

논문 2009-46TC-4-6

# 채널 혼잡 추정 리더 충돌 방지 알고리즘

(Reader Anti-Collision Algorithm via Estimation of Channel Congestion)

유준상\*, 이채우\*\*

(Jun-Sang Yoo and Chae-Woo Lee)

## 요약

RFID 환경에서 근접한 거리에 위치한 리더들이 동시에 동일 채널 또는 인접 채널을 사용할 경우 리더들 간 간섭을 일으키게 되는데 이를 리더 충돌이라 한다. 리더 충돌로 인해 리더의 명령이 태그에게 전송되지 않거나, 리더에 대해 태그가 응답할 수 없게 된다. 리더 충돌을 줄이기 위해 리더 충돌 방지 기법에 관한 연구가 이루어지고 있으며, ETSI에서는 다중 채널 환경에서 Listen-Before-Talk(LBT) 방식을 제안하고 있다. 그러나 이 방식에서는 채널 상황에 대한 고려 없이 채널을 임의로 선택하고, 채널 호핑을 수행한다. 또한, 채널을 점유하기 위해 여러 리더가 기다리는 경우 동시에 채널 상태를 확인하게 되어 리더 충돌을 효과적으로 줄이지 못한다. 본 논문에서는 다중 채널 환경을 고려한 LBT 방식을 기반으로 하되, 위 단점들을 보완한 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 채널 센싱 랜덤 백오프를 사용하고, 효율적인 채널 호핑을 위해 채널 혼잡을 추정하는 기법을 제안하여 채널 호핑 여부를 판단한다. OPNET 시뮬레이터를 통해 희소 리더 환경 및 밀집 리더 환경에서 제안하는 알고리즘의 우수성을 확인하고 검증한다.

## Abstract

In RFID field, when the neighboring readers try to occupy the same or adjacent channel simultaneously, there exists reader-to-reader interference; it calls reader collision. From the reader collision, the tags cannot response correctly query from the reader. Reader anti-collision schemes have been developed, and particularly, the Listen-Before-Talk(LBT) scheme is proposed to avoid reader collision in ETSI in multi channel environment. However, in ETSI, there is a drawback that the reader collision does not decrease effectively because the reader selects randomly a channel without considering the channel environment and readers try to occupy the channel concurrently. In this paper, we propose a algorithm based on LBT scheme considering multi channel environment as well as made up for the drawbacks of LBT. The proposed algorithm applies random backoff, the collision avoidance mechanism. And it can reduce delay because of our proposed estimation mechanism. Simulation using OPNET shows that the proposed algorithm achieves higher superiority than that of the simple algorithms in sparse and dense reader mode.

**Keywords :** RFID, Reader Anti-Collision, Channel Congestion

## I. 서론

RFID(Radio Frequency IDentification) 기술은 무선 주파수를 사용하여 태그(tag)의 정보를 RFID 리더

(reader)를 통하여 식별하는 비접촉식 자동인식기술이다. RFID 기술이 유비쿼터스 핵심기술 중 하나로 떠오르면서 휴대폰, PDA 등의 이동성 단말기에 RFID 리더를 포함하는 모바일 RFID 분야의 기술 연구가 활발하게 진행되고 있다<sup>[1-2]</sup>.

RFID 기술의 이용범위가 확대되면서 그 수요가 증가하고 있지만 RFID 시스템을 자유롭게 활용하기 위해 해결해야 할 많은 문제들이 있다. 특히 RFID 시스템에서의 채널 간섭은 태그의 인식 효율을 떨어뜨리는 주요 원인이기 때문에 중요한 문제로 인식되고 있다<sup>[1]</sup>.

\* 학생회원, \*\* 정회원, 아주대학교 전자공학회

(School of Electrical and Computer Engineering, Ajou University)

※ “본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음” IITA-2009-C1090-0902-0014(2009년도 사업)  
접수일자: 2009년2월10일, 수정완료일: 2008년3월30일

RFID에서 발생하는 채널 간섭은 태그 간섭(tag interference), 다중 리더-태그 간섭(multiple reader-to-tag interference), 그리고 리더 간 간섭(reader-to-reader interference)으로 구분된다.

태그 간섭이란 한 개 이상의 태그가 하나의 리더에 동시에 신호의 전송을 시도할 때 발생하는 간섭으로, 이를 방지하기 위해 제안된 대표적인 방식으로는 binary-tree 또는 ALOHA 방식이 있다. 다중 리더-태그 간섭은 인접한 다수의 리더가 같은 태그의 인식을 시도하는 경우 발생하는 간섭이다. 리더 간 간섭은 인접한 리더들이 동일 채널이나 인접 채널을 사용함으로써 발생하는 간섭으로서 동일 채널 간섭(co-channel interference)과 인접 채널 간섭(adjacent-channel interference)으로 구분된다<sup>[3]</sup>. 특히 동일 채널 간섭은 수 백 미터 떨어진 리더들의 경우에도 영향을 미칠 수 있기 때문에 RFID 시스템에서 가장 심각한 간섭이라 할 수 있다<sup>[4]</sup>. 따라서 RFID 시스템을 자유롭게 활용하기 위해서는 리더 간 동일 채널 간섭에 대한 연구가 선행되어야 한다.

현재 RFID 표준<sup>[5]</sup>에서는 리더 충돌 방지 알고리즘으로 Frequency Division Multiplex(FDM) 방식을 기반으로 하는 Listen-Before-Talk(LBT) 방식과 주파수 호핑 방식(Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS)을 규정하고 있고, 기존 논문에서는 DCS<sup>[6]</sup>, Colorwave<sup>[6]</sup>, PULSE<sup>[7]</sup>, 그리고 HIQ<sup>[8]</sup> 등의 기법을 제안하고 있다. 주파수 호핑 방식이란 RFID 리더들이 자신의 호핑 시퀀스에 따라 주파수 대역을 변경하면서 태그를 인식하는 기법이다. LBT란 채널을 점유하기 전 채널 상태를 확인하고, 채널이 일정시간 유희한 경우에 채널을 사용하는 방식이다.

DCS, Colorwave, PULSE 알고리즘은 RFID 리더가 스스로 충돌을 회피하는 분산 제어 방식이다. 그러나 DCS와 Colorwave는 RFID 리더들이 단일 채널을 사용한다고 가정하여 리더들이 충돌을 회피하기 때문에 실제 다중 채널이 존재하는 RFID 환경에서 효과적으로 동작하지 못한다. PULSE 알고리즘은 control 채널과 data 채널을 구분하여 사용하기 때문에 리더 수에 따라 채널 사용 효율이 결정된다. HIQ는 중앙관리자가 리더의 충돌을 회피하도록 조정하는 중앙 집중 제어 방식으로서, 모바일 RFID 리더에 의해 네트워크 토폴로지가 변함에 따라 중앙관리자가 매번 새로운 계산을 통해 채널 할당을 해야 하기 때문에 모바일 RFID 환경에 부적

합하다<sup>[9]</sup>. 따라서 동일 지역에 다수의 움직이는 리더가 존재하는 환경에서 효과적으로 리더의 충돌을 방지하기 위해서는 분산 제어 방식을 기반으로 하여 제한된 주파수와 사용시간 등의 자원을 최대한 활용해야 한다.

본 논문에서는 분산 제어 방식 중 하나인 LBT 방식을 기반으로 하는 RFID 리더 충돌 방지 알고리즘을 제안한다. 그러나 기존 LBT에서는 채널 센싱 이후 충돌을 방지하기 위한 메커니즘이 존재하지 않기 때문에 여러 리더가 동시에 채널 센싱을 시작하는 경우 리더 충돌을 방지하지 못한다. 특히, 밀집 리더 환경에서는 다수의 리더가 한 채널을 점유하기 위해 기다리는 상황이 빈번하기 발생하기 때문에 LBT 단계 후 리더들의 충돌을 줄이기 위한 메커니즘이 필요하다.

제안하는 알고리즘에서는 위에서 설명한 기존 LBT의 문제점을 극복하기 위하여 리더들은 LBT 후 채널 센싱 랜덤 백오프 경쟁을 통해 채널을 점유한다. 또한, 다중 채널 환경에서 채널 사용 효율이 리더 수에 의존하는 단점을 보완하기 위해 채널 호핑 수행 여부를 판단한다. 채널 호핑 수행 여부를 판단하기 위해 채널 혼잡을 추정하는 기법을 제안하고, 채널 혼잡 추정을 통해 채널 호핑 수행 여부를 결정한다. 채널 혼잡 추정은 랜덤 백오프 구간을 둘로 구분하고, 첫번째 구간에서의 충돌 정보를 활용하여 추정하게 된다.

논문의 구성은 다음과 같다. 제 II 장에서는 RFID 리더 충돌 방지의 관련 연구로 리더 충돌과 기존 리더 충돌 방지 알고리즘에 대해 설명한다. 제 III 장에서는 리더 충돌 방지에 효율적인 알고리즘을 제안하고, 제 IV 장 시뮬레이션을 통해 제안하는 알고리즘의 우수성을 검증한다. 끝으로, 제 V 장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

### 1. 표준에서의 채널 간섭 회피 방안

RFID 국제 표준화는 ISO/IEC<sup>[10]</sup>로 JTC1내의 SC31의 워킹 그룹에 속하는 WG4에서 이루어지고 있다. ISO/IEC에 크게 기여하고 있는 EPCglobal<sup>[11]</sup>은 국제적인 표준화 그룹은 아니지만, 리더뿐 아니라 태그에 있어서도 표준화를 주도 하고 있는 곳이다. 유럽의 RFID 표준화는 유럽무선통신표준기구(The European Telecommunications Standard Institute, ETSI)<sup>[12]</sup>에 의해 이루어진다. 이중 EN 300 220은 25~1000MHz의 주파수 범위 내 저 전력 무선 시스템에 대한 유럽 허가 규

표 1. UHF 대역의 프로토콜 비교

Table 1. Comparison for the protocols of UHF bandwidth.

Parameter		ISO/IEC 18000-6	EPC Class 1 Gen. 2	ETSI
Frequency Range		860~960 MHz	860~960 MHz	863~870 MHz
Radio Spectrum		FHSS	FHSS	FHSS or LBT
Reader to Tag	Modulation	ASK	ASK	ISO/IEC와 동일
	Encoding	TYPE A: PIE	PIE	ISO/IEC와 동일
TYPE B: Manchester				
Tag to Reader	Modulation	ASK	Binary ASK or BPSK	ISO/IEC와 동일
	Encoding	FM0	FM0 or Miller-modulated subcarrier	ISO/IEC와 동일

정을 제공하는 것으로 RFID 기술도 이에 해당된다.

ISO/IEC 18000-6은 RFID 시스템의 무선 파라미터를 정의하는 국제 표준으로 860~960MHz에 관해 정의하고, 채널 간섭 회피를 위해 주파수 호핑 방식(Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS)을 사용한다. EPCglobal에서 제안한 EPC Class 1 Generation 2(Gen.2)는 UHF 대역(860~960MHz)의 RFID 태그 및 리더의 동작을 규정하고 있으며, 현재 Gen.2는 ISO/IEC 18000-6 TYPE C 표준으로 통합되었다. Gen.2에서도 채널 간섭 회피를 위해 주파수 호핑 방식을 사용한다. ETSI는 유럽지역의 RFID 표준화를 이끄는 기구로 ETSI TR 102 313은 863~870MHz 에서 채널 간섭 회피를 위해 FHSS와 LBT를 제안하고 있다. 표 1은 UHF 대역의 주파수 범위, 주파수 간섭 회피 방법, 데이터 변조 방식, 그리고 인코딩 방식에 대하여 비교<sup>[4]</sup>한 것이다.

우리나라도 방송·해상·항공·전기통신사업용 외의 기타업무용 무선설비의 기술기준<sup>[5]</sup>에서 RFID 사용 환경을 제안하고 있다. 우리나라의 RFID 사용 환경은 ETSI에서 제안하고 있는 RFID 사용 환경과 유사하다.

표 2는 우리나라의 RFID 사용 환경과 ETSI에서 제안하고 있는 RFID 사용 환경을 비교한 것이다. 표 2에서 알 수 있듯이 ETSI 표준과 같이 우리나라에서도 FHSS 방식과 LBT 방식을 표준으로 제안하고 있다. 그 중 LBT 방식은 적은 자원을 사용하기 위해 제안된 방

표 2. 우리나라와 ETSI의 RFID 사용 환경 비교

Table 2. RFID environment in our country and ETSI.

Parameter	ETSI	무선설비 기술 기준
Frequency Range	865~868 MHz	908.5~914 MHz
Radio Spectrum	FHSS, LBT	FHSS, LBT
Channel Bandwidth	200kHz	200kHz
Number of channels	15	27

식으로 RFID 시스템이 증가하고 있는 현재 RFID 환경에 FHSS에 비해 적합하다고 할 수 있다. 그러나 우리나라 표준에서는 채널 상태를 확인하는데 필요한 시간 및 채널 점유 후 대기 시간 등 기본적인 틀만 정의하고 있고, LBT만을 사용할 경우 I 장에서 언급한 바와 같이 리더 충돌을 방지하지 못하기 때문에 표준에서 제안하는 방법만으로는 RFID 리더의 높은 효율을 기대하기 힘들다.

제 2 절에서는 ETSI에서 LBT를 기반으로 RFID 성능을 높이기 위해 제안하고 있는 채널 간섭 회피 방법에 대해 알아본다.

## 2. ETSI에서의 채널 간섭 회피 방법<sup>[11]</sup>

ETSI 에서는 총 15 개 채널을 RFID 시스템을 위한 채널로 할당하고 있으나, 2개의 상층 채널과 3개의 하층 채널을 보호 대역으로 사용하고 위 채널들의 방사 전력을 500mW로 제한하고 있어, 실제 10 개 채널을 사용한다. 총 10 개의 채널 중 인접 채널 간섭을 줄이기 위하여 리더 전송용 채널 4 개, 태그 응답용 6 개 채널을 사용하도록 제안하고 있다. 그러나 리더 가용 채널이 4 개이기 때문에 RFID 리더 수가 증가하고 있는 현 RFID 환경에서 적은 채널수를 보완할 수 있는 방안이 필요하다.

이에 ETSI TS 102 562에서는 밀집 리더 환경에서 리더가 채널을 선점한 경우 선점 리더의 전송이 끝나더라도 다른 SRD(Short Range Devices) 장치에 채널을 넘겨주지 않고, 최대 4초 동안 다른 리더와의 채널 공유를 통해 리더의 채널 사용기회를 증가시키기 위하여 또 다른 채널 간섭 회피 방안인 channel sharing 기법을 제안한다.

Channel sharing이란 특정한 조건에 의해 구성된 리

더 집단이 채널을 점유하고, 일정시간 동안 채널을 공유하는 것을 말한다. Channel sharing을 위해 리더 간 synchronization이 필요하다. Synchronization이란 다수의 리더들이 LBT를 통해 획득한 채널을 공유하여 사용할 수 있도록 각 리더의 사용을 상호 배제(mutual exclusion)하는 기술을 말한다.

ETSI TS 102 562에서 제안하는 channel sharing 기술에는 네트워크 방식, In Band signaling 방식, 자율적 Network Termination Point(NTP)방식 그리고 시스템 식별자 방식이 있다. 네트워크 방식은 모든 리더가 네트워크로 연결되어 채널 이용 정보와 timing 정보 등을 교환하는 방식이다. In Band signaling 방식은 프리앰블인 pre-pulse를 사용하는 기법으로 리더가 태그에 전송하는 신호 앞에 식별자를 포함시켜 각 리더를 구분하는 방식이다. 자율적 NTP 방식은 모든 리더가 listen 구간에서 각 리더들이 사용 하려는 선호 채널을 송·수신하여 하나의 전송 사이클을 공유하는 방식이다. 시스템 식별자 방식은 pre-pulse와 유사한 system Identifier (SID) pattern을 사용한다. SID는 cluster가 형성될 때 리더들에게 유일하게 할당되며, SID 사용 시 리더들 간 동기화가 필요 없다는 장점이 있다. 리더는 SID signal을 broadcasting하여 채널을 공유한다.

그러나 ETSI에서 제안하는 채널 간섭 회피 방법은 모두 각 리더의 채널 이용 정보와 timing 정보를 교환하기 위한 리더들 간 통신이 이뤄져야 하고, 또한 이 통신을 위한 제어 메커니즘이 추가적으로 필요하기 때문에 복잡하다.

RFID 표준에서 리더 충돌 방지를 위해 제안된 방식은 세부 절차는 서로 다르지만 기본적으로 간섭을 일으키는 리더들에게 다른 채널을 할당함으로써 리더들 간의 충돌이 발생하는 채널 간섭을 방지한다. 특히, ETSI에서 제안하고 있는 LBT는 채널수가 적고 한 채널 당 점유 대역폭이 작은 환경에서 효율적으로 동작하도록 제안되었을 뿐 아니라, 리더 외 SRD 장치와의 경쟁 시 리더의 채널 사용 기회를 증가시키기 위하여 channel sharing 기법을 사용한다. 그러나 LBT의 경우 I 장에서 언급한 바와 같은 문제를 가지고 있고, 제안된 channel sharing 기법은 리더들 간 채널 이용 정보와 timing 정보를 교환 할 수 있도록 사전에 리더들 간 네트워크가 형성되어야 하기 때문에 향후 모바일 RFID 환경에 적합하지 않다.

제안하는 알고리즘에서는 위의 문제들을 해결하기

위해 각 리더는 분산제어 방식을 통해 채널 점유를 시도하고, LBT 후 채널 센싱 랜덤 백오프를 수행한다. 이때, 동일한 윈도우 사이즈로 충돌 확률을 효과적으로 줄일 수 있도록 두 번의 랜덤 백오프 경쟁을 거친다. 각각의 랜덤 백오프가 독립적인 경우 첫 번째 랜덤 백오프 경쟁을 통해 다음 랜덤 백오프 경쟁에 참여할 리더가 결정되기 때문에 리더 충돌을 더 효율적으로 줄일 수 있다. 마지막으로 다중 채널 환경에서 리더 충돌을 줄이기 위해서는 여러 리더가 한 채널에 몰려 경쟁하는 것을 피할 수 있도록 적절한 채널 호핑이 필요하다. 이를 위하여 리더는 호핑 여부를 판단한다. 채널 호핑의 여부를 판단하는데 있어 채널의 혼잡도를 추정하는 것이 중요하기 때문에 이를 추정하는 기법을 제안한다. 결과적으로 리더들은 모든 채널에 고루 채널 점유 요구를 하게 되고, 따라서 이후 무조건적인 채널 호핑에 따른 호핑 오버헤드를 줄일 수 있다. 여기서 호핑 오버헤드란 리더가 채널을 이동하는 소비하는 시간을 말한다.

### III. 제안하는 알고리즘

제안하는 알고리즘에서 리더는 먼저 채널을 캐리어 센싱(CSMA)함으로써 채널의 상태를 확인하고, 채널이

```

Subroutine 1: Channel Occupancy
- operate LBT(Listen-Before-Talk)
- randomly select backoff count,  $i_{stage1}$  in stage 1
WHILE-UNTIL (transmission of reservation packet || channel hopping)
    - decrease  $i_{stage1}$  by ones
    IF ( $i_{stage1}$  equal to 0)
        - transmit the reservation packet
        - randomly select the backoff count,  $i_{stage2}$  in stage 2-2
        WHILE-UNTIL (channel occupancy)
            - decrease  $i_{stage2}$  by ones
            IF ( $i_{stage2}$  equal to 0)
                - occupy the channel
                - idle till more than stage 1 & 2 (except channel hopping)
            ELSE-IF (other reader occupies the channel)
                - randomly select the backoff count,  $i_{stage2}$  in stage 2-1
                - idle until other reader transmits reservation packet
            END-IF
        END-WHILE
    END-IF
END-WHILE

```

```

Subroutine 2: Prediction of channel congestion
IF (no collision in stage 1)
    - determine channel environment as non-congestion mode
ELSE-IF (collision in stage 1 || go under in contention of stage 2)
    - determine channel environment as congestion mode
END-IF

```

```

Subroutine 3: Channel hopping
IF (go under in contention of stage 1 && the non-congestion mode)
    - channel hopping
ELSE-IF (after channel occupancy && the congestion mode)
    - channel hopping
END-IF

```

그림 1. 제안하는 알고리즘의 의사 코드  
Fig. 1. Pseudo code of the proposed algorithm.

유휴한 경우 LBT 동작을 수행한다. 이후 리더는 두 번의 독립된 채널 센싱 랜덤 백오프 경쟁을 통해 채널을 점유한다. 또한 제안하는 채널 혼잡 추정 기법을 통해 채널 호핑 여부를 결정한다. 마지막으로 혼잡한 채널에 대한 정보를 다른 리더에게 알림으로써 다른 리더의 효과적인 채널 호핑을 돕는다. 위 네 가지 기법을 통해 랜덤 백오프 경쟁 시 리더 간 충돌 확률을 줄이고, 리더들이 점유하고자 하는 채널이 특정 채널에 집중되는 것을 방지함으로써 리더 충돌을 방지한다.

그림 1은 제안하는 알고리즘의 동작과정을 의사코드를 통해 나타낸 것으로 다음 절부터 알고리즘에서 사용되는 각 기법에 대하여 상세하게 알아본다.

### 1. 채널 점유

본 논문에서 리더는 두 번의 랜덤 백오프 경쟁을 통해 채널을 점유하게 된다. 충돌 방지를 위한 랜덤 백오프의 구조는 그림 2와 같이 두 단계의 랜덤 백오프 경쟁을 나타내는 stage1과 stage2로 나눌 수 있다.

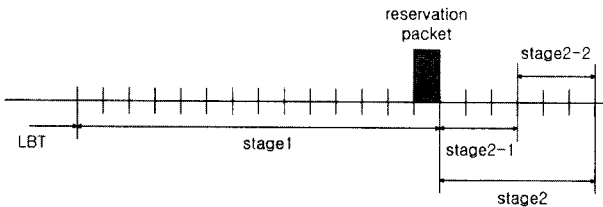


그림 2. 제안하는 알고리즘의 랜덤 백오프 구조  
Fig. 2. Architecture of random backoff in proposed algorithm.

stage1의 경쟁을 위해 예약 패킷(reservation packet)이 정의된다. 채널 점유를 원하는 리더들은 stage1의 경쟁에 참여하게 되고 경쟁에서 성공한 리더는 예약 패킷을 다른 리더에게 브로드캐스팅 한다. 따라서 stage1의 끝은 다른 리더에 의해 예약 패킷이 발생하는 시점이 된다. stage1의 경쟁에서 실패한 리더는 3 절에 설명할 채널 호핑 과정을 거친 후 다시 다음 stage1 경쟁에 참여한다.

stage2의 경쟁에는 stage1에서 예약 패킷을 전송한 리더와 이전에 stage2 경쟁에서 실패한 리더가 참여하게 된다. stage2 경쟁에 참여한 리더는 stage2-1 또는 stage2-2에 속하는 카운터를 다음과 같이 선택한다. stage2 경쟁에 실패한 리더는 다음 백오프 경쟁에서 우선권을 갖게 되어 stage1 경쟁 없이 곧바로 stage2-1에

서 카운터를 선택하도록 한다. 그 외 리더는 stage2-2에서 카운터를 선택한다. 따라서 제안하는 알고리즘에서는 한 리더가 계속해서 채널 점유에 실패하여 대기 시간이 길어지는 문제를 개선한다.

채널 점유 이후 리더는 채널 호핑 여부를 판단하고 수행하되 100msec 동안 경쟁에 참여하지 않는다.

### 2. 채널 혼잡 추정

제안하는 알고리즘에서는 채널 호핑 여부를 판단하기 위해 채널 혼잡 추정 기법을 사용한다. 채널 혼잡을 추정하기 위하여 1 절에 정의된 예약 패킷의 충돌을 살펴볼 수 있다. 예약 패킷의 충돌이 일어났다면 해당 채널이 혼잡하다고 판단할 수 있다. 그러나 리더는 패킷의 충돌을 감지할 수 없기 때문에 제안하는 알고리즘의 리더는 stage2 경쟁에서 실패할 때, 채널이 혼잡하다고 판단하는 방법을 사용한다. 리더가 stage2 경쟁에서 실패하는 경우는 두 가지로 생각할 수 있다.

우선 stage1 경쟁에서 예약 패킷의 충돌이 발생한 경우이다. 다수의 리더가 동시에 예약 패킷을 보낼 때, 충돌이 일어나지만 모두 stage2 경쟁에 참여하게 된다. 그러나 충돌 난 리더 중 적어도 하나는 채널 점유 실패를 경험하게 된다. 다음으로, stage2 경쟁에서 우선권을 갖는 리더가 존재하는 경우이다. 이 리더는 stage2-1에서 채널점유를 시도하기 때문에 stage2-2에서 경쟁을 하는 리더는 채널 점유에 실패하게 된다. 이 두 가지 경우 모두 예약 패킷의 충돌 후에만 발생하는 경우기 때문에 이 두 경우 모두 채널이 혼잡하다고 판단할 수 있다.

### 3. 채널 호핑

리더는 채널 혼잡 추정 결과를 이용하여 채널 호핑 여부를 판단함으로써 무조건적인 호핑을 막는다. 채널 호핑은 리더가 stage1 경쟁에 실패 시 또는 채널 점유가 끝난 후 일어난다. stage1 경쟁에서 실패한 리더들은 채널 혼잡 추정을 통해 채널 환경이 혼잡하지 않다고 판단할 경우 채널 호핑을 수행한다. 왜냐하면 시스템 내에 리더 수가 적다고 판단하기 때문에 채널 호핑 시 옮겨갈 채널이 비어 있을 확률이 높다고 판단하기 때문이다.

채널 점유가 종료된 리더는 채널이 혼잡하다고 추정한 경우 채널 호핑을 수행한다. 이는 채널이 혼잡한 경우 다음 랜덤 백오프 경쟁에서 우선권을 갖는 리더가 존재하고, 채널이 혼잡하지 않은 경우 자신의 채널 점

유 기간 동안 다른 리더들이 채널 호핑할 확률이 높기 때문이다.

이와 같이 각 리더의 채널 호핑 여부를 판단함으로써 무분별한 채널 호핑에 따른 추가적인 충돌과 지연 시간 등의 오버헤드를 줄일 수 있다.

#### 4. 채널 선택

리더는 채널 호핑 시 효과적인 채널 선택을 위하여 예약 패킷을 활용한다. 여기서 효과적인 채널 선택은 채널을 점유하고자 하는 리더 수가 적은 채널을 선택하는 것을 말한다. 각 리더는 예약 패킷 안에 채널 호핑 이전 채널 번호를 실어 전송함으로써 채널 선택 시 사용 중인 채널을 선택하지 않도록 한다.

### IV. 시뮬레이션

본 장에서는 제안하는 알고리즘의 우수성을 검증하기 위하여 제안하는 알고리즘과 각각의 시뮬레이션 목적에 따라 정의된 세 가지 알고리즘을 비교한다. 각 알고리즘은 LBT 구간, 채널 점유 후 대기 과정 그리고 채널 호핑 과정에 따라 분류된다.

ETSI EN 302 208에서 제안된 방법으로, Algorithm 1은 LBT 과정만을 사용하고, Algorithm 2는 LBT 과정 이후 랜덤 백오프 과정을 갖는다. Algorithm 1에서는 LBT 과정 성공 시 채널 점유 시도 후 대기 과정을 통해 채널 호핑 동작만을 수행한다. Algorithm 2는 Algorithm 1과 동일한 LBT 과정, 채널 점유 후 대기 과정 그리고 채널 호핑 과정을 갖고, 추가적으로 LBT 과정 후 랜덤 백오프 경쟁을 통해 채널 점유를 시도하게 된다. 랜덤 백오프 경쟁에서 실패 할 경우 채널 호핑을 추가로 수행하는 알고리즘을 Algorithm 3으로 정의한다.

각 알고리즘의 성능은 채널 이용률과 대기 시간을 통해 평가된다. 채널 이용률이란 채널에서 리더가 충돌 없이 채널을 점유하는 평균 시간비율을 나타내는 것으로서, 시뮬레이션을 통해 각 알고리즘의 채널의 offered load에 따른 이용률을 확인한다. Offered load란 전체 시간에 따라 리더가 순수하게 채널을 점유하고자 하는 양의 비율을 의미한다. 대기 시간이란 리더에 의한 채널 점유 요구(demand)의 발생 시점부터 채널 점유에 성공할 때까지 걸리는 시간을 의미한다.

#### 1. 시뮬레이션 환경

시뮬레이션을 위한 가정은 다음과 같다.

- ① 각 리더의 전송 범위 안에 모든 리더가 존재 한다.
- ② 리더 충돌 발생은 감지하지 못한다.
- ③ 인접 채널 간섭은 존재하지 않는다.
- ④ 충돌 발생 시 요구(demand)가 재 발생하지 않는다.

위 시뮬레이션 가정에서 ② 에 따라 리더 충돌 발생을 감지하지 못하기 때문에 충돌 시 리더는 채널 점유를 중단하지 않는다. ③ 에 따라 인접 채널 간섭을 받지 않기 위해 채널수를 4개로 설정한다. 이 방식은 ETSI TS 102 562에서 제안된 것으로, 가용 채널수를 줄여 인접 채널 간섭을 줄이는 방식이다.

본 논문에서는 리더 수가 4 개인 경우 최소 리더 환경의 예로, 리더 수가 16 개인 경우를 밀집 리더 환경의 예로 두 시나리오에 대한 알고리즘의 성능을 평가한다.

시뮬레이션 환경은 채널 점유 시간은 평균 0.5sec로, 발생하는 요구량(demand)의 도착 분포가 Poisson process를 따른다. 리더의 채널 독점을 방지하기 위하여 무선 설비 기준에 따라 채널 점유 후 100msec 대기한다. 채널을 호핑하는데 소요되는 시간을 호핑 페널티(hopping penalty, h.p.)라 정의하고, 호핑 페널티가 10msec, 100msec로 두 경우에 알고리즘의 호핑 페널티에 따른 성능을 분석한다. 시뮬레이션 결과는 각 설정에 따라 50 개의 시뮬레이션 결과를 평균한 값으로 시뮬레이션 결과값은 ergodic하다. 시뮬레이션 환경에 대한 자세한 내용은 표 3을 참조한다.

표 3. 시뮬레이션 파라미터  
Table 3. Simulation parameters.

Parameter	Value
시뮬레이션 시간	1000 sec
sample 수	50 번
채널 수	4 개
리더 수	4,16 개
offered load	0~1
LBT time	5 msec
Slot time	0.1 msec
Avg.ch-occupancy time	0.5 sec
Arrival rate of demand	Poisson process
전송 후 대기 시간	100 msec
hopping penalty	10,100 msec

2. 성능 분석

본 논문에서는 제안하는 알고리즘과 본 장에서 정의된 세 알고리즘(Algorithm 1, Algorithm 2, Algorithm 3)을 채널 이용률과 대기 시간 관점에서 비교한다.

가. 채널 이용률(Throughput)

채널 이용률이란 본 장 1 절에서 정의하였듯이 전체 시간 중에서 실제로 RFID 리더가 충돌 없이 채널을 사용한 시간을 말한다.

그림 3 과 그림 4는 희소 리더 환경에서 채널 이용률을 나타낸 것으로서 offered load 가 1인 경우 제안하는 알고리즘의 채널 이용률은 Algorithm 1 보다 2 배 이상 높다. 이는 Algorithm 1의 경우 리더는 LBT 과정의 성공 후 바로 전송을 하기 때문에 여러 리더가 동시에 LBT 과정을 시작한 경우 무조건 충돌이 발생하기 때문이다. 또한 Algorithm 3 보다 10% 이상 우수한 성능을 확인할 수 있다. 이것은 Algorithm 3의 경우 채널 점유 후 채널 호핑 동작으로 인한 호핑 오버헤드 때문이다. Algorithm 1과 Algorithm 2의 경우 offered load가

0.6 이상에서 일정한 채널 이용률을 보이는 것은 각 리더가 offered load 0.6 이후 Saturation mode가 되기 때문이다. 채널 점유 후 100msec의 대기 시간을 갖고, 각 리더가 채널을 점유하는 시점이 틀려짐에 따라 각 채널의 채널 점유 후 채널이 비어 있는 평균시간이 최소 100msec에서 최대 350msec(채널 점유시간 500msec인 경우)까지 늘어나면서 리더는 Saturation mode가 된다.

그림 5와 그림 6은 밀집 리더 환경에서 채널 이용률을 나타낸 것이다. 제안하는 알고리즘의 경우 offered load 가 1인 경우 호핑 페널티의 크기에 상관없이 모두 약 91.4%의 채널 이용률을 보인다. 이것은 Algorithm 1에 비해 2 배 이상, Algorithm 2, 3에 비해 약 30% 성능이 우수한 것이다. Algorithm 1의 경우 희소 리더 환경 보다 밀집리더 환경에서 채널 이용률이 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 이는 리더 수가 많아짐에 따라 충돌 확률이 증가하기 때문이다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 Algorithm 3의 경우 offered load 값이 0.7이후 채널 이용률은 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이것은 리더가 채널에 고루 분포하지 않음에 따라 충돌 확률이 증

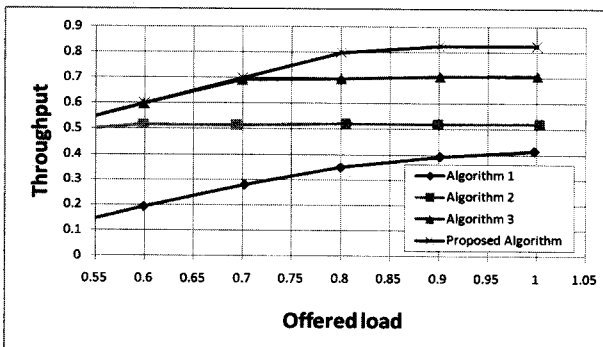


그림 3. 희소 리더 환경에서 채널 이용률 (h.p. 10msec)  
Fig. 3. Throughput in sparse reader mode(h.p. 10msec).

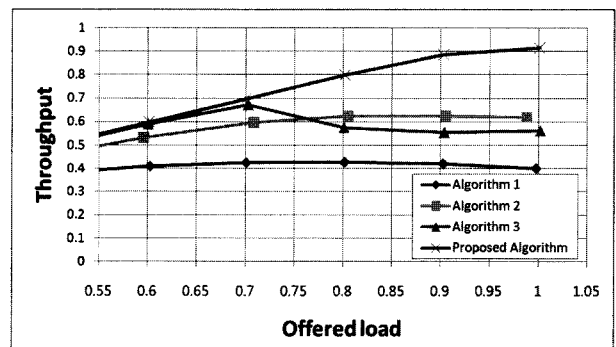


그림 5. 밀집 리더 환경에서 채널 이용률 (h.p. 10msec)  
Fig. 5. Throughput in dense reader mode(h.p. 10msec).

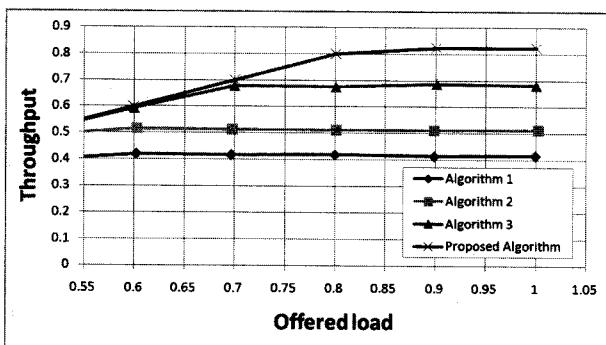


그림 4. 희소 리더 환경에서 채널 이용률 (h.p. 100msec)  
Fig. 4. Throughput in sparse reader mode. (h.p. 100msec)

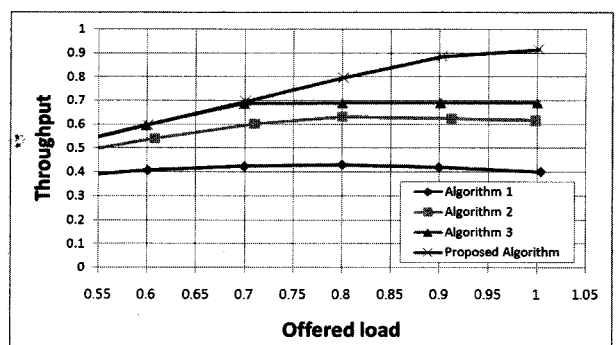


그림 6. 밀집 리더 환경에서 채널 이용률 (h.p. 100msec)  
Fig. 6. Throughput in dense reader mode. (h.p. 100msec)

가하기 때문이다. 한 리더가 채널을 점유한 순간 랜덤 백오프 경쟁에서 실패한 다른 리더들은 다른 채널로 호핑하게 되어 현 채널에는 채널을 점유한 리더만 존재한다. 이에 따라 점유가 끝나가는 채널에는 리더가 밀집하게 되어 채널에 리더가 고루 분포되지 않게 된다.

나. 대기 시간(Delay)

대기 시간이란 본 장 앞에서 언급한 바와 같이 리더가 채널을 점유하고자 하는 요구(demand)가 발생한 후 채널 점유에 성공할 때까지 걸리는 시간을 의미한다. 대기 시간을 비교하기 위해 누적 분포 그래프(Cumulative Distribution Function, CDF)를 사용한다. 대기 시간을 비교하기 위해서는 offered load 값을 적절하게 선택해야 한다. offered load 값이 너무 큰 경우 대기 시간이 무한히 증가할 수 있고, offered load 값이 너무 작은 경우 대기 시간을 비교하기 어렵다. 본 논문에서는 알고리즘들의 낮은 성능을 고려하여 offered load

값이 0.4인 경우 각 알고리즘의 대기 시간을 비교한다.

희소 리더 환경에서의 성능을 보여주는 그림 7 과 그림 8을 보면, 제안하는 알고리즘의 경우 모든 채널 요구가 대기 시간 0.1sec 안에 도착하는 것을 확인 할 수 있다. 이것은 희소 리더 환경에서 제안하는 알고리즘은 빈 채널을 찾을 뿐 아니라, 채널 점유 후 채널 호핑을 하지 않고 현재 채널 점유를 시도하기 때문에 채널 호핑 오버헤드가 발생하지 않기 때문이다.

Algorithm 1이 Algorithm 2에 비해 대기 시간이 더 짧은 것은 여러 리더가 한 채널을 점유하려는 경우 Algorithm 1은 LBT 과정 후 즉시 전송 하지만 Algorithm 2는 랜덤 백오프 경쟁을 통해 경쟁에서 실패한 리더는 대기하여 랜덤 백오프로 인한 오버헤드가 발생하기 때문이다. Algorithm 3과 제안하는 알고리즘에서도 랜덤 백오프로 인한 오버헤드가 발생한다. 그러나 이 두 알고리즘에서는 랜덤 백오프 경쟁 실패 후 즉시 다른 채널로 채널을 변경하기 때문에, 채널 점유 대기

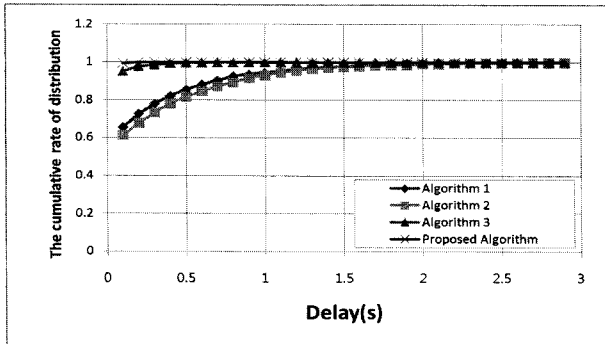


그림 7 Offered load 값이 0.4인 경우 희소 리더 환경에서 채널 이용률 (h.p. 10msec)  
Fig. 7. When offered load is 0.4, delay in sparse reader mode(h.p. 10msec).

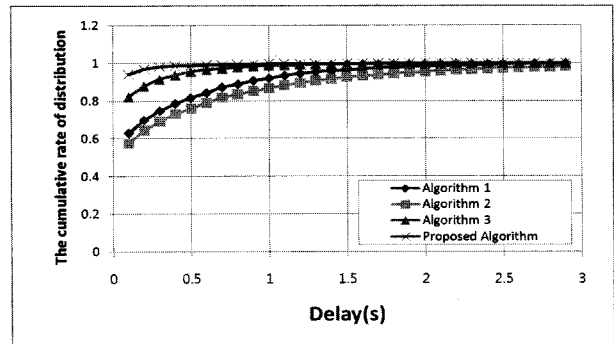


그림 9 Offered load 값이 0.4인 경우 밀집 리더 환경에서 채널 이용률 (h.p. 10msec)  
Fig. 9. When offered load is 0.4, delay in dense reader mode(h.p. 10msec).

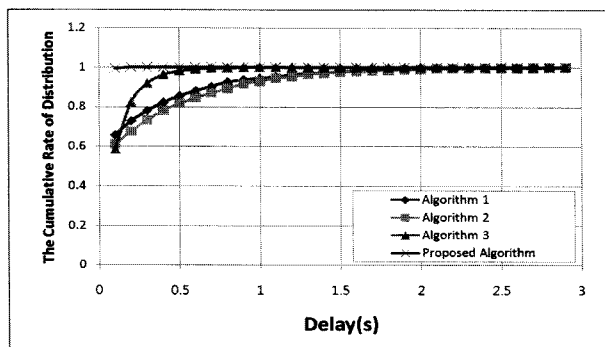


그림 8 Offered load 값이 0.4인 경우 희소 리더 환경에서 대기 시간 (h.p. 10msec)  
Fig. 8. When offered load is 0.4, delay in sparse reader mode(h.p. 10msec).

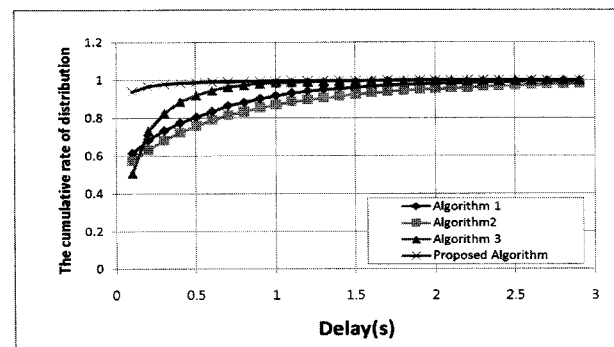


그림 10 Offered load 값이 0.4인 경우 밀집 리더 환경에서 채널 이용률 (h.p. 100msec)  
Fig. 10. When offered load is 0.4, delay in dense reader mode(h.p. 100msec).



시간을 줄임으로써 보다 큰 이득을 얻는다. Algorithm 3의 경우 호핑 오버헤드가 커질수록 랜덤 백오프 경쟁에서 실패한 리더가 다른 채널로 호핑 하는데 걸리는 시간이 길어지기 때문에 다른 알고리즘에 비해 호핑 페널티의 크기에 영향을 많이 받는다.

밀집 리더 환경에서의 성능을 나타내는 그림 9 와 그림 10을 보면, 제안하는 알고리즘은 채널 요구의 약 95%가 0.1sec 안에 도착하고, 모든 요구가 0.5sec 안에 도착하기 때문에 기존 알고리즘들에 비해 성능이 우수함을 확인 할 수 있다. Algorithm 1 과 Algorithm 2에서는 희소 리더 환경에 비해 밀집 리더 환경에서 여러 리더에 의하여 채널 점유를 시도하게 된다. 이에 따라 각 채널을 점유하려는 리더가 존재할 확률이 높아져서 대기 시간이 줄어든다. 그러나 Algorithm 3의 경우 랜덤 백오프 경쟁 실패 시 채널 호핑을 수행하기 때문에 리더 수 증가에 따라 경쟁도 증가하여 희소 리더 환경보다 좋지 않은 성능을 보인다.

본 장에서는 OPNET 시뮬레이터<sup>[13]</sup>를 통한 시뮬레이션 결과 값을 통해 각 알고리즘의 성능을 분석하였다. 제안하는 알고리즘은 본 장에서 정의한 다른 알고리즘에 비해 희소 리더 환경과 밀집 리더 환경에서 모두 우수한 성능을 확인 할 수 있었다.

Offered load 값에 따른 채널 이용률을 분석한 결과 희소 리더 환경에서는 offered load가 1인 경우 제안하는 알고리즘은 Algorithm 1에 비해 2 배 이상의 높은 효율을 보이는 것을 확인 할 수 있었고, 특히 밀집 리더 환경에서는 90% 이상의 높은 채널 이용률을 확인 할 수 있었다. 또한, offered load 값이 0.4인 경우 대기 시간을 분석한 결과 제안하는 알고리즘의 경우 채널 호핑 페널티의 크기에 관계없이 희소 리더 환경에서 0.1sec 안에 모든 요구량이 처리 되었고, 밀집 리더 환경에서 0.1sec 안에 약 95%의 요구량이 처리 된 것을 보아 제안하는 알고리즘의 우수성을 확인 할 수 있었다.

## V. 결 론

LBT 방식은 채널을 점유하기 전 일정시간 동안 채널 상태를 관찰하고 채널을 점유하는 방식이다. 따라서 RFID 리더뿐 아니라 SRD 장치와의 충돌을 방지할 수 있기 때문에 효율적이다. 그러나 여러 리더가 채널을 점유하기 위해 대기하는 경우 리더들이 LBT 동작을 동시에 시작하게 되고, 그에 따라 리더 간 충돌이 발생하

게 된다. 또한 LBT 방식에는 구체적인 채널 호핑 시기를 규정하고 있지 않다. 본 논문에서는 채널 사용률을 높이기 위하여, LBT 후 랜덤 백오프 동작을 추가 시켜 줌으로써 LBT 후 발생하는 충돌을 줄였다, 또한 채널 혼잡을 추정하여 채널 호핑 여부를 판단하고 호핑 시 채널을 효과적으로 선택하게 함으로써 무분별한 채널 호핑에 따른 오버헤드를 줄였다.

채널 혼잡 추정은 랜덤 백오프 경쟁 시 충돌 여부를 통해 충돌이 발생한 경우 채널 혼잡으로 추정한다. 시뮬레이션 결과 채널 이용률에서 offered load가 1 인 경우 제안하는 알고리즘은 IV장에 정의한 알고리즘들 (Algorithm 1, Algorithm 2 and Algorithm 3)에 비해 희소 리더 환경에서 10% 이상, 밀집 리더 환경에서 20% 이상의 성능 향상을 보인다. 또한 대기 시간은 offered load가 0.4일 때 희소 리더 환경에서 모든 요구를 처리하는데 기존 알고리즘에서보다 300msec 이상 감소하였고, 밀집 리더 환경에서 500msec 이상 감소하였다. 따라서 제안한 알고리즘은 기존 알고리즘에 비하여 효율적으로 동작하는 것을 알 수 있다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 RFID 리더의 프로토콜 단순화를 위하여 동일 채널 간섭을 줄이는데 주력한다. 인접 채널 간섭의 경우 ETSI TS 102 562에서 제안한 가용 채널수를 줄여 채널 간 거리를 넓히는 방식을 적용 한다. 그러나 단순히 가용 채널을 줄이는 방법이 아닌 인접 채널 간섭을 회피하기 위한 프로토콜이 추가 된다면 제안한 알고리즘의 성능은 더욱 향상될 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] K. Finkenzerler, RFID Handbook: Radio-Frequency Identification Fundamentals and Applications, John Wiley, New York, 2003, pp.200~219.
- [2] S Anusha, "RFID Networks - Reader Collision Problem and Tag Identification Problem for mobile readers".
- [3] Dong-Her Shih, Po-Ling Sun, David C.Yen, Shi-Ming Huang, "Taxonomy and survey of RFID anti-collision protocols", Computer Communications 29, p2150-2166, 2006.
- [4] S.R. Lee, C.W. Lee, "An Enhanced Colorwave Reader Anti-collision Algorithm in RFID system", ITC-CSCC 2006, pp. 145-148, July 2006.
- [5] 전파연구소, "전파연구소고시 제2006-84호: 방송-해

상-항공-전기통신사업용 외의 기타업무용 무선설비의 기술기준”, 전파연구소, October, 2006.

- [6] J. Waldrop, D. W. Engles, S. E. Sarma, “Colorwave : An Anticollision Algorithm for the Reader Collision Problem,” 2003 IEEE International Conf. on Communications, May 2003.
- [7] Shailesh M.Birari and Sridhar Iyer, “PULSE: A MAC Protocol for RFID Networks”, LNCS, 1036-1046, Springer
- [8] Junius Ho, Daniel W.Engles, Sanjay E.Sarma “HiQ: A hierarchical Q-Learning Algorithm to Solve the Reader Collision Problem”, SAINTW 2006.
- [9] 옥치영, 권성호, 최진철, 배지훈, 이채우, “RFID 시스템에서의 적응형 리더 충돌 방지 알고리즘”, 전자공학회, 2008.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] European Telecommunications Standards Institute, “Electromagnetic compatibility and Radio-spectrum Matters(ERM); Frequency-agile Generic Sort Range Devices using Listen-Before-Transmit(LBT)”, Draft ETSI TS 102 562 v1.1.1, March 2007.
- [13] <http://www.opnet.com>

저 자 소 개



유 준 상(학생회원)  
 2007년 아주대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 2009년 아주대학교 전자공학과  
 석사 과정.  
 <주관심분야 : Ubiquitous Sensor  
 Networks, RFID, Ad-Hoc>



이 채 우(정회원)  
 1985년 서울대학교 제어계측  
 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  
 부교수.  
 <주관심분야 : 광대역 통신망, Ubiquitous  
 networking, Traffic Engineering>