
다중 코디네이터를 이용한 RFID 리더 프로토콜 성능 분석

이세희* · 양훈기** · 양성현*** · 강봉순****

Performance of Multiple Coordinators-based RFID Reader Protocol

Se-Hee Lee* · Hoon-Gee Yang** · Sung-Hyun Yang*** · Bong-soon Kang****

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원(No 2011-0027107) 및 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원 사업(NIPA-2011-C1090-1111-0006)의 연구결과로 수행되었음

요 약

본 논문은 수동형 RFID 시스템에서 발생하는 리더 충돌을 회피할 수 있는 코디네이터 기반 리더 프로토콜을 제시한다. 리더 스스로 임의의 슬롯을 선택하여 통신하는 기존방식과는 달리 제시한 프로토콜에서는 코디네이터가 네트워크에 참여하는 리더에게 중복되지 않게 슬롯을 할당하고 현재 슬롯 번호를 전송하여 해당 슬롯을 할당받은 하나의 리더만 통신하도록 한다. 제안된 방식은 다중 코디네이터 환경을 구축하여 광역 환경에서 더욱 효과적으로 사용될 수 있으며, 이로 인한 리더 충돌 문제는 주파수 배치(Frequency planning)를 적용하여 보완한다. 제안한 방식이 기존 방식에 비해 3~5배의 성능 향상을 보임을 시뮬레이션을 통해 검증한다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a coordinator-based reader protocol that can avoid reader collisions in a passive RFID system. In a proposed protocol, unlike conventional protocols that a reader itself selects its own slot randomly to communicate with tags such as DCS, Colorwave, a coordinator reader allocates an unused slot to a reader to participate in the network and sends a current slot number. A reader allocated a slot can communicate with tags. The proposed protocol can adaptively modified to apply for multiple coordinator readers environment in a wide area. This causes reader collision problem, but can be alleviated partly by applying the frequency planning. In this way, we verifies that a RFID system using the proposed protocol is three to five times better than existing systems through the simulation.

키워드

코디네이터, RFID, 충돌, 주파수, 배치

Key word

Coordinator, RFID, Collision, Frequency, Planning

* 정회원 : (주)비츠로시스 연구원
** 중신회원 : 광운대학교 전자융합공학과 교수(교신저자, hgyang@kw.ac.kr)
*** 정회원 : 광운대학교 전자공학과 교수
**** 중신회원 : 동아대학교 전자공학과 교수

접수일자 : 2011. 06. 10
심사완료일자 : 2011. 07. 06

I. 서 론

RFID(Radio Frequency Identification)는 모든 사물에 전자태그를 부착하고 무선 통신 기술을 이용하여 사물의 정보 및 주변 상황정보를 감지하는 인식 기술로서 900MHz를 사용하는 수동형 RFID 시스템은 전파 특성이 우수해서 수 미터 떨어져 있는 다량의 태그를 읽는데 많이 활용된다.[1]

리더 충돌은 크게 리더 간 간섭(Reader to Reader Interference)과 다중 리더에 의한 태그 간섭(Multiple Reader to Tag Interference)으로 나뉜다. 주파수 planning을 이용한 Gen2 프로토콜 dense 모드와 간섭 확률 개념을 이용한 리더 간 최소 이격 거리 및 리더 배치 알고리즘, LBT (listen before talk) 방식을 적용한 리더 프로토콜 등이 연구되었다.[2][3][4][5]

하지만 제시된 방법들은 리더 간 간섭을 완화시키는 데 도움을 주지만 기본적으로 다중 리더에 의한 태그 간섭을 해결할 수는 없다. 태그 간섭을 완화시키기 위해서 DCS, Colorwave 방법 등과 같이 리더 간 시간 동기를 맞추어 태그 읽는 시점을 리더별로 다르게 하는 방법들이 제시되었다.[6]

이들은 리더 스스로 임의의 슬롯을 선택하는 방식으로 리더끼리 동일한 슬롯을 선택하는 것을 완전히 막지는 못한다. 확률성에 의존하는 기존 프로토콜의 문제점을 해결하기 위해 리더간의 동일한 슬롯 사용을 원천적으로 봉쇄하는 코디네이터 기반 리더 프로토콜이 제안되었다.[7]

본 논문은 코디네이터 기반 리더 프로토콜을 실제 환경에 적용하는 과정에서 하나의 코디네이터가 제어하는 리더 수가 증가함에 따라 발생하는 효율성 저하 문제를 해결하기 위해 여러 개의 코디네이터를 이용하는 방법을 제안한다.

2장에서는 Colorwave, 코디네이터 기반 방식을 설명하고 3장에서 다중 코디네이터를 이용하여 실제 사용하는 광역 환경에 적용할 때 생기는 문제들을 해결하는 과정을 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통해 기존 프로토콜과 단일 코디네이터, 그리고 다중 코디네이터 기반 시스템의 성능을 비교하며 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

RFID 환경에서 태그는 FSM(Finite State Machine) 기반으로 동작하므로 두 개 이상의 리더로부터 명령을 받으면 오동작을 하게 된다. 리더들이 다른 주파수를 사용하여도 태그는 필터링 기능이 없으므로 결과는 마찬가지다. 그러므로 리더들은 TDMA 기반으로 태깅을 해야하므로 리더에게 할당된 슬롯은 리더간 채널 액세스 조절을 위한 리더-리더(R↔R) 구간과 리더가 태그를 읽는 리더-태그(R↔T) 구간으로 구성되어 있어야 한다. R↔T 구간에서 리더와 태그는 국제 표준에서 제시한 프로토콜에 따라 서로 통신을 하며 최소한 인벤토리(inventory) 시간 이상은 되어야 하므로 거의 초단위의 시간 구간이 할당되어야 한다. 본 절에서는 TDMA 기반의 대표적인 리더 충돌 프로토콜인 Colorwave 방식과 최근에 발표된 코디네이터 기반 방식의 주요 특징을 비교한다.

2.1. Colorwave 방식

Colorwave 알고리즘에서는 각 리더가 프레임 내의 특정 번호의 슬롯을 이용하여 태깅을 시작한다. 그리고 정해진 시간 동안에 리더가 경험한 충돌 횟수가 일정 비율 이상이 되어 충돌 확률이 높다고 판단되면 프레임의 슬롯 개수를 늘리고, 정해진 비율 이하로 충돌 확률이 떨어지면 프레임 크기를 줄인다. 충돌이 많이 발생하는 리더는 현재 프레임에서 자신의 Color와 다음 프레임에서의 Color 사이의 간격을 늘려서 다른 리더와 충돌이 발생되지 않게 하고, 정해 시간 동안 충돌이 발생되지 않으면 현재 프레임의 Color와 다음 프레임의 Color 사이의 간격을 줄여서 슬롯을 사용하는 주기가 더 빨라지게 한다. 프레임의 크기를 리더의 충돌 상황에 맞게 능동적으로 변경하기 때문에 충돌 확률이 줄어들고 성능이 좋아지는 효과를 얻게 된다. 표 1은 Colorwave에서 사용되는 파라미터들을 정의하고 있다.

Colorwave 알고리즘은 특성상 충돌을 피할 수 없이는 프레임 크기를 늘리는데, 늘어난 프레임은 리더의 개수가 많은 상황에서 쉽게 줄어들지 않는 단점이 있다.

표 1. Colorwave의 파라미터 정의
table 1. The definition of parameters in Colorwave

파라미터 이름	파라미터 정의
UpSafe	스스로 프레임 크기를 증가시키는 충돌 확률
UpTrig	주변 리더들이 자신의 프레임보다 큰 프레임으로 변경할 때 자신의 프레임 크기를 증가시키는 확률
DnSafe	스스로 프레임 크기를 감소시키는 충돌 확률
DnTrig	주변 리더들이 자신의 프레임보다 작은 프레임으로 변경할 때, 자신의 프레임 크기를 감소시키는 확률
MinTimeInColor	리더가 충돌여부를 모니터링 하는 최소한의 시간

2.2. 코디네이터 기반 리더 시스템

코디네이터 기반 리더 프로토콜은 코디네이터 역할을 하는 리더를 두어 이를 중심으로 주변의 리더들의 네트워크 참여와 탈퇴를 조절하는 방식으로 리더들이 사용할 슬롯을 코디네이터가 직접 지정하여 리더 충돌을 회피하고 빈 슬롯의 낭비를 최소화한다. 코디네이터 리더는 각각의 리더들에게 중복되지 않게 슬롯을 할당해 주고 현재 채널 액세스 권한이 있는 슬롯 번호를 리더들에게 알려준다. 리더들은 코디네이터로부터 전송된 슬롯 번호가 자신의 슬롯과 일치할 경우 태그를 읽을 수 있게 된다. 코디네이터 리더는 빈 슬롯을 할당해줌으로써 각 리더는 서로 다른 슬롯을 사용하게 되어 리더 충돌을 원천적으로 봉쇄할 수 있다.

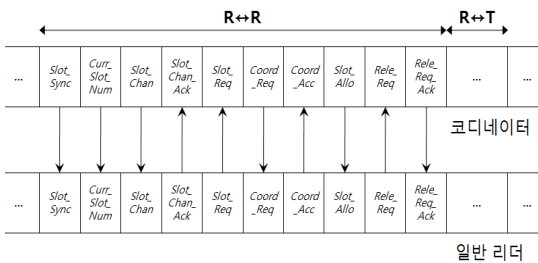


그림 1. 코디네이터 기반 시스템 슬롯 구조
Fig. 1 Slot structure of coordinator-based system

그림 1은 이 시스템이 사용하는 슬롯 구조로써, 각각의 슬롯이 모여 하나의 프레임을 구성한다. 각 슬롯이 각각의 리더에 일대일로 할당되어 두개 이상의 리더가 동시에 동작하는 일이 없도록 해야 한다.

리더-리더 통신 구간은 크게 리더들의 동기를 맞추는 영역, 현재 슬롯 번호를 알려주는 영역, 슬롯을 요청하고 할당 받는 영역, 네트워크로부터 탈퇴를 요청하고 수락해주는 영역, 슬롯번호를 변경하는 영역, 코디네이터를 변경하는 영역으로 구성되어 있다. 각 영역별 서브슬롯의 역할은 표 2와 같다. 이 구간에서 리더끼리 정보를 주고받게 되는데 정보의 양은 극소량이기 때문에 큰 영향을 주지 못하지만 리더 간의 거리가 멀수록 전송 시간은 길어지게 된다. 한 리더에서 보낸 신호가 다른 리더에 도착하는데 걸리는 시간은 (리더간 거리)/(전파 속도)로 계산되므로 리더의 간섭 범위가 반경 300m일 때 단방향 전송에 소요되는 시간은 (300m)/(3×10⁸m/s), 즉, 1μs이다. 다시 말해서 정보를 보내는 서브 구간은 1 μs 이상이 된다.

표 2. 서브슬롯의 역할
Table 2. A role of sub slots

서브슬롯	역 할
Slot_Sync	· 슬롯 동기를 위한 동기 신호 전송 · 신호를 받은 리더들의 시간 동기화
Curr_Slot_Num	· 프레임 크기 내의 번호를 순차적 전송 · 할당받은 번호와 일치할 경우 작업가능
Slot_Req	· 새로 참여한 리더가 슬롯번호 요청
Slot_Allo	· 중복되지 않는 번호를 새 리더에 할당
Rele_Req	· 작업을 마친 리더가 탈퇴 요청
Rele_Req_Ack	· 탈퇴수락 신호를 받아야만 시스템 탈퇴
Slot_Chan	· 빈 슬롯이 허용 값을 넘길 경우 마지막 리더에게 슬롯번호 변경 요청
Slot_Chan_Ack	· 마지막 리더가 빈 슬롯으로 이동하여 프레임 크기 감소
Coord_Req	· 코디네이터 탈퇴시 다른 리더에게 인계 요청
Coord_Acc	· 수락한 리더가 코디네이터에게 시스템 정보를 요청하고 교환 시작

III. 다중 코디네이터 기반 리더 시스템

3.1. 다중 코디네이터 시스템의 필요성

리더 충돌 방지 프로토콜이 실제로 활용되어야 할 대형 마트, 물류 창고와 같은 광역 환경에서는 하나의 코디네이터 리더만으로는 넓은 범위에 산재한 리더들을 제어할 수 있는 범위에 한계가 있다. 코디네이터의 전파 세기를 크게 하여 제어 범위를 넓히더라도 그에 비례하여 더 많은 리더를 제어해야 하기 때문에 프레임 크기가 늘어나게 된다. 프레임 크기가 늘어난 만큼 리더가 자신의 슬롯 순서가 되기까지 더 많은 슬롯을 대기해야 한다.

그림 2에서처럼 코디네이터 리더의 제어 범위 안에 일반 리더가 N개 있을 경우 최적으로 슬롯이 할당되어 있는 상태에서 프레임 크기는 N이 되므로, 리더들은 현재 슬롯번호가 자신의 슬롯번호와 동일하려면 매번 N슬롯만큼 기다려야 한다.

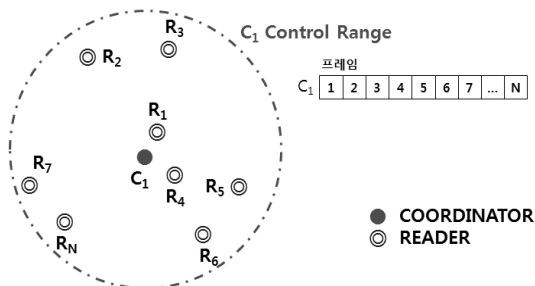


그림 2. 단일 코디네이터 시스템
Fig. 2 Single coordinator system

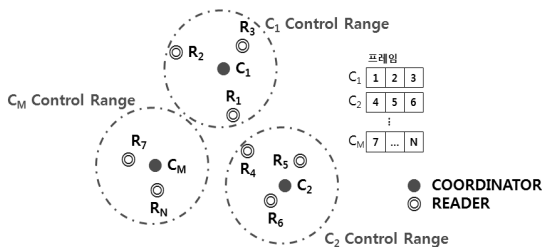


그림 3. 다중 코디네이터 시스템
Fig. 3 Multiple coordinators system

따라서 N이 커질수록 리더가 대기하는 시간이 늘어나 작업 속도가 감소하게 된다. 이러한 성능 저하를 개선하기 위해서 여러 개의 코디네이터 리더를 두어 각각의 제어 범위 안에 있는 일반 리더들이 동시에 슬롯을 사용할도록 하는 방법을 생각해 볼 수 있다.

그림 3과 같이 다중 코디네이터 리더 시스템을 구성하여 제어할 리더들을 분배하면 프레임 크기가 줄어들게 된다. 제어할 일반 리더가 전체 N개 있고 M개의 코디네이터가 이를 제어한다면 프레임 크기가 이론적으로 평균 N/M 으로 작아진다. 따라서 작업 중인 리더가 할당된 슬롯을 사용하고 다시 자신에게 할당된 슬롯을 기다리는 시간이나 새로 시스템에 진입해서 슬롯을 할당받고자 하는 리더의 대기시간이나 모두 M이 커지면 줄어들게 된다. 또한 코디네이터의 프레임 내에 빈 슬롯이 없을 경우를 가정하면 이상적으로 최대 M개의 리더가 동시에 작업을 할 수도 있기 때문에 전체적으로 시스템 성능의 향상을 기대할 수 있다.

3.2. 다중 코디네이터 시스템에서의 충돌 문제

다중 코디네이터 환경에서는 리더가 다른 코디네이터의 제어 범위 안에 속한 리더와 동시에 슬롯을 사용하게 되는 경우가 빈번한데 만약 동시에 작업하는 리더들이 근접하여 간섭을 일으킬 수 있는 거리 내에 있으면 충돌이 발생한다. 같은 코디네이터에 속한 리더들끼리는 충돌이 원천적으로 봉쇄되지만 다중 코디네이터 환경이 되면서 다른 코디네이터 제어 범위에 속한 리더들과의 충돌 발생 확률이 생기게 된다. 그림 4를 보면 코디네이터 1의 제어를 받는 리더 1과 코디네이터 2의 제어 범위에 있는 리더 4가 서로 간섭을 받을 정도로 가까운 거리에 위치해 있다.

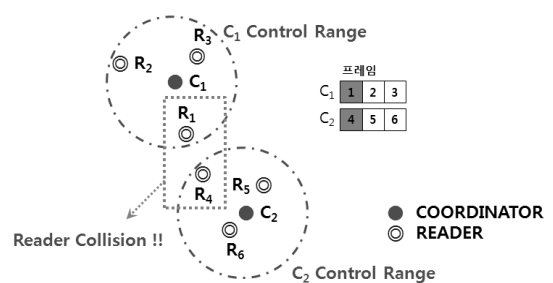


그림 4. 다중 코디네이터 시스템에서의 리더 충돌
Fig. 4 Reader collision in multiple coordinators system

이때 각자의 코디네이터가 전송한 현재슬롯번호에 따라 리더 1과 리더 4가 동시간대의 같은 슬롯을 사용하려고 하면 두 리더간 거리가 가깝기 때문에 충돌이 불가피하다. 이는 리더들이 동시에 같은 슬롯을 사용하는 것을 원천 봉쇄하는 코디네이터 기반 리더 프로토콜과는 상충되는 문제이며 이를 해결하기 위해 프로토콜 내부에서 일부 보완하고 있다.

3.3. 리더 충돌 완화 방안

리더 충돌의 종류를 크게 리더-태그 간섭과 리더-리더 간섭으로 분류할 수 있는데 리더-리더 간섭일 경우에는 상이한 주파수 대역 사용을 통해 충돌 완화가 가능하다. 그림 5의 (a)는 한 리더(R_1)가 다른 리더(R_2)의 간섭 범위 안에 있어서 충돌이 발생하는 경우이다. 이 경우 R_1 의 리더 영역 안의 모든 태그들에 대해서 작업이 불가능하게 된다. 하지만 (b)와 같이 R_1 과 R_2 가 서로 다른 주파수를 사용하면 R_1 은 R_1 의 리더 범위와 R_2 의 간섭 범위가 교차하는 영역을 제외하고 리더 영역 내의 태그를 읽을 수 있게 된다. 따라서 동일한 상황의 두 리더를 놓고 봤을 때, 다른 주파수 대역을 사용할 경우 리더 영역의 일부(다른 리더의 간섭 영역과 교차한 영역을 제외한 리더 영역)에서는 태그 인식이 가능하다. 코디네이터는 일반 리더들이 슬롯 요청을 할 때 슬롯 할당과 동시에 사용할 주파수 대역을 자신이 사용하는 것과 동일한 것으로 선정해준다.

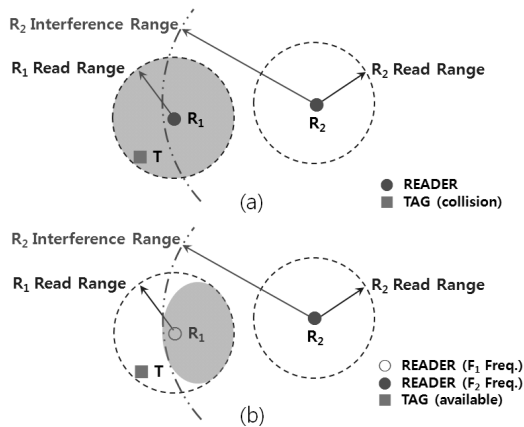


그림 5. 다중 코디네이터 시스템에서의 리더 충돌
Fig. 5 Reader collision in multiple coordinators system

같은 코디네이터의 제어 범위에 있는 모든 리더들은 충돌이 원천적으로 봉쇄되어 있기 때문에 서로 간섭 영향을 주지 못한다. 코디네이터끼리 다른 주파수 대역을 사용한다면 동시에 슬롯을 사용하는 모든 리더들도 다른 주파수 대역을 사용한다.

다중 코디네이터 시스템에 Frequency planning을 적용하기 위해서 광역 공간 안에서 코디네이터들끼리 제어 범위가 교차하지 않도록 적절히 배치해야 한다. 그림 6은 Frequency planning을 적용하여 개선한 시스템 구성의 개념도이다.

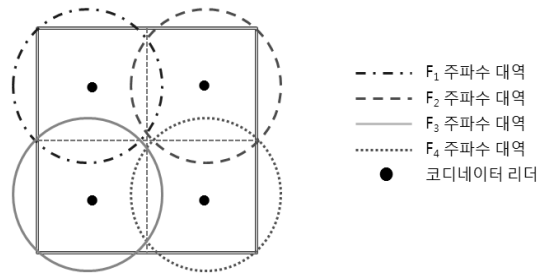


그림 6. 주파수 배치 적용 예
Fig. 6. A example of frequency planning

IV. 실험 및 검증

4.1. 시뮬레이션 환경 및 방법

새로운 리더 충돌 방지 프로토콜의 성능을 검증하기 위해 기존 프로토콜 중 하나인 Colorwave와 코디네이터 기반 프로토콜을 동일한 조건 하에서 시뮬레이션 하였다. 리더들은 각각의 프로토콜에서만 사용되는 변수들을 제외하고 동일한 조건으로 구조화되었다. 모든 리더는 5~10개의 슬롯이 필요한 태그 작업량을 가지고 있고, 1,000×1,000m² 면적의 광역 공간 내에서 임의의 위치에 연속적으로 참여한다고 가정하였다. 이때 리더의 진입은 푸아송(Poisson) 분포를 가지므로 참여하는 인접 리더 사이의 시간 간격을 나타내는 랜덤변수는 exponential 분포를 가진다. 리더들의 리더 영역과 간섭 영역은 각각 반경 10m, 반경 300m로 가정하였다. 이는 리더 간 거리와 비교하여 충돌 여부를 판단하고, 리더 영역과 다른 리더의 간섭 영역의 교차 면적을 구하여 실제로 처리될 태그 작업량을 계산하는데 사용한다.

각 리더들은 프레임 크기를 20슬롯으로 제한하고 있다. 프레임 크기 제한은 리더들의 작업 시간과 관련되어 있는 것으로 프레임 크기를 제한하지 않을 경우 프레임 크기가 무한정 늘어나 작업 시간의 증가를 초래한다. 너무 작게 설정할 경우에는 충돌 확률이 높아지거나 리더들의 대기 시간이 늘어나게 되는데 이는 작업시간이 증가되는 원인이 된다. 각 프로토콜 모두 동일하게 20슬롯으로 프레임 크기를 제한하였다.

표 3. Colorwave 파라미터 값
Table 3. Colorwave parameter value

파라미터	값
UpSafe	0.6
UpTrig	0.5
DnTrig	0.3
DnSafe	0.2
MinTimeInColor	5

표 3은 Colorwave 프로토콜에서 프레임 크기 변경을 위해 사용하는 충돌 확률의 임계값 설정을 나타낸다. 프레임 내에서 자신이 선택한 Color와 슬롯이 5번 일치할 동안 충돌이 3번 이상 발생하면 충돌 확률이 60% 이상이 되어 UpSafe 값을 넘어서므로 프레임 크기를 하나 늘려야 한다.

표 4. 코디네이터 파라미터 값
Table 4. Coordinator parameter value

파라미터	값
빈 슬롯 최대 허용 값	3
빈 슬롯 최소 허용 값	1

코디네이터 기반 리더 프로토콜에서 사용되는 파라미터에는 슬롯 번호 변경 알고리즘 적용의 기준이 되는 빈 슬롯 최대 허용 값과 빈 슬롯 최소 허용 값이 있다. 표 4에 나와 있는 값대로 설정이 된 코디네이터는 프레임 내에 빈 슬롯이 1개, 2개일 때는 빈 슬롯을 그대로 유지한다. 하지만 3개가 넘어가면 마지막 슬롯을 사용하는 리더에게 슬롯 변경을 요청한다. 이 작업은 최소 허용 값인 1개의 슬롯이 남을 때까지 반복되며 빈 슬롯이 1개가

되면 다시 3개가 될 때까지는 슬롯 변경 알고리즘이 동작하지 않는다. 그림 7은 제안한 알고리즘을 C언어로 구현한 메인 코드를 나타낸 것이다.

```

/* reader participation */
participate_readers_num = readerParticipation(current_time++);

/* 슬롯 동기화 */
/* slot synchronization */
readerSlotSync();

/* 현재 슬롯번호 */
/* current slot number */
readerCurrSlotNum();

/* 슬롯 변경 */
/* slot change */
readerSlotChan();

/* slot change ack */
readerSlotChanAck();

/* change slot */
readerChanSlot();

/* change slot ack */
readerChanSlotAck();

/* 슬롯 요청 및 할당 */
/* slot request */
readerSlotReq();

/* slot allotment */
readerSlotAllo();

/* 탈퇴 요청 및 수락 */
/* release request */
readerReleReq();

/* realese request ack */
readerReleReqAck();

/* R<->T communication */
readerRTCommunication();

/* calculate interference area */
FindInterferenceReader();

/* radio initialize */
radioInitialize();
    
```

그림 7. C언어로 구현된 알고리즘
Fig. 7. Algorithm implemented in c language

4.2. 성능 지표

본 논문에서 RFID 리더 프로토콜의 성능을 평가하는 지표로 전체 시스템의 성능을 평가하기 위한 ‘전체 소요 슬롯’과 각 리더의 성능을 측정하기 위한 ‘리더당 소요 슬롯’ 등을 사용한다.

전체 소요 슬롯은 시스템 동작 이후에 일정 개수의 리더가 시스템에 진입하고 일을 마치고 모두 빠져나갈 때까지 소요된 슬롯 개수를 측정된 값으로 시스템 성능을 평가하는 지표로 사용한다.

리더당 소요 슬롯은 한 리더가 네트워크에 진입한 시

점부터 할당된 태그 작업량을 모두 마치고 빠져나가는 데 소요된 평균 슬롯 개수로 리더의 성능을 평가할 수 있는 지표이다.

4.3. 결과 및 성능 비교 분석

시뮬레이션은 총 1,000회를 실시하였으며 1회당 리더 100개가 작업을 마칠 때까지의 전체 소요 슬롯, 리더당 소요 슬롯, 충돌 발생 슬롯 등을 집계하여 평균을 내었다. 비교 대상은 Colorwave 프로토콜을 적용한 시스템과 단일 코디네이터 시스템, 그리고 가상공간을 네 구역으로 나누어 코디네이터 4개를 각각 배치한 다중 코디네이터 시스템으로 세 시스템에 동일한 시나리오를 적용하여 시뮬레이션 하였다.

시뮬레이션에서 고려해야 할 사항 중에서 하나는 R ↔ R 구간에 걸리는 오버헤드이다. 이 구간은 여러 개의 서브 슬롯으로 이루어져 있는데 2.2절에서 언급한대로 1 μs 이상이어야 된다. 또한 수신된 정보를 처리할 시간이 더해지는데 이는 리더의 하드웨어 처리 속도와 관련이 있기 때문에 구체적인 시간을 산출하기 어려우므로 양쪽 프로토콜 모두 동일하게 2 μs 정도의 시간이 소요된다고 간주한다.

Colorwave 프로토콜은 4회의 서브 구간이 필요하고 코디네이터 기반 프로토콜은 총 14회의 서브 구간이 필요하므로, 양쪽 프로토콜에 걸리는 R ↔ R 구간의 오버헤드는 각각 8 μs, 28 μs이다. 하지만 이는 R ↔ T 구간에 걸리는 평균 시간인 1초에 비해 매우 작은 수치이다. 따라서 리더의 하드웨어 처리 속도가 매우 느리거나 리더 간 간섭 범위가 더욱 커지지 않는 한 슬롯 시간에 영향을 주지 못한다. 표 5는 시뮬레이션 결과를 정리한 표이다. 미약하지만 R ↔ R 구간에 걸리는 오버헤드도 감안한 값이다.

표 5. 시뮬레이션 결과
Table 5. Simulation results

알고리즘	전체 소요슬롯	리더당 소요슬롯	충돌발생 슬롯
Colorwave	1449.4	1029.4	1442.1
단일 코디네이터	874.5	470.8	0
다중 코디네이터	387.3	215.1	220.9

Colorwave 프로토콜이 적용된 시스템에서는 100개의 리더가 작업을 마칠 때까지 총 1449.4개의 슬롯을 소요하였다. 그에 비해 코디네이터 기반 리더 프로토콜을 적용한 시스템에서는 총 874.5개의 슬롯이 소모되었다. 심지어 코디네이터 4개를 사용한 다중 코디네이터 시스템에서는 387.3개의 슬롯만을 소요하였다. 시간상으로 단일 코디네이터 시스템이 소요한 슬롯이 Colorwave가 소요하는 슬롯에서 39.7% 줄어들었고, 다중 코디네이터 시스템에서는 73.3%나 줄어들었다. 시스템의 성능 면으로 봤을 때, Colorwave 시스템과 비교하여 단일 코디네이터 시스템과 다중 코디네이터 시스템은 각각 약 1.7배, 3.7배의 성능 향상을 보인다.(그림 8 참조)

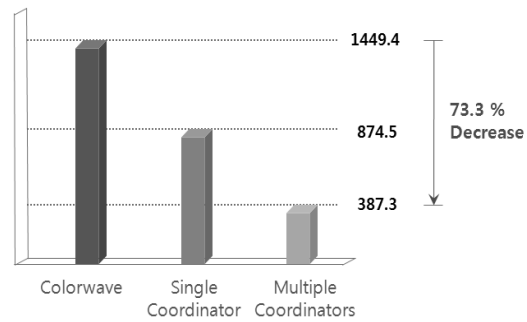


그림 8. 전체 소요 슬롯
Fig. 8. Total used slots

리더당 소요 슬롯은 한 리더가 네트워크에 진입한 시점부터 할당된 태그 작업량을 모두 마치고 빠져나가는 데 소요된 평균 시간이다. 많은 수의 리더가 네트워크에 들어와 있을수록 프레임 크기도 커지고 충돌도 많이 발생하기 때문에 5~10슬롯이 필요한 태그 작업량을 필요로 하는 리더들이 10슬롯 내에 작업을 끝마칠 수는 없다. 이 지표는 리더가 그 주변의 태그들을 모두 읽는데 걸리는 시간을 측정할 수 있으며, 이는 곧 태그 읽는 속도로도 해석되어 리더의 성능 평가에도 사용된다.

그림 9를 보면 Colorwave 시스템에서 리더들은 평균 1029.4개의 슬롯을 소요하고 있다. 그에 비해 단일 코디네이터 시스템에서는 470.8개의 슬롯을 소요하여 소요 시간이 절반 정도로 줄어들었다. 다중 코디네이터 시스템에서는 215.1개의 슬롯을 소요하여 무려 79.1%가 감소한 것을 볼 수 있다.

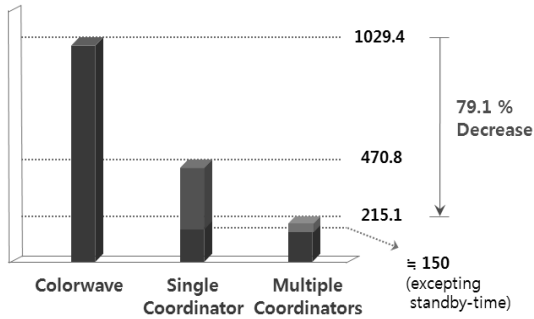


그림 9. 리더당 소요 슬롯
Fig. 9. Used slots per reader

표 5를 보면 Colorwave 시스템에서는 1442.1슬롯에서 충돌이 발생했으며 이는 전체 소요 슬롯과 근사한 수치로 시스템이 동작하는 동안 매 슬롯마다 충돌이 발생한 것으로 해석할 수 있다. 리더당 소요 슬롯이 1029.4개에 육박하는 것은 리더 충돌이 네트워크에 참여하고 있는 모든 리더들에서 전반적으로 발생한다고 해석되어진다.

코디네이터 기반 프로토콜의 경우 리더당 소요 슬롯 시간에는 네트워크 참여 대기 시간이 포함되어 있다. 대기 시간은 리더가 네트워크에 진입하고 코디네이터로부터 슬롯을 할당받을 때까지 걸린 시간으로 코디네이터의 프레임 크기가 한계치에 다다르면 이후에 진입하는 리더들은 그전에 슬롯을 할당받은 리더들이 작업을 마치고 탈퇴할 때까지 슬롯을 할당받지 못하여 대기하게 된다. 그림 9에서 단일 코디네이터 시스템과 다중 코디네이터 시스템 모두 리더당 실제 소요한 슬롯은 약 150개 정도이다. 단일 코디네이터 시스템에서는 제어하는 코디네이터가 하나이기 때문에 슬롯을 할당받지 못해 대기하는 리더들이 더욱 많고 대기 시간도 더 길어진다. 그에 비해 다중 코디네이터 시스템에서는 제어하는 코디네이터가 4개로 분산되어 있어서 최대 프레임 크기는 동일하지만 사실상 4개의 리더들을 동시에 제어할 수 있는 효과를 보인다. 이론상으로는 다중 코디네이터 시스템이 4배의 성능 향상을 보여야 하지만 220.9슬롯에서 충돌이 발생하였고 이로 인해 약 2배 정도 성능이 향상된 것을 알 수 있다.

표 6. 주파수 배치의 효과
Table 6. Effect of frequency planning

회차	주파수 배치에 따른 소요 슬롯 개수		슬롯 차이
	미적용	적용	
6	53.14	50.86	2.28
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
26	64.6	52.6	12
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
41	48.85	43.15	5.7
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
62	50.13	42.38	7.75
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
95	47.64	37.78	9.86
평균			9.55

표 6은 다중 코디네이터 기반 시뮬레이션에서 frequency planning을 적용하지 않았을 때와 적용했을 때를 비교하기 위해 리더 영역 안에 태그 20개를 랜덤하게 배치하고 각 회차 별로 리더가 100개 나갈 때마다 동일한 리더들 간에 소요 슬롯이 차이가 있는 경우를 선별하여 정리한 것이다. 소요 슬롯이 차이가 나는 리더가 많게는 30개 이상 되는 경우도 있었는데 차이가 있는 리더의 개수가 5개 이상인 경우만 집계하고 나머지는 생략하였다.

표 6을 보면 회차 별로 편차는 있지만 frequency planning을 적용할 때 소요 슬롯이 줄어들었고 100회 기준으로 평균 9.55개의 슬롯을 덜 사용하고 있다는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

본 연구에서 이용된 알고리즘은 TDMA 방식을 기반으로 하여 코디네이터 리더에 의한 리더들의 슬롯 사용 제어를 통해서 리더 충돌을 회피하는 것으로 네트워크에 참여하는 리더들은 코디네이터를 통해 자신이 사용할 슬롯을 할당 받기 때문에 각 리더들의 시간 동기만 맞으면 충돌은 발생하지 않는다.

RFID 시스템이 실제로 적용되는 대형마트나 물류창고 같은 광역 환경에서는 하나의 코디네이터 리더로 제어하는데 한계가 있으며, 이러한 환경에서 시스템의 성능을 좋게 하기 위해서는 여러 개의 코디네이터 리더를 둘 수 있다. 하지만 코디네이터 리더의 개수만큼 동시에 일을 하는 리더들이 생겨나 리더 충돌이 발생할 여지가 생긴다. 리더 충돌은 코디네이터 기반 알고리즘 내에서 프레임 크기가 변경되는 메커니즘을 통해 몇 슬롯(혹은 몇 프레임) 내에 회피가 될 수 있다. 특히 리더-리더 간섭은 서로 다른 주파수 대역을 사용하는 리더들끼리는 영향을 끼칠 수 없다는 사실을 바탕으로 Frequency planning을 적용하여 보완하게 된다.

실제와 유사하게 조성된 환경에서 동일한 조건의 시뮬레이션을 통하여 Colorwave, 단일 코디네이터 사용, Frequency planning을 적용한 다중 코디네이터 환경에 대한 성능 비교를 하였다. 전체 시스템의 성능을 보여주는 전체 소요 슬롯은 Colorwave가 약 1,449개, 단일 코디네이터가 약 875개, 다중 코디네이터 환경이 약 387개로 나타나 다중 코디네이터 환경이 기존 알고리즘보다 약 3.7배의 성능 향상이 나타나는 것을 알 수 있었다. 리더당 소요 슬롯도 약 1,029개에서 약 215개로 줄어들어 리더의 작업 처리 속도가 약 4.8배 증가하는 것으로 나타났다. frequency planning을 적용할 때와 적용하지 않을 때의 소요 슬롯 차이를 비교하여 frequency planning을 적용하면 충돌 상황에서 효율을 높일 수 있다는 것을 보였다. 결론적으로 광역 환경에서 코디네이터 기반 리더 프로토콜의 기존 방식보다 성능이 우수하며, 단일 코디네이터 방식보다 다중 코디네이터 방식이 충돌 발생을 감안하더라도 더욱 효율적이라는 것을 검증하였다.

참고문헌

- [1] Klaus Finkenzeller, "RFID Handbook 3rd Edition," Wiley, 2010
- [2] EPC Global, "EPC Radio-Frequency identity Protocols class-1 generation-2 UHF RFID protocols for communications at 860MHz~960MHz version 1.0.9," EPC global, 2005
- [3] 김영환, 어필선, 양훈기, 박승근, 강봉순, 김 영수, 육종관, "몬테카를로(Monte-Carlo) 방 법을 적용한 수동형 900MHz 대역의 RFID 간섭 분석," 전자공학 회 논문지, 제 43 권 TC 편 제 1 호, January 2006.
- [4] ETSI TR 102-313 v1.1.1, "Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Frequency-agile Generic Short Range Devices using Listen-Before- Transmit (LBT)" July 2007.
- [5] CEPT Administrations, "Compatibility of planned SRD applications with currently existing Radio-communication applications in the frequency band 863-870MHz (ERC report 37)," ERC within the CEPT, Feb 2004.
- [6] J. Waldrop, D. W. Engles, S. E. Sarma, "Colorwave : An Anticollision Algorithm for the Reader Collision Problem," 2003
- [7] 양훈기, "코디네이터 기반 RFID 리더 충돌 회피 프 로토콜," 한국해양정보통신학회논문 지, 제14권 2 호, Feb. 2010

저자소개



이세희(Se-Hee Lee)

2008년 광운대학교 컴퓨터 소프트웨어전공 (공학사)
 2011년 광운대학교 임베디드 S/W공학과 (공학석사)

2011년~현재 (주)비즈로시스
 ※관심분야: RFID, USN



양훈기(Hoon-gee Yang)

1985년 연세대학교
전자공학과(공학사)
1987년 미국 SUNY at Buffalo
전기 및 컴퓨터공학과
(공학석사)

1992년 미국 SUNY at Buffalo 전기 및 컴퓨터공학과
(공학박사)

1993년~현재 광운대학교 전자융합공학과 교수

※ 관심분야: RFID, USN, 레이더 신호처리



양성현(Seong-hyeon Yang)

1983년 광운대학교 전기과
(공학사)
1987년 광운대학교 전기과
(공학석사)

1992년 광운대학교 대학원 전기과(공학박사)

1991년~현재 광운대학교 전자공학부 교수

※ 관심분야: 홈네트워크

강봉순(Bong-soon Kang)

한국해양정보통신학회 논문지
제 14권 제 7호 참조