

RFID 리더 충돌 중재를 위한 적응형 리더 네트워크¹⁾

임상순^o, 한규호, 김윤국, 안순진
고려대학교 전자컴퓨터공학과

{lssgood^o, garget, dbs1225, sunshin}@dsys.korea.ac.kr

Adaptive reader network for solving the reader collision problem

Sangsoon Lim^o, Kyuho Han, Yoonkuk Kim, Sunshin An

Dept. of Electronics and Computer Eng, Korea University

요 약

RFID(Radio Frequency IDentification) 기술은 RF 신호를 이용하여 특정 물체에 부착되어진 태그를 일정 범위 이내에서 식별할 수 있는 자동인식기술이다. RFID 시스템 상용화 이전에 해결해야 할 중요한 문제 중 하나는 다수의 리더들 간의 충돌 문제이다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 리더 충돌 방지 알고리즘들은 RFID 시스템의 효율성과 직접적인 연관이 있으며 아직 연구가 미비한 상태이다. 기존의 리더 충돌 방지 알고리즘 중 Colorwave 방식은 구현이 간단한 장점은 있으나, 시간 이용 효율 저하 및 태그 오동작이 발생하게 된다. 또한 경쟁 기반의 슬롯 할당 방식으로 인한 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서는 RFID 리더 네트워크에 충돌 중재를 위한 매니저를 두어 리더 간의 충돌 발생을 방지함과 동시에 위의 문제점을 해결 할 수 있는 적응형 리더 네트워크 구조를 제시한다.

1. 서 론

RFID는 유비쿼터스 환경 구현에 필요한 핵심적인 기술로 특정 물체에 부착된 태그와 RF를 이용하여 비접촉식으로 식별하는 자동인식기술이다. 이는 기존의 바코드를 대체할 기술로서 미래 IT 시장을 선도할 유망 기술 중 하나로 주목받고 있다.

현재 RFID 시스템에서는 다수의 리더들이 서로 다른 리더에게 영향을 주어 전송 데이터의 충돌을 야기 시킬 수 있다. 이를 리더 충돌 문제라고 하며 크게 두 가지 간섭으로 분류되어 진다^[1].

하나는 물리적으로 가까이 위치해 있는 다수의 리더가 동시에 동일한 주파수를 사용하여 통신을 시도 하게 되면 발생하게 되는 주파수 간섭이다. 또 다른 하나는 태그 간섭으로 하나의 리더가 특정 태그로부터 정보를 읽어오는 도중에 다른 리더가 해당 태그에 대한 읽기 시도 시 발생하는 간섭이다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해서는 리더들이 서로 다른 타이밍으로 태그를 읽는 동작을 수행하거나 다른 주파수 대역을 사용하는 방법 등이 있다.

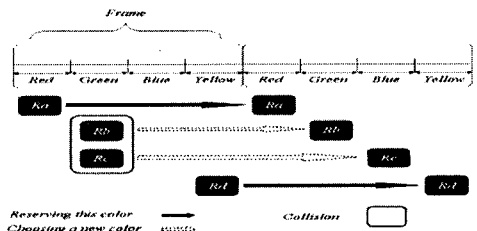
Colorwave 알고리즘^[2]이란 위에서 언급한 리더 충돌 문제를 해결하기 위해 Auto-ID 센터에서 제안한 알고리즘이다. RFID 리더 네트워크에서 리더들 간의 다중접속을 위해 TDMA 방식을 사용하고 여러 리더가 하나의 타임 슬롯을 차지하기 위해 경쟁하게 되어 충돌이 발생하게 되면 slotted ALOHA 방식을 사용하여 충돌이 발생한 리더들에게 임의의 새로운 타임 슬롯을 할당해 주는 방식을 취한다. 하지만 본 알고리즘은 고정적인 타임 슬롯으로 인한 몇 가지 문제점과 경쟁 기반의 슬롯 할당 방식으로 인한 문제점을 가지고 있다.

본 논문의 제 2절에서는 리더 충돌 문제를 해결하기 위해 제안된 Colorwave 알고리즘을 소개하고, 제 3절에서 해당 알고리즘에 대한 문제점 및 이를 해결하여 효율성을 높인 적응형 리더 네트워크를 제시한다. 마지막으로 제 4절에서 이를 종합하여 결론을 내린다.

2. Colorwave 알고리즘

2.1 DCS 알고리즘

DCS(Distributed Color Selection) 알고리즘^[2]은 리더 네트워크에 부여할 수 있는 전체 컬러의 수가 고정적인 알고리즘이다. 즉 리더 네트워크의 모든 리더들이 통신하는 한 주기를 프레임이라고 했을 때 정적인 프레임 구조를 갖는다. [그림 1]에서와 같이 리더는 타임 슬롯(컬러)을 할당받고 주어진 시간동안만 태그와 통신하게 된다. 만약 동일한 타임 슬롯에 여러 리더가 통신을 시도하게 되면 충돌이 발생하게 되고 리더는 다음 주기에 다시 랜덤하게 슬롯을 선택한다. 즉 TDMA 방식과 경쟁 기반의 Slotted ALOHA 알고리즘의 혼합된 방식이라고 볼 수 있다.



[그림 1] DCS Algorithm

1) 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성,지원사업의 연구결과로 수행되었음

2.2 VDCS 알고리즘

위의 DCS 알고리즘은 리더 네트워크가 정적인 경우에는 이상적인 방법이다. 하지만 새로운 리더가 리더 네트워크에 들어왔을 경우 기존의 고정적인 타임 슬롯 방식은 많은 충돌을 유발할 수 있다. 예를 들어, 전체 5개의 리더가 4개의 타임 슬롯으로 구성되어진 프레임 내에서 태그와 통신하기 위해 경쟁한다면 잦은 충돌이 발생하게 된다. 이러한 점을 보완하고자 타임 슬롯의 수를 증가하거나 감소시킬 수 있는 VDCS(Variable Distributed Color Selection) 알고리즘^[2]이 제안되었다.

Colorwave 알고리즘에는 타임 슬롯을 정하는 방법에 대한 언급이 없으며, 이 구간을 고정적인 값으로 정의한다. 일반적으로 리더의 범위 내에 있는 태그가 한 개 일 경우 리더와 태그가 통신하는데 필요한 시간과 리더의 범위 내에 있는 태그가 여러 개일 경우 통신하는데 필요한 시간이 다르다. 만약 리더 네트워크의 태그들이 태그 충돌 방지를 위한 알고리즘으로 이진 탐색 알고리즘을 사용한다면 리더 인식 범위 내에 N개의 태그가 있을 때 하나의 태그를 검출하는데 평균 L번의 태그 인식 반복이 필요하다. 이를 다음과 같이 식(1)로 나타낼 수 있다^[3].

$$L(N) = \frac{\log(N)}{\log(2)} + 1 \quad \text{식(1)}$$

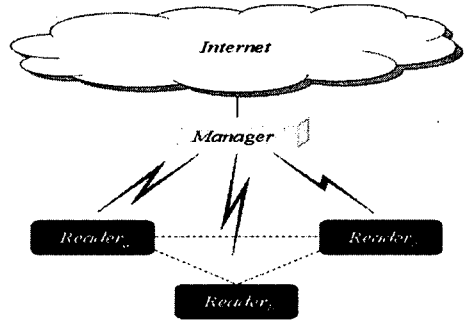
그러므로 전체 리더 네트워크에 적절한 타임 슬롯의 크기를 설정하는 것은 알고리즘의 성능과 관련하여 중요한 요소 중 하나이다.

3. 적응형 리더 네트워크

3.1 적응형 리더 네트워크 구조

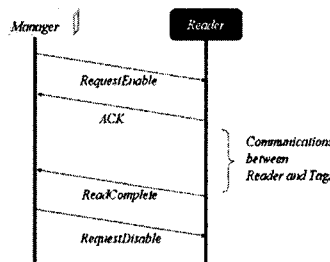
RFID 시스템에서의 리더 충돌 문제를 해결하기 위해서는 서로 다른 시간대를 이용하여 태그를 인식하는 TDMA 방식이 가장 기본적이다. 하지만 고정된 크기의 타임 슬롯 사용은 시간 이용률을 떨어뜨릴 수 있다. 제 2절에서 살펴본 Colorwave 알고리즘이 그 대표적인 경우로 타임 슬롯의 크기에 따라 여러 가지 효율성 저하 문제를 야기시킬 수 있다. 위와 같은 문제점을 해결하기 위해 본고에서 제안한 적응형 리더 네트워크는 [그림 2]와 같이 리더 네트워크에 리더 충돌 중재를 위한 리더 매니저를 둔다. [그림 2]에서 리더들 사이의 점선은 리

더들이 서로 충돌 범위 이내에 있음을 의미한다.

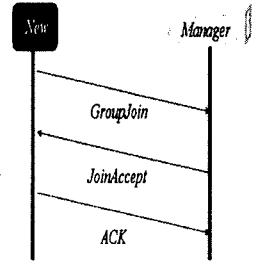


[그림 2] RFID Reader Network

매니저는 [그림 3]에서와 같이 각 리더에게 일련의 순번을 부여하고 정해진 순번대로 리더에게 Request Enable 메시지를 전송한다. RequestEnable 메시지를 받은 리더는 인식 영역 내의 태그들을 식별하는 과정을 수행하게 되며 모든 태그를 식별 한 후에 ReadComplete 메시지를 매니저에게 전송하게 되며 이를 수신한 매니저는 해당 리더에게 RequestDisable 메시지를 보내고 다음 순번의 리더에게 동일한 과정을 반복하게 된다. 그리고 [그림 4]와 같이 새로운 리더가 리더 네트워크에 들어오게 되면 새 리더는 매니저에게 GroupJoin 메시지를 보내며 이를 받은 매니저는 해당 리더의 순서를 할당하고 JoinAccept 메시지를 해당 리더에 보내 줌으로써 동적인 리더 네트워크 환경의 적응을 용이하게 한다.



[그림 3] 기본 동작



[그림 4] 합류시 동작

3.2 Colorwave와 적응형 리더 네트워크 비교 분석

Colorwave 알고리즘에서는 타임 슬롯 할당과 관련하여 다음과 같은 문제가 발생할 수 있다.

(i) 가장 작은 태그 밀도를 갖는 리더를 기준으로 타임 슬롯을 할당했을 경우

이 경우 비트 중재 알고리즘이나 분할 트리 알고리즘 등 메모리형 태그 충돌 방지 알고리즘을 사용하고 있다

면 다음과 같은 문제가 발생한다. 리더 A,B,C 사이에 간섭 영역이 존재한다고 가정하고 태그 밀도가 리더A > 리더B > 리더C 라고 하면, 리더 A는 주어진 시간 내에 영역 내의 모든 태그들과 통신을 할 수 없다. 즉, 리더 A가 간섭 영역 내의 태그들과 통신 하던 도중 할당된 시간이 종료되어 리더 B가 태그들과의 통신을 수행 했을 경우, 리더 A에 의하여 상태를 변화시키던 간섭 영역 내의 태그들을 리더 B가 바로 참조하게 되어 오동작을 유발 시키게 된다.

(ii) 가장 큰 태그 밀도를 갖는 리더를 기준으로 타임 슬롯을 할당했을 경우

타임 슬롯의 크기를 T라고 하고 리더가 태그 인식을 위해 이용하는 시간을 t라고 했을 때 시간 이용률 E_{time} 은 식(2)과 같다. (ΔD 는 태그 밀도 편차이다.)

$$\begin{cases} E_{time} = \frac{t}{T} \\ E_{time} \propto \frac{1}{\Delta D} \end{cases} \quad \text{식(2)}$$

즉, ΔD 가 클수록 리더가 할당 받은 시간 내에 태그 인식을 위해 사용하는 시간이 줄어들어 유휴 시간(낭비되는 시간)이 늘어나게 된다.

이에 반해 적응형 리더 네트워크는 리더 네트워크의 리더들에게 태그들과 통신하기 위한 충분한 시간을 보장해 주기 때문에 (i)의 경우와 같은 오동작이 발생하지 않게 된다. 또한 (ii)의 경우 RFID 리더 네트워크 내에 N개의 리더가 있다고 가정하고 t_n 을 n번째 리더가 태그 인식을 위해 사용하는 시간이라 하면 식(3)과 같이 낭비되는 시간 T_{wasted} 가 발생하게 되는데, 적응형 리더 네트워크는 이와 같이 낭비되는 시간을 모두 태그 인식을 위해 사용하기 때문에 보다 효율적으로 동작한다.

$$\begin{cases} T_{wasted} = \sum_{k=1}^{N-1} WT_k \\ WT_n = T - t_n \quad (t_n < T) \end{cases} \quad \text{식(3)}$$

다음으로 Colorwave 알고리즘에서는 타임 슬롯 할당 경쟁으로 인한 효율성 저하 문제가 발생할 수 있다. 타임 슬롯의 크기를 T, 타임 슬롯을 할당받지 못한 리더의 수를 n이라고 한다면 Slotted ALOHA 방식을 사용하여 경쟁을 하기 때문에 하나의 타임 슬롯에 충돌이 발생할 수 있는 확률은 식(4)와 같다^[4].

$$P(n) = \frac{T^n e^{-T}}{n!} \quad \text{식(4)}$$

즉, Colorwave 알고리즘의 경우 P(n)의 확률로 충돌이 발생하게 되면, 충돌이 발생한 타임 슬롯은 낭비되어지게 된다. 하지만 적응형 리더 네트워크는 경쟁 기반의 방식이 아니기 때문에 이와 같이 낭비되는 시간 또한 줄일 수 있는 장점이 있다.

마지막으로 VDCS 알고리즘에서는 새로운 리더가 리더 네트워크에 합류하게 되면 타임 슬롯 할당 과정에서 특정 횟수 이상 충돌이 발생할 경우에 전체 프레임의 크기를 증가시키기 때문에 정상적인 슬롯 할당을 위해 특정 횟수 이상이 충돌이 불가피하다는 문제점을 가지고 있다. 적응형 리더 네트워크에서는 새로운 리더가 들어오게 되면 매니저로부터 순서를 할당받고 통신하는 방식을 취하기 때문에 이와 같이 낭비되는 시간도 발생하지 않는다.

4. 결론

RFID 리더 충돌 문제를 해결하기 위해 제안된 기존의 Colorwave 알고리즘은 경쟁 기반의 슬롯 할당 방식을 사용하며, 리더의 태그 밀도를 고려하지 않고 고정된 크기의 타임 슬롯을 사용함으로써 시간 이용률이 떨어지는 문제와 메모리형 태그 충돌 방지 알고리즘 사용 시 태그 오동작이 발생할 수 있는 확률이 있었다. 본고에서 제안한 적응형 리더 네트워크에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 경쟁 기반의 점유 방식을 탈피하고 리더들 간의 충돌을 중재해 주는 매니저를 이용한다. 그러므로 각 리더는 태그를 인식하는데 필요한 만큼의 충분한 시간동안 다른 리더의 간섭 없이 태그와의 통신이 가능하게 되며 시간 이용률 또한 높아지게 된다.

[참 고 문 헌]

[1] Daniel W. Engels, "The Reader Collision Problem", Auto-ID Center, November 2001.
 [2] James Waldrop, Daniel W. Engels, and Sanjay E. Sarma, "Colorwave: An Anticollision Algorithm for the Reader Collision Problem", ICC'03, Vol.2, May 2003.
 [3] Klaus Finkenzeller, RFID handbook - Second Edition, Jone Wiley & Sons, 2003.
 [4] Abramson N, "The Aloha System - Another Alternative for Computer Communications", AFIRS, p.37, 1970