 강하 수치를 측정하여 비교 분석하였다. 그림 9와 표 2는 실험에서의 배터리 소모를 비교해서 보여준다. 표 2에서 확인할 수 있듯이 제안하는 태그 수집 알고리즘은 표준 태그 수집 알고리즘에 비해 태그 배터리 소모를 감소시켰음을 확인할 수 있다. 이는 앞선 태그 수집 시간 실험 결과에서 설명한 바와 같이 제안하는 태그 수집 알고리즘은 태그 수집 시간을 감소시키고 리더가 태그로부터 데이터를 수집하기 위해 별도의 일대일 명령어를 사용하지 않음으로써 태그의 RF 통신 작업을 감소시켜주기 때문이다. 또한 표 2의 표준 편차 값과 그림 9의 결과 분포를 통해서 개별 태그 관점에서도 고른 배터리 소모를 보였음을 확인할 수 있다. 배터리 소모 실험 결과에서 제안하는 태그 수집 알고리즘은 평균 22.7%의 배터리 소모 감소를 보였다.

앞선 실험 결과들을 통해 살펴보았듯이 제안하는 인식 슬롯 스캔 기반 태그 수집 알고리즘은 표준 태그 수집 알고리즘에 비해 태그 수집 시간을 감소시켜줄 뿐만 아니라 능동형 RFID 시스템에서 가장 중요한 이슈 중 하나인 태그의 배터리 소모도 감소시킴으로써 결과적으로 능동형 RFID 시스템의 전체 성능을 크게 향상시킨다. 본 논문의 실험에서는

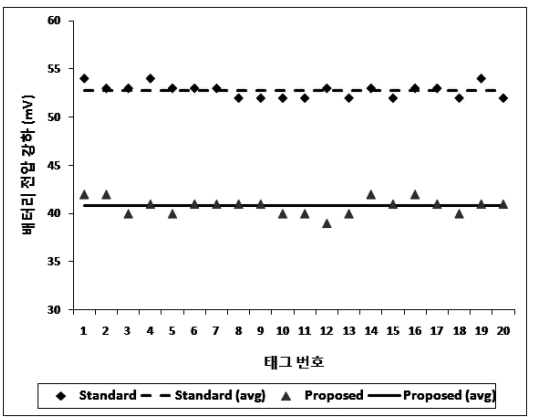

그림 9. 태그 배터리 소모

사용 가능한 태그 개수가 제한되어 있었기 때문에 최대 60개의 태그를 이용하여 실험을 수행하였으나, 앞선 실험 결과들로 추정해볼 때 태그 개수가 60개보다 많아지더라도 제안하는 태그 수집 알고리즘은 항상 태그 수집 성능을 향상시킬 것으로 예측할 수 있다.

Ⅵ. 결 론

본 논문에서는 능동형 RFID 시스템에서 태그 수집의 성능을 향상시키기 위한 새로운 태그 수집 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 태그 수집 알고리즘에서 리더는 태그 수집의 초기 과정에서 태그들이 최소한의 응답만을 전송하는 인식 슬롯 스캔 단계를 수행하여 빈 슬롯과 충돌 슬롯의 발생을 검출하고 이들을 제거하여 인식 슬롯만으로 구성된 태그 수집 단계를 수행함으로써 빈 슬롯과 충돌 슬롯에 의한 시간 낭비를 감소시켜서 태그 수집 성능을 향상시킨다. 또한 제안하는 태그 수집 알고리즘은 태그로부터 추가적인 데이터를 수집하기 위해 별도의 일대일 명령어를 이용하여 태그들에게 데이터를 요청하지 않고 태그 수집 단계에서 태그-ID와 데이터를 함께 수집함으로써 태그 수집 시간을 감소시키며, 태그에서 리더 명령어를 수신하고 응답을 전송하는 RF 통신 작업을 감소시킴으로써 태그의 배터리 소모도 감소시킨다.

본 논문에서는 실제 환경에서의 실험을 통해 제안하는 태그 수집 알고리즘의 성능 향상을 검증하기 위해 능동형 RFID 리더와 태그를 구현하였다. 하나의 리더와 최대 60개의 태그를 이용하여 수행한 실험에서 제안하는 태그 수집 알고리즘은 표준 태그 수집 알고리즘에 비해 평균 21.7%의 태그 수집 시간 감소와 평균 28.3%의 인식 처리율 향상을 보였다. 또한 20개의 태그를 대상으로 한 태그 배터리 소모 실험 결과에서는 제안하는 태그 수집 알고리즘이 평균 22.7%의 태그 배터리 소모 감소를 보였다. 이러한 실험 결과를 바탕으로 제안하는 태그 수집 알고리즘은 태그 수집 시간뿐 아니라 태그의 배터리 소모도 감소시킴으로써 결과적으로 능동형 RFID 시스템의 전체 성능을 크게 향상시킴을 확인하였다.

참 고 문 헌

〔1〕 J. Myung, W. Lee, J. Srivastava, T.K. Shih,

www.dbpia.co.kr

"Tag-Splitting: Adaptive Collision Arbitration Protocols for RFID Tag Identification," *IEEE Trans. Par. Dist. Sys.*, 18(6), pp.763-775, Jun., 2007.

〔2〕 V. Namboodiri, L. Gao, "Energy-Aware Tag Anti-Collision Protocols for RFID Systems," in *Proc. IEEE PerCom 2007*, pp.23-36, Mar., 2007.

〔3〕 ISO/IEC 18000-7, "Information technology - Radio frequency identification for item management - Part 7: Parameters for active air interface communications at 433 MHz," Jan., 2008.

〔4〕 H. Vogt, "Efficient Object Identification with Passive RFID Tags," in *Proc. Pervasive 2002*, pp.98-113, Aug., 2002

〔5〕 H. Vogt, "Multiple Object Identification with Passive RFID Tags," *in Proc. IEEE SMC 2002*, Oct., 2002.

〔6〕 J. Zhai, G.-N. Wang, "An Anti-collision Algorithm Using Two-Functioned Estimation for RFID Tags," in *Proc. ICCSA 2005*, pp.702-711, May, 2005.

〔7〕 S.-R. Lee, S.-D. Joo, C.-W. Lee, "An Enhanced Dynamic Framed Slotted ALOHA Algorithm for RFID Tag Identification," in *Proc. Int. Conf. MobiQuitous 2005*, pp.166-172, Jul., 2005.

〔8〕 J.-R. Cha, J.-H. Kim, "Novel Anti-collision Algorithms for Fast Object Identification in RFID System," in *Proc. Int. Conf. ICPADS 2005*, Vol.2, pp.63-67, Jul., 2005.

〔9〕 이지봉, 김완진, 김형남, "ALOHA 방식 RFID 시스템에서의 태그 개수 추정 방법", *한국통신학회 논문지*, 32(7), pp.448-454, Jun., 2007.

〔10〕 C.-S. Kim, K.-L. Park, H.-C. Kim, S.-D. Kim, "An Efficient Stochastic Anti-collision Algorithm using Bit-Slot Mechanism," in *Proc. Int. Conf. PDPTA 2004*, Vol.2, pp.652-656, Jul., 2004.

〔11〕 D. Liu, Z. Wang, J. Tan, H. Min, J. Wang, "ALOHA Algorithm considering the Slot Duration Difference in RFID system," in *Proc. IEEE Int. Conf. RFID 2009*, pp.56-63, Apr., 2009.

윤 원 주 (Won-Ju Yoon) 종신회원

2002년 2월 부산대학교 전자컴퓨터공학부 학사
2004년 2월 부산대학교 컴퓨터공학과 석사
2010년 2월 부산대학교 컴퓨터공학과 박사
2010년 4월~현재 한국항공우주연구원 선임연구원
<관심분야> 임베디드 시스템, 능동형 RFID 시스템, 무선랜 메쉬 네트워크

정 상 화 (Sang-Hwa Chung) 종신회원
한국통신학회논문지 제35권 제1호 참조
현재 부산대학교 컴퓨터공학과 교수

권 윤 근 (Yoon-Geun Kwon) 준회원

2009년 2월 부산대학교 정보컴퓨터공학부 학사
2009년 3월~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 석사과정
<관심분야> 능동형 RFID 시스템, 컨테이너 보안 장치

www.dbpia.co.kr