

# 관리 리더를 이용한 계층적 구조 기반의 리더 충돌 방지 알고리즘

오정석, 유명식  
송실대학교 정보통신전자공학부  
e-mail:{herojs, myoo}@ssu.ac.kr

## A Reader Anticollision Algorithm based on Hierarchical Structure using a Master Reader

Jung-suk Oh, Myungsik Yoo  
School of Electronic Engineering, Soongsil University

### 요 약

RFID(Radio Frequency Identification) 시스템에서 다수의 리더가 동시에 동일한 태그의 인식을 시도하는 경우, 태그는 다수의 리더가 요청한 내용을 처리할 수 없기 때문에 리더 충돌이 발생하게 된다. 이러한 리더 간 간섭에 의한 충돌은 RFID 시스템의 태그 인식 효율 및 인식 속도의 저하 등에 대한 주요 요인으로 작용하기 때문에 이를 방지할 수 있는 효과적인 리더 충돌 방지 알고리즘이 요구된다. 이에 본 논문에서는 리더 충돌이 발생한 경우, 관리 리더(Master Reader)와 보조 리더 그룹(Assistant Reader Group)간의 계층적인 구조를 형성하고, 관리 리더를 통해 하위 리더 그룹을 관리하여 리더 충돌을 방지하는 리더 충돌 방지 알고리즘을 제안한다. 또한, 모의실험을 통해 제안하는 알고리즘의 성능을 분석하고 평가하였다.

### 1. 서론

RFID 시스템은 사물에 태그를 부착하여 무선으로 사물의 정보를 인식하고, 주변 환경에 대한 정보를 감지하는 기술로서 바코드(Barcode)의 뒤를 이을 차세대 기술로 인식되고 있다. 현재 RFID 시스템은 유통, 물류 등의 다양한 산업 분야에서 적용되고 있으며, 유비쿼터스 컴퓨팅 환경 구축을 위한 핵심 기술로 많은 관심을 받고 있다[1][2]. 이러한 RFID 시스템은 태그(Tag)와 리더(Reader)와의 관계를 기반으로 하기 때문에 태그 인식률과 태그 인식 속도가 RFID 시스템의 성능을 평가하는데 가장 중요한 요소로 작용한다. 하지만 시스템 내 태그와 리더의 충돌로 인해 태그 인식률과 태그 인식 속도가 저하될 수 있다. 따라서 태그 인식률과 태그 인식 속도의 저하를 방지하고 시스템의 안정성을 확보하기 위한 충돌 방지 알고리즘이 요구된다.

충돌 방지 알고리즘은 크게 태그 충돌 방지 알고리즘과 리더 충돌 방지 알고리즘으로 구분된다. 태그 충돌 방지 알고리즘은 여러 개의 태그가 특정 리더에 동시에 응답하여 태그의 인식이 불가능해지는 상황을 방지하는 알고리즘이다. 따라서 충돌이 발생한 태그의 정보 인식을 위해 리더는 태그 정보의 재전송을 요구하고, 이로 인한 태그

인식 시간의 증가 및 시스템의 효율성이 저하된다는 문제점을 가지고 있다. 현재 대표적인 태그 충돌 방지 알고리즘은 이진 탐색 알고리즘(Binary Search Algorithm), 슬롯알로하 알고리즘(Slotted ALOHA Algorithm) 등이 있다 [1].

리더 충돌 방지 알고리즘에서의 리더 충돌 상황은 물리적으로 인접한 리더들이 동시에 동일한 주파수를 사용하여 발생하는 주파수 간섭과 서로 이웃한 리더들이 동시에 동일한 태그를 인식하려할 때 발생하는 태그 간섭으로 구분된다. 특히 주파수 간섭의 경우 리더들이 서로 다른 주파수를 사용함으로써 리더간의 충돌을 방지할 수 있으며, 태그 간섭의 경우 다수의 리더가 TDM(Time Division Multiplexing) 방식을 기반으로 서로 다른 시간을 할당하여 태그 인식을 수행함으로써 리더 충돌 문제를 해결할 수 있다. 그러나 주파수 간섭 상황에서 서로 다른 주파수를 사용하더라도 다수의 리더들이 동일 시간에 동일한 태그에 대한 인식을 시도하려는 경우 주파수 간섭에 의한 리더 충돌 문제는 해결되나 태그 간섭에 의한 리더 충돌은 여전히 존재한다[3][4].

현재 RFID 표준 단체인 ISO/IEC의 JTC1 내의 SC31과 Auto-ID 센터의 EPCglobal 그리고 유럽의 ETSI

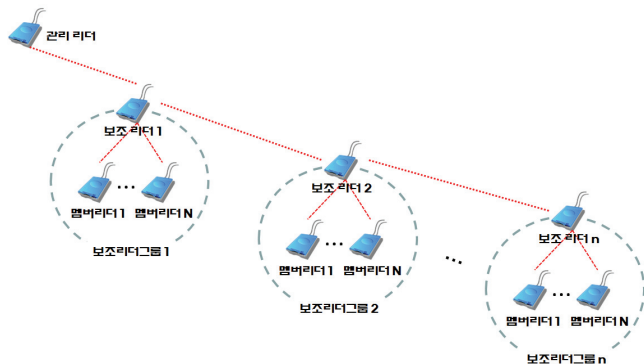
(European Telecommunications Standards Institute)에서는 리더 충돌 방지 알고리즘에 대한 연구를 활발히 진행되고 있고, 그 결과 Colorwave[3][4], LLC(R-Low-Energy Localized Clustering for RFID networks)[5], Pulse Protocol[6]과 같은 리더 충돌 방지 알고리즘들이 제안되었다. 이 중 Colorwave는 리더의 충돌 발생 확률에 따라 각 리더들이 자신의 프레임 크기를 변화시키고, 프레임 내의 서로 다른 슬롯을 임의로 선택함으로써 리더 충돌을 방지하는 가장 대표적인 리더 충돌 방지 알고리즘이다. 그러나 각각 다른 충돌 확률에 의해 리더들은 서로 다른 프레임 크기를 가지게 되어, 프레임 내의 임의의 슬롯 선택 과정에서 충돌 발생의 원인이 되고, 이로 인해 태그 인식 시간의 지연이 발생한다. 또한 리더 충돌이 발생한 상황에서 랜덤 시간 지연(Random Backoff Delay)을 통해 리더 충돌을 방지하는 경우, 랜덤 지연 시간만큼의 지연이 발생하고, 랜덤 시간 지연 후 또다시 동일한 시간에 동일한 태그의 인식을 시도하는 확률이 존재하기 때문에 리더 충돌에 대한 근본적인 해결책은 되지 못한다.

이에 본 논문에서는 태그 인식 과정에서 발생하는 충돌을 방지하고, 태그 인식률과 태그 인식 시간의 감소를 위해 관리 리더를 이용한 계층적 구조 기반의 리더 충돌 방지 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 본 논문에서 제안하는 리더 충돌 방지 알고리즘의 동작 절차와 특징을 설명하고, 이어 3장에서는 모의실험을 통해 성능 분석을 수행한다. 마지막으로 4장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 제안된 리더 충돌 방지 알고리즘

본 논문에서 제안하는 리더 충돌 방지 알고리즘은 태그 인식 과정 중 리더 간 충돌이 발생할 경우 그림 1과 같이 관리 리더(Master Reader)와 보조 리더 그룹(Assistant Reader Group)의 계층적 구조관계를 형성하고, 관리 리더를 통해 보조 리더 그룹을 관리하여 리더들의 충돌을 방지하는 특징을 가지고 있다.



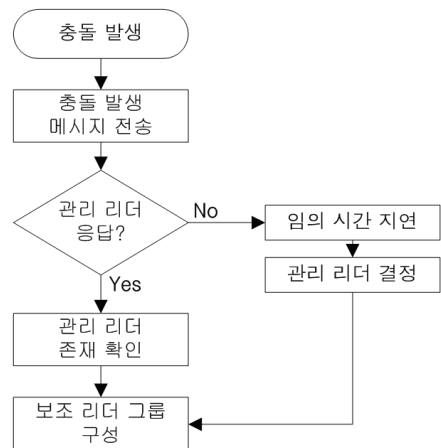
(그림 1) 리더 간 계층적 구조 관계의 개념

본 논문에서 제안하는 리더 충돌 방지 알고리즘은 다음과 같은 상황을 가정한다.

- 모든 리더는 한 번에 한 개의 태그 인식
- 태그는 리더의 요청에 의해 리더의 메시지 전달 가능
- 리더 충돌 정의 : 2개 이상의 리더가 동일 시간에 동일 태그 인식을 시도하거나 리더가 태그의 인식을 완료하기 전 다른 리더에 의해 태그 인식을 방해 받는 경우

본 논문에서 고려하는 수동형 태그(Passive Tag)는 EPC Global GEN2의 UHF 대역의 수동형 태그와 같이 태그 칩과 메모리로 구성되어 있으며, 정보 저장 및 리더의 요청에 의한 데이터 전송이 가능하다. 이러한 기능을 이용하여 리더가 전송한 메시지의 내용을 리더의 명령에 따라 재전송함으로써 충돌 영역 내의 다른 리더가 정보를 수신할 수 있다.

이러한 정의를 바탕으로 관리 리더를 이용한 계층적 구조 기반의 리더 충돌 방지 알고리즘을 보다 자세히 살펴보면 다음과 같다.



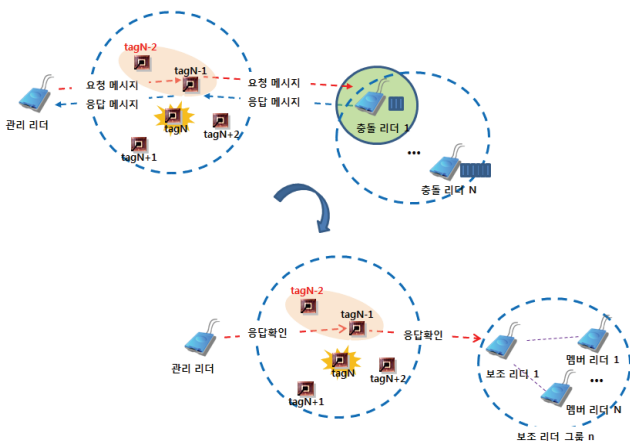
(그림 2) 제안하는 리더 충돌 방지 알고리즘의 순서도

먼저, 그림 2에서와 같이 리더 충돌이 발생할 경우, 리더는 충돌 발생 메시지를 브로드캐스트 방식으로 주변 리더에서 전송하고, 충돌 영역 내 태그들은 이 메시지를 수신한 후 주변 리더들에게 브로드캐스트한다. 만약 관리 리더가 존재하여 해당 리더 충돌 발생 메시지에 대한 응답 메시지를 전송한다면, 이를 통해 관리 리더의 존재를 확인하고 보조 리더 그룹을 구성하게 된다. 그러나 일정 시간이 지난 후에도 관리 리더의 응답 없을 경우, 충돌 리더들은 관리 리더가 없다고 판단하여 관리 리더 설정 과정을 수행한다. 이를 위해 각 충돌 리더는 랜덤 시간 지연 후 태그 인식을 시도하고, 태그 인식을 가장 먼저 완료한 충돌 리더가 관리 리더의 역할을 수행하게 된다. 이를 위한 랜덤 지연 시간은 수식 1과 같이 계산되며, 이때  $n$ 은 난수,  $t_{tag}$ 는 태그 1개의 인식 시간을 의미한다.

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

이와 같이 관리 리더가 설정된 후 태그 인식 과정 중 다시 리더 충돌이 발생하게 되면, 관리 리더는 가장 최근에 인식 완료한 태그에게 동기시간( $t_{syn}$ ), 하위 리더의 수 ( $i$ ) 그리고 인식 완료한 태그의 수( $j$ ) 등의 정보를 포함한 메시지를 전송하고, 해당 태그는 관리 리더의 명령에 따라 주변 리더들에게 브로드캐스트 방식으로 전송한다. 이러한 메시지를 수신한 충돌 리더들은 수식 1을 통해 계산된 랜덤 시간 지연 후, 메시지를 전송한 태그를 통해 관리 리더에게 응답 메시지를 전송한다. 이후 관리 리더는 앞서 전송한 메시지에 대한 응답을 가장 먼저 수행한 충돌 리더를 보조 리더 그룹의 보조 리더(Assistant Reader)로 지정하고, 나머지 리더들은 보조 리더의 멤버 리더로 설정한다.

이러한 보조 리더 그룹의 구성 과정을 보다 자세히 살펴보면, 관리 리더가 동기 설정 및 보조 리더 그룹 구성을 위한 응답 확인 메시지를 전송하고, 충돌 리더는 이 메시지를 통해 자신이 보조 리더인지 멤버 리더인지를 확인한 후 관리 리더와의 시간 동기를 맞춘다. 또한 보조 리더 그룹의 구성에 따라 보조 리더는 그룹 순서 번호( $l$ )를 부여받는다. 그림 3은 이러한 보조 리더 그룹의 구성 방법을 도시하고 있다.



(그림 3) 보조 리더 그룹의 구성

위와 같은 방법을 통해 관리 리더와 보조 리더 그룹이 구성되면, 관리 리더는 수식 2와 같이 계산되는  $t_{master}$  시간에 태그를 인식하고, 하위 리더는 수식 3과 같이 계산되는  $t_{l-assist}$  시간을 관리 리더로부터 할당 받아, 태그들을 인식할 수 있는 기회를 제공 받는다.

$$t_{master} = t_{syn} + \sum_{k=0}^{\infty} k(i+1)t_{tag} \quad (\text{수식 2})$$

$$t_{l-assist} = t_{master} + (l \times t_{tag}) \quad (\text{수식 3})$$

이와 더불어 보조 리더 그룹의 태그 인식 방법은 관리 리더가 인식하는 태그 정보를 보조 리더와 멤버 리더가 모두 공유하고, 보조 리더가 인식한 태그 정보를 멤버 리

더가 공유한다. 이를 위해 관리 리더와 보조 리더가 인식하고자 하는 태그간의 메시지들은 보조 리더가 모니터링하여 해당 정보를 획득하고, 보조 리더가 태그 인식 과정을 수행할 때 멤버 리더는 앞서의 과정을 모니터링하여 태그의 정보를 획득한다. 만약 보조 리더가 태그 인식을 수행하는 과정에서 리더 충돌을 인식하게 되면 충돌 상황이 발생했음을 관리 리더에게 보고하고, 이를 기반으로 관리 리더는 앞서 설명한 보조 리더 그룹 구성 방법을 통해 새로운 보조 리더 그룹을 구성한다.

### 3. 모의실험

본 논문에서 제안하는 리더 충돌 방지 알고리즘의 성능 분석을 위해 다음과 같은 모의실험을 수행하였다. 모의실험에서는 리더의 수를 2~10개까지 변화시키고 태그의 수는 100~1000개까지 증가시켜 리더와 태그 수의 변화에 따른 리더 충돌 확률과 평균 태그 인식 시간의 변화를 측정하였으며, 이를 Colorwave와 비교 분석하였다. 이때 리더 충돌 확률은 수식 4와 같이 계산하며, 태그 인식 시간은 각 리더가 태그 인식 시작 시간과 종료 시간의 차로 정의하였다.

$$\text{리더 충돌 확률} = \frac{\text{충돌 발생 횟수}}{\text{태그 인식 시도 횟수}} \quad (\text{수식 4})$$

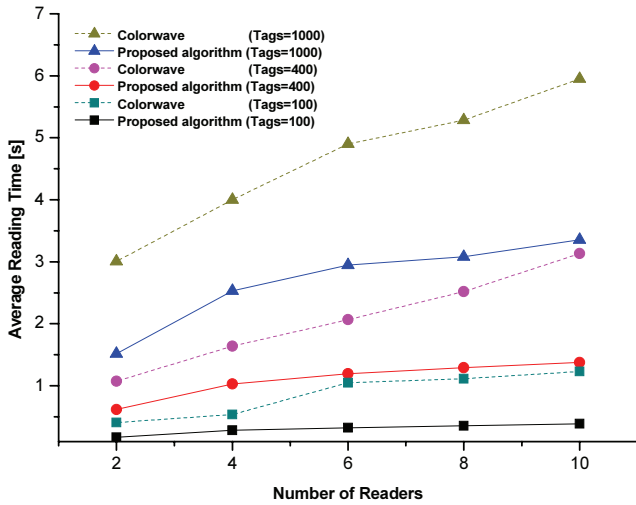
<표 1> 평균 리더 충돌 확률(%)

리더수 태그수	Colorwave					Proposed algorithm				
	2	4	6	8	10	2	4	6	8	10
100	1.4	13	11	7	5	1.2	1.3	1.1	1	1.4
200	0.4	12	7	5	3	0.6	0.6	0.6	0.5	0.7
400	0.3	10	5	3	2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.4
800	0.2	6	3	2	0.9	0.16	0.17	0.1	0.14	0.2
1000	0.1	4	2	1	0.8	0.13	0.13	0.1	0.11	0.1

표 1은 Colorwave 방식과 본 논문에서 제안하는 리더 충돌 방지 알고리즘의 평균 리더 충돌 확률을 비교한 것이다. 표에서 볼 수 있듯이 Colorwave의 경우 리더와 태그 수의 변화에 따라 평균 리더 충돌 확률이 매우 급격하게 변화하는 것을 알 수 있다. 그러나 본 논문에서 제안하는 관리 리더를 이용한 계층적 구조 기반의 리더 충돌 방지 알고리즘의 경우 Colorwave보다 매우 낮은 평균 리더 충돌 확률을 보이고 있으며, 리더 및 태그 수의 증가에 따른 충돌 확률 변화폭도 매우 작아, 리더 충돌 없이 안정적으로 태그 인식이 가능하다. 이는 관리 리더에 의한 계층적 구조가 형성된 이후, 관리 리더와 보조 리더의 태그 인식 정보 공유하기 때문에 리더 충돌 횟수가 급격하게 감소되고, 이에 따라 충돌 확률도 감소되는 것이다.

그림 4는 Colorwave와 제안 리더 충돌 방지 알고리즘의 평균 태그 인식 시간을 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 동일한 태그 수를 가정하였을 때 Colorwave에 비

해 본 논문에서 제안하는 리더 충돌 방지 알고리즘의 평균 태그 인식 시간이 짧은 것을 알 수 있다.



(그림 4) 평균 태그 인식 시간

이는 관리 리더와 보조 리더 그룹이 계층적인 구조를 형성한 후 관리 리더의 태그 인식 정보를 보조 리더 그룹이 공유하여 인식하기 때문에 태그 인식 지연 문제가 발생하기 않기 때문이다. 따라서 동일 수의 태그를 인식하는 시간은 리더 수의 영향을 받지 않아 안정적인 태그 인식 시간을 보장할 수 있게 된다.

#### 4. 결론

RFID 시스템에서는 다수의 태그와 다수의 리더가 공존하기 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 리더를 이용한 계층적 구조 기반의 리더 충돌 방지 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘의 성능 평가를 위해 모의실험을 수행하였고, 고정된 리더 수가 존재하는 상황에서 태그의 수가 증가하여도 평균 충돌 확률은 낮아지는 것을 확인하였으며, 이와 더불어 관리 리더의 태그 인식 정보 공유를 통해 태그 인식 지연의 문제를 해결하여 리더 수의 영향을 받지 않고 안정적인 평균 태그 인식 시간을 확보할 수 있음을 확인하였다. 이러한 결과를 토대로 RFID 시스템의 안정성을 보장할 수 있는 연구 기틀을 마련할 수 있었으며, 향후 태그의 성능을 향상시킬 수 있는 연구를 병행하여 보다 안정적이고 효율적인 RFID 시스템의 운용을 가능케 하는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

[1] Klaus Finkenzeller "RFID Handbook" 2nd Ed. Jone Wiley & Sons, 2003.

[2] 표철식, 채종석, 김창주, "RFID 시스템 기술", 한국전자과학회 전자과학기술, vol. 15, no. 2, pp. 21-31, 2004.

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

[4] J.Waldrop, D.W.Engles and S.E.Sarma, "Colorwave: An Anticollision Algorithm for the Reader Collision Problem," In Proc. of IEEE ICC, May 2003.

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

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