

RFID 시스템을 위한 계층적 구조 기반의 리더 충돌 방지 알고리즘

정회원 오정석**, 황준호*, 준회원 강유철*, 이정희*, 종신회원 유명식*

A Reader Anti-Collision Algorithm based on Hierarchical Structure for RFID Systems

Jung-suk Oh**, Junho Hwang* *Regular Members*,
Yuchol Kang*, Junghee Lee* *Associate Members*, Myungsik Yoo*^o *Lifelong Member*

요약

RFID (Radio Frequency Identification) 시스템에서는 다수의 리더들이 동시에 동일한 태그의 인식을 시도하는 경우 리더 충돌이 발생하게 된다. 이러한 리더 충돌은 RFID 시스템의 태그 인식 효율성 및 인식 속도를 저하시키는 주요 요인으로 작용하기 때문에 이를 방지할 수 있는 효과적인 리더 충돌 방지 알고리즘이 요구된다. 이에 본 논문에서는 리더 충돌을 방지하기 위해 관리 리더와 보조 리더로 구성된 계층적인 구조를 형성하고, 관리 리더가 보조 리더를 관리하여 리더 충돌을 방지하는 계층적 구조 기반의 리더 충돌 방지 알고리즘을 제안한다. 또한, 제안 알고리즘의 성능 평가를 위해 모의실험을 수행하였고, 리더 충돌 확률 및 태그 인식 시간 등에 대한 성능 분석을 수행하였다.

Key Words : RFID system, Reader collision, Anti-reader collision algorithm, Hierarchical structure

ABSTRACT

In RFID system, reader collision happened when multiple readers try to read the tags at the same time. Because reader collision reduces tag recognition performance, it is required for RFID system to have reader anti-collision algorithm. In this paper, we propose reader anti-collision algorithm based on hierarchical structure, where a master reader controls the slave readers to avoid the reader collisions. It is verified through simulations that the proposed algorithm enhances the performance in terms of reader collision probability and tag reading time.

I. 서론

RFID 시스템은 태그 인식을 수행하는 리더(Reader)와 사물에 부착되어 해당 사물의 정보를 담고 있는 태그(Tag)로 구성된 무선 통신 시스템을 말한다. 이러한 RFID 시스템은 기존 바코드(Barcode)와 같은 비접촉식 자동 인식 시스템의 뒤를 이을 차세대 자동 인식 시스템으로써 의료, 물

류, 유통 등의 다양한 환경에서 사용되고 있다. 이와 더불어 향후 도래할 유비쿼터스 컴퓨팅 환경 구축을 위한 핵심 기술로도 많은 관심을 받고 있다^{[1][2]}. 이와 같은 RFID 시스템에서는 무선 상황에서 리더가 태그의 정보를 인식하기 때문에 태그의 인식률과 인식 속도가 RFID 시스템의 성능을 결정하는 가장 중요한 요소로 작용한다. 하지만 다수의 리더와 태그가 존재하는 환경에서 시스템 구성 요소

※ 본 논문은 “서울시 산학연 협력사업(과제번호: 10544)” 지원에 의해 이루어진 것임

* 송실대학교 정보통신전자공학부 (myoo@ssu.ac.kr)(^o: 교신저자), ** 대우정보시스템 SD본부 TX팀

논문번호: KICS2008-07-320, 접수일자: 2008년 7월 17일, 최종논문접수일자: 2008년 9월 26일

간 충돌로 인하여 태그 인식률 및 태그 인식 속도가 저하되는 문제점이 발생한다.

일반적으로 RFID 시스템에서 발생하는 충돌은 크게 태그 충돌 (Tag collision)과 리더 충돌 (Reader collision)로 구분된다. 태그 충돌은 다수의 태그가 특정 리더의 정보 요청에 따라 동일한 시간에 응답을 함으로써 리더가 해당 태그들의 정보를 인식할 수 없는 상황을 말한다. 이러한 태그 충돌은 해당 리더가 태그 정보를 인식하지 못하였기 때문에 다시 태그 정보를 재요청하게 되고, 이로 인해 태그 인식 시간의 증가는 물론 태그 인식률의 저하가 야기되는 문제점을 가지고 있다. 이러한 태그 충돌 문제를 해결하기 위해 이진 탐색 알고리즘 (Binary search algorithm)^[3], 슬롯 알로하 알고리즘 (Slotted aloha algorithm)^[4] 등이 제안되었다.

리더 충돌은 다수의 리더가 태그를 인식하는 과정에서 각 리더의 인식 영역이 중첩되어 서로 간섭을 일으켜 발생한다. 이러한 리더 충돌은 크게 물리적으로 인접한 리더들이 동시에 동일한 주파수를 사용하여 발생하는 주파수 간섭과 서로 이웃한 리더들이 동시에 동일한 태그를 인식하려할 때 발생하는 태그 간섭으로 구분된다.

먼저, 주파수 간섭 문제의 경우 리더들이 서로 다른 주파수를 사용함으로써 리더 충돌 문제를 해결할 수 있다. 그러나 동시에 동일한 태그를 인식할 때 발생하는 태그 간섭 문제는 여전히 존재하게 된다. 이와 달리 태그 간섭의 경우 다수의 리더가 임의의 시간 (Random backoff time)을 보낸 후 재인식을 시도하는 방법과 TDM 방식에 따라 태그를 인식함으로써 리더 충돌 문제를 완화시킬 수 있다. 하지만 임의의 시간 후에도 여전히 리더 충돌 확률은 존재하며, 충돌이 계속적으로 발생할 경우 태그 인식 시간의 증가가 불가피하게 된다. 또한 TDM 방식을 적용할 경우 서로 다른 태그 인식 시간을 할당하기 위해서는 리더 간 시간 동기화가 반드시 필요하며, 제한된 인식 시간을 다수의 리더가 공유하여 사용하기 때문에 효율성이 떨어진다는 문제점을 안고 있다.

이에 본 논문에서는 다수의 리더와 다수의 태그가 존재하는 상황에서 RFID 시스템의 성능 향상을 위한 효과적인 리더 충돌 방지 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 리더 충돌 방지 알고리즘은 관리 리더 선출 과정, 보조 그룹 구성 과정, 태그 인식 과정으로 구성되며, 이를 통해 관리 리더와 보조 리더 간의 계층적인 구조를 형성한다. 또한 태

그 인식 정보를 공유함으로써 효과적인 태그 인식이 가능하여 태그 인식률의 증대와 태그 인식 시간의 감소 효과를 얻을 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서는 RFID 표준단체와 기존의 논문에서 제안된 리더 충돌 방지 알고리즘을 살펴보고, III장에서는 본 논문에서 제안하는 리더 충돌 방지 알고리즘의 동작 절차와 특징을 설명한다. 이어 IV장에서는 모의실험 결과를 분석하고, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1 RFID 표준에서의 리더 충돌 방지 알고리즘

RFID 시스템에 대한 표준화를 진행하고 있는 ISO/IEC 18000-6^[5]과 EPC Global의 EPC Class 1 Generation2^[6]에서는 리더들이 하나의 주파수 대역 내 여러 개의 세부 주파수를 설정하고, 이를 상황에 따라 동적으로 변경하면서 태그를 인식하는 FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) 방식을 기반으로 한 리더 충돌 방지 알고리즘을 발표하였다. 이와 더불어 유럽의 ETSI (European Telecommunications Standards Institute)에서는 각 리더가 채널의 사용여부를 감지하여, 채널이 비어 있는 경우 태그 인식을 시도하고, 사용 중일 경우 다른 채널로 변경하는 LBT (Listen Before Talk) 알고리즘^[7]을 제안하였다. 하지만 표준에서 제시한 두 가지 리더 충돌 방지 알고리즘은 리더간의 주파수 간섭에 의한 충돌 문제는 방지할 수 있으나, 태그 간섭에 의한 리더 충돌 문제는 여전히 남아있다.

이와 같이 RFID 표준 단체에서 제시한 리더 충돌 방지 방법 이외에 클러스터의 반경을 조절하여 클러스터 간에 겹치는 면적을 최소화함으로써 RFID 리더 신호 간의 충돌 확률을 감소시켜 리더 충돌을 방지하는 방법인 LLCR (Low-energy localized clustering for RFID networks) 알고리즘^[8], 리더와 태그가 통신을 위해 사용하는 데이터 채널 이외에 별도로 리더 간에 통신이 가능한 제어 채널을 사용하여 RFID 네트워크에서 발생하는 숨은 단말 (Hidden terminal) 문제를 해결하기 위한 방법을 제시한 펄스 (Pulse) 프로토콜^[9], TDM 방식을 기반으로 프레임 내에서 임의의 슬롯 선택을 통해 서로 다른 태그 인식 시간을 결정하여 리더 충돌을 방지하는 방법인 DCS (Distributed color selection)^[10]와 Colorwave 방식^[11]이 제안되었다. 이와 같은 리더 충돌 방지 알고리즘 중에서 본 논문에서는 제안 알

고리증과 유사하게 시간적 분배를 통해 순차적인 태그 인식을 수행하는 DCS와 Colorwave 알고리즘을 비교 대상으로 선정하였다.

2.2 DCS 알고리즘

DCS 알고리즘은 여러 개의 슬롯 (Slot)으로 구성된 프레임 (Frame) 내에서 하나의 슬롯을 선택하여 태그를 인식함으로써 리더 충돌을 방지하는 기법이다. DCS를 사용하는 리더들은 충돌이 발생하지 않는 경우는 자신이 사용하던 슬롯의 위치를 다음 프레임에서도 유지하고, 충돌이 발생한 경우에는 자신이 사용하던 슬롯의 위치를 변경하여 충돌이 발생할 수 있는 가능성을 줄인다.

DCS 알고리즘을 보다 자세히 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 충돌이 발생하지 않은 리더는 다음 프레임에서도 자신의 슬롯의 위치를 유지하고, 충돌을 경험한 리더는 다음 프레임에서 미리 슬롯을 예약하게 된다. 이때 충돌을 경험한 리더에게 우선권을 부여하여 충돌이 발생한 리더는 다음 프레임에서 사용할 슬롯을 미리 예약하고, 예약정보를 주변리더에게 브로드캐스트 방식으로 전송한다. 해당 예약 정보를 수신한 주변 리더들은 자신의 값과 예약 정보에 저장된 슬롯 정보를 비교하여 동일한 경우에는 자신의 슬롯을 변경하여 충돌을 방지하고, 자신의 값과 다른 경우에는 변경하지 않게 한다. 이로써 충돌을 경험한 리더는 다음 프레임에서 슬롯을 확보할 수 있으므로, 안전하게 태그를 읽을 수 있게 된다. 그림 1은 이러한 DCS 알고리즘의 동작 예를 나타내고 있다.

먼저, 각 리더는 태그 인식을 위한 슬롯 동기가 맞춰진 상태에서 자신이 사용할 슬롯을 선택한다. 그림에서 보는 바와 같이 프레임 크기가 4개의 슬롯으로 구성된 상태에서, 리더 1(R1)은 슬롯 3, 리더 2(R2)는 슬롯 2 그리고 리더 3(R3)은 슬롯 3을 선택하였다. 이에 따라 리더 2는 다른 리더들과 다

른 슬롯을 선택하였기 때문에 충돌이 발생하지 않고 정상적인 태그 인식이 가능하다. 그러나 리더 1과 3은 동일한 슬롯 3을 선택하였기 때문에 태그 인식 시 충돌이 발생한다. 따라서 리더 1과 3은 슬롯 3을 제외한 다른 슬롯을 다음 프레임에 선택하고 이를 주변 리더에게 전송하며, 리더 2는 태그 인식을 정상적으로 수행한 슬롯을 다음 프레임에 예약한다. 이때 그림 (a)는 충돌이 발생한 리더 1과 3이 다음 프레임에 리더 2의 슬롯과 다른 슬롯을 선택하였기 때문에 모든 리더는 정상적인 태그 인식이 가능한 알고리즘 동작의 예를 보여주고 있으며, 이와 달리 그림 (b)에서는 첫 번째 프레임에서 충돌이 발생한 리더 3이 리더 2의 슬롯과 동일한 슬롯을 선택하였기 때문에 리더 2가 리더 3과의 재 충돌을 피하기 위해 해당 슬롯을 충돌 리더인 리더 3에게 양보하고, 다른 슬롯으로 변경하는 알고리즘의 동작 예를 보여주고 있다.

이러한 DCS 알고리즘은 프레임의 크기가 고정되어 있어 구현이 매우 간단하다는 장점을 가지고 있으나 리더수의 증감에 따라 슬롯 사용의 효율성 문제가 발생한다. 단, 리더 수가 슬롯 수와 동일할 경우 태그 사용의 효율성은 증가될 수 있다.

2.3 Colorwave 알고리즘

Colorwave는 기존의 DCS 알고리즘이 가지고 있는 고정된 프레임 크기를 사용함에 따라 리더수의 변화에 능동적으로 대응할 수 없는 문제점을 개선한 리더 충돌 방지 알고리즘이다. 즉, Colorwave 알고리즘은 리더의 충돌확률에 따라 슬롯의 최대 프레임 수를 변경함으로써 보다 효율적인 태그 인식을 가능케 한다. 이를 위해 Colorwave 알고리즘에서는 다음과 같이 정의된 4개의 파라미터를 사용한다.

- *UpSafe*: 스스로 자신의 프레임 크기를 증가시키는 충돌 확률
- *UpTrig*: 주변 리더들이 자신의 프레임 보다 큰 프레임으로 변경할 때, 자신의 프레임을 증가시키는 충돌 확률
- *DnSafe*: 스스로 자신의 프레임 크기를 감소시키는 충돌 확률
- *DnTrig*: 주변 리더들이 자신의 프레임 보다 작은 프레임으로 변경할 때, 자신의 프레임을 감소시키는 충돌 확률

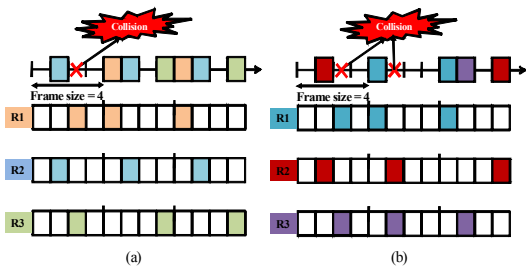


그림 1. DCS 알고리즘의 동작 예

Colorwave 알고리즘의 기본적인 동작은 DCS와 동일하지만, 각 리더마다 자신의 충돌 확률을 계산하여 저장하고 있으므로 상황에 따라 프레임 크기의 조절이 가능하다. 리더는 자신의 충돌 확률을 계산하여 *UpSafe* 이상이 되면 최대 프레임 크기를 1 슬롯 증가시키고, *DnSafe* 이하의 충돌 확률이 발생하면 최대 프레임 크기를 1 슬롯 감소시킨다. 이와 더불어 충돌을 발생시키는 주변 리더들의 최대 프레임 크기가 자신보다 클 경우에는 충돌 확률을 확인하여 *UpTrig* 이상이면 자신의 최대 프레임 크기를 주변 리더의 최대 프레임 크기와 동일하게 증가시키고, 충돌을 발생시키는 주변 리더들의 최대 프레임 크기가 자신보다 작을 경우에는 자신의 충돌 확률을 확인하여 *DnTrig* 이하이면 자신의 최대 프레임 크기를 주변 리더의 프레임 크기와 동일하게 감소시킨다.

이러한 Colorwave 알고리즘은 자신의 충돌 확률에 따라 프레임 크기가 결정되므로 프레임 내에서 슬롯이 반복되는 주기가 다르게 된다. 따라서 임의의 리더가 프레임 내 충돌이 발생하지 않는 슬롯을 점유하고 있더라도 프레임이 반복됨에 따라 충돌이 발생할 수 있다. 이러한 충돌은 다시 프레임 크기의 변화를 야기하고, 이로 인해 충돌이 반복적으로 발생할 수 있다는 문제점을 가지고 있다.

그림 2는 Colorwave 알고리즘의 동작 예를 나타내고 있다. 먼저, 각 리더는 DCS와 동일하게 시간 동기를 맞춘 후 자신이 사용할 슬롯을 선택한다. 이때 충돌을 경험한 리더 1과 3은 다음 프레임에서 최대 프레임 크기를 증가시키고, 다른 슬롯을 예약한다. 리더 2와 4는 충돌을 경험하지 않았으므로 다음 프레임에도 동일한 슬롯의 위치를 예약한다. 두 번째 프레임에서는 모든 리더가 서로 다른 슬롯을

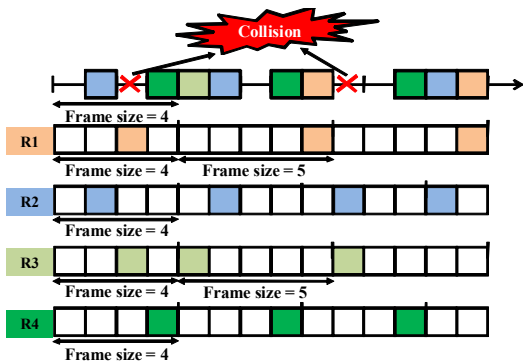


그림 2. Colorwave 알고리즘의 동작 예

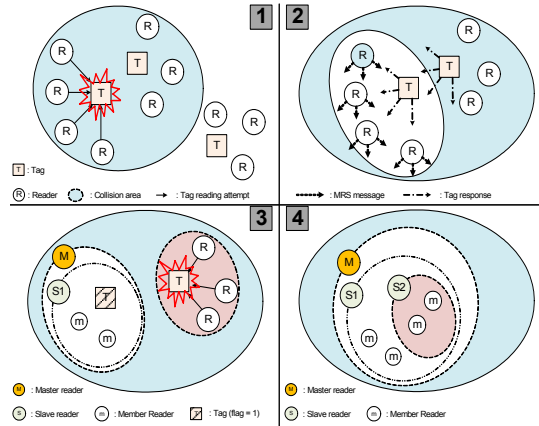


그림 3. 관리 리더 선출 및 보조 그룹 구성 과정의 예

통해 태그 인식을 정상적으로 수행하고, 세 번째 프레임에 동일한 슬롯의 위치를 예약한다. 이로 인하여 리더 2와 3은 충돌이 발생한다. 이는 자신의 충돌 확률에 따라 프레임 크기가 결정되어, 프레임의 반복 주기가 서로 다르기 때문이다. 따라서 임의의 리더가 자신의 프레임 내 충돌이 발생하지 않는 슬롯을 점유하고 있다 하더라도 다른 리더와의 주기가 맞지 않아 충돌이 발생할 수 있는 가능성이 존재한다. 이와 같이 프레임 반복 주기의 동기가 맞지 않은 상태에서는 리더 충돌이 계속적으로 발생하고, 이에 따라 프레임의 크기가 계속 증가하여 슬롯 사용의 효율성 감소를 야기한다.

III. 계층적 구조 기반의 리더 충돌 방지 알고리즘

본 논문에서는 기존 리더 충돌 방지 알고리즘의 문제점을 해결하기 위해 계층적 구조 기반의 충돌 방지 알고리즘을 제안한다.

그림 3은 본 논문에서 제안하는 계층적 구조 기반의 리더 충돌 방지 알고리즘 운용에 있어서 관리 리더 선출 과정과 보조 그룹 구성 과정의 예를 도시하고 있다. 이를 보다 자세히 살펴보면, 1은 다수의 리더가 동시에 태그 인식을 시도하여 충돌이 발생하는 상황, 2는 관리 리더 탐색 (Master reader search : MRS) 메시지를 전송하고, 관리 리더 존재 여부 파악, 3은 관리 리더와 보조 리더 그룹간의 계층적인 구조가 설정된 상태 및 다른 지역에서의 충돌 발생 상황, 마지막으로 4에서는 3에서 충돌이 발생했던 리더들이 2번째 보조 그룹이 추가되어 충돌 지역 내 모든 리더들이 계층적인 구조를 형성하는 과정을 도시

하고 있다. 이와 같은 계층적 구조 기반의 리더 충돌 방지 알고리즘을 운용하기 위해 다음과 같은 리더와 태그 기능에 대한 가정이 필요하며, 그림 4는 본 논문에서 제안하는 알고리즘의 의사 코드를 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 의사코드는 관리 리더 선출 과정 (Master reader election process), 보조 그룹 구성 과정 (Slave group construction process), 그리고 태그 인식 과정 (Tag reading process)의 3가지 세부 과정(Sub-routine)으로 구성되며, 각 과정에 대한 자세한 설명은 다음과 같다.

- 모든 리더는 충돌 가능 리더임
- 각 리더는 한 번의 인식 시도에 하나의 태그를 인식함
- 관리 리더는 태그의 정보를 획득 후 태그 메모리의 지정 영역에 플래그를 설정함
- 태그 메모리 내 플래그 (Flag)가 설정되어 있을 경우 해당 태그는 관리 리더가 인식하였음을 의미함 (관리 리더의 존재 여부 확인)
- 태그가 브로드캐스트 한 메시지는 주변 모든 리더가 수신할 수 있음

```

Proposed Algorithm Subroutine 1 – Master readers election process
• When tag receives the MRS message
  if flag = 1
    - transmit response message to reader including master reader information
  else
    - no response
    - after Random Backoff Time, re-search process starts
• After re-search process
  if response message is received
    - slave group construction process starts
  else
    - master reader = current collision reader

Proposed Algorithm Subroutine 2 – Slave group construction process
• When tag receives MRS message from collision reader
  - every member reader and slave reader obtain tag information by monitoring the reading process
  - request sync into and slave reader sequence number to master
  - among collision readers, select one slave reader and make other readers be member readers

Proposed Algorithm Subroutine 3 – Tag reading process
• After hierarchical structure formed
  - master reader perform tag reading process with given sync
  - every member reader and slave reader obtain tag information by monitoring the reading process
  between master reader and tag
  - after master reader completes tag reading slave reader with the lowest number becomes master reader
    
```

그림 4. 제안된 알고리즘의 의사코드

3.1 관리 리더 선출 과정

계층적 구조 기반의 리더 충돌 방지 알고리즘의 운용을 위해서는 먼저, 충돌 영역 내에 분포된 모든 충돌 리더들 중에서 하나의 관리 리더를 선출하여야 한다. 이를 위해 충돌 리더는 다음과 같은 관리 리더 선출 과정을 수행한다.

충돌 리더는 태그의 재인식을 시도하기 전 관리 리더의 존재 유무를 확인하기 위해 관리 리더를 탐색한다. 이를 위해 충돌 리더는 관리 리더 탐색 메시지를 자신의 영역 내의 태그를 통해 브로드캐스트 방식으로 전송한다. 이후 관리 리더 탐색 메시지

를 받은 태그는 자신의 메모리 내 플래그 설정 유무에 따라 다음의 동작을 수행한다. 이때 플래그의 설정은 관리 리더만이 수행할 수 있다.

- 플래그가 설정되어 있는 경우 ($Flag = 1$)
 - 태그에 플래그가 설정되어 있다는 것은 주변에 관리 리더가 존재한다는 것을 의미한다. 따라서 태그는 관리 리더가 존재한다는 메시지를 브로드캐스트 방식으로 전송한다.
- 플래그가 설정되어 있지 않은 경우 ($Flag = 0$)
 - 태그에 플래그가 설정되어 있지 않은 경우는 태그는 어떠한 응답도 하지 않는다. 이후 리더는 식 (1)과 같이 일정 시간이 지난 후 재탐색 과정을 수행한다.

$$Random\ Backoff\ Time = n \times t_{tag} \quad (1)$$

이때, n 은 0보다 큰 임의의 정수, t_{tag} 는 태그 1개의 인식 시간을 의미한다. 임의의 시간을 보낸 후 충돌 리더는 관리 리더를 재탐색하고, 관리 리더의 존재 유무에 따라 다음 동작을 수행하게 된다. 단, 태그 응답 메시지가 손실되는 상황은 가정하지 않았다.

- 관리 리더가 존재 (태그 응답)
 - 재탐색 결과 관리 리더가 존재할 경우 충돌 리더는 관리 리더에 의해 하위 보조 그룹의 일원으로 포함된다.
- 관리 리더가 존재하지 않음 (태그 미응답)
 - 재탐색 결과 관리 리더가 존재하지 않을 경우 자신이 관리 리더의 역할을 수행한다.

3.2 보조 그룹 구성 과정

보조 그룹 구성 과정은 관리 리더가 충돌 리더를 계층적으로 관리하기 위해 수행하는 과정이다. 이러한 보조 그룹은 한 개의 보조 리더 (Slave reader)와 다수의 멤버 리더 (Member reader)로 구성된다. 이를 위해 충돌이 발생한 리더들은 앞서의 관리 리더 선출 과정에서와 같이 관리 리더 탐색 메시지 전송하고 이를 통해 관리 리더의 정보를 획득한다. 이후 관리 리더에게 동기 시간과 보조 리더 순서 번호를 요청한다. 이때 보조 리더 순서 번호는 보조 그룹을 형성하는 충돌 리더 중 가장 먼저 요청하는 충돌 리더에게만 부여한다. 따라서 보조 리더 순서

번호가 없는 리더들은 멤버 리더로서 동작하게 되고, 보조 그룹의 구성 과정을 완료한 후 태그 인식 과정을 수행한다.

3.3 태그 인식 과정

관리 리더 선출 과정과 보조 그룹 구성 과정을 통해 계층적 구조가 형성된 후 관리 리더는 설정된 동기 시간부터 태그 인식을 시도한다. 태그 인식 과정에서 가장 중요한 점은 관리 리더가 태그 인식을 시도할 때 관리 리더와 태그 간의 송수신 데이터를 보조 리더들이 모니터링을 하여 해당 태그의 정보를 획득할 수 있다는 것이다. 이는 관리 리더가 태그를 인식하고 태그가 인식에 대한 응답 메시지가 브로드캐스트 방식으로 이루어진다는 점에서 착안된 것이다. 따라서 관리 리더와 동시에 설정된 보조 리더들은 계층적인 구조를 형성한 후 별도의 태그 인식 과정 없이 관리 리더가 획득한 태그 정보들을 획득할 수 있다.

하지만 관리 리더만이 태그를 인식할 수 있는 권한을 가지고 있기 때문에 향후 보조 리더로 형성되는 리더들은 관리 리더가 이미 인식한 태그들에 대한 정보를 획득할 수 없다. 이러한 문제를 해결하고자 관리 리더는 태그 인식 과정을 모두 마친 후 관리 리더의 역할을 다음 순차 번호를 가진 보조 리더에게 이양하는 방법이 필요하다. 이때 순차 번호는 가장 먼저 형성된 보조 리더 그룹의 보조 리더에게만 부여된다. 따라서 관리 리더의 역할을 이양 받은 보조 리더들은 자신이 읽지 못한 태그에 대한 인식을 시도하고, 원하는 태그 정보를 모두 읽은 후 다음 순차 번호를 가진 보조 리더에게 관리 리더의 역할을 이양한다. 이러한 관리 리더의 역할을 이양하는 과정을 통해 리더들은 주변의 인식하고자 하는 태그 정보를 빠른 시간 내에 모두 획득할 수 있게 된다. 그림 5는 이러한 태그 인식 과정의 예를 도시하고 있다.

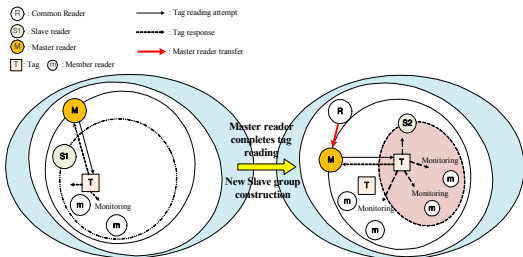


그림 5. 태그 인식 과정의 예

이와 같이 계층적 구조 기반의 리더 충돌 방지 알고리즘은 관리 리더 선출 과정, 보조 그룹 구성 과정 그리고 태그 인식 과정을 통해 보다 빠르게 태그 인식 수행이 가능하며, 리더의 수가 증가하여도 충돌 리더들을 효과적으로 관리할 수 있기 때문에 짧은 시간 내 안정적인 태그 인식이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

IV. 모의실험

본 논문에서 제안하는 계층적 구조 기반의 리더 충돌 방지 알고리즘의 성능 분석을 위해 리더 수와 태그 수의 변화에 따른 리더 충돌 확률, 태그 인식 시간 그리고 충돌 횟수 등을 비교 분석 하였다. 이를 위한 모의실험 환경은 표 1의 파라미터를 사용하였으며, C++ 언어를 기반으로 구현되었다. 이와 더불어 성능 비교 대상으로는 앞서 관련 연구에서 설명한 DCS와 Colorwave 알고리즘을 선정하였다.

표 1. 모의실험 파라미터 값

Parameter	Value
Number of Readers	2~10
Number of Tags	100~1000
Number of slots in frame	3
Slot interval	1ms
UpSafe	0.2
UpTrig	0.15
DnSafe	0.05
DnTrig	0.1

$$Pr[C] = \frac{\text{충돌 발생 수}}{\text{태그 인식 수} + \text{충돌 발생 수}} \times 100 \quad (2)$$

그림 6은 태그의 수를 100개로 가정하였을 때, 리더 수 변화에 따른 리더 충돌 확률을 비교한 것이다. 이때 리더 충돌 확률($Pr[C]$)은 식 2와 같이 계산한다. 그림에서 볼 수 있듯이 Colorwave와 DCS 알고리즘의 경우 리더의 수가 증가함에 따라 리더 충돌 확률이 급격하게 증가함을 알 수 있다. 특히, DCS 알고리즘의 경우 리더의 수가 3개일 경우를 기준으로 충돌 확률이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이는 모의실험에서 가정한 프레임 내의 슬롯 수 보다 리더의 개수가 많아짐으로써 리더 간의 충돌 발생이 증가하기 때문이다.

또한 Colorwave 알고리즘의 경우 각 리더의 충돌 확률에 따라 프레임내의 슬롯 수가 변경되므로 DCS 알고리즘보다는 향상된 성능을 보이긴 하지만

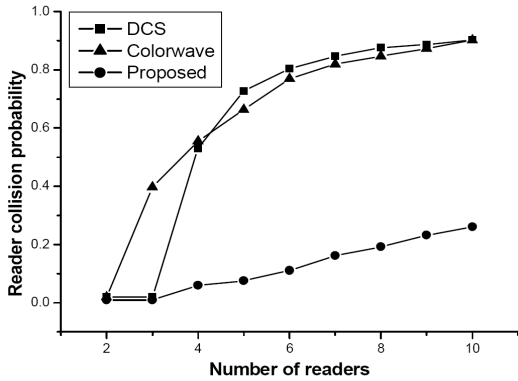


그림 6. 리더 수 변화에 따른 충돌 확률

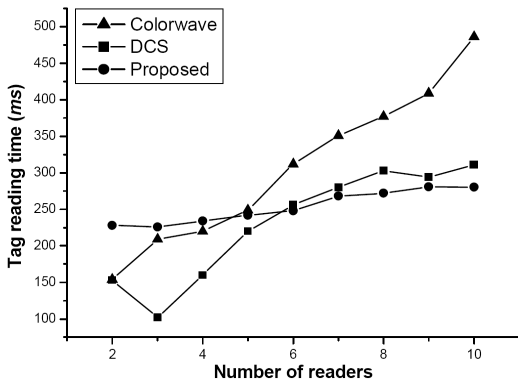


그림 7. 리더 수 변화에 따른 태그 인식 시간

시간이 지날수록 프레임 내의 슬롯 간 동기가 맞지 않아 이전 프레임에서 충돌이 발생하지 않았던 리더라도 이후의 프레임에선 충돌이 발생할 수 있는 상황이 발생하기 때문에 리더 수 증가에 따라 리더 충돌 확률이 증가한다. 그러나 본 논문에서 제안하는 계층적 구조 기반의 리더 충돌 방지 알고리즘의 경우 충돌 발생 후 관리 리더와 보조 리더가 계층적 구조를 형성하고, 이후 관리 리더에 의해서만 태그 인식이 가능하기 때문에 충돌 확률은 리더 수의 증가에도 변화폭이 매우 작아 안정적인 태그 인식이 가능하다는 것을 알 수 있다.

그림 7은 그림 6과 동일한 모의실험 환경에서 측정된 태그 인식 시간 변화를 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 DCS와 Colorwave 알고리즘의 경우 리더의 수가 증가함에 따라 태그 인식 시간이 급격하게 증가한다. 이는 리더 수가 증가할수록 리더 충돌 확률이 증가하여 리더가 태그를 인식하는 시간이 지연되기 때문이다. DCS 알고리즘의 경우 리더의 수와 태그의 수가 같게 되는 시점에서 태그

인식 시간이 일시적으로 급격히 줄어들음을 볼 수 있는데 이는 리더가 태그를 인식할 수 있는 최적의 환경이 구성되기 때문이다. 이와 달리 Colorwave 알고리즘의 경우 DCS 알고리즘 보다 충돌 확률이 낮음에도 불구하고 인식 시간은 더 높음을 볼 수 있는데, 이는 프레임 내의 슬롯 수가 변함에 따라 시간 동기가 맞지 않아 이전 프레임에서 충돌이 발생하지 않았더라도 충돌이 발생함으로써 프레임 크기가 증가하여 리더가 태그를 인식하는 시간이 늘어나는 것이다.

그러나 제안된 리더 충돌 방지 알고리즘의 경우 태그가 증가함에 따라 리더의 태그 인식 시도 수도 증가하나 그 증가폭이 매우 작아 리더 수의 변화에 크게 영향을 받지 않고 있음을 확인할 수 있다. 이는 관리 리더와 보조 리더가 계층적인 구조를 형성한 후 보조 리더들이 태그 인식 과정에서 사용되는 관리 리더와 태그간의 송수신 메시지를 모니터링 하여 해당 태그의 정보를 획득하기 때문이다. 이를 통해 빠른 태그 인식이 가능하여 태그 인식 완료 시간을 단축시키는 효과를 기대할 수 있다. 또한 계층적인 구조 구성에 의해 리더 충돌 확률이 감소하여 태그 인식 지연의 문제가 발생하지 않기 때문에 전체적인 태그 인식 시간의 증가폭이 매우 작은 것을 알 수 있다.

이와 같은 결과를 종합해볼 때, 제안하는 계층적 기반의 리더 충돌 방지 알고리즘은 기존 리더 충돌 방지 알고리즘인 DCS나 Colorwave 알고리즘에 비해 리더와 태그 수의 증가에 영향을 받지 않고 보다 안정적인 태그 인식 시간을 보장할 수 있음을 나타낸다.

그림 8은 리더 수 5개와 프레임 내 슬롯 수를 3으로 고정한 상황에서 태그 수의 변화에 따른 리더

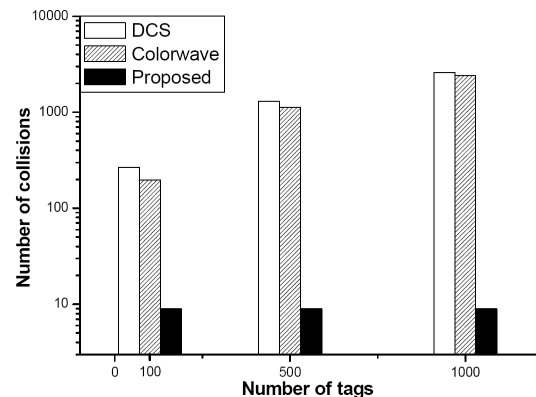


그림 8. 태그 수 변화에 따른 충돌 횟수

의 충돌 횟수 발생 결과 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 기존의 리더 충돌 방지 알고리즘인 DCS와 Colorwave 알고리즘의 경우 태그 수가 증가함에 따라 충돌 횟수도 늘어나는 것을 볼 수 있다. 그러나 본 논문에서 제안하는 리더 충돌 방지 알고리즘의 경우, 태그 수가 증가함에도 불구하고 충돌 횟수에는 거의 변함이 없는 것을 볼 수 있다. 앞서 그림 6과 7에서 설명한 바와 같이 관리 리더와 보조리더의 계층적인 구조의 장점으로 인해 얻을 수 있는 결과라 할 수 있다.

V. 결 론

RFID 시스템에서는 다수의 태그와 다수의 리더가 동작하기 때문에 리더들 간의 충돌 상황은 피할 수 없는 문제이다. 이러한 리더 충돌은 태그 인식률 및 인식 시간의 저하를 야기하여 RFID 시스템의 안정성을 악화시키는 주요 요인이 된다. 이러한 리더 충돌 문제를 해결하고자 본 논문에서는 관리 리더와 보조 리더로 구성된 계층적 구조 기반의 리더 충돌 방지 알고리즘을 제안하였다.

제안된 알고리즘의 성능 평가를 위해 모의실험을 수행하였고, 그 결과 리더 수와 태그 수가 증가하여도 관리 리더와 보조 리더간의 계층적 구조를 형성함으로써 리더 충돌 확률이 크게 증가하지 않아 안정적으로 태그 인식이 가능하다는 것을 확인하였으며, 이와 더불어 관리 리더와 보조 리더간의 태그 인식 정보 공유를 통해 태그 인식 지연의 문제를 해결하여 리더 수의 증가에도 불구하고 안정적인 태그 인식 시간을 확보할 수 있음을 증명하였다.

이와 같은 결과를 토대로 RFID 시스템의 안정성을 보장할 수 있는 연구의 기틀을 마련할 수 있었다. 마지막으로 실제 RFID 시스템 환경에 본 논문에서 제시하는 리더 충돌 방지 알고리즘을 적용하였을 때 발생할 수 있는 문제를 보다 심도 깊게 분석하고, 계층적 구조를 구축함에 있어 증가될 수 있는 지연 요소와 하드웨어적 비용의 증가에 대한 영향을 향후 연구로 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] 표철식, 채중석, 김창주, "RFID 시스템 기술", 한국전자과학회 전자파기술논문지, 15(2), pp. 21-31, 2004.

[2] 손해원, 모희숙, 성낙선, "UHF RFID 기술", 전자통신동향분석, 20(3), pp. 67-80, 2005

[3] K. Finkenzeller, *RFID Handbook; Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*, Second Edition, John Wiley & Sons Ltd, pp. 195-205, 2003.

[4] K. Finkenzeller, *RFID Handbook; Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*, Second Edition, John Wiley & Sons Ltd, pp. 205-219, 2003.

[5] ISO/IEC 18000-6C, Part 6C: Parameters for air interference communications at 860MHz to 960MHz, Jan. 2005.

[6] EPC Global, "EPC Radio-Frequency Identity Protocols Generation-2 UHF RFID protocols for communications at 860MHz-960MHz ver. 1.0.9," EPC global, Feb. 2004.

[7] ETSI, "Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters(ERM) Frequency-agile Generic Sort Range Devices using Listen-Before-Transmit(LBT)," ETSI TR 102 -313, Vol. 1.1.1, Jul. 2004.

[8] Joongheon Kim, Wonjun Lee, Jieun Yu, Jihoon Myung, Eunkyo Kim and Choonhwa Lee, "Effect of localized optimal clustering for reader anti-collision in RFID networks: fairness aspects to the readers," In Proc. of IEEE ICCCN, pp. 497-502, Oct. 2005.

[9] Shailesh M. Birari and Sridhar Iyer, "Mitigating the reader collision problem in RFID networks with mobile readers," In Proc. of IEEE ICC, pp. 6-12, Nov. 2005.

[10] D. W. Engels, S. E. Sarma, "The Reader Collision Problem," In Proc. of IEEE SMC, 3, pp.6-9, Oct. 2002.

[11] J. Waldrop, D. W. Engles and S. E. Sarma, "Colorwave : A MAC for RFID Reader Networks," In Proc. of IEEE WCNC, 3, pp. 1701-1704, Mar. 2003.

오 정 석 (Jung-suk Oh)

정회원



2005년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사
2008년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사수료
2008년 3월~현재 대우정보시스템 SD 본부 TX팀
<관심분야> RFID system, Sensor network

이 정 희 (Junghee Lee)

준회원



2008년 2월 남서울대학교 정보통신전자공학부 학사
2008년 3월 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사과정
<관심분야> RFID system

황 준 호 (Junho Hwang)

정회원



2004년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사
2006년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사
2006년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 박사과정
<관심분야> OBS, Optical Access

Network, Network QoS, 3G & 4G MAC, RFID/USN

유 명 식 (Myungsik Yoo)

종신회원



1989년 2월 고려대학교 전자전산공학과 학사
1991년 2월 고려대학교 전자공학과 석사
2000년 6월 SUNY at Buffalo Dept. of EE 박사
2000년 9월~현재 숭실대학교

정보통신전자공학부 부교수

<관심분야> Optical Network, ,OBS, Optical Access Network, Wireless MAC protocol, Ad-hoc routing protocol, RFID/USN, CR network

강 유 철 (Yuchol Kang)

준회원



2008년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사
2008년 3월 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사과정
<관심분야> RFID system, Sensor network