

# 밀집 리더 환경 하에서 슬롯 점유확률을 이용한 Pulse Protocol 기반의 Hybrid 리더 충돌방지 알고리즘

준회원 송인찬\*, 범효\*, 윤희석\*, 종신회원 장경희\*

## Pulse Protocol-based Hybrid Reader Anti-collision Algorithm using Slot-occupied Probability under Dense Reader Environment

InChan Song\*, Xiao Fan\*, HeeSeok Yoon\* *Associate Members*  
KyungHi Chang\* *Lifelong Member*

### 요약

본 논문에서는 기존 리더 충돌방지 알고리즘인 Channel Monitoring 알고리즘, Pulse Protocol 알고리즘에 대하여 살펴보고, 태그인식시간을 감소시키고, 데이터 처리량, 시스템 효율을 증가시킬 수 있는 슬롯 점유확률을 이용한 Pulse Protocol 기반의 Hybrid 리더 충돌 방지 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 Pulse Protocol 알고리즘의 성능을 향상시키기 위하여 Channel Monitoring 알고리즘에서 사용되고 있는 슬롯의 점유확률 (Occupied Probability)을 이용한다. 즉, 리더들은 랜덤 backoff 시간을 생성한 후, 자신이 사용하게 될 슬롯의 점유확률을 확인하고, 이 슬롯의 점유확률이 0보다 크다면, 새로운 랜덤 backoff 시간을 생성하여 리더간의 충돌을 피한다. 기존 알고리즘들과 제안하는 알고리즘과의 성능을 태그인식시간, 데이터 처리량 및 시스템 효율 등의 성능분석항목들을 통하여 비교 및 분석하여, 제안하는 알고리즘에 의하여 리더의 개수가 증가함에 따라 7% 정도의 태그인식시간 및 데이터 처리량 성능 향상을 확인한다.

**Key Words** : RFID, Reader Anti-collision Algorithm, Pulse Protocol Algorithm, Channel Monitoring Algorithm

### ABSTRACT

In this paper, the conventional anti-collision algorithms, such as Channel Monitoring algorithm and Pulse Protocol algorithm, are analyzed. To decrease tag identification time, and increase system throughput and efficiency, we propose a new reader anti-collision algorithm, Pulse Protocol-based Hybrid Reader Anti-collision Algorithm, using Slot-occupied Probability under dense reader environment. The proposed algorithm uses Slot-occupied Probability to improve the performance of Pulse Protocol Algorithm. That is, A reader checks Slot-occupied Probability after generating random backoff time. If Slot-occupied Probability is greater than 0, it uses another new random backoff time to avoid reader collision. We also compare the performance of the proposed algorithm with those of Channel Monitoring and Pulse Protocol algorithms in respect of identification time system throughput, and system efficiency. Simulation results show that the proposed algorithm has an increment of 5% of identification time and system throughput as increasing the number of readers.

### I. 서론

RFID(Radio Frequency Identification)는 모든 사

물에 전자태그를 부착하고 무선 통신 기술을 이용하여 사물의 정보 및 주변 상황정보를 감지하는 인식 기술로서 리더와 태그, 그리고 리더를 지원하는 호스트로

\* 인하대학교 정보통신대학원 이동통신연구실 (ny10023@hanmail.net, fxism Monk@gmail.com, electech@empal.com, khchang@inha.ac.kr)  
논문번호 : KICS2008-06-270, 접수일자 : 2008년 6월 13일, 최종논문접수일자 : 2008년 9월 10일

구성된다. 국제 표준으로 권고되고 있는 RFID 사용 주파수는 13.56MHz, 400MHz, 900MHz, 2.4GHz 등이 있으며 이 가운데 900MHz가 비교적 전파 특성이 우수해서 국내외적으로 특히 주목을 받고 있다<sup>[1]</sup>. 그러나 RFID 기술의 표준화가 지연되고 있으며, RFID 리더 사이의 충돌 또는 태그들의 충돌로 인하여 인식 효율이 떨어지는 등의 문제를 가지고 있다<sup>[2]</sup>. 특히 RFID 리더 사이의 충돌 또는 태그들의 충돌은 태그의 인식효율 및 인식속도의 감소를 가져오므로, RFID 시스템이 산업화되기 어려운 요인이 되고 있다.

RFID 시스템 환경에서 충돌은 크게 태그 충돌과 리더 충돌로 분류 할 수 있다. 태그 충돌 방지를 위해 Binary tree, Slotted Aloha 등 다양한 방법들이 제시되었고, 국제표준 안으로 발표되었다<sup>[3]</sup>. 리더 충돌은 크게 리더 간 간섭(Reader to Reader Interference)과 다중 리더에 의한 태그 간섭(Multiple Reader to Tag Interference)으로 나뉜다<sup>[4]</sup>.

지금까지의 RFID 충돌방지 알고리즘 연구는 주로 태그 충돌방지 알고리즘 연구에 집중되어 있었다. 유비쿼터스 사회로 발전함에 따라 RFID 리더 기능이 PDA나 핸드폰 등의 모바일 기기에 포함되는 경향이 나타나고 있고, 이러한 모바일 기기의 이동으로 인하여 다수의 RFID 리더들이 동일 지역 내에 존재하여 많은 리더 충돌현상을 발생시킬 것으로 예상된다<sup>[5]</sup>. 따라서 본 논문은 RFID 시스템에서 핵심 기술로 인식되고 있는 RFID 리더 충돌방지 알고리즘에 대하여 살펴보고, 효율적으로 리더 충돌을 방지 할 수 있는 새로운 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 RFID 리더 간섭 및 충돌 환경을 설명하고, III장에서는 기존 리더 충돌 방지 알고리즘을 소개하며, 문제점을 도출한다. IV장에서는 기존 알고리즘의 문제점을 개선한 새로운 알고리즘을 제안하고, 그 성능을 비교 및 분석하며, V장에서는 본 논문을 정리하고 결론을 내린다.

## II. RFID 리더 충돌

RFID 시스템 환경에서 충돌은 크게 태그 충돌과 리더 충돌로 분류 할 수 있다. 태그 충돌은 리더의 전계 범위 내에 있는 태그들이 리더 신호에 동시에 응답함으로써 발생하는 충돌로서 이를 해결하기 위해 다양한 태그 충돌 알고리즘이 제시되었다. 리더 충돌은 크게 리더 간 간섭과 다중 리더에 의한 태그 간섭으로 나뉜다<sup>[4]</sup>.

### 2.1 리더 간 간섭

리더 간 간섭이란 처리 공간이 같은 리더들이 동

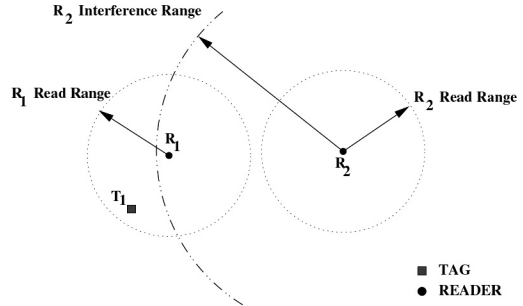


그림 1. 리더 간 간섭

시에 태그와 통신을 할 경우 발생하는 충돌현상으로 리더 충돌이 발생하면 리더들이 보내는 전파사이의 간섭현상으로 리더 사이에 존재하는 태그가 인식되지 않을 수 있다. 리더 간섭은 근접한 위치에 존재하는 리더가 동시에 동일 주파수 혹은 인접한 주파수를 사용하여 발생하는 주파수 간섭으로 동일채널 간섭(Co-Channel Interference), 인접채널(Adjacent Channel Interference) 간섭으로 나눌 수 있다. 리더 간 간섭의 경우는 리더 간에 발생하는 간섭으로 리더가 동작하는 주파수에 따라 주파수 의존적이며, 따라서 동일채널의 경우 특히 심각하게 된다. 인접채널의 경우는 주파수가 이격됨으로 주파수 간섭은 급격히 감소하나, RFID 리더기의 Spectrum Mask를 엄격히 규제하지 않으면, 인접채널에 의한 간섭의 영향도 심각해질 수 있다<sup>[6]</sup>.

그림 1<sup>[7]</sup>은 동일채널인 경우, 주파수 간섭을 분석하면, 이론적으로 동일한 시간대에 동일한 주파수를 사용하는 리더는 태그 인식거리의 70배 이상의 거리를 이격해야만 하는 것으로 알려져 있다. 이는 태그 인식거리가 10m일 경우 700m이상을 이격해야 하는 것을 의미하므로 리더끼리 동일채널을 사용하지 않도록 적절한 리더의 주파수 할당이 필요하다<sup>[6]</sup>.

### 2.2 다중리더에 의한 태그 간섭

RFID 동일 태그에 대한 태그 간섭은 두 개 이상의 리더가 하나의 태그에 동시에 접속할 경우 발생하게 된다. 태그는 자체 전지가 없으며, 리더로부터 수신한 신호로 응답을 하기 때문에 주파수를 선택할 수 없다. 따라서 두 리더의 동작 주파수가 다를 경우에 간섭은 발생하게 된다<sup>[6]</sup>.

그림 2<sup>[7]</sup>에서처럼 간섭 리더에서 수신되는 전압이 태그에 간섭을 주지 않기 위해서는 동작중인 리더로부터 수신되는 전압보다 작아야 한다. 현재 Gen-2 태그에 대한 실증실험결과 동일 태그에 접속하는 간

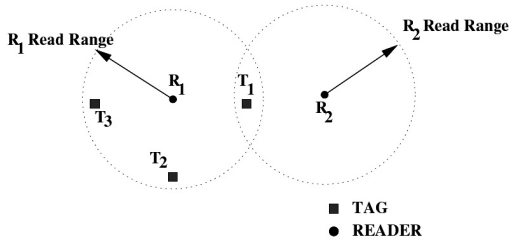


그림 2. 다중리더에 의한 태그 간섭

섭 리더는 현재 통신하고 있는 인접 리더 신호보다 13dB 정도 이상이어야 다중 리더에 의한 태그 간섭이 해결된다고 보고되고 있다<sup>8)</sup>. 이는 유통물류 환경에서는 리더간의 거리를 적절히 이격함으로써 해결할 수 있으나, 모바일 RFID 환경에서는 동일한 태그에 리더가 근접하게 되는 경우가 종종 발생하므로 해결하기 어렵게 된다<sup>6)</sup>.

### III. 리더 충돌방지 알고리즘

RFID 표준에서 제안된 방식들은 서로 간섭을 일으키는 리더들에게 다른 주파수를 할당함으로써 리더 충돌을 방지하는 방식을 이용한다. 따라서 RFID 표준을 이용하면 동일한 주파수를 이용하는 리더들 사이에 충돌이 발생하는 리더 간 간섭을 방지할 수 있다. 그러나 이 방법을 사용하더라도 2개 이상의 리더가 하나의 태그에 동시에 접속하여 발생하는 태그간섭을 방지할 수 없다. UHF 대역에서 사용되는 수동 태그의 경우 리더의 신호를 역반사하여 자신의 데이터를 전송하는 기능만을 가지므로 여러 리더로부터 전송된 신호를 구별하여 응답할 수 없기 때문이다. 따라서 2개 이상의 리더가 동일한 주파수를 사용하는 경우뿐 아니라 서로 다른 주파수를 사용하는 경우라도 동시에 하나의 태그에 신호를 보낸다면, 태그가 리더들의 명령을 구별하여 그에 따라 응답할 수 없으므로 리더 충돌이 발생하게 된다. 그러므로 다중리더에 의한 태그 간섭을 줄이기 위하여, RFID 표준에서 정의하고 있는 방법을 보완하는 RFID 리더 충돌방지 기법의 개발이 필요하다. 먼저 본 장에서는 다중리더에 의한 태그 간섭을 줄일 수 있는 기존 기법들을 소개한다.

기존 논문에서 제안한 리더 충돌방지 알고리즘으로는 DCS, Colorwave, Enhanced Colorwave, Channel Monitoring 알고리즘, Pulse Protocol 알고리즘 등이 있다.

#### 3.1 Channel Monitoring 알고리즘

Channel Monitoring 알고리즘은 Enhanced Colorwave에서 충돌이 발생한 리더들이 임의로 새로운 슬롯을 선

택하여 기존에 그 슬롯을 사용하던 다른 리더들의 태그 인식을 방해하고, 불필요한 충돌을 발생시킨다는 문제를 해결하기 위하여 제안되었다. 우선, Channel Monitoring 알고리즘의 설명에 앞서 Channel Monitoring 알고리즘의 기반이 되는 DCS, Colorwave, Enhanced Colorwave에 대하여 살펴본다.

##### 3.1.1 DCS(Distributed Colorwave Selection)

DCS는 리더들이 동일한 크기의 프레임 내에서 하나의 슬롯을 선택하여 태그를 인식하는데 사용함으로써 리더 충돌을 방지하는 기법이다. DCS를 사용하는 리더는 충돌이 발생하면, 자신이 사용하던 슬롯 위치를 변경하고, 리더 간섭이 발생하지 않는 경우에는 자신의 슬롯 위치를 유지하여, 다음 프레임에서의 충돌 가능성을 줄인다.

DCS는 리더가 사용하는 프레임의 크기가 고정되어 있으므로 구현이 간단하다는 장점을 가진다. 그러나 리더 수의 변화에 따라 프레임 크기를 변경할 수 없기 때문에 리더 수가 변화하는 경우 비효율적으로 동작한다는 단점이 있다.

그림 3은 DCS의 의사코드를 나타내고 있다<sup>9)</sup>.

##### 3.1.2 Colorwave

DCS는 리더의 프레임 크기가 고정되어 있으므로 간섭을 일으키는 리더의 수가 변화하는 경우, 능동적으로 대응할 수 없다는 문제를 가지고 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 충돌 확률에 따라 각 리더들이 자신의 프레임 크기를 변경할 수 있는 Colorwave를 제안되었다. 이때 충돌 확률이란 일정 시간 동안 리더가 경험한 충돌의 횟수를 의미한다. Colorwave에서 충돌을 많이 경험한 리더는 자신의 프레임 크기를 증가시키고, 충돌이 거의 발생하지 않는 리더는 프레임 크기를 줄인다<sup>9)</sup>. 이 방법을 이용하면 충돌을 많이 경험하는 리더는 자신의 Color 사이의 간격을 증가시켜 리더 충돌을 줄일 수 있고, 반대의 경우에는 Color 간의 간격을 줄여 슬롯을 이용하는 기회를 더

#### DCS Subroutine 1 - Transmission

```
If (timeslot_ID % max_color) == current_color
-then transmission
-else idle until (timeslot_ID % max_color) == current_color
```

#### DCS Subroutine 2 - Collision

```
If attempted transmission but experienced collision
-current_color = random (max_color)
-broadcast the information stating new color
```

#### DCS Subroutine 3 - Collision resolution

```
If the information received stating current_color
-randomly change to different color within max_color
```

그림 3. DCS 알고리즘

---

**Colorwave Subroutine 1 - Color change**  
 If collision probability is past SAFE threshold AND time spent in current max\_color exceeds min\_time threshold  
 -Change max\_color up or down one (depending on threshold exceeded)  
 -Next iteration, broadcast new max\_color

**Colorwave Subroutine 2 - Collision resolution**  
 If the information received stating current\_color  
 -Change to random color within max\_color OTHER THAN current\_color  
 If the information received stating change to new max\_color AND collision probability is past TRIGGER threshold AND time spent in current max\_color exceeds min\_time threshold  
 -Change max\_color to received value of the information  
 -Next iteration, broadcast the new max\_color

**ALL DCS subroutines are also in use**

---

그림 4. Colorwave 알고리즘

많이 확보할 수 있다. 그러나 리더들의 프레임 크기가 서로 달라지면 슬롯이 반복되는 주기가 달라져서, 프레임에서 충돌을 발생시키지 않는 슬롯 위치를 가지고 있는 리더가 있더라도 프레임이 반복됨에 따라 충돌이 발생할 수 있다. 또한 이런 충돌은 다시 프레임 크기의 변경을 발생시켜서 결국 프레임 크기의 변경과 충돌이 반복적으로 발생하게 된다<sup>4)</sup>.

그림 4는 Colorwave의 의사코드를 나타내고 있다<sup>9)</sup>.

### 3.1.3 Enhanced Colorwave

Colorwave는 프레임 크기를 변경하므로 리더의 이동 등으로 인한 간섭의 발생량에 따라 사용하는 슬롯의 주기를 변경할 수 있다. 그러나 이 기법은 리더들이 프레임 크기를 자주 변경하여 프레임 크기를 증가시키고 많은 리더 충돌을 유발한다는 문제를 가진다. Colorwave의 문제를 해결하는 Enhanced Colorwave 기법이 제안되었다.

Enhanced Colorwave는 간섭을 일으키는 주변 리더의 프레임 크기가 증가하는 경우 그 리더와 프레임 크기를 동기화하고, 각 리더가 자신이 사용하고 있는 프레임 크기가 최적이라고 판단하는 경우에 그 프레임을 유지하는 시간을 증가시키는 리더 충돌방

---

**Enhanced Colorwave Subroutine 1 - Color change**  
 If collision probability is past SAFE threshold AND time spent in current max\_color exceeds min\_time threshold  
 -Change max\_color up or down one (depending on threshold exceeded)  
 -Next iteration, broadcast new max\_color

**Enhanced Colorwave Subroutine 2 - Collision resolution**  
 If the information received stating current\_color  
 -Change to random color within max\_color OTHER THAN current\_color  
 If the information received stating change to new max\_color AND current max\_color is smaller than received max\_color AND time spent in current max\_color exceeds min\_time threshold  
 -Change max\_color to received max\_color

**Enhanced Colorwave Subroutine 3 - Keeping the Stability**  
 If the max\_color decreased AND collision probability rapidly increased  
 -Doubles min\_time before the max\_color changes

**All DCS subroutines are also use**

---

그림 5. Enhanced Colorwave 알고리즘

지 기법이다. 리더들은 주변 리더들의 프레임 크기와 자신의 프레임 크기를 비교하여 주변 리더들의 프레임 크기가 자신의 것보다 크다면 자신의 프레임을 주변 리더의 프레임 크기와 동일하게 변경한다. 또한 Enhanced Colorwave는 각 리더들이 자신이 사용하고 있는 프레임 크기가 최적인지 여부를 판단하여, 최적 크기의 프레임을 사용한다고 판단되면 그 프레임을 유지하는 시간을 지수적으로 증가시킨다. 그러나 Enhanced Colorwave는 DCS 및 Colorwave와 동일한 리더 충돌 해결 방법 (Collision Resolution)을 이용하므로 충돌 발생 시 프레임 내 임의의 슬롯으로 이동하여 다른 리더들의 태그 인식을 방해할 수 있다.

그림 5는 Enhanced Colorwave의 의사코드를 나타내고 있다<sup>9)</sup>.

### 3.1.4 Channel Monitoring 알고리즘

Channel Monitoring 기법을 이용한 Enhanced Colorwave는 프레임 내 슬롯의 점유 여부를 모니터링 하여, 리더 충돌이 발생하여 새로운 슬롯을 선택할 때 리더들이 사용할 확률이 가장 낮은 슬롯을 선택하는 충돌방지 기법이다. 제안한 알고리즘은 리더 충돌로 새로운 슬롯을 선택할 때 최소 점유 확률을 가진 리더를 선택하므로, 임의로 사용할 슬롯을 결정하는 기존 Enhanced Colorwave보다 충돌 발생이 감소하는 장점을 가진다. 그림 6은 Channel Monitoring 알고리즘의 의사 코드를 나타내고 있다<sup>9)</sup>. 리더들은 슬롯의 사용 여부를 모니터링 하여 각 슬롯의 점유 확률을 계산한다. 이 경우 슬롯의 점유 확률이란 그 슬롯이 비어 있지 않을 확률을 말한다. 리더 충돌이 발생하면, 충돌이 발생한 리더는 이 모니터링 값을 이용하여 가장 작은 점유 확률을 가진 슬롯을 선택하고 이를 주변 리더들에게 알린다. 그리고 이 정보를 들은 주변 리더들 중 그 슬롯을 사용하고 있는 리더는 선택된 슬롯을 양보하고 다른 임의의 슬롯을 선택하는데, 이 경우에도 가장 점유 확률이 낮은 슬롯을

---

**Proposed Algorithm Subroutine 1 - Transmission**  
 If (timeslot\_ID %max\_color) == current\_color  
 -Then transmission  
 -Else idle until (timeslot\_ID %max\_color) == current\_color

**Proposed Algorithm Subroutine 2 - Collision**  
 If attempted transmission but experienced collision  
 -Current\_color changes to a new color having the minimum occupied probability  
 -Broadcast the information stating new color

**The rest of the proposed algorithm is the same as the Enhanced Colorwave**

---

그림 6. Channel Monitoring 알고리즘

선택하게 된다. Channel Monitoring 알고리즘은 슬롯 선택외의 다른 모든 기법들은 Enhanced Colorwave와 동일한 방식을 이용한다.

### 3.2 Pulse Protocol 알고리즘

그림 7은 기존 CSMA 방법으로 해결할 수 없는 RFID 네트워크의 전형적인 hidden terminal 환경이다. 즉, 리더들이 서로 캐리어 센싱 거리밖에 위치해 있고,  $R_1$ 은 T와 데이터 채널로 통신하고 있으며,  $R_2$ 는 주변 태그에 신호를 전송중이다. 이 경우 T에서는 다중리더에 의한 충돌이 발생하며, 이를 해결하기 위해서 Pulse Protocol 알고리즘이 제안되었다. Pulse Protocol 알고리즘은 리더 간의 통신이 가능한 또 다른 제어채널을 사용하여 리더 간의 충돌을 방지한다. 제어 채널은 데이터 채널과 별도로 동작해야 하므로 다른 주파수가 할당되며, 리더 간 충돌을 조정하기 위하여 제어 신호 전력은 데이터 신호 전력보다 크도록 설정하였다. 즉, 그림 7에서처럼 간섭 거리에 비해 제어 신호감지 거리가 더 커지도록 해서 hidden terminal 문제를 해결할 수 있다. 한 리더가 태그와 통신을 하고 있을 때는 주변 리더에게 beacon 신호를 주기적으로 제어 채널을 통해 송신하며 주변 리더들은 제어채널의 beacon 신호들을 계속 센싱하여 리더가 전송을 마칠 때까지 기다리고 beacon이 센싱되지 않을 경우 즉, 데이터 채널이 idle 상태가 되었을 때 주변리더들이 Pulse MAC Protocol을 적용해서 데이터 채널을 사용하게 된다<sup>41</sup>.

리더가 태그를 읽고자 하면 idle 상태에서 waiting 상태로 천이한다. waiting 상태에서는  $T_{min}$ 동안 대기 하면서 beacon 신호를 검색한다.  $T_{min}$  내에 beacon 신호를 받으면 waiting time을  $T_{min}$ 으로 리셋 한다.

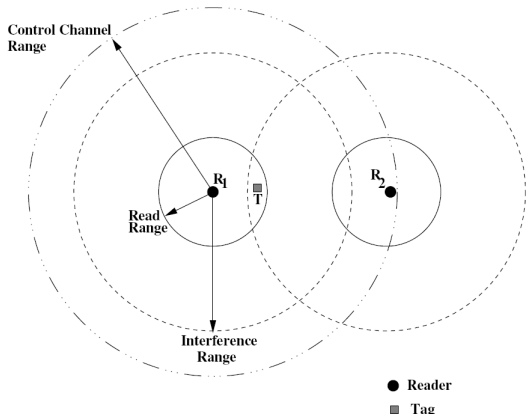


그림 7. 제어 채널 거리

$T_{min}$  시간동안 beacon 신호를 받지 않으면 contend 상태로 천이해서 랜덤 backoff 시간은 beacon 신호 주기의 정수배 시간으로 리더가 동시에 엑세스 확률을 줄여준다. contend 상태에서 beacon을 받으면 다시 waiting 상태로 가며 랜덤 backoff가 끝날 때까지 beacon을 받지 않으면 경쟁중인 리더가 없음을 확인 할 수 있어서 beacon을 보내고 태그 정보를 읽게 된다. 태그 정보를 읽는 중에도 계속 주기적으로 beacon을 보내며 beacon을 보내기 전에 제어 채널이

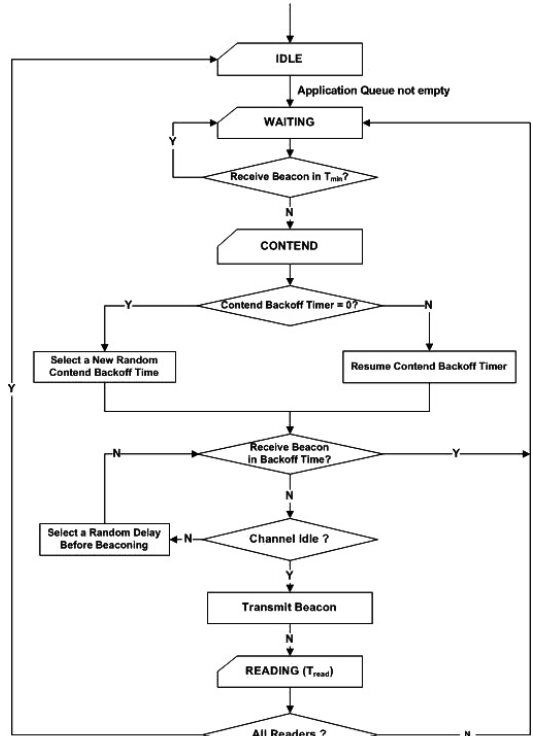


그림 8. Pulse Protocol 알고리즘의 흐름도

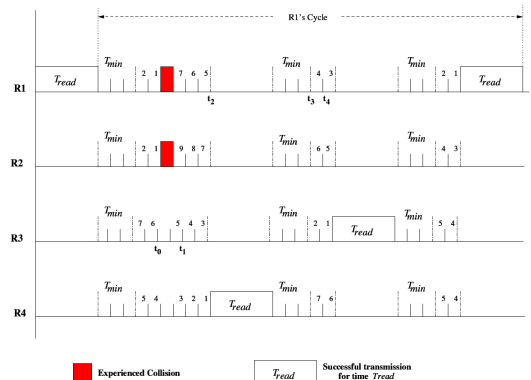


그림 9. Pulse Protocol 알고리즘의 동작과정

사용 중인지를 생성한다. 채널이 idle인 경우만 다시 beacon을 보내며 busy인 경우는 랜덤 backoff (delay before beaconing)을 다시 하여 채널이 idle 일 때까지 기다린다. Delay Before Beaconing 상태나 reading 상태에서 제어채널을 통해서 다른 beacon이 수신되면 모두 waiting 상태로 돌아가야 한다<sup>[4]</sup>.

그림 8과 그림 9<sup>[7]</sup>는 Pulse Protocol 알고리즘의 흐름도와 Pulse Protocol 알고리즘의 동작과정을 나타내고 있다.

#### IV. 제안하는 슬롯 점유확률을 이용한 Pulse Protocol 기반의 Hybrid 리더 충돌방지 알고리즘

제안하는 슬롯 점유확률을 이용한 Pulse Protocol 기반의 Hybrid 리더 충돌방지 알고리즘은 Pulse Protocol 알고리즘의 성능을 향상시키기 위하여 Channel Monitoring 알고리즘에서 사용되는 슬롯의 점유확률(Occupied Probability)을 이용한다.

제안하는 슬롯 점유확률을 이용한 Pulse Protocol 기반의 Hybrid 리더 충돌방지 알고리즘의 동작과정을 살펴보면, 다음과 같다.

리더의 태그 인식이 종료되었거나 리더 충돌이 발생하여 새로운 랜덤 backoff 시간을 생성 할 경우, 리더는 랜덤 backoff 시간의 모니터링을 통해 자신이 사용하게 될 슬롯의 점유확률을 확인한다. 이때 자신이 사용하게 될 슬롯의 점유확률이 0보다 크다면, 즉 자신이 사용하게 될 슬롯이 다른 리더의 랜덤 backoff 시간에 의해 점유 되었다면, 리더는 새로운 랜덤 backoff 시간을 생성하여 리더간의 충돌을 피한다.

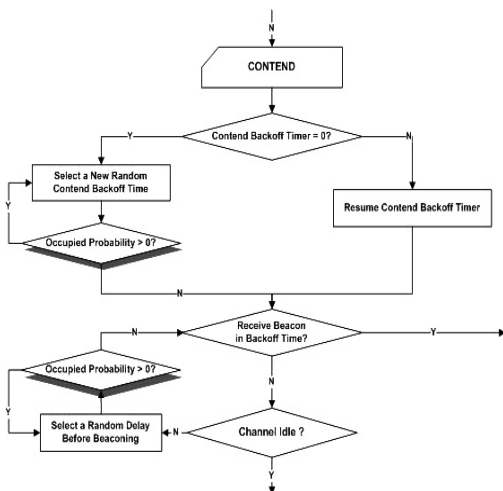


그림 10. 제안하는 리더 충돌방지 알고리즘의 흐름도

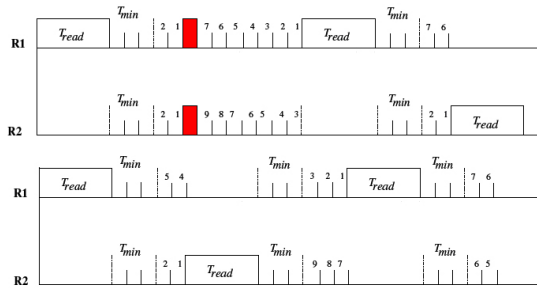


그림 11. 제안하는 리더 충돌방지 알고리즘의 동작과정

제안하는 리더 충돌방지 알고리즘을 이용하여 기존 알고리즘보다 향상된 System Throughput, System Efficiency와 감소된 Identification Time이 기대된다.

그림 10은 제안하는 슬롯 점유확률을 이용한 Pulse Protocol 기반의 Hybrid 리더 충돌방지 알고리즘의 흐름도를 나타내고 있다. 음영처리 된 부분은 기존 Pulse Protocol 알고리즘에서 새롭게 제안하는 부분을 나타내고 있다.

그림 11은 제안하는 슬롯 점유확률을 이용한 Pulse Protocol 기반의 Hybrid 리더 충돌방지 알고리즘의 동작과정을 나타내고 있다.

그림 12는 제안하는 슬롯 점유확률을 이용한 Pulse Protocol 기반의 Hybrid 리더 충돌방지 알고리즘의 의사코드를 나타내고 있다. 진하게 처리 된 부분은 기존 Pulse Protocol 알고리즘에서 새롭게 제안하는 부분을 나타내고 있다.

제안하는 알고리즘은 슬롯 선택외의 다른 모든 기법들은 Pulse Protocol 알고리즘과 동일한 방식을 이용한다.

#### V. 모의실험을 통한 성능분석

본 논문에서는 EPCglobal Gen-2 시스템 환경 하에서 III장에서 소개 된 리더 충돌방지 알고리즘인, Channel Monitoring 알고리즘, Pulse Protocol 알고리즘과 IV장에서 제안한 슬롯 점유확률을 이용한 Pulse Protocol 기반의 Hybrid 리더 충돌방지 알고리즘의 성능을 성능분석항목(Performance Index)을 통하여 비교 및 분석한다.

##### 5.1 모의실험 환경 및 파라미터

태그, 리더를 MatLab를 이용 하여 모델링 하였으며, 모의실험에서 설정된 파라미터들은 표 1과 같다 [7,10-12]. 리더의 개수는 1개에서 무한개까지 설정할 수 있으나, 본 논문에서는 12개로 한정하였고, 태그

```

CASE: Receive packet from application to send on the network
1: if state = IDLE then
2:   state = WAITING
3:   Set waiting_time_expired timer to Tmin
4: end if
CASE: Control channel becomes busy
1: if state = CONTENTD then
2:   Pause contend_backoff_expired timer
3: end if
4: if state = DELAY_BEFORE_BEACONING then
5:   Pause delay_before_beaconing_expired timer
6: end if
CASE: Control channel becomes idle
1: if state = CONTENTD then
2:   Resume contend_backoff_expired timer
3: end if
4: if state = DELAY_BEFORE_BEACONING then
5:   Resume delay_before_beaconing_expired timer
6: end if
CASE: BEACON Received
1: if state = CONTENTD OR state = WAITING then
2:   Cancel all timers
3:   state = WAITING
4:   Set waiting_time_expired timer to Tmin
5: end if
CASE: Timer Expired
1: if waiting_time_expired timer AND state = WAITING then
2:   state = CONTENTD
3:   if contend_backoff_expired timer = 0 then
4:     Set contend_backoff_expired timer to previous residual
   value
5:   else
6:     Select a new random contend backoff
7:     for SOP > 0
8:       Select a new random contend backoff
9:     end for
10:  end if
11: end if
12: if (beacon_interval_expired timer AND state = READING) OR
   (contend_backoff_expired timer AND state = CONTENTD)
   then
13:   if Control channel is IDLE then
14:     Transmit BEACON on control channel
15:     Set reading_time_expired timer to max
   communication time
16:     Set beacon_interval_expired timer
17:     state = READING
18:     Start communication with the tags
19:   else
20:     state = DELAY_BEFORE_BEACONING
21:     Set delay_before_beaconing_expired timer to a random delay
22:     for SOP > 0
23:       Set delay_before_beaconing_expired timer to
   new random delay
24:     end for
25:   end if
26: end if
27: if reading_time_expired timer AND (state = READING OR
   state = DELAY_BEFORE_BEACONING) then
28:   Cancel all timers
29:   state = WAITING
30:   Set waiting_time_expired_timer to Tmin
31: end if
    
```

그림 12. 제안하는 리더 충돌방지 알고리즘의 의사코드

표 1. 모의실험 파라미터

Parameters	Descriptions	Values
Number of Readers	Total number of readers in the same region	1 ~ 12
Number of Tags	Total number of tags in the region to be identified	500
Slot Time	Time for one slot	20 ms
Tari	Reference time interval for a data-0 in reader-to-tag signaling	12.5 μs
T1	Time from reader transmission to tag response	93.75 μs
T2	Time from tag response to reader transmission	93.75 μs
T3	Time an reader waits, after T1, before it issues another command	0 μs
T4	Minimum time between reader commands	75 μs
Query size	Data Transmission for one query	40 bytes

의 개수는 500개로 설정 하였다.

1~12 개의 리더가 총 500개의 태그를 읽었을 경우, 모의실험은 종료되고, 이런 과정이 100번 반복되며, 반복된 모의실험을 통하여 얻어진 결과 값의 Ensemble Average 값을 취하였다.

### 5.2 성능분석항목 (Performance Index)

일반적으로 태그 인식은 Query-response 프로토콜을 통해서 행해진다. 이 프로토콜에서 리더는 Query 명령어를 태그로 보내고, 태그는 이 Query 명령어에 고유한 식별 번호를 가지고 응답한다. 즉, 주어진 시간 내에 리더로부터 태그까지 성공적으로 전송된 Query 명령어가 많다는 것은 효율적인 리더 충돌방지 알고리즘에 의하여 데이터 처리량의 향상과 리더 충돌비율의 감소를 의미한다. 따라서 본 논문에서는 이 Query-response 프로토콜을 이용하여 시스템의 성능을 분석한다. 또한, 기존 알고리즘과 제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 세 개의 성능분석항목을 사용한다.

#### 5.2.1 태그인식시간 (Identification Time)

본 논문에서는 총 500개의 태그들이 각각 1~12 개의 리더에 의해 인식될 때까지 시간으로 정의하였다. 효율적인 리더 충돌방지 알고리즘은 리더의 태그 인식시간을 단축시킨다.

5.2.2 데이터 처리량 (System Throughput)

본 논문에서는 데이터 처리량을 다음 식 (1)과 같이 정의한다.

$$\text{System Throughput (bytes/s)} = \frac{\text{Total queries sent successfully by all readers}}{\text{Identification Time}} \quad (1)$$

주어진 시간 내에 리더로부터 태그까지 성공적으로 전송된 Query 명령어의 빈도수를 데이터 처리량으로 정의하였다. 성공적으로 전송된 Query 명령어가 많을수록 데이터 처리량은 향상되고, 리더에 의해 인식된 태그의 개수는 많아진다.

5.2.3 시스템 효율 (System Efficiency)

본 논문에서는 시스템 효율을 다음 식 (2)와 같이 정의한다.

$$\text{System Efficiency (\%)} = \frac{\text{Total queries sent successfully by all readers}}{\text{Total queries sent by all readers}} \times 100 \quad (2)$$

리더가 태그로 전송한 Query 명령어 빈도수와 리더로부터 태그까지 성공적으로 전송된 Query 명령어의 빈도수의 비율을 시스템 효율로 정의하였다. 데이터 처리량의 향상은 인식률의 향상을 나타내는 반면에, 시스템 효율의 향상은 충돌 감소를 나타낸다.

5.3 성능 비교 및 분석

그림 13은 1에서부터 12까지 증가하는 리더개수에 따른 제안한 리더 충돌방지 알고리즘과 기존 리더 충돌방지 알고리즘의 태그인식시간을 비교한 결과이다. Channel Monitoring 알고리즘은 리더의 개수가 증가함에 따라 태그인식시간이 증가하는 것을 볼 수 있다. 반면에 Pulse Protocol 알고리즘은 리더의 개수가 증가함에 따라 태그인식시간이 감소되는

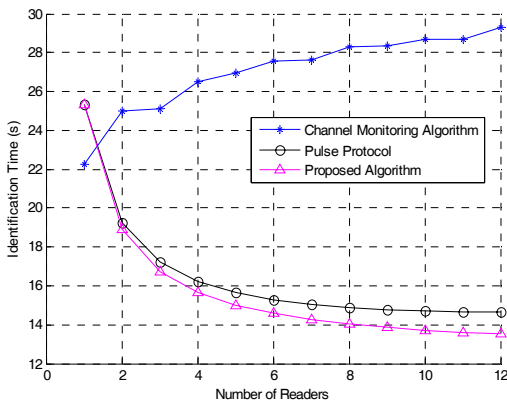


그림 13. 기존 리더 충돌방지 알고리즘과 제안한 리더 충돌방지 알고리즘의 태그인식시간 비교

것을 볼 수 있다. 제안한 리더 충돌방지 알고리즘은 리더의 개수가 증가함에 따라 Pulse Protocol 알고리즘보다 약 7% 가량 태그인식시간이 향상되는 것을 볼 수 있다.

그림 14는 1에서부터 12까지 증가하는 리더개수에 따른 제안한 리더 충돌방지 알고리즘과 기존 리더 충돌방지 알고리즘의 데이터 처리량을 비교한 결과이다. Channel Monitoring 알고리즘은 리더의 개수가 증가함에 따라 데이터 처리량이 감소하는 것을 볼 수 있다. 반면에 Pulse Protocol 알고리즘은 리더의 개수가 증가함에 따라 데이터 처리량이 증가하는 것을 볼 수 있다. 제안한 리더 충돌방지 알고리즘은 리더의 개수가 증가함에 따라 Pulse Protocol 알고리즘보다 약 7% 가량 데이터 처리량이 향상되는 것을 볼 수 있다.

그림 15는 1에서부터 12까지 증가하는 리더개수에 따른 제안한 리더 충돌방지 알고리즘과 기존 리더

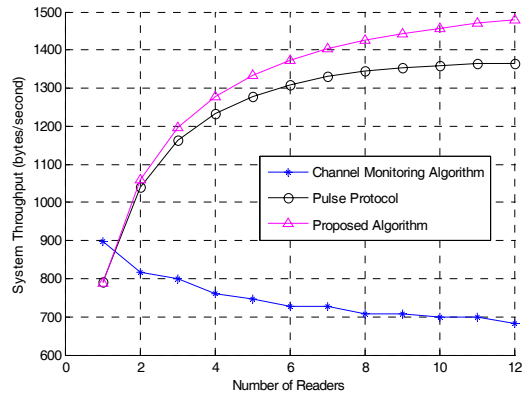


그림 14. 기존 리더 충돌방지 알고리즘과 제안한 리더 충돌방지 알고리즘의 데이터 처리량 비교

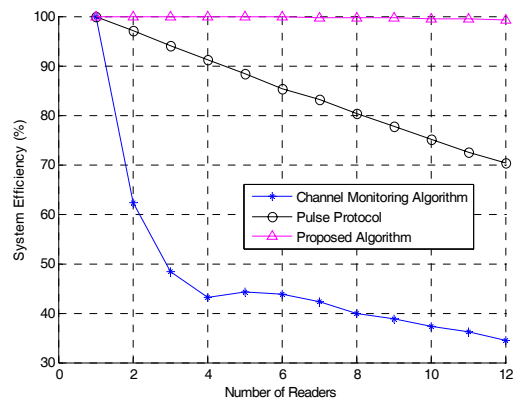


그림 15. 기존 리더 충돌방지 알고리즘과 제안한 리더 충돌방지 알고리즘의 시스템 효율 비교



더 충돌방지 알고리즘의 시스템 효율을 비교한 결과이다. Channel Monitoring 알고리즘은 리더의 개수가 증가함에 따라 시스템 효율이 감소하는 것을 볼 수 있다. 반면에 Pulse Protocol 알고리즘은 리더의 개수가 증가함에 따라 시스템 효율이 향상되는 것을 볼 수 있다. 제안한 리더 충돌방지 알고리즘은 리더의 개수가 증가 하더라도 시스템 효율이 99% 이상 나타나는 것을 볼 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 기존 RFID 리더 충돌방지 알고리즘인 Channel Monitoring 알고리즘, Pulse Protocol 알고리즘에 대하여 분석하였고, Identification Time을 줄이고, System Throughput, System Efficiency를 향상시키기 위하여 슬롯 점유확률을 이용한 Pulse Protocol 기반의 Hybrid 리더 충돌방지 알고리즘을 제안하였다. 또한, 기존 리더 충돌방지 알고리즘들과 제안한 리더 충돌방지 알고리즘의 성능 비교 및 분석을 하였다.

기존 리더 충돌방지 알고리즘과 제안한 리더 충돌방지 알고리즘 성능을 비교 및 분석하였을 경우, 제안한 리더 충돌방지 알고리즘이 기존 리더 충돌방지 알고리즘보다 리더의 개수가 증가함에 따라 7% 정도의 태그인식시간 및 데이터 처리량 성능 향상과 99% 이상의 시스템 효율을 얻을 수 있다.

## 참 고 문 헌

[1] K. Finkenzeller, *RFID Handbook ; Fundamentals and applications in contactless Smart Cards and Identification*. 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley & Sons Ltd, 2003.

[2] 김상태, “RFID 기술개요 및 국내외 동향분석,” 전자부품연구원 전자정보처리센터, 2003, 08.

[3] 차재룡, 김재현, “RFID 시스템에서의 태그수를 추정하는 ALOHA 방식 Anti-collision 알고리즘,” 한국통신학회논문지, Vol.30, No.9, pp.814-821, 2005, 09.

[4] 안동현, 양훈기, 양성현, 김영수, “RFID 리더의 다중접속 프로토콜,” 한국통신학회지, Vol.24, No.5, pp. 124-134, 2007, 05.

[5] 이수련, 이채우, “RFID 시스템에서의 Enhanced Colorwave 리더 충돌 방지 알고리즘,” 대한전자공학학회논문지, Vol.43, No.2, pp.27-38, 2006, 02.

[6] 장병준, 박준석, 오하령, 성영락, “RFID dense 모드 지원을 위한 Medium Access 기술,” 한국통신학회지, Vol.23, No.12, pp.81-92, 2006, 12.

[7] S. M. Birari, and S. Lyer, “Mitigating the reader collision problem in RFID networks with mobile readers,” in *Proc. of the 13th IEEE Int. Conf. on Networks*, Vol.1. Nov. 2005, pp.463-468.

[8] Chris Turner, et al., “White Paper on the dense reader problem in Europe,” *ISO-IEC JTC1/SC31/WG4/SG3 Ad hoc committee on dense reader problem*, Jan. 2006.

[9] 이수련, 이채우, “채널 모니터링 기법을 이용한 RFID 리더 충돌방지 알고리즘,” 대한전자공학학회논문지, Vol.43, No.8, pp.35-46, 2006, 08.

[10] EPCglobal, *Radio-Frequency Identity Protocols Class 1 Generation-2 UHF Protocol for Communications at 860 MHz-960 MHz Version 1.1.0*, Dec. 17, 2005.

[11] 송인찬, 범효, 장경희, 이형섭, 신동범, “수동형 /반능동형 RFID 시스템의 태그 충돌 방지 알고리즘 Part I : QueryAdjust 명령어를 이용한 AFQ 알고리즘과 Grouping에 의한 성능개선,” 한국통신학회논문지, Vol.33, No.8, pp.794-804, 2008, 08.

[12] 범효, 송인찬, 장경희, 이형섭, 신동범, “수동형 /반능동형 RFID 시스템의 태그 충돌 방지 알고리즘 Part II : Chebyshev’s Inequality를 이용한 CHI 알고리즘과 Hybrid Q 알고리즘,” 한국통신학회논문지, Vol.33, No.8, pp.805-814, 2008, 08.

송 인 찬 (InChan Song)

준회원



2007년 2월 인천대학교 전자공학과(공학사)  
2007년 2월~현재 인하대학교 정보통신 대학원 석사과정  
<관심분야> RFID / USN Systems, MAC Protocol, IEEE 802.11/15

**범 호 (Xiao Fan)**

준회원



2003년 2월 중국의과대학교 임상  
의학과 (공학사)  
2005년 2월 청화대학교 소프트웨어공학과 (공학사)  
2007년 2월~현재 인하대학교 정보통신 대학원 석사과정  
<관심분야> RFID / USN Systems,  
MAC Protocol, IEEE 802.11/15

**장 경 희 (KyungHi Chang)**

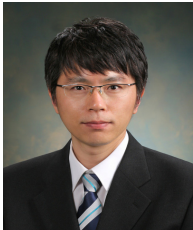
중신회원



1985년 2월 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
1987년 2월 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
1992년 8월 Texas A & M Univ., EE Dept. (Ph.D.)  
1989년~1990년 삼성종합기술원 주임연구원  
1992년~2003년 한국전자통신연구원, 이동통신연구소 무선전송방식연구팀장 (책임연구원)  
2003년~현재 인하대학교 정보통신대학원 교수  
<관심분야> 4세대 이동통신 및 3GPP LTE 무선 전송 방식, WMAN 및 DMB 시스템 무선전송기술, Cognitive Radio, Cross-layer Design, Cooperative Relaying System, RFID / USN Systems

**윤 희 석 (HeeSeok Yoon)**

준회원



1999년 8월 인하대학교 전기공학과 (공학사)  
2008년 8월 인하대학교 정보통신 대학원 (공학석사)  
<관심분야> RFID / USN Systems, OFDM System