

능동형 RFID 시스템에서 태그 수집 성능 향상을 위한 다중채널 기반 충돌방지 프로토콜

정희원 윤원주*, 정상화*, 준회원 박신준*

Multichannel Anticollision Protocol for Improving Tag Collection Performance in Active RFID Systems

Won-Ju Yoon*, Sang-Hwa Chung*^o *Regular Members*, Shin-Jun Park* *Associate Member*

요약

태그 수집은 RFID 시스템에서 가장 중요한 기능 중 하나이다. 본 논문에서는 능동형 RFID 시스템에서 태그 충돌 문제를 완화시키고 태그 수집 성능을 향상시키기 위한 다중채널 기반 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜을 제안한다. 제안하는 충돌방지 프로토콜에서 리더는 하나의 공통채널을 통해 태그들에게 명령어를 전송하는 반면, 복수 개의 채널을 통해 동시에 여러 태그 응답을 수신한다. 또한 본 논문에서는 제안하는 충돌방지 프로토콜을 지원하는 능동형 RFID 시스템을 구현하였다. 구현된 하나의 리더와 총 60개의 태그를 이용하여 수행된 실험에서 제안하는 듀얼채널 기반 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜은 단일채널 기반 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜에 비해 큰 태그 수집 성능 향상을 보여주었다. 60개의 태그가 사용되었을 때, 듀얼채널 기반 충돌방지 프로토콜을 이용한 평균 태그 수집 시간은 600.532ms였고, 이는 싱글채널 기반 충돌방지 프로토콜을 이용해서 얻어진 1289.721ms 시간의 46.5%에 해당하였다.

Key Words : Active RFID, Multichannel, Anticollision protocol, Tag collection, slotted aloha

ABSTRACT

Tag collection is one of the major functions in RFID systems. In this paper, we propose a multichannel slotted-aloha anticollision protocol to mitigate the tag collision problem and improve tag collection performance in active RFID systems. In the proposed anticollision protocol, while an RFID reader transmits commands to multiple RFID tags via a common channel, it receives multiple tag responses over multiple channels simultaneously. We also implemented an active RFID system supporting the proposed anticollision protocol. In experiments with the implemented reader and 60 tags, the proposed dual-channel slotted-aloha anticollision protocol showed a large improvement in tag collection performance compared with the single-channel slotted-aloha anticollision protocol. With 60 tags, the average time spent on tag collection using the dual-channel anticollision protocol was 600.543 ms, which was 46.5% of the 1289.721 ms required using the single-channel anticollision protocol.

※ 이 논문은 2008년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임 (지역거점연구단육성사업/차세대물류IT기술연구사업단)

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

논문번호 : KICS2008-08-367, 접수일자 : 2008년 8월 25일, 최종논문접수일자 : 2008년 12월 1일

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 배터리를 구비하여서 수동형 RFID 태그에 비해 인식 거리가 길고 금속 물체에 적용이 용이하며 태그에 센싱 기능 추가가 용이한 장점이 있으나, 태그 단가가 비싸며 주기적으로 배터리를 교체하거나 충전해야 되는 단점이 있다.

RFID 시스템에서 가장 중요한 이슈 중 하나는 태그 수집(tag collection)이라 불리는 다중 태그 인식이다. RFID 리더는 더욱 빠르게 다중 태그를 인식하기 위해서 다중 태그들이 동시에 자신의 응답을 전송할 때 발생할 수 있는 태그 충돌 문제를 해결해야 되는데, 이를 위해 충돌방지 프로토콜을 이용한다. RFID 시스템에서 주로 사용되는 충돌방지 프로토콜은 크게 트리(tree) 기반 프로토콜과 알로하(aloha) 기반 프로토콜의 2가지로 분류될 수 있다^[1]. 트리 기반 프로토콜에서는 리더의 질의(query)를 이용하여 태그들을 두 부분 집합으로 나누는데, 이러한 과정을 하나의 태그만이 남아서 충돌 없이 성공적으로 응답을 전송할 때까지 반복적으로(recursive) 수행한다. 이러한 트리 기반 프로토콜은 태그 수집의 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^[2]. 그러므로 트리 기반 프로토콜은 수동형 RFID 시스템에 보다 적절하며, 능동형 RFID 시스템에서는 주로 알로하 기반 프로토콜이 사용된다. 433MHz 주파수 대역에서의 능동형 에어 인터페이스(active air interface)를 정의하는 대표적인 능동형 RFID 시스템 관련 표준인 ISO/IEC 18000-7에서는 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜을 이용하는 태그 수집 알고리즘을 정의한다^[3].

태그 수집을 위해 단일 채널을 이용하는 일반적인 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜이 사용될 때, 두 개 이상의 태그가 동일한 시간 슬롯에 자신의 응답을 전송하면 태그 충돌이 발생한다. 태그 충돌이 발생하면 리더는 정상적으로 태그 응답을 인식할 수 없게 되고, 이는 태그 수집 성능을 떨어트리는 가장

큰 원인이 된다. 그러나 이러한 태그 충돌 문제는 리더가 다중채널을 이용하여 태그 응답을 수신함으로써 완화되고 태그 수집 성능이 향상될 수 있다. 다중채널 기반 슬롯 알로하 프로토콜에 대한 연구는 과거에 많이 이루어졌으나 이들 연구들은 다중 접속 프로토콜로써 다중채널 기반 슬롯 알로하를 사용하는 무선 시스템에서의 성능 향상을 다루고 있고^{[4][5][6]}, 다중채널 기반 슬롯 알로하를 RFID 시스템에 적용한 연구는 없다.

본 논문에서는 능동형 RFID 시스템에서 태그 충돌 문제를 완화시키고 태그 수집 성능을 향상시키기 위한 다중채널 기반 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜을 제안한다. 제안하는 충돌방지 프로토콜에서는 태그 수집을 위해 다중채널이 사용되며, 이들은 하나의 공통채널과 복수개의 보조채널로 구분된다. 리더는 공통채널을 이용하여 태그들에게 명령어를 전송하는 반면, 공통채널과 복수 개의 보조채널을 통해 동시에 여러 태그 응답을 수신한다. 본 논문에서는 제안하는 충돌방지 프로토콜의 성능을 실제 환경에서 평가하기 위해 듀얼채널 기반 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜을 지원하는 능동형 RFID 리더와 태그를 구현하였다. 하나의 리더와 총 60개의 태그를 이용하여 수행한 실험을 통해, 제안하는 듀얼채널 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜을 사용한 태그 수집 성능을 단일채널 슬롯 알로하 프로토콜을 사용한 것과 비교 평가하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 관련 연구를 소개하며, III장에서는 일반적인 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜을 설명하고, 제안하는 다중채널 기반 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜에 대해 설명한다. IV장에서는 제안하는 충돌방지 프로토콜을 지원하는 능동형 RFID 리더와 태그의 구현에 대해 설명하고, 이를 이용하여 수행된 태그 수집 실험을 통한 성능 분석 결과를 V장에서 제시한다. 마지막으로 VI장에서는 본 논문을 마무리 짓는다.

II. 관련 연구

13.56MHz 주파수 대역의 수동형 RFID 시스템을 위한 에어 인터페이스를 정의하는 국제표준인 ISO/IEC 18000-3에서는 서로 호환되지 않는 2가지 모드를 정의하는데, 이 중 모드 2에서는 최대 8개의 다중채널을 이용하는 충돌방지 프로토콜을 정의한다^[7]. 이 충돌방지 프로토콜은 확률(probabilistic) 기반 방식으로 동작하는데, 대표적인 확률 기반 프로토콜

인 알로하 기반 충돌방지 프로토콜과는 동작 방식에 차이가 있다.

ISO/IEC 18000-3 모드 2에서 정의하는 다중채널 기반 충돌방지 프로토콜의 동작은 다음과 같다. 리더는 단일채널로 태그들에게 명령어를 전송하고, 태그들은 최대 8개의 채널 중에 하나를 선택해서 자신의 응답을 전송한다. 이 때, 리더가 8개의 다중채널을 이용해서 동시에 태그 응답을 수신하는 상황을 확률 계산을 통해 분석하면, 평균 수신 가능한 태그의 최대 개수는 2개에서 3개 사이가 된다. 이러한 분석을 기반으로 리더는 수신되는 태그 개수를 2개에서 3개 사이로 유지하려 하는데, 이를 위해 태그에게 전송하는 명령어에 뮤트 비율(mute ratio)이라는 인자를 포함시켜 보냄으로써 태그들이 자신의 응답을 전송할 확률을 조정한다. 리더로부터 명령어를 받은 태그는 명령어에 포함된 뮤트 비율 값을 이용해서 확률적으로 자신이 이번 리더 명령어에 대해 응답을 전송할 것인지 전송하지 않을 것인지를 결정한다. 리더는 태그의 개수가 적다고 판단될 때에는 낮은 확률의 뮤트 비율 값을 전송하여 태그들이 응답할 확률을 높이고, 태그의 개수가 많다고 판단될 때에는 높은 확률의 뮤트 비율 값을 전송하여 태그들이 응답할 확률을 낮춤으로써, 수신되는 평균 태그 개수가 2개에서 3개 사이가 될 수 있도록 조절한다.

앞서 설명한 다중채널 기반 충돌방지 프로토콜에서는 리더가 보낸 하나의 명령어에 대해 태그가 즉시 응답을 전송하거나 아예 응답을 전송하지 않으며, 이러한 과정을 반복 수행하여 모든 태그를 수집한다. 그러나 이러한 동작 방식은 트리 기반 충돌방지 프로토콜과 마찬가지로 태그 수집 과정에서 리더와 태그 간에 많은 리더 명령어와 태그 응답들을 사용하게 되고, 이는 리더와 태그에게 많은 전원 소

모를 발생시킨다. 그러므로 이러한 다중채널 기반 충돌방지 프로토콜은 태그가 리더로부터의 전파를 이용하여 전원을 생성하는 수동형 RFID 시스템에는 적합하지만, 태그가 배터리를 기반으로 동작하는 능동형 RFID 시스템에서는 전원 소모 문제로 인해 적용하는 것이 어렵다. 또한, 능동형 RFID 시스템에 적합한 다중채널 기반 충돌방지 프로토콜에 대한 관련 연구는 알려진 것이 없다.

III. 다중채널 기반 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜

3.1 능동형 RFID 시스템에서의 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜

대표적인 능동형 RFID 시스템 관련 표준인 ISO/IEC 18000-7에서는 태그 충돌 문제를 해결하기 위해 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜을 이용하는 태그 수집 알고리즘을 정의한다. 그림 1은 ISO/IEC 18000-7에서 정의하는 태그 수집 알고리즘의 동작 과정 및 타이밍을 보여준다. 능동형 RFID 시스템에서는 리더가 태그 수집 과정을 수행하기 전에 전원 소모를 줄이기 위해 슬립 모드에 있는 태그들을 리더로부터의 명령어를 받을 수 있도록 준비(ready) 모드로 전환시키는 wake-up 과정이 필요하다. 그 후, 리더는 여러 번의 수집 라운드(Collection Round)를 통해 통신 범위 내의 모든 태그들로부터 태그-ID 및 데이터를 수집한다.

각 수집 라운드는 리더가 태그들에게 태그 수집 명령어를 보냄으로써 시작된다. 리더가 보내는 태그 수집 명령어에는 윈도우 크기(Window Size) 인자가 포함되어 있는데, 이는 리더가 다중 태그들로부터 응답을 수신하기 위해 기다리는 전체 시간을 지정한다. 태그 수집 명령어를 수신한 태그는 윈도우 크기 값을 이용해서 하나의 시간 슬롯 크기 및 현재

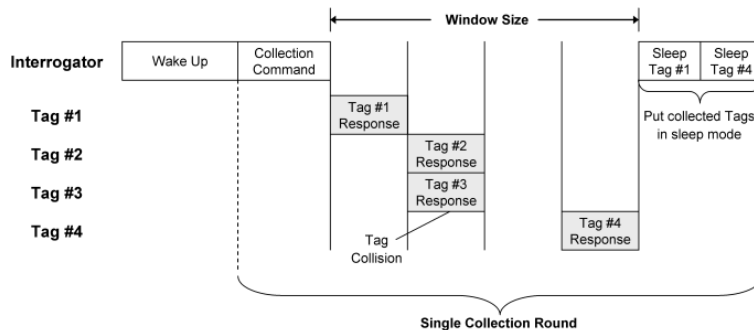


그림 1. ISO/IEC 18000-7의 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜을 이용한 태그 수집

라운드에서의 시간 슬롯 개수를 계산해내고, 의사 난수(Pseudo-Random Number)의 생성을 통해 임의로 하나의 시간 슬롯을 선택하여 자신의 응답을 전송한다. 이 때, 두 개 이상의 태그가 같은 시간 슬롯을 선택하여 응답을 전송하면 태그 충돌이 발생하게 된다. 윈도우 시간이 완료되면, 리더는 현재 수집 라운드에서 수집된 태그들에게 슬립 명령어를 전송하고 수집 라운드를 종료한다. 슬립 명령어를 받은 태그들은 전원 소모를 줄이기 위해 다시 슬립 모드로 전환하고 연속되는 수집 라운드에 더 이상 참여하지 않는다. 하나의 수집 라운드가 종료되면 리더는 즉시 새로운 태그 수집 명령어를 전송함으로써 다음 수집 라운드를 시작한다. 이러한 태그 수집 과정은 연속되는 세 번의 수집 라운드 동안 더 이상의 태그가 발견되지 않을 때까지 반복된다.

3.2 제안하는 다중채널 기반 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜

그림 1의 두 번째 시간 슬롯에서 보는 바와 같이 두 개 이상의 태그가 같은 슬롯을 선택하여 동시에 응답을 전송하면 태그 충돌이 발생하게 된다. 이는 리더와 태그 간의 통신을 위해 단일채널이 사용되기 때문이다. 충돌이 발생한 태그들은 연속되는 수집 라운드에 참여하여 다시 자신의 응답을 전송하며, 이러한 태그 충돌들은 태그 수집 성능을 저하시킨다.

능동형 RFID 시스템에서 이러한 태그 충돌 문제를 완화시키고 태그 수집 성능을 향상시키기 위해서 본 논문에서는 다중채널 기반 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜을 제안한다. 다중채널 기반 충돌방지 프로토콜과 관련해서는 두 가지 중요한 고려사항이 존재한다. 첫째는 리더가 어떻게 다중채널을 사용해서 모든 태그들에게 명령어를 전송할 것인가 하는 문제이고, 둘째는 태그가 다중채널 중에서 어떤 채널을 통해 응답을 전송할 것인가 하는 문제이다. 이러한 두 가지 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 하나의 공통채널과 복수 개의 보조채널을 사용하는 것을 제시한다.

리더는 공통채널을 통해 태그 수집 명령어를 태그들에게 전송하는데, 이 태그 수집 명령어에는 윈도우 크기 정보 외에도 이번 태그 수집에 채널이 몇 개 사용될 것인지에 대한 정보를 포함하고 있다. 공통채널을 통해 태그 수집 명령어를 수신한 태그는 그림 2의 알고리즘에 따라 동작한다. 태그는 먼저 태그 수집 명령어에 포함된 윈도우 크기 값을

```

Calculate the time slot size and the number of
time slots
Randomly select a channel and a time slot
If (selected channel = common channel) then
    Send the response in the selected time slot
Else
    Switch from the common channel to the
    selected channel
    Send the response in the selected time slot
    Switch back to the common channel
End If
Wait to receive a sleep command or another
collection command
    
```

그림 2. 공통채널을 통해 명령어를 수신한 태그의 동작 알고리즘

이용해서 하나의 시간 슬롯 크기와 현재 수집 라운드에서의 시간 슬롯 개수를 계산한다. 그 이후, 기존의 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜과 마찬가지로 의사 난수(Pseudo-Random Number)를 생성하여 자신이 응답할 시간 슬롯을 임의로 선택하고, 응답할 채널 또한 태그 수집 명령어에 포함된 다중채널 개수 정보와 의사 난수를 이용하여 임의로 선택한다. 만약 선택된 채널이 명령어를 수신한 공통채널이라면 채널 전환 없이 자신이 선택한 시간 슬롯에 응답을 전송한다. 그렇지 않고 선택된 채널이 공통 채널과 다르다면, 태그는 선택된 보조채널로 전환을 하고 선택한 시간 슬롯을 기다려 리더에게 응답을 전송한 이후, 다시 공통채널로 전환하여 리더로부터 명령어를 기다린다. 태그로부터의 응답이 충돌 없이 리더에게 성공적으로 수신된다면 태그는 리더로부터 슬립 명령어를 받아서 슬립 모드로 전환하게 되고, 만약 태그 충돌이 발생하였다면 태그는 리더로부터 새로운 태그 수집 명령어를 받아서 그림 2의 알고리즘에 따라 같은 동작을 반복한다. 리더는 윈도우 시간 동안 다중 태그들로부터 전송되는 여러 태그 응답들을 공통채널과 보조채널들을 통해 동시에 수신하고, 윈도우 시간이 경과한 이후에 수집된 태그들을 대상으로 공통채널을 통해 슬립 명령어를 전송함으로써 하나의 수집 라운드를 종료한다.

그림 3은 제안하는 다중채널 기반 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜을 이용한 태그 수집 과정의 예를 보여준다. 예에서는 하나의 공통채널(CH1)과 하나의 보조채널(CH2)이 사용되었다. 리더로부터의

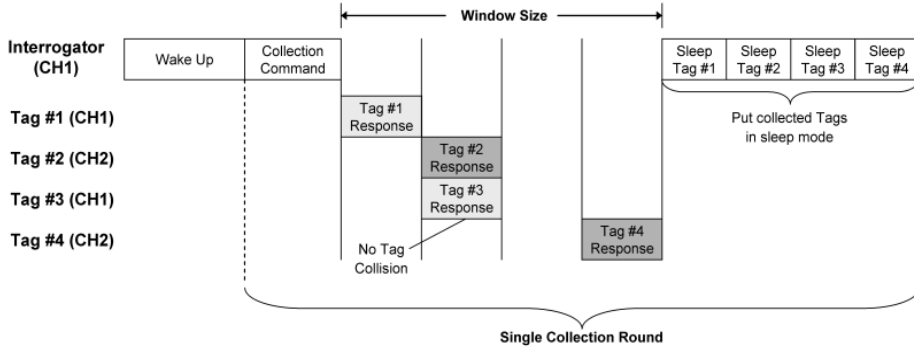


그림 3. 제안하는 다중채널 기반 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜을 이용한 태그 수집

태그 수집 명령어가 CH1을 통해 전송된 이후에, 태그 1과 태그 3은 CH1을 태그 2와 태그 4는 CH2를 선택하여 응답을 전송하였다. 이 때, 태그 2와 태그 3은 같은 시간 슬롯을 선택하였지만 서로 다른 채널을 선택하였기 때문에 그림 1에서의 경우와 달리 태그 충돌이 발생하지 않았으며, 리더는 모든 태그들로부터 응답을 성공적으로 수신하였다.

본 논문에서 제안하는 다중채널 기반 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜에서는 태그 응답 수신을 위해 총 N개의 채널이 사용될 때, 단일채널을 이용하는 일반적인 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜에서 사용되는 시간 슬롯 개수의 N배만큼 많은 시간 슬롯이 사용될 수 있다. 그러므로 이는 태그 충돌이 발생할 확률을 줄여주게 되고, 결론적으로 태그 수집 성능을 크게 향상시킬 수 있게 된다.

IV. 능동형 RFID 리더와 태그의 구현

본 논문에서는 제안하는 다중채널 기반 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜의 성능을 시뮬레이션인 아닌 실제 환경에서 평가해보기 위해서 능동형 RFID 리더와 태그들을 구현하였다. 리더는 동시에 두 채널을 통해 태그 응답을 수신할 수 있도록 하기 위해 두 개의 RF 트랜시버를 장착하여서 듀얼채널(dual-channel) 기반 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜을 지원할 수 있도록 설계하고 구현하였다. 리더와 달리 태그는 하나의 RF 트랜시버만으로도 채널 스위칭을 통해 제안하는 다중채널 기반 충돌방지 프로토콜을 지원할 수 있기 때문에 하나의 RF 트랜시버만을 장착함으로써 전원 소비를 최소화하도록 구현하였다.

리더와 태그 간의 RF 통신을 위한 RF 트랜시버로는 Texas Instrument CC2500을 채택하였다. CC2500은 많은 하드웨어 지원을 제공하는 2.4GHz RF 트랜시버로 빠른 채널 전환 시간을 제공하기 때문에 다중채널 시스템의 구현에 적합하다⁸⁾. 또한, 2.4GHz 주파수 대역은 비허가(licensed) 주파수 대역이고 넓은 주파수 범위를 가지기 때문에 복수개의 채널을 사용하는 것이 용이하다. 이러한 이유로 본 논문에서는 CC2500 RF 트랜시버를 이용하여 능동형 RFID 리더와 태그를 구현하였다.

리더는 Ateml AT91SAM7X256 마이크로컨트롤러와 두 개의 CC2500 RF 트랜시버를 장착하고, UART 시리얼 통신과 이더넷 통신을 지원하도록 개발하였다. AT91SAM7X256은 32비트 ARM7TDMI RISC 프로세서 코어를 기반으로 하고, 256Kbyte의 고속 플래쉬 메모리와 64Kbyte의 SRAM을 내장한 마이크로컨트롤러이다. 리더는 듀얼채널을 지원하기 위해 두 개의 CC2500 RF 트랜시버를 장착함으로써 하나의 RF 트랜시버만을 장착한 리더에 비해 비용 증가가 발생하지만, CC2500 RF 트랜시버의 단가가 수천원대로 매우 낮고 상용 RFID 리더가 수백만원대의 높은 가격임을 감안해 볼 때, 그 비용 증가는 무시될 수 있는 수준이다. 태그는 저전력 8비트 마이크로컨트롤러인 Atmel ATmega128L과 하나의 CC2500 RF 트랜시버를 장착하고, 2개의 1.5V AA 배터리로부터 전원을 공급받으며, 태그의 동작을 모니터링 하기 위한 UART 시리얼 통신을 지원하도록 개발하였다.

태그 수집을 위한 명령어와 응답 패킷 포맷은 ISO/IEC 18000-7 표준을 참조하였고, 다중채널을 지원하기 위해 그림 4와 같이 패킷 옵션 필드의 사용되지 않는(reserved) 3비트를 이용하여 Number

Bit							
7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	1	0 = Broadcast 1 = Point to Point	Reserved

Number of Channels

그림 4. Number of Channels 파라미터를 추가한 패킷 옵션 필드

of Channels 파라미터를 새롭게 정의하였다. Number of Channels 파라미터는 태그 수집 과정 동안 몇 개의 채널이 사용될 것인가를 나타내는 파라미터로써, 본 논문에서 구현한 능동형 RFID 시스템에서 듀얼채널 기반 충돌방지 프로토콜이 사용될 때 2 값으로 설정되며, 일반적인 단일채널을 사용할 시에는 0 혹은 1 값으로 설정된다. 태그 수집 명령어를 받은 태그는 Number of Channels 파라미터 값과 미리 정의된 주파수 대역 정보를 이용하여 응답을 전송하기 위한 채널을 임의로 선택하여 전환한다. 표준 패킷 포맷의 사용되지 않는 비트들을 이용하여 다중채널을 지원하도록 구현함으로써 다중채널 지원을 위해 태그 수집 명령어에 새로운 데이터 바이트를 추가할 필요가 없으며, 다중채널 기반 충돌방지 프로토콜을 지원하는 리더, 태그와 지원하지 않는 리더, 태그가 서로 혼용되어 사용될 수 있는 장점을 가진다.

V. 실험 및 성능 평가

본 논문의 실험에서는 하나의 능동형 RFID 리더와 총 60개의 능동형 RFID 태그를 사용하였다. 태그 응답을 위한 시간 슬롯 크기는 4ms, 윈도우 크기는 60ms로 설정하였고, 이에 따라 하나의 수집 라운드는 15개의 시간 슬롯으로 구성되었다. 제안하는 듀얼채널 기반 슬롯 할로와 일반적인 단일채널 기반 슬롯 할로 충돌방지 프로토콜의 성능을 비교 평가하기 위해 태그 개수를 10개 단위로 변화시키면서 각 경우마다 100번의 태그 수집을 반복 수행하였다.

5.1 단일채널 vs. 듀얼채널 기반 충돌방지 프로토콜의 태그 수집 성능 비교

그림 5와 6은 태그 수집을 위해 소요된 평균 시간과 평균 태그 수집 라운드를 보여준다. 실험결과에서 보는 바와 같이 듀얼채널 기반 충돌방지 프로토콜이 단일채널 기반 충돌방지 프로토콜에 비해 더 좋은 성능을 보이고 있다. 태그 개수가 적을 때는 성능 향상의 정도 역시 적는데, 이는 태그 개수

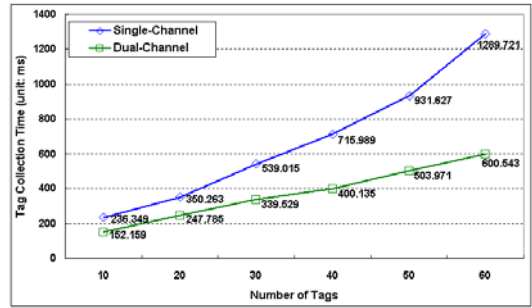


그림 5. 평균 태그 수집 시간

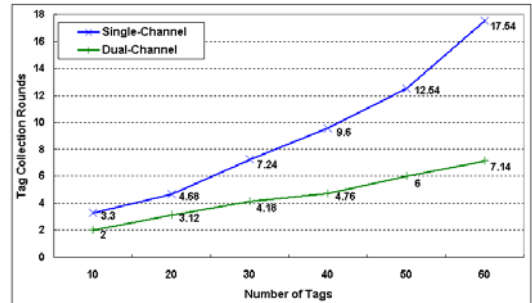


그림 6. 평균 태그 수집 라운드

에 비해 상대적으로 시간 슬롯의 개수가 많아서 태그에게 선택되지 않은 빈 시간 슬롯의 개수가 많기 때문이다. 태그 개수가 증가하면 정해진 시간 슬롯 개수 내에서 태그 충돌이 발생할 확률이 높아진다. 그러므로 태그 개수가 많을 때에는 듀얼채널 기반 충돌방지 프로토콜이 더욱 큰 성능 향상을 보여준다. 총 60개의 태그를 사용했을 때, 듀얼채널 기반 충돌방지 프로토콜을 이용한 평균 태그 수집 시간은 600.543ms이고 이는 단일채널 기반 충돌방지 프로토콜을 이용해서 얻어진 1289.721ms 시간의 46.5%에 해당한다. 실험에서는 두 개의 채널만을 사용했음에도 최대 두 배 이상의 성능 향상을 보였는데, 이는 단일채널 기반 충돌방지 프로토콜이 사용되고 태그 개수가 많을 때 수집 라운드의 시간 슬롯 개수가 태그 개수에 비해 너무 작아서 많은 태그 충돌이 발생하였기 때문이다.

본 논문에서는 실험에 사용 가능한 태그 개수가 제한되어 있었기 때문에 최대 60개의 태그를 이용하여 실험을 수행하였다. 그러나 그림 5와 6의 실험 결과들로 예측해볼 때, 태그 개수가 60개 이상이 된다 하더라도 듀얼채널 기반 충돌방지 프로토콜을 이용한 태그 수집은 단일채널 기반 충돌방지 프로토콜을 이용한 것에 비해 항상 높은 성능 향상을

보일 것이다. 또한, 본 논문에서 구현한 리더는 동시에 두 개의 채널을 통해서만 태그 응답을 수신할 수 있지만, 리더가 더 많은 채널을 통해 태그 응답을 동시에 수신할 수 있다면 태그 수집 성능은 더욱 크게 향상될 것이다.

5.2 시스템 효율성

그림 7은 태그 수집 실험에서의 시스템 효율성 (System Efficiency) 값의 변화를 보여준다. 시스템 효율성 값은 아래 식 (1)을 통해 계산된다⁹⁾.

$$\text{시스템 효율성} = \frac{\text{태그 응답을 성공적으로 수신한 시간 슬롯 개수}}{\text{태그 수집 과정에서 소요된 전체 시간 슬롯 개수}} \quad (1)$$

그림 7에서 보는 바와 같이 단일채널 기반 충돌방지 프로토콜의 경우에는 태그 개수가 20개까지일 때는 시스템 효율성이 증가하다가 그 이후에는 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 태그 개수가 증가함에 따라 많은 태그 충돌이 발생하여서 성공적으로 태그 응답을 수신하는 시간 슬롯의 수가 줄어들기 때문이다. 이와 달리 듀얼채널 기반 충돌방지 프로토콜이 이용될 때는 시간 슬롯의 개수가 단일채널 기반 충돌방지 프로토콜에 비해서 2배 많기 때문에 초기에는 태그에게 선택되지 않는 빈 시간 슬롯의 개수가 많아서 시스템 효율성이 낮지만, 태그 개수가 40개가 될 때까지 시스템 효율성이 지속적으로 증가하고, 그 이후 포화되는 형태의 결과가 나타난다. 하지만 단일채널 기반 충돌방지 프로토콜의 실험 결과에서 미루어 볼 때, 듀얼채널 기반 충돌방지 프로토콜 역시 태그 개수가 계속해서 증가한다면 많은 태그 충돌의 발생으로 인해 시간 효율성이 떨어지는 양상을 보이게 될 것이다.

이렇게 시스템 효율성 값이 초반에는 증가하다가 최댓값 부근을 기점으로 감소하는 양상을 보이는 것은 본 논문에서 고정된 윈도우 크기를 이용하는 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜을 이용하였기 때문이다. 또한, 단일채널과 듀얼채널 기반 충돌방지 프로토콜의 그래프 모양이 차이를 보이는 것은 태그 수집 시에 듀얼채널 기반 충돌방지 프로토콜이 단일채널에 비해 2배 많은 시간 슬롯을 활용할 수 있기 때문이다.

슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜을 이용한 태그 수집은 태그 충돌 횟수 정보를 기반으로 수집될 태그 개수를 추정하고 시스템 효율성 값이 최대가 되도록 적절히 윈도우 크기를 동적으로 조절할 때 최

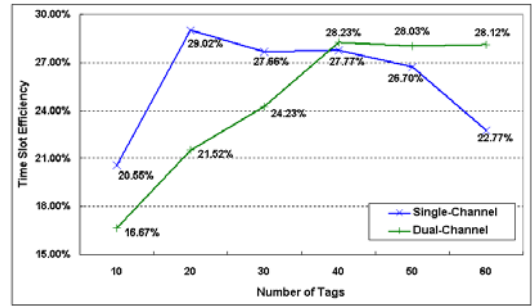


그림 7. 시간 슬롯 효율성

대의 성능을 보인다⁹⁾. 본 논문의 실험에서는 고정된 윈도우 크기를 이용하였지만, 향후 연구를 통해 수집될 태그 개수를 추정하고 동적 윈도우 크기를 사용하여 태그 수집 성능을 최대화하기 위한 연구 개발이 필요할 것이다.

VI. 결 론

본 논문에서는 능동형 RFID 시스템에서 다중 태그들을 대상으로 하는 태그 수집 시에 발생하는 태그 충돌 문제를 완화시키고 태그 수집 성능을 향상시키기 위해 다중채널 기반 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜을 제안하였다. 또한, 제안하는 듀얼채널 기반 슬롯 알로하 충돌방지 프로토콜을 지원하는 능동형 RFID 리더와 태그를 구현하였다. 하나의 리더와 총 60개의 태그를 이용한 실험에서 듀얼채널 기반 충돌방지 프로토콜은 단일채널 기반 충돌방지 프로토콜에 비해 큰 태그 수집 성능 향상을 보여주었다. 60개의 태그가 사용되었을 때, 듀얼채널 기반 충돌방지 프로토콜을 이용한 평균 태그 수집 시간은 600.543ms였고, 이는 단일채널 기반 충돌방지 프로토콜을 이용해서 얻어진 1289.721ms 시간의 46.5%에 해당하였다.

본 논문의 실험에서는 태그 수집을 위해 고정된 윈도우 크기가 사용되었다. 그러나 고정된 윈도우 크기가 사용되면, 태그 개수가 증가할수록 더욱 많은 태그 충돌이 발생하게 되어 태그 수집 성능이 크게 감소하게 된다. 그러므로 태그 수집 과정에서 수집되는 태그 개수와 태그 충돌 횟수 정보를 바탕으로 태그 개수를 추정하고 그에 따라 최적의 윈도우 크기를 동적으로 조절하는 것이 필요하다. 본 연구진은 이를 위한 향후 연구로써 RF 트랜시버로부터 얻어진 신호를 분석하여 태그 충돌을 감지하고, 그러한 정보를 기반으로 태그 개수를 추정하고 최

적의 윈도우 크기를 동적으로 조절하기 위한 알고리즘을 개발하고자 한다.

Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, pp.166 - 172, Jul. 2005.

참 고 문 헌

[1] 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, 18(6), pp.763-775, Jun. 2007.

[2] V. Namboodiri, L. Gao, "Energy-Aware Tag Anti-Collision Protocols for RFID Systems", in 5th IEEE Conference on Pervasive Computing and Communications, 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", 2008.

[4] D. Shen, V. O.K. Li, "Performance Analysis for A Stabilized Multi-channel Slotted ALOHA Algorithm", in 14th IEEE Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, pp.249-253, Sep. 2003.

[5] Y. Birk, Y. Revah, "Increasing deadline-constrained throughput in multi-channel ALOHA networks via non-stationary multiple-power-level transmission policies", Wireless Networks, 11(4), pp.1719-1726, Jul. 2005.

[6] H. Shekhar, M. A. Ingram, "On the Use of LMMSE Receiver for Single and Multiple Packet Reception in Stabilized Multi-channel Slotted Aloha", in IEEE Radio and Wireless Symposium, pp.215-218, Jan. 2008.

[7] ISO/IEC 18000-3, "Information technology - Radio frequency identification for item management-Part 3: Parameters for air interface communications at 13.56 MHz", 2004.

[8] Texas Instruments, CC2500 Datasheet, Sep. 2007. <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/cc2500.html>

[9] Su-Ryun Lee, Sung-Don Joo, Chae-Woo Lee, "An Enhanced Dynamic Framed Slotted ALOHA Algorithm for RFID Tag Identification", in 2nd Annual International

윤 원 주 (Won-Ju Yoon)

정회원



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

정 상 화 (Sang-Hwa Chung)

정회원



1985년 2월 서울대학교 전기공학과 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, 컴퓨터및정보통신연구소 연구원
 2002년~2003년 Oregon State Univ. 컴퓨터공학과 초빙교수
 <관심분야> 클러스터 시스템, TOE, RDMA, RFID, 무선랜 메쉬 네트워크

박 신 준 (Shin-Jun Park)

준회원



2007년 2월 동의대학교 컴퓨터 공학과 학사
 2007년 3월~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 석사과정
 <관심분야> 능동형 RFID 시스템, 무선랜 메쉬 네트워크