

능동형 RFID 시스템을 위한 태그 수집 성능 개선

정희원 윤원주*, 정상화*, 준회원 문영식*

Improvement of Tag Collection Performance for Active RFID Systems

Won-Ju Yoon*, Sang-Hwa Chung*^o *Regular Members*, Young-Sik Moon* *Associate Member*

요 약

태그 수집은 RFID 시스템에서 가장 중요한 기능 중 하나이다. 능동형 RFID 시스템 관련 표준인 ISO/IEC 18000-7은 프레임 슬롯 알로하 기반 충돌방지 알고리즘을 이용하여 태그 수집 알고리즘을 정의하는데, 이 표준에는 최적의 슬롯 크기를 결정하지 못하거나 수집된 태그들을 재우기 위해서 일대일 명령어를 사용함으로써 태그 수집 성능을 저하시키는 비효율성 문제가 있다. 본 논문에서는 그러한 비효율성 문제를 극복하고 태그 수집 성능을 향상시키기 위해 1) 리더가 최적의 슬롯 크기를 유연하게 결정할 수 있도록 하는 새로운 슬롯 크기 결정 기법과 2) 수집된 태그들을 효율적으로 재우기 위한 브로드캐스트 기반 슬립 기법을 제안한다. 또한, 리더와 다중 태그로 구성된 능동형 RFID 시스템을 구현하였으며, 리더는 제안된 기법이 적용되었을 때 태그 수집 성능을 최대화할 수 있도록 설계하였다. 실험에서는 하나의 리더와 50개의 태그를 사용하여 실제 환경에서의 태그 수집 성능을 평가하였다. 실험 결과는 제안된 두 기법들이 적용되고 초기 슬롯 개수가 적절히 선택되었을 때, 표준의 태그 수집 알고리즘에 비해 태그 수집 성능이 크게 향상됨을 보여준다.

Key Words : Active RFID, Tag collection, Anti-collision algorithm, ISO/IEC 18000-7

ABSTRACT

Tag collection is one of the major functions in Radio Frequency Identification (RFID) systems. ISO/IEC 18000-7 defines the tag collection algorithm using the anti-collision algorithm, based on the framed slotted ALOHA for active RFID systems. However, it has inefficiency problems that reduce tag collection performance by deciding non-optimum slot size or using point-to-point commands to put collected tags to sleep. In this paper, we propose two mechanisms to overcome the inefficiency problems and improve tag collection performance: 1) a new slot size decision mechanism to allow the reader to choose the optimum slot size flexibly and 2) a broadcast-based sleep mechanism to put collected tags to sleep effectively. We also implemented an active RFID system, composed of an active RFID reader and multiple tags, and the reader is designed to maximize tag collection performance when the proposed mechanisms are applied. In experiments, we evaluated the tag collection performance using one reader and 50 tags in the real-world environment. The experimental results show that when two mechanisms are applied and the initial number of slots is chosen appropriately, the performance of the proposed tag collection algorithm is greatly enhanced, compared with that of the standard.

※ 이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(지방연구중심대학육성사업/차세대물류IT기술연구사업단)

* 부산대학교 컴퓨터공학과 컴퓨터구조및시스템 연구실(shchung@pusan.ac.kr)(^o : 교신저자)

논문번호 : KICS2008-04-165, 접수일자 : 2008년 4월 11일, 최종논문접수일자 : 2008년 6월 9일

I. 서 론

RFID(Radio Frequency Identification)는 라디오 주파수를 사용하여 물품에 부착된 전자 태그를 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 배터리를 구비하여서 수동형 RFID 태그에 비해 인식거리가 길고, 금속 물체에 적용이 용이하며, 태그에 센싱 기능 추가가 용이한 장점을 가지고 있다. 그러므로 능동형 RFID 태그를 사용하는 능동형 RFID 시스템은 넓은 지역에서 대량의 금속 컨테이너들을 대상으로 하는 항만 물류 관리 시스템에 적합하다. 능동형 RFID 시스템을 기존의 항만 물류 시스템에 적용함으로써, 컨테이너 선적 및 하역 자동화, 게이트 출입 모니터링 자동화가 가능해지고, 능동형 RFID 기술에 기반을 둔 Electronic Seal(E-Seal)을 이용하여 컨테이너 화물 보안 강화를 달성할 수 있으며, 이를 통해 효율적인 항만 컨테이너 물류 처리가 가능하게 된다.

항만 물류 시스템을 포함한 대부분의 RFID 시스템 적용 분야에서는 여러 회사의 RFID 태그들이 혼용되어 사용될 수 있기 때문에 RFID 리더와 태그가 서로 간에 상호 호환성을 가지는 것이 중요하며, 이러한 상호 호환성 문제는 관련 표준을 준수함으로써 해결될 수 있다. ISO/IEC 18000은 RFID 시스템에서 리더와 태그 간의 상호 호환성을 보장하기 위해 에어 인터페이스(air interface)를 정의하는 표준으로서 사용되는 주파수 대역에 따라 여러 개의 파트로 구성되어 있다. 그 중 파트 7은 능동형 RFID 시스템을 위한 표준으로서 433MHz 주파수 대역에서 능동형 RFID 리더와 태그 간의 통신을 위한 변조 방식, 데이터 코딩, 데이터 전송률 등의 링크 파라미터들과 에어 인터페이스에서 사용되는 통신 프로토콜 등을 정의한다¹⁾. 본 논문에서는 ISO/IEC 18000-7을 준수하는 능동형 RFID 시스템을 대상으로 한다.

상호 호환성 문제와 함께 RFID 시스템에서 중요한 이슈 중 하나는 태그 수집(tag collection)이다. 태그 수집은 리더가 자신의 RF 통신 범위 내에 존재하는 모든 태그들로부터 태그-ID 및 데이터를 수집하는 작업으로써, RFID 시스템에서 리더의 가장 중요한 역할 중 하나이다. 리더는 태그 수집 명령어를 브로드캐스팅하고 명령어를 받은 여러 태그들은

자신의 응답 패킷을 전송한다. 이 때 다중 태그들이 동시에 응답 패킷을 전송함으로써 태그 응답 간에 충돌 문제가 발생하는데 이를 태그 충돌(tag collision)이라 하고, 이러한 문제를 해결하기 위해서 충돌방지(anti-collision) 알고리즘이 사용된다. 일반적인 RFID 시스템에서는 리더의 통신 범위 내에 많은 태그들이 존재하기 때문에 리더가 효율적인 충돌방지 알고리즘을 사용하여 얼마나 빨리 대량의 태그들로부터 정보를 수집하느냐가 RFID 시스템의 전체 성능 측면에서 매우 중요하다.

ISO/IEC 18000-7은 능동형 RFID 시스템을 위해 프레임 슬롯 알고리즘(framed slotted ALOHA) 기반 충돌방지 알고리즘을 이용하는 태그 수집 알고리즘을 정의한다. 그러나 모토로라사의 최근 보고서에 따르면, 현재의 ISO/IEC 18000-7 표준에는 문제점들이 있기 때문에, 많은 태그 환경에서 동작하는 리더들은 다중 태그들로부터 정보를 읽는데 발생하는 지연시간으로 인해 시간적인 측면에서 이들 태그들과의 통신에 어려움을 겪게 될 것이라고 분석되었다²⁾. 이러한 문제는 능동형 RFID 시스템에서 리더가 보다 빠르고 효율적으로 대량의 태그로부터 데이터 처리를 가능하게 할 수 있도록 표준의 수정을 통해 해결되어야 할 것이다.

본 논문에서는 ISO/IEC 18000-7을 준수하는 능동형 RFID 시스템에서 대량의 태그를 대상으로 하는 태그 수집의 성능 향상에 초점을 맞춘다. ISO/IEC 18000-7의 태그 수집 알고리즘에는 최적의 슬롯 크기를 결정하지 못하거나 수집된 태그들을 재우기 위해서 일대일 명령어를 사용함으로써 태그 수집 성능을 감소시키는 비효율성 문제가 있다. 이러한 비효율성 문제를 해결하고 태그 수집 성능을 향상시키기 위해서 1) 리더가 최적의 슬롯 크기를 유연하게 결정할 수 있도록 하는 새로운 슬롯 크기 결정 기법과 2) 수집된 태그를 효율적으로 재우기 위한 브로드캐스트 기반 슬립 기법을 제안한다. 또한, 리더와 다중 태그로 구성된 능동형 RFID 시스템을 구현하고 실제 환경에서의 실험을 통해 표준의 태그 수집 알고리즘과 제안된 태그 수집 알고리즘의 성능을 비교 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. I장에서는 관련 연구를 소개한다. III장에서는 ISO/IEC 18000-7의 태그 수집 알고리즘을 설명하고, IV장에서는 태그 수집 성능을 향상시키기 위한 두 가지 기법을 제안한다. V장에서는 실험을 위한 능동형 RFID 리더와 태그의 구현에 대해 설명하고, 이를 이용하여 수행

된 실험 결과를 제시한다. 마지막으로 VI장에서는 본 논문을 마무리 짓는다.

II. 관련 연구

RFID 시스템에서 널리 사용되는 충돌방지 알고리즘은 크게 트리(tree) 기반 알고리즘과 알로하(ALOHA) 기반 알고리즘으로 분류될 수 있다^[3]. 트리 기반 알고리즘에서는 리더의 질의(query)를 이용하여 태그들의 집합을 두 부분 집합으로 나누는데, 리더는 이러한 과정을 하나의 태그만이 남아서 충돌 없이 성공적으로 응답을 전송할 때까지 반복적으로(recursive) 수행한다. 이러한 트리 기반 알고리즘은 수행 과정에서 많은 리더 질의와 태그 응답을 사용하기 때문에 리더와 태그에서 많은 전원 소모를 발생시키고, 이는 태그가 배터리를 기반으로 동작하는 능동형 RFID 시스템에서 매우 심각한 문제가 된다^[4]. 그러므로 트리 기반 알고리즘은 능동형 RFID 시스템보다는 수동형 RFID 시스템에 더욱 적합하다. ISO/IEC 18000-6 타입 B^[5]와 EPCglobal Class 0^[6] 표준에서는 수동형 RFID 시스템을 위한 트리 기반 알고리즘을 이용한다.

반면, 알로하 기반의 알고리즘에서는 태그 응답들을 시간 단위로 나누어 전송함으로써 태그 충돌의 발생 확률을 줄이는 방법을 이용한다. 리더가 태그 수집 요청을 보낸 이후에 태그들은 충돌을 피하기 위해 자신이 응답할 시간 슬롯을 임의로 선택한다. 대표적인 알로하 기반 알고리즘인 프레임 슬롯 알로하(framed slotted ALOHA) 알고리즘은 그 동작 방식 및 구현이 간단하고 성능이 좋기 때문에 RFID 시스템에서 가장 널리 사용되고 있다^[8]. ISO/IEC 18000-7^[1] 표준에서는 능동형 RFID 시스템을 위한 프레임 슬롯 알로하 알고리즘을 제안하며, ISO/IEC 18000-6 타입 A^[5]와 EPCglobal Class 1 Gen2^[7] 표준에서는 수동형 RFID 시스템을 위한 프레임 슬롯 알로하 알고리즘을 정의한다.

프레임 슬롯 알로하 알고리즘은 수집될 태그 개수가 슬롯 개수와 비슷할 때 최적의 태그 수집 성능을 보이며^[9], 이때의 슬롯 개수를 프레임 크기(frame size)라고 한다. 그렇기 때문에 프레임 슬롯 알로하 알고리즘과 관련한 기존 연구들은 대부분 태그 개수의 추정을 통해 태그 수집 성능을 최대화하기 위한 프레임 크기의 결정에 초점을 맞추었으며, 이들은 대부분 수동형 RFID 시스템을 대상으로 연구되었다^[8-12]. 그러나 본 논문에서는 ISO/IEC

18000-7 표준을 준수하는 능동형 RFID 시스템을 대상으로 하고, 기존 연구들과는 다른 관점에서 표준에 정의된 알고리즘의 개선을 통한 태그 수집 성능 향상을 다룬다. 본 논문의 저자들은 선행연구에서 능동형 RFID 시스템에서의 태그 수집 성능을 향상시키기 위한 새로운 슬롯 크기 결정 기법을 제안하고, 하나의 리더와 30개의 태그를 사용한 실험을 통해 태그 수집 성능이 향상됨을 검증하였다^[13]. 본 논문에서는 슬롯 크기 결정 기법 이외에 태그 수집 성능을 더욱 향상시키기 위한 브로드캐스트 기반 슬립 기법을 새롭게 제안하며, 총 50개의 태그를 사용한 대량 태그 환경에서의 다양한 실험 결과를 제시한다.

III. ISO/IEC 18000-7의 태그 수집 알고리즘

ISO/IEC 18000-7 표준에 정의된 태그 수집 알고리즘은 태그 충돌 문제를 해결하기 위해 프레임 슬롯 알로하 기반의 충돌방지 알고리즘을 이용한다. 그림 1은 표준에서 정의하는 태그 수집 알고리즘의 동작 과정과 타이밍을 보여준다. 태그 수집을 시작하기에 앞서 리더는 슬립(sleep) 상태에 있는 능동형 RFID 태그들을 리더의 태그 수집 명령을 받아들이기 위한 준비(ready) 상태로 전환시키기 위해 최소 2.5초의 wake-up 신호를 전송한다. 그 이후에 리더는 여러 번의 수집 라운드를 통해, RF 통신 범위 내에 있는 모든 태그들로부터 태그-ID 및 데이터를 수집한다. 각 수집 라운드(collection round)는 리더가 태그들에게 태그 수집 명령어를 보내는 것으로 시작한다. 태그 수집 명령어에는 리더가 다중 태그들로부터 응답을 기다리기 위한 전체 시간을 지정하는 2바이트의 윈도우 크기(Window Size) 값이 포함되어 있다. 태그 수집 명령어를 받은 태그는 윈도우 크기 값을 참조하여 슬롯 크기 및 현재 수집 라운드에서의 슬롯 개수를 계산해내고, 그 중에서 자신이 응답하기 위한 슬롯을 임의로 선택한다. 하나의 슬롯 크기는 리더가 하나의 태그 응답을 수신하기에 충분한 시간이다.

리더가 전송하는 윈도우 크기는 식 (1)을 통해 계산된다. 윈도우 인자(Window Factor)는 윈도우 크기를 변화시키는데 사용되는 값으로 정수 값을 가지며, 태그 수집 과정의 시작 단계에서 1로 설정되어 초기 윈도우 크기는 57.3ms로 설정된다. 리더는 윈도우 시간 동안 다중 태그로부터의 응답을 받아 태그 정보를 기록하고, 그림 1에서와 같이 둘

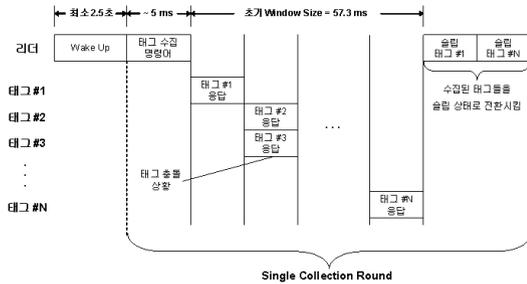


그림 1. ISO/IEC 18000-7 표준의 태그 수집 알고리즘 동작 과정 및 타이밍

이상의 태그가 동일 슬롯을 선택하여서 발생하는 충돌의 횟수를 기록한다. 윈도우 시간이 완료되면, 리더는 현재 수집 라운드에서 수집된 태그들에게 일대일(point-to-point)로 슬립 명령어를 전송하고 하나의 수집 라운드를 종료한다. 슬립 명령어를 받은 태그들은 전원 소모를 줄이기 위해 슬립 상태로 전환하고 현재의 태그 수집 과정에 더 이상 참여하지 않는다. 태그 수집 과정이 진행되는 동안 리더는 현재 수집 라운드에서 검출된 충돌 횟수를 기반으로 아직 수집되지 않은 태그 개수를 예측하고, 식 (1)의 윈도우 인자 값을 변화시켜서 다음 수집 라운드를 위한 최적의 윈도우 크기를 결정한다.

$$\text{Window Size} = \text{Window Factor} * 57.3 \text{ ms} \quad (1)$$

ISO/IEC 18000-7에서는 하나의 슬롯 크기(slot size)를 식 (2)와 같이 정의한다. 응답 전송 시간(response transmission time)은 태그가 응답 패킷을 리더에게 전송하는데 소요되는 시간으로 응답 패킷의 길이는 태그 수집 명령어 타입에 의해 결정된다. 슬롯 가드 시간(slot guard time)은 리더가 현재 슬롯에서 태그로부터 받은 응답 데이터를 처리하고 다음 태그 응답 수신을 준비하기 위한 시간이다. 표준에서 슬롯 가드 시간은 2ms로 고정되어 있으며, 슬롯 크기 값은 ms 단위로 올림된다. 현재 수집 라운드에서의 슬롯 개수(Number of Slots)는 슬롯 크기가 계산된 후에 식 (3)을 통해 계산할 수 있다.

$$\text{Slot Size} = \text{Response Transmission Time} + \text{Slot Guard Time} \quad (2)$$

$$\text{Number of Slots} = \text{Window Size} / \text{Slot Size} \quad (3)$$

수집 라운드가 종료되면, 리더는 즉시 태그 수집

명령어를 전송함으로써 다음 수집 라운드를 시작한다. 이러한 태그 수집 과정이 계속 반복되다가 연속되는 세 번의 수집 라운드 동안 더 이상의 태그가 발견되지 않으면 태그 수집 과정이 완료된다.

IV. 제안하는 수정된 태그 수집 알고리즘

앞서 설명한 ISO/IEC 18000-7의 태그 수집 알고리즘에는 태그 수집 성능을 저하시키는 몇 가지 비효율성 문제가 존재한다. 이 절에서는 표준의 태그 수집 알고리즘의 수정을 통해 비효율성 문제를 해결하고 태그 수집 성능을 향상시키기 위한 두 가지 기법을 제안한다.

4.1 슬롯 기법

ISO/IEC 18000-7에서는 태그 수집 시 리더에서의 태그 응답 데이터 처리 및 연속적인 태그 응답 수신을 위해 슬롯 가드 시간을 정의하였고 이를 2ms로 고정하였다. 그러나 2ms의 고정된 슬롯 가드 시간은 리더가 가지는 데이터 처리 능력과 연속적인 패킷 수신 능력에 따라 낭비적인 값일 수 있다. 그림 2는 초기 윈도우 크기에서 발생하는 시간 낭비 문제의 예를 보여준다. 리더가 태그 수집을 통해 태그들로부터 태그-ID만을 수집한다면, 표준에 따라 태그 응답 패킷은 14바이트이고 이를 전송하기 위한 시간은 5868μs¹⁾가 된다. 그러므로 식 (2)에 따라 2ms의 슬롯 가드 시간을 더하고 ms 단위로 올림하면 슬롯 크기는 8ms이고, 슬롯 개수는 7개로 계산된다. 이러한 상황에서 리더가 슬롯 가드 시간으로 1ms만 필요로 한다면, 하나의 수집 라운드에서 낭비된 시간은 총 8.3ms로 이는 전체 윈도우 크기 57.3ms의 약 14.5%나 된다. 이러한 시간 낭비 문제는 수집될 태그 개수가 많아서 수집 라운

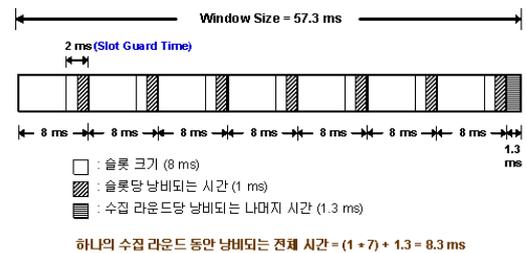


그림 2. 하나의 수집 라운드에서 낭비되는 시간 예

$$1) \text{ preamble} + (\text{response size} * \text{period for one byte}) + \text{end period} = 1296 + (14 * 324) + 36 = 5868 \mu\text{s}$$

드의 반복 횟수와 전체 슬롯 개수가 증가한다면 더욱 심각해지며, 모두 합해서 수십 혹은 수백 ms의 많은 시간 낭비를 발생시킨다.

위와 같은 시간 낭비로 인한 비효율성의 문제는 태그 수집 시에 리더가 전송하는 태그 수집 명령어에 그림 3과 같이 윈도우 크기 대신에 리더가 미리 계산한 슬롯 크기와 슬롯 개수를 인자로 보내는 방법을 사용함으로써 쉽게 해결될 수 있다. 태그 응답의 패킷 길이 및 전송 시간은 태그 수집 명령어 타입에 따라 결정되므로, 태그뿐 아니라 리더도 식 (2)에 따라 하나의 슬롯 크기를 계산할 수 있다. 그러므로 리더는 자신의 데이터 처리 능력에 따라 적절하게 슬롯 가드 시간을 정할 수 있고, 하나의 슬롯 크기는 유연하게 결정될 수 있다.

표준의 태그 수집 알고리즘은 윈도우 크기를 먼저 계산하고 슬롯 개수를 계산하는 반면, 슬롯 기법이 적용된 수정된 태그 수집 알고리즘에서는 식 (4)를 이용하여 슬롯 개수를 먼저 결정하고 식 (5)와 같이 윈도우 크기를 계산한다. 식 (4)의 슬롯 인자 (Slot Factor)는 표준의 윈도우 인자와 매우 유사하다. 슬롯 인자는 초기에 1로 설정되고, 리더는 현재 라운드에서 검출된 충돌 횟수를 기반으로 다음 수집 라운드를 위해 슬롯 인자를 변화시킨다.

$$\text{Number of Slots} = \text{Slot Factor} * \text{Initial Number of Slots} \quad (4)$$

$$\text{Window Size} = \text{Number of Slots} * \text{Slot Size} \quad (5)$$

슬롯 기법은 리더가 최적의 슬롯 가드 시간과 슬롯 크기를 유연하게 선택할 수 있도록 한다. 하나의 슬롯 크기는 동일하게 식 (2)를 통해 계산되며, 100 μs 단위로 올림되도록 정의한다. 이러한 슬롯 기법을 적용함으로써 각 슬롯과 수집 라운드에서 낭비되는 시간을 제거할 수 있으며, 태그가 아닌 리더가 슬롯 크기 및 슬롯 개수를 계산하게 함으로써 태그에서의 작업 처리량을 감소시키고 이는 태그의 배터리 소모를 감소시켜 결론적으로 태그 수명을 연장시키는 효과도 얻을 수 있다.



그림 3. 태그 수집 명령어의 인자 수정

4.2 브로드캐스트 슬립 기법

그림 1에서 보는 바와 같이 표준의 태그 수집 알고리즘에서는 리더가 각 수집 라운드의 마지막에 수집된 태그들을 대상으로 일대일로 슬립 명령어를 보낸다. 그림 4는 표준에서 정의하는 일대일 슬립 명령어의 패킷 포맷이다. 일대일 슬립 명령어는 11 바이트로 이를 표준에 따라 태그에게 RF 통신으로 전송하는 데는 4908μs(2)가 소요된다. 그러므로 현재 수집 라운드에서 수집된 태그 개수가 N개라면, N번의 슬립 명령어를 보내기 위해서 총 (4908*N)μs 시간이 소요된다.

그러나 수집된 태그들에게 일대일 슬립 명령어를 여러 번 반복해서 전송하는 경우, 그림 4의 슬립 명령어 패킷에서 태그-ID와 이에 따른 CRC 값만이 변화하고, 나머지 필드들의 데이터는 아무런 변화 없이 중복적으로 전송된다. 이러한 비효율성을 제거하기 위해 본 논문에서는 일대일 슬립 명령어 대신 브로드캐스트(broadcast) 슬립 명령어의 사용을 제안한다. 슬립 명령어 패킷에 하나의 태그-ID를 담아서 일대일로 여러 번 전송하는 대신에 수집된 태그들의 태그-ID 목록을 슬립 명령어 패킷에 담아서 브로드캐스팅 한다면, 변화하지 않는 필드들이 중복적으로 전송되는 것과 각 명령어 전송마다 필요한 프리앰블 전송 시간을 제거할 수 있다. 그림 5는 제안하는 브로드캐스트 슬립 명령어의 패킷 포맷이다. 이 패킷 포맷은 표준의 브로드캐스트 명령어 포맷을 준수하며, 파라미터 필드에 태그-ID 리스트를 포함하도록 하였다.

제안된 브로드캐스트 슬립 명령어를 사용하고 현재 수집 라운드에서 수집된 태그의 개수가 N개라면, 수집된 태그를 모두 재우기 위해서 총 (3612+1296*N)μs 시간이 소요된다. 이는 재우고자 하는 수집된 태그 개수 N이 증가할수록, 일대일 슬립 명령어를 사용하는 것에 비해 많은 시간 감소를 얻을 수 있다.

Command Prefix	Command Type	Tag ID	Reader ID	Command Code	CRC
1 byte	1 byte	4 bytes	2 bytes	1 byte	2 bytes

그림 4. 표준의 일대일 슬립 명령어 패킷 포맷

Command Prefix	Command Type	Reader ID	Command Code	Parameters	CRC
1 byte	1 byte	2 bytes	1 byte	4*N bytes	2 bytes

1 st Tag ID	N th Tag ID
4 bytes		4 bytes

그림 5. 제안하는 브로드캐스트 슬립 명령어 패킷 포맷

$$2) \text{ preamble} + (\text{command size} * \text{period for one byte}) + \text{end period} = 1308 + (11 * 324) + 36 = 4908 \mu s$$

V. 실험 및 성능 평가

5.1 실험 환경 구성

본 논문에서는 실제 환경에서의 실험을 통해 제안한 태그 수집 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서 능동형 RFID 리더 및 태그를 구현하였다. 그림 6은 능동형 RFID 리더의 시스템 구조도이다. 마이크로프로세서 외에 태그와의 RF 통신을 처리하기 위한 별도의 컨트롤러(이하 ‘RF 트랜시버 컨트롤러’로 칭함)를 활용함으로써, 마이크로프로세서에서 수행되는 통신 프로토콜 처리 및 응답 데이터 처리 작업과 RF 트랜시버 컨트롤러에서 수행되는 RF 통신 작업이 분리되어 병렬적으로 수행되는 것이 가능하다. RF 트랜시버 컨트롤러는 현재 수신한 태그 응답 패킷을 버퍼링해 두고 다음 태그 응답 패킷을 연속적으로 받아들이며, 마이크로프로세서는 RF 트랜시버 컨트롤러가 다음 응답 패킷을 수신하는 동안 버퍼링된 응답 패킷을 읽어 와서 응답 데이터를 처리한다. 제안한 슬롯 기법이 적용되었을 때 이러한 방법으로 연속적인 태그 응답이 처리되면 응답 패킷의 크기 및 처리 시간에 무관하게 슬롯 가드 시간은 최소화되거나 혹은 제거될 수도 있다.

리더는 ARM920T 코어 기반의 32비트 RISC 마이크로프로세서, RF 트랜시버 컨트롤러의 하드웨어 구현을 위한 40만 게이트 급의 FPGA, 433MHz RF 트랜시버, 각종 메모리 등을 탑재하였다. 리더는 이더넷 인터페이스 및 UART 인터페이스를 제공하고, 이들 인터페이스를 통해 호스트 시스템의 제어를 받는다. 리더는 태그 수집 과정 동안 현재 수집 라운드에서 검출된 태그 충돌 횟수를 바탕으로 식 (1)의 윈도우 인자 혹은 식 (4)의 슬롯 인자를 변화시켜 다음 수집 라운드를 위한 최적의 윈도우 크기를 결정하는데, 이를 위해 [10]에서 제시한 것과 유사한 태그 개수 추정 방법을 사용한다.

태그는 리더와 달리 높은 프로세싱 능력이 필요

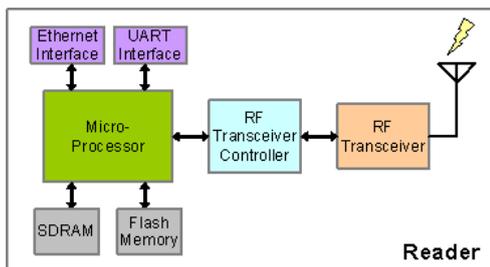


그림 6. 리더의 시스템 구조도

하지 않으며 긴 배터리 수명이 중요하기 때문에 최소한의 칩만을 사용해서 전력 소모를 최소화하도록 그림 7과 같이 설계하였다. 태그는 저전력 8비트 마이크로컨트롤러와 리더에서 사용된 것과 동일한 433MHz RF 트랜시버를 탑재하였다. 태그는 2개의 1.5V AA 배터리로부터 전원을 공급받고, 태그의 동작을 모니터링 할 수 있도록 UART 인터페이스를 제공한다.

리더와 태그는 기본적으로 ISO/IEC 18000-7을 준수하고 표준의 태그 수집 알고리즘과 제안된 태그 수집 알고리즘을 모두 지원하도록 구현하였다. 본 논문의 실험에서는 하나의 리더와 총 50개의 태그가 사용되었으며, 실험 환경에서 50개의 태그는 리더와 최소 5m 이상 떨어져 있고 약 3m x 2m 정도의 공간에 분산적으로 배치하였다. 호스트 시스템으로는 윈도우 O/S가 설치된 노트북을 이용하였으며, 리더는 UART 인터페이스를 통해 호스트 시스템으로부터 명령을 전달받고 결과를 반환하였다.

5.2 ISO/IEC 18000-7의 기본 태그 수집 성능

첫 번째 실험으로 앞서 설명한 실험 환경에서 Collection 명령어를 사용하여 기본적인 태그 수집 성능을 측정하였다. Collection 명령어는 ISO/IEC 18000-7에서 정의하는 태그 수집 명령어로 리더에게 태그들로부터 태그-ID만을 수집하도록 한다. 3.2.1절에서 이미 설명한 바와 같이 Collection 명령어에 대한 응답 패킷은 14바이트이고, 이를 전송하기 위한 하나의 슬롯 크기는 8ms이다. 윈도우 크기는 57.3ms에서 시작해서, 수집 라운드에서 검출된 충돌 횟수에 따라 동적으로 변화한다.

표 1은 25개의 태그를 대상으로 태그 수집을 수행한 결과의 한 예를 보여준다. 리더는 8번의 수집 라운드를 수행하였으나, 이 중 마지막 3번의 라운드는 태그 수집의 완료를 확인하기 위한 것이므로, 모든 태그를 수집하기 위해서 총 5번의 수집 라운드가 소요되었다.

구현된 능동형 RFID 시스템에서 표준을 준수한

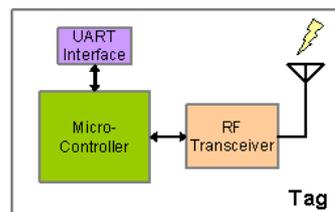


그림 7. 태그의 시스템 구조도

표 1. 시뮬레이션 파라미터

라운드 수	윈도우 크기 (단위 : ms)	슬롯 개수	수집된 태그 개수	검출된 충돌 횟수
1	57.3	7	0	7
2	114.6	14	6	6
3	171.9	21	13	3
4	114.6	14	4	1
5	57.3	7	2	0
6	57.3	7	0	0
7	57.3	7	0	0
8	57.3	7	0	0

태그 수집 성능을 평가하기 위해 50개의 태그를 5개 단위로 변경하면서 각각 300번의 Collection 명령어를 반복 수행하였다. 수집된 300개의 실험 결과를 태그 수집 시간으로 정렬한 뒤, 가장 빠르고 느린 경우의 데이터를 각 100개씩 제거하고, 남은 100개의 데이터를 사용하여 평균 태그 수집 시간과 수집 라운드 횟수를 계산하였다. 그림 8은 이 실험에 대한 결과를 보여준다. 그림 8(a)의 평균 태그 수집 시간은 태그 수집 시작 전에 슬립 상태에 있

는 태그를 깨우기 위한 2.5초의 wake-up 시간을 포함하지 않으며, 그림 8(b)의 평균 태그 수집 라운드 횟수는 태그 수집 종료를 확인하기 위한 마지막 3번의 라운드를 포함하지 않는다.

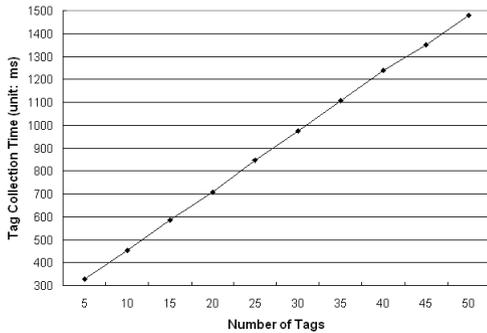
그림 8에서 보는 바와 같이 리더가 50개의 태그를 모두 수집하기 위해 평균 1479ms가 소요되었으며, 수집될 태그의 개수가 증가함에 따라 평균 태그 수집 시간은 선형적으로 증가하였다. 평균 태그 수집 라운드 횟수는 평균 태그 수집 시간과 달리 선형적이 아닌 완만한 곡선 형태로 증가하였는데, 이는 태그 개수에 따라 윈도우 크기가 동적으로 변화하기 때문이다. 그림 8의 실험 결과는 구현된 능동형 RFID 시스템에서 리더가 다중 태그를 대상으로 성공적으로 태그 수집을 수행하며, 표준을 준수하여 구현한 태그 수집 알고리즘이 수집될 태그 개수가 크게 증가하더라도 적절히 동작한다는 것을 보여준다.

5.3 표준의 태그 수집 알고리즘과 수정된 태그 수집 알고리즘 간의 성능 비교

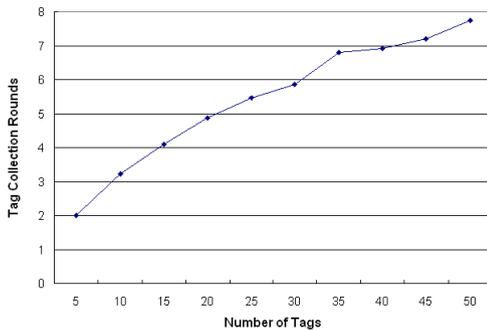
본 논문에서는 표준의 태그 수집 알고리즘의 비효율성 문제를 해결하고 태그 수집 성능을 향상시키기 위해 슬롯 기법과 브로드캐스트 슬립 기법을 제안하였다. 이 절에서는 1) 4.1절에서 보인 표준의 태그 수집 알고리즘과 2) 슬롯 기법이 적용된 태그 수집 알고리즘, 3) 브로드캐스트 슬립 기법이 적용된 태그 수집 알고리즘, 4) 두 가지 기법들이 모두 적용된 태그 수집 알고리즘 등의 4가지 태그 수집 알고리즘 간의 성능을 비교 분석하였다.

실험은 앞선 실험과 동일한 방법으로 진행하였다. 태그의 개수를 5개 단위로 변화시켜 가면서, 각 실험 세트마다 300번의 Collection 명령어를 반복 수행하고 중간의 100개 데이터를 이용하여 평균 태그 수집 시간을 계산하였다. 이 실험에서는 앞선 실험과 달리 평균 태그 수집 라운드 횟수는 고려하지 않았는데, 그 이유는 제안된 두 가지 기법들이 태그 수집 라운드 횟수의 변화에는 영향을 미치지 않기 때문에 적용된 태그 수집 알고리즘과 무관하게 비슷한 실험 결과를 보이기 때문이다.

슬롯 기법이 적용되었을 때의 실험 설정은 다음과 같다. 식 (4)의 초기 슬롯 개수는 표준의 태그 수집 알고리즘에서의 초기 슬롯 개수와 동일하게 7개로 설정하였다. 리더는 연속적인 태그 응답을 성공적으로 수신하고 다중 태그 응답 간의 충돌을 검출하기 위해 600µs의 슬롯 가드 시간을 필요로 하였고, 하나의 응답 패킷을 전송하기 위한 시간은



(a) 평균 태그 수집 시간



(b) 평균 태그 수집 라운드 횟수

그림 8. 표준을 준수한 태그 수집 성능

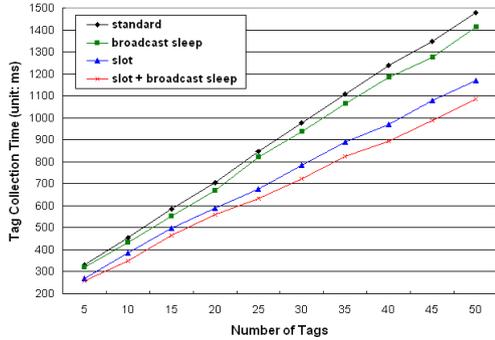


그림 9. 4가지 태그 수집 알고리즘의 성능 비교

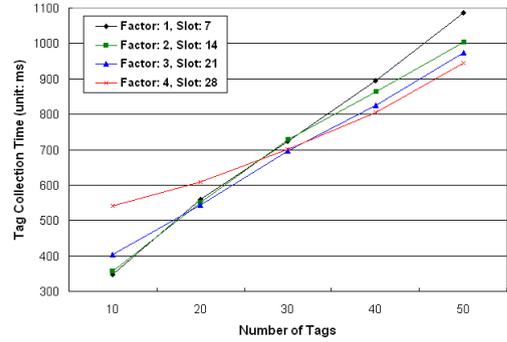


그림 10. 태그 수집에서 초기 슬롯 개수의 영향

5868 μ s이므로, 슬롯 크기는 식 (2)에 따라 계산되고 100 μ s 단위로 올림되어서 6.5ms로 설정되었다. 그림 9는 4가지 태그 수집 알고리즘의 성능 비교 실험 결과를 보여준다.

그림 9에서 보는 바와 같이, 제안된 두 가지 기법 모두 표준의 태그 수집 알고리즘에 비해 평균 태그 수집 시간을 감소시켰으며, 수집될 태그 개수가 증가할수록 성능 향상도 증가한다. 또한, 슬롯 기법이 브로드캐스트 슬립 기법보다 더 큰 성능 향상을 가져왔으며, 두 가지 기법이 모두 적용되었을 때 성능 향상이 가장 커짐을 확인할 수 있다. 태그 개수가 50개일 때, 표준의 태그 수집 알고리즘에서 소요된 1479ms의 평균 태그 수집 시간에 비해 각각 브로드캐스트 슬립 기법은 67ms, 슬롯 기법은 309ms의 평균 태그 수집 시간 감소를 가져왔으며, 두 가지 기법이 모두 적용되었을 때는 총 394ms의 시간 감소를 가져와서 리더가 50개의 태그를 모두 수집하는데 1085ms가 소요되었다. 앞서 설명한 바와 같이 실험 설정에서 슬롯 가드 시간은 600 μ s로 설정되었는데, 만약 이 시간이 좀 더 감소될 수 있다면, 더욱 큰 태그 수집 성능 향상을 기대할 수 있을 것이다.

5.4 태그 수집에서 초기 슬롯 개수의 영향

ISO/IEC 18000-7에 따르면, 식 (1)의 윈도우 인자는 초기에 1로 설정되고 그에 따라 초기 윈도우 크기는 57.3ms, 초기 슬롯 개수는 7개가 된다. 그러나 태그의 개수가 7개보다 많을 경우에는 태그 개수가 슬롯 개수보다 많기 때문에 반드시 태그 충돌이 발생하게 된다. 이러한 문제는 태그 개수가 증가할수록 더욱 심각해진다. 그러므로 식(1)의 윈도우 인자나 식 (4)의 슬롯 인자가 초기에 1로 설정되는 것을 비효율적일 수 있다.

이 절에서는 실험을 통해 초기 슬롯 개수의 변화에 따라 태그 수집 성능에 미치는 영향을 살펴보았다. 실험에는 슬롯 기법과 브로드캐스트 기법이 모두 적용된 태그 수집 알고리즘을 사용하였고, 실험 방법은 이전과 동일하게 진행하였으나 대상 실험 태그 개수를 10개 단위로 변화시켰다. 초기 슬롯 개수를 변화시키기 위해 식 (4)의 슬롯 인자의 초기 값을 1에서 4까지 변화시켜 보았으며, 그림 10은 그 실험 결과를 보여준다.

그림 10에서 보는 바와 같이, 태그 개수가 10개 정도로 적을 때는 초기 인자(Factor)가 1이나 2 정도로 낮을 때가 3 혹은 4 정도로 높을 때보다 더 좋은 성능을 보여준다. 이는 초기 슬롯 개수가 태그 개수에 비해 커지면 태그에 의해 선택되지 않는 빈 슬롯이 많이 늘어나서 그만큼 낭비되는 시간이 늘어나기 때문이다. 태그 개수가 증가함에 따라 성능 그래프는 반대의 양상을 보인다. 태그가 40개 이상일 경우에는 초기 인자가 4일 때 가장 좋은 성능을 보여주며, 50개의 태그를 모두 수집하는데 945ms가 소요되었다. 이 실험 결과는 초기 인자가 1일 때의 1085ms와 비교했을 때 140ms가 감소된 것이며, 이러한 성능 향상은 초기 슬롯 개수가 적절히 크다면 태그 수집의 초기 단계에서 발생하는 태그 충돌을 감소시켜 주기 때문이다. 그러므로 수집될 태그 개수를 미리 대략적으로 알고 사전 실험을 통해 적절한 초기 슬롯 개수를 선택한다면, ISO/IEC 18000-7 표준을 준수하는 능동형 RFID 시스템에서의 태그 수집 성능은 더욱 향상될 수 있을 것이다.

VI. 결 론

본 논문은 ISO/IEC 18000-7을 준수하는 능동형 RFID 시스템에서의 태그 수집에 초점을 맞추고 연

구하였다. ISO/IEC 18000-7의 태그 수집 알고리즘에는 최적의 슬롯 크기를 결정하지 못하거나 수집된 태그들을 재우기 위해서 일대일 명령어를 사용함으로써 태그 수집 성능을 감소시키는 비효율성 문제가 존재하고, 그러한 비효율성 문제를 해결하고 태그 수집 성능을 향상시키기 위해 1) 리더가 최적의 슬롯 크기를 유연하게 결정할 수 있도록 하는 슬롯 기법과 2) 수집된 태그를 효율적으로 재우기 위한 브로드캐스트 슬립 기법을 제안하였다. 실제 환경에서의 실험을 통해 제안한 태그 수집 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서 리더와 다중 태그로 구성된 능동형 RFID 시스템을 구현하였고, 리더는 제안하는 슬롯 기법이 적용되었을 때 태그 응답을 위한 슬롯 크기를 최소화하여 태그 수집 성능을 최대화할 수 있도록 설계하였다.

구현된 리더와 태그를 사용한 실험에서는 제안된 두 가지 기법이 표준의 태그 수집 알고리즘에 비해 항상 평균 태그 수집 시간을 감소시키며, 수집된 태그 개수가 증가할수록 성능 향상도 증가함을 확인하였다. 구현된 능동형 RFID 시스템에서는 슬롯 기법이 브로드캐스트 슬립 기법에 비해 태그 수집에서 더 큰 성능 향상을 보였고, 가장 큰 성능 향상은 두 가지 기법이 모두 적용되었을 때 달성되었다. 또한, 실험 결과는 수집된 태그 개수를 고려하여 초기 슬롯 개수가 적절히 선택된다면, 태그 수집 성능은 더욱 향상될 수 있음을 보였다. 결론적으로, 슬롯 기법과 브로드캐스트 슬립 기법이 적용되고 초기 슬롯 인자가 4로 설정되었을 때, 리더는 50개의 태그를 모두 수집하기 위해 평균 945ms를 소요하였고, 이 실험 결과는 표준의 태그 수집 알고리즘을 사용하였을 때 얻어진 1479ms의 결과에 비해 534ms 감소된 것이다.

참 고 문 헌

- [1] ISO/IEC 18000-7, Information technology - Radio frequency identification (RFID) for item management - Part 7: Parameters for active air interface communications at 433 MHz, Aug. 2004.
- [2] Motorola, Inc., Second report of detailed container use cases and deficiencies in the ISO 18185-1, ISO 18185-7, and ISO 18000 standard, 2004. [Online] http://www.autoid.org/tc104_sc4_wg2.htm (sc4wg2n0233)
- [3] Jihoon Myung, Wonjun Lee, Jaideep Srivastava, Timothy K. Shih, "Tag-Splitting: Adaptive Collision Arbitration Protocols for RFID Tag Identification," *IEEE Transaction on Parallel and Distributed Systems*, Vol.18, No.6, pp.763-775, June 2007.
- [4] Vinod Nambodiri, Lixin Gao, "Energy-Aware Tag Anti-Collision Protocols for RFID Systems," *IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*, pp. 23-36, Mar. 2007.
- [5] ISO/IEC 18000-6, Information technology - Radio frequency identification (RFID) for item management - Part 6: Parameters for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz, Aug. 2004.
- [6] MIT Auto-ID Center, Draft protocol specification for a 900 MH Class 0 Radio Frequency Identification Tag, Feb. 2003.
- [7] EPCglobal Inc., EPC Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860 MHz - 960 MHz Version 1.0.9, Jan. 2005.
- [8] Xu Huang Cha, Son Le, "Efficient Dynamic Framed Slotted ALOHA for RFID Passive Tags," *9th International Conference on Advanced Communication Technology*, Vol.1, pp.94-97, Feb. 2007.
- [9] Su-Ryun Lee, Sung-Don Joo, Chae-Woo Lee, "An Enhanced Dynamic Framed Slotted ALOHA Algorithm for RFID Tag Identification," *Second Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems*, pp.166-172, July 2005.
- [10] Jae-Ryong Cha, Jae-Hyun Kim, "Dynamic Framed Slotted ALOHA Algorithms using Fast Tag Estimation Method for RFID System," *Consumer Communications and Networking Conference*, pp.768-772, Jan. 2006.
- [11] Jia Zhai, Gi-Nam Wang, "An Anti-collision Algorithm Using Two-Functioned Estimation for RFID Tags," *International Conference on Computational Science and Its Applications*, pp. 702-711, May 2005.
- [12] Harald Vogt, "Efficient Object Identification with Passive RFID Tags," *International Conference*

on *Pervasive Computing*, pp.98-113, Aug. 2002.
 [13] Won-Ju Yoon, Sang-Hwa Chung, Seong-Joon Lee, Young-Sik Moon, "Design and Implementation of an Active RFID System for Fast Tag Collection," *Seventh IEEE International Conference on Computer and Information Technology*, pp.961-966, Oct. 2007.

윤원주 (Won-Ju Yoon)

정회원



2002년 2월 부산대학교 컴퓨터공학과 학사
 2004년 2월 부산대학교 컴퓨터공학과 석사
 2004년 3월~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정
 <관심분야> 능동형 RFID 시스템, 무선랜 메쉬 네트워크, 클러스터 시스템

정상화 (Sang-Hwa Chung)

정회원



1985년 2월 서울대학교 전기공학
 과 학사
 1988년 5월 Iowa State Univ. 컴
 퓨터공학과 석사
 1993년 8월 Univ. of Southern
 California 컴퓨터공학과 박사
 1993년~1994년 Univ. of Central

Florida 컴퓨터공학과 조교수
 1994년~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 교수, 컴퓨터및
 정보통신연구소 연구원
 2002년~2003년 Oregon State Univ. 컴퓨터공학과 초
 빙교수
 <관심분야> 클러스터 시스템, 병렬처리, TOE, RDMA,
 RFID, 무선랜 메쉬 네트워크

문영식 (Young-Sik Moon)

준회원



2007년 2월 부산대학교 정보컴퓨
 터공학부 학사
 2007년 3월~현재 부산대학교 컴
 퓨터공학과 석사과정
 <관심분야> 능동형 RFID 시스
 템, 무선랜 메쉬 네트워크