

논문 2006-43TC-8-4

채널 모니터링 기법을 이용한 RFID 리더 충돌방지 알고리즘

(RFID Reader Anti-collision Algorithm using the Channel Monitoring Mechanism)

이 수 련*, 이 채 우**

(Su-Ryun Lee and Chae-Woo Lee)

요 약

RFID 리더는 자신이 전송한 명령에 대한 태그의 응답을 수신하여 태그를 인식한다. 이때 근접한 거리에 위치하고 있는 리더들이 동일한 주파수를 이용하거나, 여러 리더가 동시에 하나의 태그에 명령을 전송하는 경우 서로 간섭을 일으킬 수 있는데 이를 RFID 리더 충돌이라고 한다. 리더 충돌이 발생하면 리더의 명령이 태그에게 전달되지 않거나 전송된 명령에 대해 태그가 올바르게 응답할 수 없다. 따라서 RFID 국제 표준 및 논문들은 리더 충돌을 줄이기 위한 기법들을 규정하거나 제안하고 있다. 이 중 Colorwave와 Enhanced Colorwave는 TDM(Time Division Multiplex) 기반의 프레임 알로하 방식을 이용한 리더 충돌방지 기법으로 충돌 확률에 따라 프레임의 크기를 변경하여 효과적으로 리더 충돌을 줄일 수 있다. 그러나 이 알고리즘들은 충돌을 경험한 리더들이 충돌을 피하기 위해 자신의 슬롯을 새롭게 선택하는 과정에서 불필요한 충돌을 발생시킬 수 있다는 단점을 가지고 있다. 충돌 발생 리더들이 프레임 내의 임의의 슬롯으로 이동하기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 프레임 내 슬롯의 점유 여부를 모니터링 하여 리더 충돌이 발생한 경우 리더들이 점유할 확률이 가장 낮은 슬롯을 선택하는 새로운 리더 충돌방지 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 이용하여 성능을 분석한다.

Abstract

When an RFID reader attempts to read the tags, interference might occur if the neighboring readers also attempt to communicate with the same tag at the same time or the neighboring readers use the same frequency simultaneously. These interferences cause the RFID reader collision. When the RFID reader collision occurs, either the command from the reader cannot be transmitted to the tags or the response of the tags cannot receive to the reader correctly. Therefore, the international standard for RFID and some papers proposed the methods to reduce the reader collision. Among those, Colorwave and Enhanced Colorwave is the reader anti-collision algorithm using the frame slotted ALOHA based a TDM(Time Division Multiplex) and are able to reduce the reader collision because theses change the frame size according to a collision probability. However, these can generate the reader collisions or interrupt the tag reading of other readers because the reader that collides with another reader randomly chooses a new slot in the frame. In this paper, we propose a new RFID reader anti-collision algorithm that each reader monitors the slots in the frame and chooses the slot having the minimum occupation probability when the reader collision occurs. Then we analyze the performance of the proposed algorithm using simulation tool.

Keywords : RFID, Reader Anti-collision, Colorwave, Enhanced Colorwave, Channel Monitoring Mechanism

I. 서 론

유비쿼터스 컴퓨팅이란 물리 공간에 존재하는 모든

것에 컴퓨팅과 통신 능력을 갖는 칩을 심고, 서로 네트워크로 연결하여 전자공간과 융합된 유비쿼터스 환경을 창출하는 것을 말한다. 이를 실현하기 위하여 기본적으로 물리 공간에 존재하는 사물을 인식하는 기술이 요구되는데, 이 기술로 가장 각광 받고 있는 것이 RFID(Radio Frequency Identification)이다.

RFID란 무선 주파수를 이용하여 Micro-chip이 내장된 Tag, Label, Card등에 저장된 데이터를 리더기에서 자동 인식하는 기술이다^{[1],[2]}. RFID는 비접촉식 기술로

* 학생회원, (주)삼성전자,
(SAMSUNG Electronics)

** 정회원, 아주대학교 전자공학부
(Department of Electrical and Computer
Engineering Ajou University)

※ 본 논문은 학술진흥재단의 신진교수연구지원에 의해 수행되었습니다. (KRF-2005-003-D00202)

접수일자: 2006년1월13일, 수정완료일: 2006년8월18일

서 대용량의 데이터 전송 및 반영구적인 사용이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 태그 가격이 고가이므로 모든 사물에 Micro-chip을 심기 어려우며, RFID 시스템에서 발생하는 충돌로 인하여 인식 효율이 떨어지는 등의 문제를 가지고 있다^[3]. 특히, RFID 시스템의 충돌은 태그의 인식효율 및 인식속도를 감소시키므로 RFID가 산업에 응용되기 위해서는 이 문제가 먼저 해결되어야 한다.

RFID 시스템에서 나타나는 충돌은 크게 태그 충돌(Tag Collision)과 리더 충돌(Reader Collision)로 나눌 수 있다^[3]. 태그 충돌이란 여러 개의 태그가 리더의 명령에 동시에 응답하여 태그들이 전송한 데이터 사이에 충돌이 발생하는 것을 의미하며, 리더 충돌이란 근접한 거리에 위치하고 있는 리더들이 태그 인식 과정에서 서로 영향을 미쳐 발생하는 간섭을 말한다. 이중 리더 충돌은 주파수간섭(Frequency Interference)과 태그간섭(Tag Interference)으로 나누어진다. 주파수간섭은 물리적으로 인접한 리더들이 동시에 동일한 주파수를 이용하는 경우, 리더들이 태그에게 전송하는 명령들 사이에 충돌이 발생하여 태그를 올바르게 인식할 수 없는 현상을 말한다. 태그간섭은 여러 리더가 동시에 동일한 태그를 읽는 경우에 태그가 여러 리더의 명령을 구별할 수 없어 각 리더들의 명령에 따라 올바르게 동작하지 않는 것을 의미한다^{[4],[5]}. 따라서 리더들이 서로 다른 주파수를 이용하는 경우 주파수간섭은 해결할 수 있으나 태그간섭은 해결할 수 없다.

현재 RFID 표준에서는 리더 충돌을 줄이기 위해 주파수 호핑 방식(Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS) 또는 LBT(Listen-Before-Transmit)등의 기법을 규정하고 있다^{[6]-[8]}. 그리고 논문들은 RFID 리더 충돌방지 기법으로 DCS(Distributed Color Selection), Colorwave^{[4],[5]}, Enhanced Colorwave^[9] 그리고 LLCR(Low-Energy Localized Clustering for RFID networks)^[10] 등을 제안하고 있다.

그러나 표준에서 제안된 방식들은 FDM(Frequency Division Multiplex)기반의 방식을 이용하므로 리더의 태그간섭을 방지할 수 없으며, 기존의 논문에서 제안된 방법들은 간섭 범위의 최소화를 목적으로 하거나 효율적으로 리더 충돌을 줄이지 못하는 문제를 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 기존에 제안된 리더 충돌방지 알고리즘을 분석한 후 리더 충돌을 최소화할 수 있는 새로운 리더 충돌방지 알고리즘을 제안하고, 시뮬레이션으로 성능을 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 RFID 표준에서 규정된 리더 충돌방지 알고리즘을 소개하고, 제 III장에서는 기존의 논문에서 제안된 리더 충돌방지 알고리즘을 조사하여 기존의 알고리즘이 갖는 문제점을 도출한다. 그리고 제 IV장에서는 기존 알고리즘의 문제점을 개선한 새로운 알고리즘을 제안하고, 제 V장에서는 제안한 알고리즘의 성능을 분석한다. 마지막으로 제 VI장에서는 본 논문을 정리하고 결론을 내린다.

II. 표준에서의 RFID 프로토콜

RFID의 국제적인 표준화를 추진하고 있는 대표적인 곳으로는 ISO/IEC(the International Organization for Standardization / the International Electro-technical Commission)의 JTC(Joint Technical Committee)1 내의 SC(Sub-Committee)31, 유럽무선통신표준기구(European Telecommunications Standards Institute, ETSI) 그리고 EPCglobal이 있다^{[6]-[8]}.

RFID가 사용하는 주파수 대역 중 860~960MHz대역은 ISO/IEC와 EPCglobal이 단일 국제표준을 마련하려고 시도하는 영역으로 그 중요성이 부각되고 있으며, 우리나라도 900~914MHz대역을 물류 유통을 위한 RFID 사용 대역으로 할당하고 있다^[11]. 다음 각 절에서 국제표준에서 규정하고 있는 860~960MHz대역에서의 RFID 리더 프로토콜을 살펴본다.

1. ISO/IEC 18000-6의 프로토콜

ISO/IEC 18000-6은 860~960MHz를 사용하는 RFID 시스템의 리더와 태그의 무선 파라미터들을 정의하는 국제 표준이다. ISO/IEC 18000-6은 태그의 종류에 따라 TYPE A와 TYPE B로 나뉜다^[6]. 이 표준에서 RFID 리더는 물리적으로 주파수 호핑 방식(Frequency Hopping Spread Spectrum)을 이용하여 리더 간섭을 줄인다. 주파수 호핑 방식이란 여러 주파수 대역이 나누어져 있고 전파 간섭 회피를 위하여 RFID 리더들이 자신의 호핑 시퀀스(Hopping Sequence)에 따라 주파수 대역을 변경하면서 태그를 인식하는 기법이다^[12].

2. EPC Class 1 Generation 2의 프로토콜

EPCglobal의 EPC Class 1 Generation 2는 UHF 대역(860~960MHz)의 RFID 태그 및 리더의 동작을 규정하고 있다^[10]. EPC Class 1 Generation 2는 ISO에 상정되어 ISO/IEC 18000-6 TYPE C 표준으로 채택되었다.

EPC Class 1 Generation 2는 리더와 태그간의 통신 부분을 ISO/IEC 18000-6의 TYPE A와 거의 유사하게 설정하였다. 이 표준을 이용하는 RFID 리더는 주파수 호핑 방식을 이용하여 리더 충돌을 방지한다.

3. 유럽무선통신표준기구의 RFID 프로토콜

다른 표준들과는 달리 ETSI는 RFID를 별도의 표준으로 규정하지 않고, 저 전력 무선 시스템의 허가 규정에서 함께 규정하고 있다. ETSI에서 규정하는 UHF 대역의 RFID 리더는 주파수 호핑 방식과 LBT(Listen-Before-Transmit)방식을 모두 사용할 수 있다. LBT란 리더가 태그 인식을 시도하기 전에 채널의 사용 여부를 검사하여 채널이 비어 있는 경우에만 그 채널을 이용하여 태그를 인식하는 기법이다. 이때 채널이 사용 중이라면, 리더는 그 채널이 빌 때까지 기다리거나, 다른 사용 가능한 채널을 찾는다. 이 외의 데이터 코딩 방식과 데이터 변조 방식은 ISO/IEC 표준을 따르도록 규정하고 있다^[13]. 다음의 표 1은 UHF 대역에서의 RFID 프로토콜을 정리하고 있다.

4. 국내의 RFID 표준

국내 표준은 RFID 리더 사이의 충돌을 방지하기 위한 기법으로 주파수 호핑 방식과 LBT 방식을 모두 규정하고 있다^[14]. 이중 주파수 호핑 방식은 호핑 시퀀스를 사용하여 주파수 채널을 변경하는 일반적인 주파수

표 1. UHF 대역(860-960MHz)의 RFID 프로토콜
Table 1. The RFID protocols operating at UHF range (860-960MHz).

	ISO/IEC	EPC	ETSI
대역폭	860-960MHz	860-960MHz	863-870MHz
주파수 선택	FHSS	FHSS	LBT or FHSS
리더의 명령	변조 방식	ASK	ISO 규정 따름
	코딩 방식	TYPE A: PIE TYPE B: Manchester	PIE ISO 규정 따름
태그의 명령	변조 방식	ASK	Binary ASK or BPSK ISO 규정 따름
	코딩 방식	FM0	FM0 or Miller-modulated subcarrier ISO 규정 따름
태그충돌 방지기법	TYPE A:	Slotted Random	ISO 규정 따름
	ALOHA		
	TYPE B: Binary Tree		

호핑 방식과 송신 전 감지기능을 추가한 주파수 호핑 방식으로 나누어진다. 이때 일반적인 주파수 호핑 방식은 910-914MHz, 송신 전 감지 기능이 추가된 주파수 호핑 방식과 LBT방식은 908.5-914MHz에서 사용되도록 규정되어 있다.

5. RFID 표준의 리더 프로토콜의 문제점

860~960MHz의 UHF 대역은 RFID 이외의 다른 무선 기술들이 자유로이 사용할 수 있는 ISM(Industrial Science Medical) 주파수 대역의 일부이다. 그러므로 RFID 표준은 다른 무선 기술을 이용하는 장치들과의 전파 간섭을 최소화하기 위하여 RFID 시스템이 주파수 호핑 또는 LBT 방식을 이용하도록 규정하고 있다^{[9],[14]}. 따라서 RFID 시스템은 동일한 주파수 대역을 이용하는 다른 종류의 무선 시스템 사이의 간섭을 효과적으로 줄일 수 있다.

RFID 표준에서 제안된 방식들은 기본적으로 서로 간섭을 일으키는 리더들에게 다른 주파수 채널을 할당함으로써 리더 충돌을 방지하는 방식을 이용한다. 따라서 RFID 표준을 이용하면 동일한 주파수를 이용하는 리더들 사이에 충돌이 발생하는 주파수간섭을 방지할 수 있다. 그러나 이 방법을 사용하더라도 2개 이상의 리더가 하나의 태그에 동시에 접속하여 발생하는 태그간섭은 방지할 수 없다. 수동 태그는 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 태그간섭으로 인한 리더 충돌을 줄이기 위하여, RFID 표준에서 정의하고 있는 방법을 보완하는 RFID 리더 충돌방지 기법의 개발이 필요하다.

III. 기존의 리더 충돌방지 알고리즘

본 장에서는 RFID 표준에서 정의한 방법 이외에 리더 충돌방지 기법들을 소개하고 이 기법들이 RFID 표준으로 해결되지 않는 리더 충돌 현상을 효과적으로 줄일 수 있는지 여부를 고찰한다.

기존의 논문에서 제안한 리더 충돌방지 알고리즘으로는 DCS, Colorwave, Enhanced Colorwave 그리고

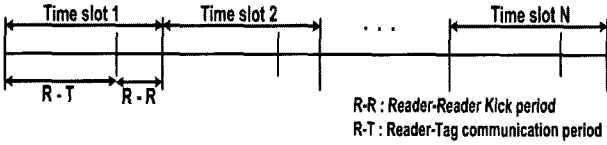


그림 1. 리더 충돌방지 알고리즘의 슬롯 구조
 Fig. 1. The structure of time slots for the reader anti-collision methods.

LLCR이 있다. 이 중 RFID 리더들의 물리적인 간섭 범위를 줄이는 LLCR을 제외한 나머지 기법들은 TDM 방식을 이용하여 리더 충돌을 방지한다. 이 기법들에서 리더들은 시간을 단위 슬롯으로 나누고 여러 개의 슬롯으로 구성된 프레임 내에서 하나의 슬롯을 선택하여 태그를 읽는다^{[4],[5],[7]}. 따라서 시간의 관점에서 일정 시간 동안 하나의 리더만이 태그를 읽게 되므로 주파수 간섭 뿐만 아니라 태그간섭도 방지할 수 있어 효과적으로 리더 충돌을 줄일 수 있다는 장점을 가진다.

이 기법들은 리더 사이의 통신을 이용하여 각 리더들이 자신의 슬롯을 결정하므로, 리더 사이의 통신 구간이 보장되어야 한다. 따라서 리더 사이의 통신구간 (Reader-Reader Kick period, R-R)과 리더가 태그를 인식하는 구간 (Reader-Tag Communication period, R-T)이 하나의 슬롯을 구성한다. 그림 1은 기존의 리더 충돌방지 알고리즘에서 사용하는 슬롯구조를 나타내고 있다^{[4],[5],[7]}. 반면에 LLCR은 리더가 영향을 미치는 범위인 클러스터(Cluster) 변경을 동적으로 변경하여 리더들의 간섭 범위를 최소화하는 기법이다^[10]. 따라서 이 기법을 이용하면 능동 소자인 리더의 에너지 소비 및 리더 충돌을 줄일 수 있다. 그러나 LLCR을 사용하기 위해서는 중앙 서버(Centralized Server)가 모든 리더의 위치 정보를 수집하여야 하고 실제로 리더 충돌이 발생한 경우 이를 해결할 수 없다는 문제를 가지고 있다. 그러므로 이하의 각 절에서는 LLCR을 제외한 기존의 RFID 충돌방지 알고리즘에 대하여 자세히 살펴본다.

1. DCS(Distributed Colorwave Selection)^{[4],[5]}

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 프레임에서 발생할 충돌이 발생하지 않도록 한다. DCS에서 리더가 사용하는 프레임의 크기를 Max_color라고 하며, 리더가 선택한 슬롯의

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 2. DCS의 의사코드
 Fig. 2. DCS Pseudocode

프레임 내 위치를 Color라고 한다.

DCS를 사용하는 리더는 충돌이 발생하면 다음 프레임에서 사용할 슬롯을 미리 예약하여 다음 프레임에서는 충돌 없이 슬롯을 사용할 수 있도록 한다. 충돌이 발생한 모든 리더는 각각 다음 프레임에서 사용할 슬롯 위치를 선정하고 이 정보를 간섭을 일으킬 수 있는 주변 리더에게 전송한다. 그리고 이 정보를 들은 주변 리더들은 그 값과 다음 프레임에서 사용할 자신의 슬롯 위치를 비교하여, 동일하다면 자신의 Color를 변경한다.

DCS는 그림 2의 의사코드(Pseudocode)에서 나타난 것처럼 3가지 과정으로 구현된다. 첫 번째 과정은 리더가 프레임 내에서 자신이 사용할 슬롯을 찾는 것이고, 두 번째 과정은 충돌이 발생한 리더가 자신의 Color를 변경하는 것이다. 마지막 과정은 충돌을 경험한 리더가 다음 프레임에서 사용할 슬롯을 예약하는 것이다.

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. 따라서 리더 충돌을 줄이면서 효율적으로 태그의 데이터를 읽기 위해서는 간섭을 일으키는 주변 리더가 많아지면 프레임 크기를 크게, 주변 리더의 수가 작아지면 그에 맞게 프레임 크기를 줄이는 알고리즘이 필요하다.

2. Colorwave^{[4],[5]}

DCS는 리더의 프레임 크기가 고정되어 있으므로 간섭을 일으키는 리더의 수가 변화하는 경우 능동적으로 대응할 수 없다는 문제를 가지고 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 충돌 발생 확률에 따라 각 리더들이 자신의 프레임 크기를 변경할 수 있는 Colorwave가 제안되었다. 이때 충돌 확률이란 일정 시간동안 리더가 경험한 충돌의 횟수를 의미한다. Colorwave에서 충돌

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 3. Colorwave의 의사코드
 Fig. 3. Colorwave Pseudocode.

돌을 많이 경험한 리더는 자신의 프레임의 크기를 증가시키고, 충돌이 거의 발생하지 않는 리더는 프레임 크기를 줄인다.

Colorwave의 동작은 크게 두 가지 과정으로 이루어진다. 첫 번째는 리더 충돌이 발생하는 경우 이를 해결하는 과정으로 DCS와 동일한 방식을 이용한다. 두 번째는 리더가 자신의 프레임 크기를 변경하는 과정으로, 그림 3의 의사코드는 이 과정을 세부적으로 나누어 설명하고 있다.

두 번째 과정에서 리더는 UpSafe 이상의 충돌이 발생한 경우에는 프레임의 크기를 증가시키고 DnSafe 이하의 충돌이 발생한 경우에는 프레임의 크기를 줄인다. 리더는 간섭을 일으키는 주변 리더의 프레임 크기가 자신의 프레임보다 크고 UpTrig 이상의 충돌 확률을 가진 경우에는 자신의 프레임을 주변 리더와 동일한 크기로 증가시키고, 주변 리더의 프레임 크기가 자신의 프레임보다 작고 DnTrig 이하의 충돌 확률을 가진 경우에는 자신의 프레임을 주변 리더와 동일한 크기로 감소시킨다. 표 2는 위의 Colorwave의 동작 과정에서 사용된 파라미터들을 정의하고 있다. Colorwave를 리더가 충돌 확률을 이용하여 자신의 프레임 크기를 변경할 수 있다는 특징이 있다. 그러나 프레임의 크기의 변경은 자신이 경험한 충돌 확률에 따라 결정되므로, 어느 리더가 프레임 크기를 변경하더라도 주변 리더들이 UpTrig 이상 또는 DnTrig 이하의 충돌 확률을 가지고 있지 않으면 프레임의 크기를 동일하게 변경할 수 없다. 그리고 리더들의 프레임 크기가 달라지면 프레임 내에서 슬롯이 반복되는 주기가 달라져 어느 리더가 임의의 프레임에서 충돌을 발생시키지 않는 슬롯 위치를 점유하고 있더라도 프레임이 반복됨에 따라 충돌이 발

표 2. Colorwave에서 사용된 파라미터의 정의
 Table 2. The definition of parameters in Colorwave.

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

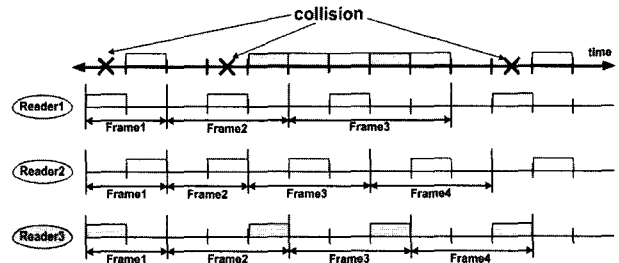


그림 4. Colorwave의 동작 예
 Fig. 4. The example of Colorwave.

생할 수 있다. 이 충돌은 다시 프레임 크기의 변경을 가져와 결국 프레임 크기의 변경과 충돌이 반복적으로 발생하게 된다.

그림 4는 리더들의 프레임 크기가 서로 달라져 프레임을 증가시키고 많은 충돌을 발생 시키는 Colorwave의 문제점을 보여 준다. 이 그림의 첫 번째 프레임에서 리더 1과 리더 3은 충돌을 경험하였으므로 현재 사용하고 있는 프레임의 크기가 작다고 판단하여 프레임의 크기를 증가시켰다. 그러나 리더 2는 충돌을 경험하지 않았으므로 두 번째 프레임에서도 첫 번째 프레임에서 사용한 슬롯 위치와 프레임 크기를 이용하였다. 두 번째 프레임에서는 리더 1과 리더 2가 충돌하였으므로, 이 리더들은 다시 프레임의 크기를 증가시키고 임의로 새로운 슬롯을 선택한다. 따라서 실제로 3개의 리더만이 존재하지만 리더들이 사용하는 프레임의 크기는 4 이상이 될 수 있다. 그러므로 이 경우 사용되지 않고 낭비되는 슬롯이 발생하게 된다.

3. Enhanced Colorwave^[9]

Colorwave는 프레임 크기를 변경하므로 리더의 이동 등으로 인한 간섭의 발생량에 따라 사용하는 슬롯의 주

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 Colorwave의 의사코드
 Fig. 5. Enhanced Colorwave Pseudocode.

기를 변경할 수 있다. 그러나 이 기법은 리더들이 프레임 크기를 자주 변경하여 프레임 크기를 증가시키고 많은 리더 충돌을 유발한다는 문제를 가진다. 따라서 본 절에서는 Colorwave의 문제를 해결하는 Enhanced Colorwave를 소개한다.

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 충돌방지 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 지속적으로 증가시킨다. 이 경우 충돌 확률이 낮아 프레임 크기를 감소시킨 경우 충돌 확률이 급격히 증가한다면, 변경 전 프레임의 크기를 최적의 프레임 크기라고 판단한다. 그림 5는 Enhanced Colorwave의 의사코드를 나타낸 것으로 Enhanced Colorwave의 동작을 크게 3부분으로 나누어 구현하고 있다.

Enhanced Colorwave는 리더들의 프레임 크기를 동일하게 유지 시키므로 Colorwave의 문제를 해결할 수 있다. 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. 따라서 이 문제를 해결하는 새로운 충돌방지 알고리즘이 요구된다.

IV. 제안한 리더 충돌방지 알고리즘

기존의 리더 충돌방지 알고리즘 중 DCS 나 Colorwave는 리더가 사용하는 프레임 크기가 고정되어 있어 리더 네트워크의 상황 변화에 능동적으로 대처할 수 없거나, 시간이 경과함에 따라 프레임 크기의 차이가 많이 발생하여 리더 사이에 태그 인식 기회의 공평성을 보장할 수 없다는 문제가 있다. Enhanced Colorwave는 기존의 두 알고리즘에 비하여 월등히 뛰어난 성능을 가지고 있으나, 충돌이 발생한 리더들이 임의로 새로운 슬롯을 선택하여 기존에 그 슬롯을 사용하던 다른 리더들의 태그 인식을 방해하고 불필요한 충돌을 발생시킨다는 문제가 있다. 따라서 본 장에서는 이러한 기존 알고리즘들의 문제를 해결하기 위하여 모니터링 기법을 이용한 Enhanced Colorwave를 제안한다.

모니터링 기법을 이용한 Enhanced Colorwave은 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 기존의 Enhanced Colorwave보다 충돌 발생이 감소하는 장점을 가진다.

아래의 그림 6은 제안한 알고리즘의 의사 코드를 나타내고 있다. 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 슬롯

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. 제안한 알고리즘의 의사코드
 Fig. 6. Pseudocode of Proposed Algorithm.

을 선택하게 된다. 제안한 알고리즘은 슬롯 선택외의 다른 모든 기법들은 Enhanced Colorwave와 동일한 방식을 이용한다.

V. 제안한 알고리즘의 성능 분석

1. 시뮬레이션 환경

RFID 리더 충돌방지 알고리즘의 성능은 단위 시간동안 리더가 충돌 없이 사용하는 슬롯의 수 또는 시간의 비율로 평가할 수 있으며 이 시간은 리더의 프레임 크기, 프레임 효율, 그리고 리더 활용률을 이용하여 표현할 수 있다. 리더는 하나의 프레임에서 하나의 슬롯만을 이용하여 태그를 인식하므로 일반적으로 프레임 크기가 작을수록 더 많은 태그 인식 기회를 얻을 수 있다. 리더의 프레임 효율은 프레임 내 슬롯의 사용 비율로 정의되는데 프레임 효율이 높을수록 사용 중인 프레임이 최적의 크기일 확률이 높아진다. 그리고 리더 활용률은 전체 시간 중 해당 리더가 간섭 없이 태그를 인식하는데 사용된 시간의 비율로 정의한다. 따라서 프레임 크기가 작고 거의 100%의 프레임 효율을 나타내며 리더 활용률이 높은 충돌방지 알고리즘이 가장 뛰어난 성능을 가진다고 볼 수 있다.

따라서 본 장에서는 프레임 크기의 변화 및 프레임 효율 등을 측정하여 Colorwave, Enhanced Colorwave, 그리고 본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 비교 분석한다. 표 3은 세 가지 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 사용한 성능 분석 항목들을 정의하고 있다.

본 성능 분석에서 사용되는 Colorwave, Enhanced Colorwave 그리고 제안한 알고리즘은 표 2에서 정의한 파라미터들을 이용하여 프레임 크기를 변경한다. 이때 리더들이 자신의 프레임을 변경시키기 위해 사용하는 충돌 확률은 일정 시간동안 태그 인식을 시도한 횟수에

표 3. 시뮬레이션의 성능 분석 항목
Table 3. The comparative factor in the simulation.

성능 분석 항목	정의
프레임 크기 (Frame size)	리더의 프레임 크기
프레임 효율 (Frame utilization)	프레임의 사용 비율 (프레임에서 사용된 슬롯 수/프레임 크기)
리더 활용률 (Reader utilization)	일정 시간 중 해당 리더가 간섭 없이 태그를 인식하는데 사용된 시간의 비율 (1-충돌확률)/프레임 크기

대한 충돌 발생 횟수의 비율을 의미한다. 이 경우 태그 인식 시도 횟수가 100회 이상이라면 최근의 태그 인식 시도 결과를 포함하여 현재 리더 네트워크의 상황을 프레임 크기 변경에 반영하였다. 아래의 표 4는 본 성능 분석에서 사용하는 파라미터 값들을 나타내고 있다.

본 성능 분석에서 리더들은 프레임 내 하나의 슬롯을 이용하여 태그 인식을 시도하며 자신과 1 홉 (Hop) 거리에 위치한 주변 리더들과 리더 간섭을 일으킨다고 가정한다. 또한 리더가 프레임 크기를 변경하거나 자신의 슬롯을 바꾼 경우 그 정보는 1 홉의 거리에 위치한 주변 리더들에게 전송된다.

아래의 그림 7은 위의 가정을 이용하는 경우의 시뮬레이션 상 리더들의 분포를 나타내고 있다. 본 성능 분석에서는 8 x 8 격자 내에 45개의 리더가 임의로 분포되어 있다고 설정하였다. 이 중 가장 많은 주변 리더들에게 영향을 받는 리더 A의 프레임 크기, 프레임 효율 및 리더 활용률을 측정하여 각 알고리즘의 성능을 분석한다.

본 장에서는 두 가지 시나리오를 이용하여 각 알고리즘의 성능을 분석한다. 첫 번째 시나리오는 시뮬레이션

표 4. 시뮬레이션에서 사용한 파라미터 값
Table 4. The parameter value for each algorithm in the simulation.

파라미터 이름	파라미터 값
UpSafe	0.2
UpTrig	0.15
DnSafe	0.05
DnTrig	0.1
MinTimeInColor	태그와의 통신을 100회 시도하는데 필요한 시간
Initial Frame size	10 슬롯

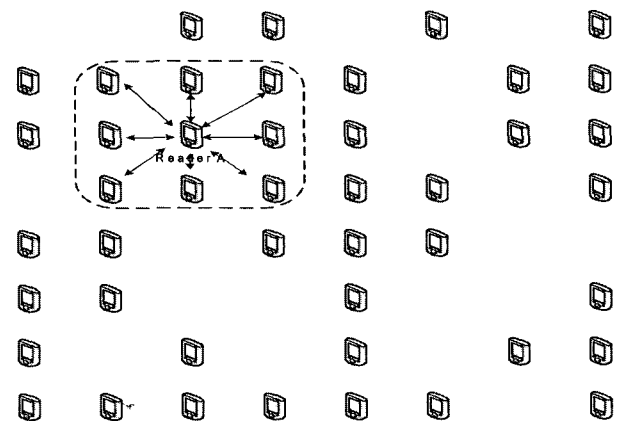


그림 7. 시뮬레이션 상의 리더의 분포
Fig. 7. The distribution of readers in the simulation.

중 리더들의 위치가 고정되어 있는 경우로 각 충돌방지 알고리즘의 특성을 고찰하고 성능을 분석한다. 두 번째 시나리오는 시뮬레이션 시작 후 일정 시간이 경과했을 때 네트워크에 5개의 리더가 추가되는 경우이다. 이 시나리오에서는 리더 분포에 변화가 발생한 경우 각 알고리즘의 성능의 변화를 분석한다. 이하에서 각 시나리오에 따른 알고리즘의 성능을 분석한다.

2. 제안한 알고리즘의 성능 분석

가. 리더의 이동이 없는 경우

그림 8은 시간의 경과에 따른 프레임 크기의 변화를 나타내고 있다. 이때 Enhanced Colorwave와 제안한 알고리즘은 리더의 프레임을 각각 5 슬롯과 4 슬롯으로 계속 유지하고 있다. 두 알고리즘 모두 프레임 크기를 동기화 시키는 기법을 이용하여 프레임 크기의 차이로 인하여 발생하는 충돌을 줄이기 때문이다. 이때 제안한

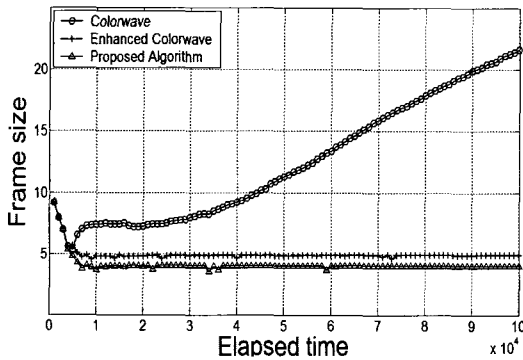


그림 8. 시간의 경과에 따른 프레임 크기 변화 (시나리오1)
Fig. 8. Frame size vs. Elapsed time(Scenario 1).

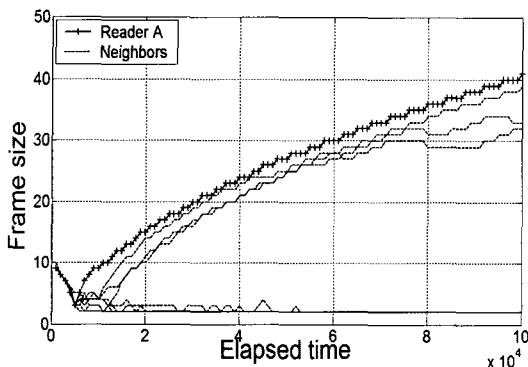


그림 9. 리더 A와 주변 리더들의 프레임 크기 변화 (Colorwave)
Fig. 9. The change of frame size of Reader A and neighboring readers(Colorwave).

알고리즘은 Enhanced Colorwave보다 작은 크기의 프레임을 이용하여 리더 충돌을 줄이고 있다. 제안한 알고리즘에서는 충돌이 발생한 리더들이 점유 확률이 가장 낮은 슬롯을 다음에 사용할 슬롯으로 선택하기 때문이다.

반면에 Colorwave는 태그 인식 초반에 7 슬롯/프레임을 유지시키다가 시간이 경과함에 따라 프레임 크기를 계속 증가시키고 있다. 시뮬레이션 초반에는 리더 A를 포함한 주변 리더들의 프레임 크기의 차이가 크지 않기 때문에 리더 A의 프레임 크기가 거의 일정하게 유지된다. 그러나 시간이 경과하여 프레임 크기의 차이가 커지면 프레임 크기가 증가한다. 그림 9는 시간의 경과에 따른 리더 A와 그 주변 리더들의 프레임 크기의 변화를 나타내어 실제로 리더 A와 주변 리더 사이의 프레임 크기의 차이가 발생하면 리더 A의 프레임 크기가 증가함을 보이고 있다.

태그 인식 기회는 프레임 크기에 반비례하므로 시뮬레이션 종결 시점에서 제안한 알고리즘은 Colorwave에

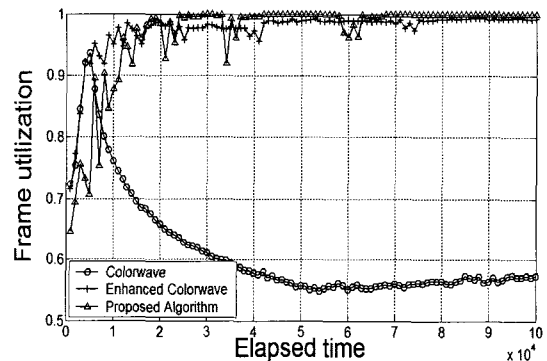


그림 10. 시간의 경과에 따른 프레임 효율 변화 (시나리오1)
Fig. 10. Frame utilization vs. Elapsed time(Scenario 1).

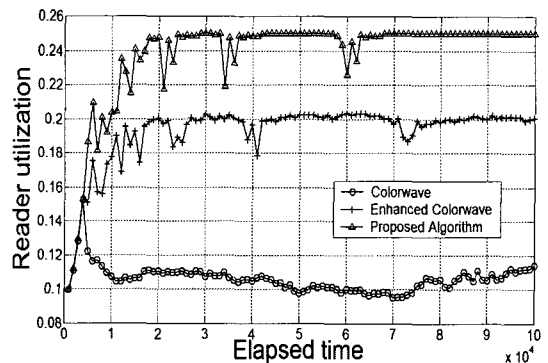


그림 11. 시간의 경과에 따른 리더 활용률 변화 (시나리오1)
Fig. 11. Reader utilization vs. Elapsed time(Scenario 1).

비하여 5.5배, Enhanced Colorwave에 비하여 1.2배의 태그 인식 기회를 갖는다.

그림 10은 시간의 경과에 따른 프레임 효율의 변화를 보이고 있다. Colorwave에서는 시뮬레이션 초반에 프레임 효율이 급격히 감소된 후 56%의 프레임 효율이 유지된다. 이는 리더 A를 비롯한 주변 리더들의 프레임 크기가 커 프레임의 절반 정도가 사용되지 않기 때문이다. 반면에 Enhanced Colorwave는 프레임의 98%를 사용하고 있으며, 제안한 알고리즘은 프레임의 거의 100%를 사용하고 있다. 따라서 프레임 효율 측면에서 제안한 알고리즘은 Colorwave에 비하여 78%, Enhanced Colorwave에 비하여 2% 높은 프레임 효율을 보인다.

그림 11은 시간의 경과에 따른 리더 활용률의 변화를 나타내고 있다. Colorwave는 하나의 리더가 프레임의 10%를 리더 간 충돌 없이 자신의 태그 인식에 사용하는 것을 알 수 있다. 이때 그림 8에서 시뮬레이션 종결 시점에서 프레임 크기가 22 슬롯까지 증가한 것을 고려하면 프레임 크기에 비하여 리더 활용률이 매우 큰 것을 알 수 있다. 그 이유는 프레임 크기로 측정된 22 슬롯/프레임은 100회의 시뮬레이션의 평균값이기 때문이다. 따라서 실제 리더 A는 22 슬롯/프레임 보다 큰 프레임 또는 작은 프레임을 이용할 수 있다. 이때 태그 인식 시도 수는 프레임 크기에 반비례하므로 22 슬롯을 두 번 사용하는 경우와 40 슬롯과 4 슬롯을 연속하여 사용하는 경우의 리더 활용률은 달라진다. 따라서 Colorwave는 프레임 크기와 리더 활용률이 정확히 반비례하지 않는다. 그림 12는 Colorwave의 각 시뮬레이션에서의 프레임 크기의 변화를 나타내고 있다.

그림 11에서 Enhanced Colorwave는 20%의 리더 활용률을 나타내고 있다. 이는 5 슬롯/프레임을 이용하는 리더 A가 자신의 프레임 중 하나의 슬롯을 선택하여 태그의 데이터 인식을 시도할 때 거의 충돌 없이 태그를 인식한다는 것을 의미한다. 제안한 알고리즘을 사용하는 경우에도 리더 A는 자신의 4 슬롯/프레임의 25%를 태그 인식에 이용하고 있으므로 리더 충돌이 거의 발생하지 않음을 그림 11을 통하여 알 수 있다.

나. 리더의 이동이 발생한 경우

본 항에서는 리더의 이동이 발생한 경우의 각 알고리즘의 성능 분석 항목의 변화를 측정한다. 본 항에서의 리더의 이동은 시뮬레이션 중 5개의 리더가 추가된 경우를 의미한다. 이때 네트워크에 새롭게 추가된 리더들은 초기 프레임 크기로 8 슬롯을 사용하며 표 4에서 설

정한 파라미터 값을 이용한다고 가정한다.

그림 13은 시간의 경과에 따른 프레임 크기의 변화를 나타내고 있다. Colorwave는 리더가 추가되기 전까지 그림 8과 거의 동일한 값을 나타내고 있으나 리더가 추가된 이후에는 프레임 크기를 11 슬롯으로 유지한다. 그 이유는 다음과 같다. 네트워크에 추가되는 리더와의 충돌로 리더 A의 주변 리더들의 프레임 크기가 증가할 확률이 높아진다. 따라서 주변 리더들보다 상대적으로 작은 프레임을 유지하는 리더 A는 거의 충돌이 발생하지 않으므로 자신의 프레임 크기를 줄일 확률이 커지기 때문이다.

반면에 Enhanced Colorwave와 제안한 알고리즘은 리더가 추가된 경우 급격한 프레임 크기의 변화를 발생시킨다. 이는 네트워크에 추가된 리더들이 8 슬롯으로 구성된 프레임을 이용하여 기존의 네트워크의 5 슬롯/프레임 또는 4 슬롯/프레임을 사용하는 리더들에게 영향을 주기 때문이다. 그러나 두 알고리즘 모두 프레임 크기를 감소시켜 리더 추가 전의 안정된 상태로 빠르게

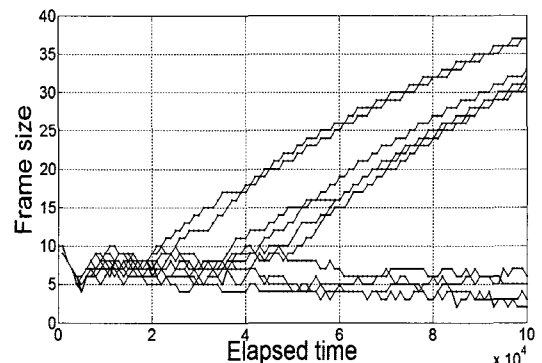


그림 12. 시간의 경과에 따른 리더 A의 프레임 크기의 변화 (Colorwave)
Fig. 12. The change of frame size of Reader A (Colorwave).

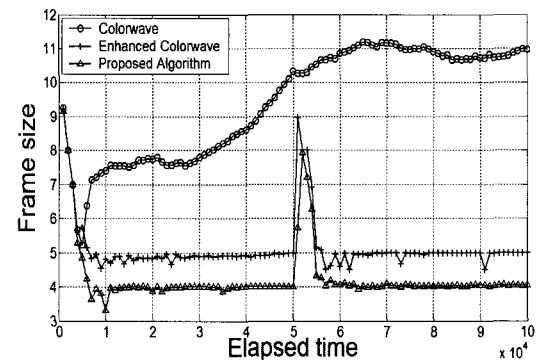


그림 13. 시간의 경과에 따른 프레임 크기 변화 (시나리오2)
Fig. 13. Frame size vs. Elapsed time(Scenario 2).

돌아가고 있다. 그러나 추가된 리더들의 영향으로 주변 리더들과 충돌이 발생하게 되는 경우가 많기 때문에 프레임 크기의 소폭 변동이 계속 관찰된다.

그림 14는 시간의 경과에 따른 프레임 효율의 변화를 나타내고 있다. Colorwave는 시뮬레이션 초반에 높은 프레임 효율을 유지하다가 시간이 경과함에 따라 감소하여 50%의 프레임 효율을 유지한다. 이 값은 리더의 이동이 발생하지 않은 경우와 비교할 때 거의 변화가 없음을 알 수 있다. Colorwave는 두 알고리즘 모두에서 프레임 크기를 증가시키기 때문이다.

그러나 Enhanced Colorwave와 제안한 알고리즘은 네트워크에 리더가 추가되었을 때 프레임 효율이 급격히 감소하는 것을 알 수 있다. 추가된 리더들의 영향으로 리더 A의 프레임 크기가 증가했기 때문이다. 이때 그림 13과 비교하면 프레임 크기는 빠르게 감소하여 리더 추가 전의 상태로 돌아가는 것에 비하여 프레임 효율은 서서히 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 두 알고리즘이 사용하는 프레임의 크기가 작기 때문이다. 따라서 프레임 크기의 변동 폭이 작더라도 프레임 효율의 측면에서 큰 변동으로 나타내게 된다.

그림 15는 시간의 경과에 따른 리더 활용률의 변화를 나타내고 있다. Colorwave의 경우 리더들이 네트워크에 추가된 후 리더 활용률이 증가함을 보인다. 추가된 리더들의 영향으로 리더 A의 주변 리더들의 프레임 크기가 급증하게 되어 리더 A의 프레임 크기가 작아졌기 때문이다. 따라서 리더 A는 다른 주변 리더들보다 많은 태그 인식 기회를 갖게 되고 큰 프레임을 가진 리더들과 충돌이 발생할 확률이 적어지므로 리더 활용률이 증가하게 된다.

그러나 Enhanced Colorwave 및 제안한 알고리즘을 사용하는 경우에는 리더들이 추가된 이후 리더 활용률이 급격히 감소한다. 이는 프레임 효율의 변화처럼 프레임의 크기가 증가하기 때문이다. 이때 Enhanced Colorwave는 리더 추가 전의 리더 활용률을 빠르게 회복하는데 반하여 제안한 알고리즘은 그 리더 활용률이 리더 추가 전의 값으로 회복하는데 많은 시간이 걸린다. 이는 제안한 알고리즘의 프레임 크기가 4 슬롯이기 때문에 5 슬롯/프레임을 이용하는 Enhanced Colorwave보다 추가된 리더에 의한 영향을 더 많이 받기 때문이다.

VI. 결 론

기존의 RFID 리더 충돌방지 기법들 중 시간 영역을

나누어 사용하는 Colorwave나 Enhanced Colorwave는 리더들이 자신의 충돌 확률을 이용하여 개별적으로 자신의 프레임 크기를 변경하여 태그를 인식하는 기법이다. 따라서 리더의 이동이나 태그 인식 빈도 등의 주변 상황의 변화에 따라 프레임 크기를 변경시킬 수 있으므로 효율적으로 태그를 인식할 수 있다.

그러나 이 두 알고리즘들은 충돌이 발생한 리더들이 새로운 임의의 슬롯을 선택하여 기존에 그 슬롯을 사용하던 다른 리더들의 슬롯 사용을 방해하고 불필요한 충돌을 발생시킨다는 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 기존 알고리즘들의 문제를 해결하기 위하여 모니터링 기법을 이용한 Enhanced Colorwave를 제안하였다.

성능 분석의 결과, 리더의 이동이 없는 경우에 시뮬레이션 종료 시점에서 제안한 알고리즘은 4 슬롯/프레임, Colorwave는 22 슬롯/프레임 그리고 Enhanced Colorwave는 5 슬롯/프레임을 이용하였다. 따라서 제안한 알고리즘은 Colorwave 알고리즘에 비하여 5.5배,

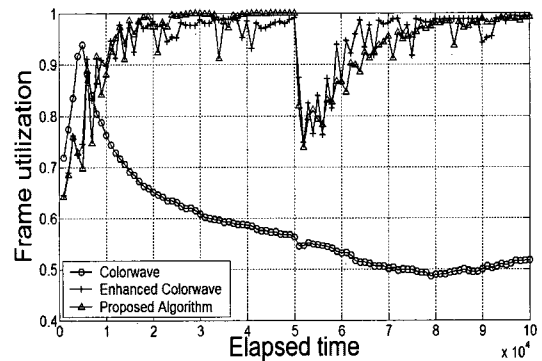


그림 14. 시간의 경과에 따른 프레임 효율 변화 (시나리오 2)

Fig. 14. Frame utilization vs. Elapsed time (Scenario 2).

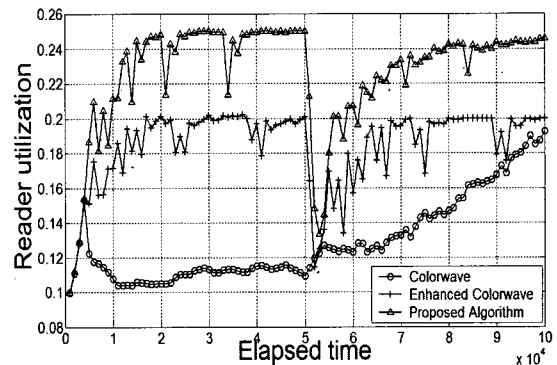


그림 15. 시간의 경과에 따른 리더 활용률 변화 (시나리오 2)

Fig. 15. Reader utilization vs. Elapsed time (Scenario 2).

Enhanced Colorwave에 비하여 1.2배 이상 태그 인식을 시도하였다. 또한 제안한 알고리즘을 이용하는 경우에는 프레임 내의 거의 모든 슬롯이 태그 인식에 사용되는 것에 비하여 Colorwave는 프레임의 56%, Enhanced Colorwave는 프레임의 98%를 태그 인식에 사용하였다. 그리고 제안한 알고리즘의 리더 활용률이 25%로 나타나 제안한 알고리즘을 사용하여 4 슬롯/프레임을 이용하는 리더는 다른 리더들과 충돌 없이 태그를 인식할 수 있음을 알 수 있었다. 반면에 Colorwave의 리더 활용률은 10%, Enhanced Colorwave는 20%로 제안한 알고리즘보다 낮은 값을 보였다. 따라서 제안한 알고리즘은 기존의 리더 충돌방지 알고리즘에 비하여 더 효율적으로 동작함을 알 수 있었다.

리더의 이동이 발생한 경우에 Colorwave는 리더의 이동이 없는 경우와 거의 유사한 성능을 나타냈다. 반면에 Enhanced Colorwave와 제안한 알고리즘은 리더가 추가되는 순간에 성능이 떨어지지만 리더 추가 전의 성능을 빠르게 회복하였다. 성능 분석의 결과 네트워크 내에 리더가 추가되더라도 제안한 알고리즘은 다른 두 리더 충돌방지 알고리즘보다 뛰어난 성능을 나타냄을 알 수 있었다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 RFID 리더의 프로토콜 단순화를 위하여 리더의 프레임 크기를 변경시키기 위하여 사용하는 충돌 확률로 고정된 값을 사용하였다. 그러나 리더의 분포나 태그와의 통신 빈도수들을 고려하여 사용하는 충돌 확률을 변경할 수 있다면 제안한 알고리즘의 성능이 더욱 향상될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] M. Chiesa, R. Genz, F. Heubler, M. G. Kim, C. Noessel, N. Sopiaeva, D. Slocombe, J. Tester, "RFID: a week long on the technology and its potential," Harnessing Technology Project white paper, March 2002.
- [2] ACCENTURE, "Radio Frequency Identification (RFID) white paper," ACCENTURE white paper, 2001.
- [3] K.Finkenzeller, *RFID Handbook-Second Edition*, Jone Wiley & Sons, 2003.
- [4] J. Waldrop, D. W. Engles, S. E. Sarma, "Colorwave : A MAC for RFID Reader Networks," in Proc. of IEEE Conf. on Wireless Communication and Networking, March 2003.
- [5] J. Waldrop, D. W. Engles, S. E. Sarma, "Colorwave : An Anticollision Algorithm for the Reader Collision Problem," in Proc. of IEEE International Conf. on Communications, May 2003.
- [6] ISO/IEC JTC 1/SC 32/WG 4, "Information Technology automatic identification and data capture techniques-Radio frequency identification for item management - Part 6: Parameter for air interference communications at 860MHz to 960MHz," ISO/IEC FDIS 18000-6, November 2003.
- [7] European Telecommunications Standards Institute, "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, July 2004.
- [8] EPCglobal, "EPC Radio-Frequency Identity Protocols Generation 2 UHF RFID Tag(Class 1): Protocol for Communications at 860MHz - 960MHz," Working Draft Version 1.0.4, February 2004.
- [9] 이수련, 이채우, "RFID 시스템에서의 개선된 Colorwave 충돌방지 알고리즘," 2005 Joint Conference on Communications Informations, 2005년 4월
- [10] J. H. Kim, W. J. Lee, J. U. Yu, J. H. Myung, E. K. Kim, C. H. Lee, "Effect of Localized Optimal Clustering for Reader Anti-Collision in RFID Networks: Fairness Aspects to the Readers," in Proc. of IEEE Conf. on Computer Communications and Networks, pp. 497-502, San Diego, USA, October 2005.
- [11] 표철식, 채종석, "RFID 기술 및 표준화 동향," TTA 저널, 제95호, 37-47쪽, 2004년 10월
- [12] A. B. Carlson, P. B. Crilly, J. C. Rutledge, *Communication Systems: An Introduction to Signal and Noise in Communication 4th Edition*, McGraw-Hill, 2001.
- [13] European Telecommunications Standards Institute, "Electromagnetic compatibility and Radiospectrum Matters(ERM); Short-Range Device (SRD) intended for operation in the 862 MHz to 870 MHz band; System Reference Document for Radio Frequency Identification (RFID) equipment," ETSI TR 101 445 vol. 1.1.1, April 2002.
- [14] 류덕열, "전파식별(RFID)," TTA 저널, 제98호, 148-156쪽, 2005년 4월

저 자 소 개



이 수 련(학생회원)
 2004년 2월 아주대학교
 전자공학과 학사 졸업
 2006년 2월 아주대학교
 전자공학과 석사 졸업
 2006년 3월~현재 (주)삼성전자
 연구원

<주관심분야 : 유비쿼터스 네트워크, Internet
 Qos, RFID 시스템>



이 채 우(정회원)
 1985년 서울대학교 제어계측과
 학사 졸업.
 1988년 한국과학기술원
 전자공학과 석사 졸업.
 1995년 University of Iowa
 박사 졸업.

1985년 1월~1985년 12월 (주)금성통신 연구원.
 1988년 9월~1999년 3월 한국통신 선임연구원.
 1999년 3월~2001년 9월 Lucent Technologies
 Korea 이사.
 2001년 9월~2002년 2월 한양대학교 겸임교수.
 2002년 3월~현재 아주대학교 전자공학과
 조교수.

<주관심분야 : 광대역 통신망, Ubiquitous
 networking, Traffic Engineering>