DBpia

논문 14-39B-05-01 The Journal of Korea Information and Communications Society '14-05 Vol.39B No.05
http://dx.doi.org/10.7840/kics.2014.39B.5.251

Overhearing을 적용한 CSMA/CA 기반 대상인식통신 성능 분석

이 제 원◆, 안 재 민°, 이 근 형*, 박 태 준*

Performance Analysis of Peer Aware Communications with CSMA/CA Based on Overhearing

Jewon Lee◆, Jae Min Ahn°, Keunhyung Lee*, Tae-Joon Park*

요 약

본 논문은 IEEE 802.15.8 Peer Aware Communications (PAC) common 발견 모드를 위한 초절전 서비스 발견 프로토콜을 제안한다. 전력 소비를 최소화하기 위해서 Basic Repetition Block (BRB)를 정의한다. BRB를 통해서 단말은 동작모드를 선택할 수 있으며 다른 단말들과 동기를 맞출 수 있다. 제안한 MAC 절차는 overhearing기반의 Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA)이다. overhearing을 통해 단말이 요청신호를 보낸 후 응답신호를 받지 못하더라도 동일 그룹의 단말을 발견할 수 있다. IEEE 802.15.8 PAC 에서는 common 발견모드의 성능을 시뮬레이션 시간동안 발견된 평균 단말 수, 발견 latency, 평균 전력소비에 관해서 제시할 것을 요구하고 있다. 그룹 당 단말의 수와 채널 환경을 고려하여 2가지 시나리오에 대해 시뮬레이션을 수행하고 제안한 기법의 결과를 CSMA/CA와 비교한다. 그 결과 제안한 기법은 단말은 높은 에너지 효율을 얻을 수 있을 뿐 아니라 제한된 영역에 단말의 수가 많을수록 시뮬레이션 시간 동안 발견된 평균 단말의 수가 증가함을 알 수 있다.

Key Words : Peer Aware Communications (PAC), Discovery, Basic Repetition Block (BRB), Overhearing, CSMA/CA

ABSTRACT

In this paper, we propose Low Energy Service Discovery (LESD) protocol for common discovery mode of IEEE 802.15.8 Peer Aware Communications (PAC). In order to minimize power consumption, Basic Repetition Block (BRB) is defined. Device is able to select operating mode and synchronize other devices through it. Proposed MAC procedure is Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) based on overhearing technique. Even if device has not been received response signal since transmitted request signal, it is able to discover other devices of same group through the overhearing technique. IEEE 802.15.8 PAC has required that performances of common discovery mode are presented about discovered devices during the simulation time, discovery latency and average power consumption.

By considering the number of devices per group and channel environment, two scenarios are evaluated through system level simulation and the simulation results of proposed scheme are compared with CSMA/CA in same

※ 본 연구는 지식경제부 "초절전 센서네트워크 핵심기술개발" 과제에 의해 수행되었습니다.

◆ First Author : Chungnam National University Department of Information and communication, jw_lee@cnu.ac.kr, 학생회원
° Corresponding Author : Chungnam National University Department of Information and communication, jmahn@cnu.ac.kr, 종신회원
* Electronics and Telecommunications Research Institute Department of USN/IoT Convergence research, kh.lee@etri.re.kr, tjpark@etri.re.kr, 준회원

논문번호 : KICS2013-11-500, Received November 18, 2013; Revised April 16, 2014; Accepted May 9, 2014

www.dbpia.co.kr

simulation conditions. As a result, proposed scheme is able to get high energy efficiency of devices as well as increase the number of discovered devices during simulation time when the longer the number of devices is distributed over a limited area.

Ⅰ. 서 론

최근 스마트폰 및 스마트 기기 사용의 급격한 증가는 개인 및 사회 전반적으로 큰 변화를 가져왔다. 이로 인해 급격한 모바일 트래픽 증가 뿐 아니라 핫스팟 지역의 경우 수천 개의 사용자 단말이 동시에 이용되고 있다. 이렇게 단말이 과밀화 된 지역에서 사용자 중심의 Social Network Service (SNS), 위치 기반 광고 서비스 등 새로운 근접 응용서비스 제공을 위한 통신기술로 Device-to-Device (D2D) 통신에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1].

D2D 통신이란 Access Point (AP) 와 기지국과 같은 인프라 없이 단말기 간에 직접 데이터를 전송하는 통신 방식이다. 기존 상용화 된 대표적 근거리 D2D 기술로는 Bluetooth, WiFi Peer-to-Peer (P2P) 기술이 있다.

Bluetooth는 자동차, 소비자 가전, 스마트폰 등 다양한 분야에서 단말간 근거리 연결을 제공하는 무선 통신 방식이다. 하지만 단말간 근거리 무선 연결거리가 10m 내외로 짧고 Master 단말에 연결 가능한 Slave 단말의 수는 최대 7개로 제한적이기 때문에 단말이 과밀화 된 지역에서의 응용서비스 지원 기술로는 적합하지 않다.

WiFi P2P 기술은 WiFi 기술을 기반으로 하는 단말기 간에 근거리 직접 통신 기술로 WiFi Direct로 불린다. 기존 WiFi 기능을 대부분 유지하면서 소프트웨어 업그레이드만으로 단말 간 직접 통신이 가능한 장점이 있지만 WiFi 표준규격을 그대로 사용했기 때문에 D2D 통신을 이용한 새로운 서비스를 제공하는데 한계가 있다.

Bluetooth, WiFi P2P의 기술적 한계를 극복하기 위한 기술로 IEEE 802.15.8 대상인식통신 (Peer Aware Communications, PAC) 표준이 진행되고 있다. 대상인식통신의 경우 기존 무선통신 프로토콜은 호완성과 상호운용성을 중요시하는 기술 중심 프로토콜 이였다면 응용 중심의 무선통신 프로토콜이다. 즉 기존 IEEE 802.15 물리계층 및 매체접근제어계층 프로토콜과의 호환성 고려보다는 Peer to Peer (P2P) 통신에 최적화된 프로토콜이다. 주요 응용분야는 사용자 위치기반 SNS, 광고, 그룹통신, 비상사태 경고 등이 있다. 이러한 응용분야를 지원하기 위한 기술적 요구사항들이 대상인식통신의 주요 특징이다. 먼저 어소시에이션 (Association) 없이 서비스 및 장비발견이 가능하고 고 밀집 환경에서도 단말 간에 발견이 가능하다. 위치 기반 서비스를 위해 상대적 위치 인식 기능이 제공된다. 자연재해 및 위급상황 발생시 자율적으로 망을 구성하여 백본 망에 접근 또는 원거리의 다른 단말들에게 전송을 위한 멀티홉 릴레이 기능을 지원한다. 특히 같은 그룹에 속해있는 수천 개의 단말 간에 연결을 위해 통신 모드와는 독립적으로 common 발견 모드가 운용된다. common 발견 모드의 주파수 대역은 11GHz 아래의 비면허 대역과 면허 대역 모두 고려하고 있으며 단말기들 간에 연결이 주된 목적이므로 데이터 전송속도는 높지 않아도 되며 전력소비는 최소화 되어야 하고 쉽게 구현이 가능해야한다[2][3].

Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) 프로토콜은 무선 네트워크 환경에서의 매체 접근 방식이다. 단말은 Carrier Sensing 통해 전송채널의 사용 유무를 판단하고 데이터를 전송한다. 이 때 Back off를 통해서 단말 간의 충돌을 피하게 되는데 동일 채널을 이용하는 단말의 수가 증가하면 충돌이 날 확률 또한 증가해 에너지 효율 감소 및 latency 증가 요인이 된다.

동기식 MAC 프로토콜인 S-MAC은 단말이 주기적으로 수면(Sleep)모드로 동작함으로써 불필요한 청취(Listen)시간을 줄여 에너지의 효율을 높였다. 시스템의 요구사항에 따라 수면모드 시간을 조절 할 수 있도록 했으며 모든 단말들이 동일한 스케줄을 공유함으로써 컨트롤 패킷 오버헤드를 줄이고 브로드캐스팅을 간단히 할 수 있도록 했다. 동기식 MAC 프로토콜이기 때문에 단말들은 우선적으로 이웃 단말과 동기를 맞추기 위해서 서로의 스케줄 정보를 공유해야만 단말의 에너지 효율을 높일 수 있다.

만일 단말이 overhearing을 통해 동일 그룹 단말 간에 발견 절차에 대한 정보를 청취함으로써 알 수 있다면 발견을 위해 소비되는 시간과 에너지를 줄일 수 있을 것이다. 또한 Basic Repetition Block (BRB)를 통해 단말간의 동기가 맞지 않는 상황에서도 단말이 언제 청취해야 정보를 얻을 수 있는지 알 수 있다면 동기를 맞추지 않고도 불필요한 청취시간을 줄임으로써

www.dbpia.co.kr

에너지 효율을 높일 수 있다.

본 논문은 BRB를 정의하고 overhearing 기반 CSMA/CA 기법을 이용한 발견 절차를 소개하고 IEEE 802.15.8에서 제시하는 시뮬레이션의 요구사항과 조건에 맞춰 성능을 검증하여 제안한 기법이 대상인식통신 common 발견 모드에 적합한 프로토콜임을 보이고자 한다.

서론에 이어 Ⅱ장에서는 제안하는 발견 절차를 소개하고 Ⅲ장에서는 프레임 구조와 MAC 절차를 제안한다. Ⅳ장에서는 시뮬레이션을 위한 시나리오 및 제안한 기법과 동일 환경에서 CSMA/CA 기법의 성능을 서로 비교하고 Ⅴ장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 제안하는 발견 절차

그림 1는 Channel Sampling (CS) 절차의 예를 나타낸다. 수신단말은 BRB을 통해 송신단말의 데이터의 시작점이 어딘지를 알 수 있다. 데이터를 송신하는 단말은 CS 간격 (interval)동안에 BRB를 Interframe Spacing (IFS) 간격을 두고 반복해서 보낸다. 이 때 BRB를 보낼 때마다 BRB 카운터 값은 1씩 줄어든다. 수신 단말들은 CS 간격 안에서 임의의 시간에 깨어나 BRB 카운터 값을 확인한다. BRB 카운터 값을 통해서 수신 단말은 수면모드에서 청취모드로 동작하는 시점을 알고 그 때 깨어나서 데이터를 수신한다. TBRB는 SHR과 PHR로 구성된 BRB의 길이, CS 간격은 BRB를 정해진 수만큼 Interframe Spacing (IFS)을 두고 보내는데 걸리는 시간, CS 지속시간 (duration)은 수신 단말이 BRB 카운터 값을 알기 위해 청취모드로 동작하는 시간을 나타낸다. 먼저 송신 단말은 CS 간격 동안 BRB만 전송하고 CS 간격이 끝나는 시점에 BRB와 PSDU 데이터를 함께 전송한다. 첫 번째 수신 단말의 경우 처음 CS 지속시간 동안에 송신 단말을 발견하지 못했다. 이 경우 CS 간격동안 수면모드로 동작한다. CS 간격이 지나면 다시 CS을 시도하게 되고 송신 단말의 BRB 카운터 값을 확인 후 수면모드로 있다가 카운터 값이 끝나면 청취모드로 동작해 데이터를 확인 후 같은 그룹의 단말이 보낸 신호인지 아닌지를 판별한다. 이렇게 단말은 CS 간격 동안 대부분 절전 모드 상태로 동작해 전력 소비를 최소화 할 수 있다. 두 번째 수신 단말은 처음 CS 지속시간에 BRB 카운터 값을 확인한 경우로 그 이후의 동작은 첫 번째 단말과 같은 방식으로 동작한다.

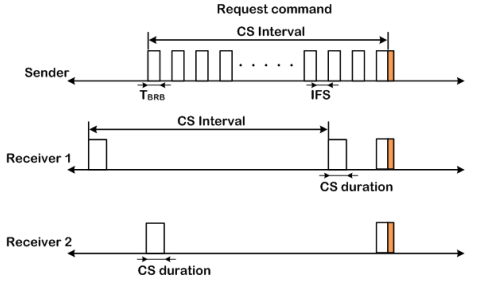

그림 1. CS 절차의 예
Fig. 1. Illustration of CS procedure

그림 2는 제안한 발견 절차 예를 나타낸다[4]. 먼저 단말이 동일 그룹 간에 통신을 위해 필요한 정보를 얻게 되면 발견됐다라고 정의한다. 단말1이 요청(Request)신호를 보내고 단말2가 응답 (Response)신호를 보냈을 경우를 가정한다. 단말1의 데이터 전송 커버리지를 빨간 원으로 표시하였다. 단말1이 보낸 요청신호를 단말2, 단말4, 단말5가 확인하였다. 단말2와 단말4는 응답신호를 보낼 준비를 하고 단말 5는 다른 그룹이기 때문에 기본모드로 동작한다. 단말2와 단말4 중에 백오프시간이 짧은 단말2가 응답신호를 보내게 된다. 단말2의 데이터 전송 커버리지를 파란 원으로 표시하였다. 단말3은 단말2가 보내는 응답신호를 통해서 동일 그룹 간 통신을 위해 필요한 정보를 얻을 수 있기 때문에 발견이 된다. 단말2와 단말4 사이에 히든터미널 (hidden terminal)이 생기게 되는데 이것을 해결하기 위해서 단말1은 단말2의 BRB 카운터 값을 확인 후 즉시 응답신호의 BRB 카운터 값을 보낸

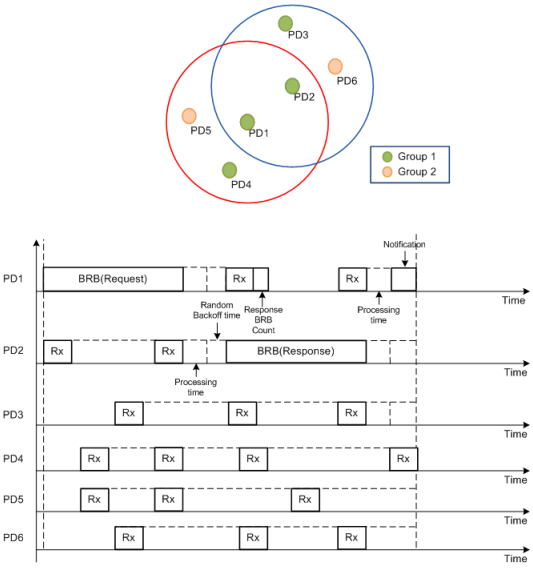

그림 2. 제안한 발견 절차 예
Fig. 2. An example of proposed discovery procedure

www.dbpia.co.kr

다. 단말4는 그 값을 확인하고 단말1이 보낼 알림(Notification)신호를 받기 위해 준비한다. 단말1은 단말2의 응답신호를 확인 후 발견이 되고 알림신호를 곧바로 보내게 된다. 단말4는 단말1이 보낸 알림신호를 통해 발견이 된다. 이러한 발견절차를 통해서 단말1과 단말2 커버리지 안에 있는 동일그룹의 단말들은 발견이 가능하다.

Ⅲ. 제안한 프레임 구조와 MAC 절차

3.1 프레임 구조

대상인식통신은 동일 주파수 대역 내에서 단말 간 발견과 그룹 간 발견을 지원한다. common 발견 모드를 통해서 단말은 단말 ID, 단말 그룹 ID와 주파수 대역 그리고 통신 채널 정보를 얻게 된다[5]. 표 1은 common 발견 모드의 변조방식과 채널 파라미터로 기존 IEEE 802.15.4g Common Signaling Mode (CSM)를 기반으로 한다[6].

그림 3은 제안한 PLCP Protocol Data Unit (PPDU) 구조이다. 기존 IEEE 802.15.4g CSM 대비 단순화 시킨 PPDU 구조를 제안한다. Synchronization Header (SHR)과 PHY Header (PHR)을 포함해서 BRB로 정의한다. 단말의 전력 소모 최소화를 위해서는 꼭 필요한 구간에서만 단말은 청취모드로 동작하고 대부분은 수면모드로 동작해야 한다. 제안한 기법에서는 단말의 동작모드를 BRB를 통해서 결정한다. PHR은 1비트는 프레임 타입, 7비트는 프레임 타입의 길이를 나타낸다. 프레임 타입은 PHR 이후 PSDU의 유무를 나타낸다. 프레임 타입이 1일 경우 PHR의 나머지 7비트는 BRB 카운터 값을 나타낸다. 단말은 수면모드 상태에서 BRB 카운터 값 통해 언제 수신모드로 동작하면 되는지 알 수 있다. 프레임 타입이 0일 경우 PHR의 나머지 7비트는 PSDU의 길이를 나타낸다. 메시지 타입은 요청, 응답, 알림 3종류가 있다. Start Frame Delimiter (SFD)의 경우 3종류 메시지 타입과 PHR과 PLCP Service Data Unit (PSDU)의 Forward Error Correction (FEC) 적용여부에 따라서 2바이트의 서로 다른 비트 값을 가진다[7].

표 1. Common 발견 모드 변조방식과 채널 파라미터
Table 1. Common discovery mode modulation and channel parameters

Band	Modulation	Modulation index	Channel spacing	Data rate
Sub-GHz	Filtered 2FSK	1	200 kHz	50 kb/s

Octets			
6	2	1	Variable
Preamble	SFD	PHY Header	PSDU
SHR		PHR	PHY payload

그림 3. 제안한 PPDU 구조
Fig. 3. Proposed PPDU Format

3.2 Overhearing 기반 CSMA/CA 절차

그림 4은 overhearing이 적용된 CSMA/CA 절차를 나타낸다[8]. Backoff Exponent (BE)는 송신 단말이 전송 시도 전에 랜덤 백오프 기간을 결정하기 위한 값으로 macBE로 초기화 한다. Backoff Counter (BC)는 [0, 2BE-1] 범위에서 임의의 정수 값을 가진다. MAC으로부터 Clear Channel Assessment (CCA) 명령을 받으면 8 심볼 주기 동안 CCA 수행 후 채널 상태를 체크한다. 채널이 사용 중이라면 overhearing 모드로 동작한다. 먼저 BRB 체크를 통해서 수신한 데이터가 BRB가 맞다면 BRB 카운터를 확인 후 카운터 값이 끝날 때 수신모드로 동작 송신 단말에 대한 정보를 확인한다. 만약 송신단말이 같은 그룹의 단말이라면 응답 신호를 보낼 준비를 한다. 채널이 사용 중이 아니라면 BC가 끝났는지 확인 후 끝났다면 다시 한 번 CCA를 수행 한다. CCA 결과 채널이 사용 중이 아니란 게 확인 됐다면 송신 모드로 동작하고 채널이 사용 중이라면 overhearing 모드로 동작한다. BC가 끝나지 않았을 경우 단말은 절전 모드가 되고 [T_{CSI}-T_{CSD}] 시간을 기다렸다가 다시 CCA를 수행한다. 여기서 TCSI는 CS 간격, TCSD CS 지속시간을 나타낸다[9,10].

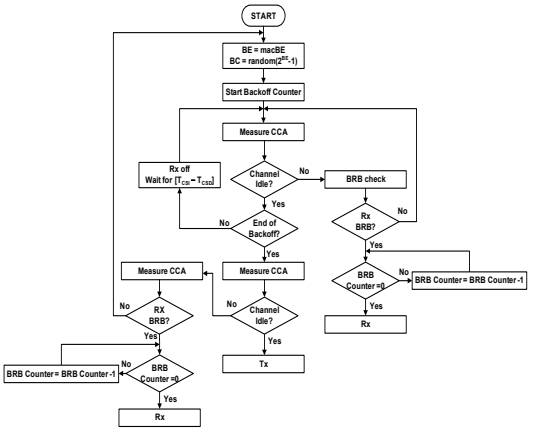

그림 4. Overhearing 기반 CSMA/CA 절차
Fig. 4. Overhearing based CSMA/CA procedure

www.dbpia.co.kr

Ⅳ. 시뮬레이션 성능분석

4.1 시뮬레이션 환경 및 시나리오

단말 배치, 채널, 단말 관련 파라미터들은 IEEE 802.15.8 technical guidance 문서를 참조하여[11] 시뮬레이션 시간 동안 발견 된 평균 단말의 수, 발견 latency, 평균 전력 소비에 대해 성능을 도출하고 동일한 환경에서 overhearing을 적용하지 않은 CSMA/CA와 비교해 제안한 기법이 대상인식통신의 common 발견모드에 적합한 모델임을 제시한다. 표 2는 시뮬레이션을 위한 파라미터를 나타낸다[12].

500 × 500㎡ 영역 안에 N_{PD} 개의 단말을 uniform 랜덤하게 분포 시킨다. 그룹의 개수가 N_G개 일 때 그룹 당 PD의 개수 N_{GPD}는 N_{PD}/N_G가 된다. 제안한 MAC 절차를 기반으로 단말의 동작 상태를 결정한다. 요청 신호를 보내는 단말의 랜덤 백오프 시간이 같아서 충돌 날 경우 단말은 요청 신호를 보내지 않은 것으로 가정하고 충돌 난 단말에 대해서는 새로운 랜덤 백오프 값에 충돌 횟수를 더해줘 다시 생성한다. 요청 신호를 보내는 단말이 결정되면 나머지 단말들과의 거리를 구한 후 경로 손실 모델에 따라 신호 대 잡음비를 계산한다. 경로 손실 모델은 IEEE 802.15.8에서 제공하는 900MHz에서 2.4GHz 주파수 대역에서 below roof-top 위치에 있을 때의 경로 손실 모델이다[13]. 경로 손실 값 L에 관해 식 1에 나타내었다.

$$L(d,p)=\begin{cases} L_{LOS}(d,p)+X_\sigma & d<d_{LOS} \\ L_{NLOS}(d,p)+X_\sigma & d>d_{LOS}+w \\ L_{LOS}(d_{LOS},p)(1-\dfrac{d-d_{LOS}}{w}) & \\ \quad +L_{NLOS}(d_{LOS}+w,p)\dfrac{d-d_{LOS}}{w}+X_\sigma & d_{LOS}\le d\le d_{LOS}+w \end{cases} \quad (1)$$

표 2. 시뮬레이터 파라미터
Table 2. Simulation parameter

Parameter	Assumption
Channel space	200 kHz
Data rate	50 kbps
Frame length	1.44 msec
Request time	311 msec
Response time	311 msec
Processing time	5 msec
Random backoff unit time	100 usec
Tx power	-10 dbW
Tx/Rx antenna gain	-2.5 dB
Noise figure	7 dB
Carrier frequency	900 MHz
Fading margin	8 dB
Power supply	3.6 V
Tx / Rx current	11.3 / 13.5 mA
standby current	26 uA

경로 손실 값 L은 거리 d에 따라 세가지 식으로 구분된다. 여기서 w는 Line Of Sight (LOS)와 Non-LOS 사이의 천이 지역으로 일반적으로 20m 값을 가진다. p는 percentage location으로 지표의 변화율, X_σ는 표준편차가 4dB인 정규 랜덤 변수를 나타내고 d_{LOS}는 p에 값에 따른 LOS 거리 값으로 식 2에 나타내었다.

$$d_{LOS}(p)=\begin{cases} 212(\log_{10}(p/100))^2 & p<45 \\ -64\log_{10}(p/100) & \\ 79.2-70(p/100) & p\ge 45 \end{cases} \quad (2)$$

식1에서 $L_{LOS}(d,p)$는 LOS에서 경로 손실 값이며 식 3에 나타내었다.

$$\begin{aligned} L_{LOS}(d,p)&=L_{LOS}^{median}(d)+\Delta L_{LOS}(p) \\ L_{LOS}^{median}(d)&=32.45+20\log_{10}f+20\log_{10}(d/1000) \\ \Delta L_{LOS}(p)&=1.5624\sigma(\sqrt{-2\ln(1-p/100)}-1.1774) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 f는 주파수로 MHz 단위이고 σ은 7dB 값을 가진다.

$$\begin{aligned} L_{NLOS}(d,p)&=L_{NLOS}^{median}(d)+\Delta L_{NLOS}(p) \\ L_{NLOS}^{median}(d)&=9.5+45\log_{10}f+40\log_{10}(d/1000)+L_{urban} \\ \Delta L_{NLOS}(p)&=\sigma N^{-1}(p/100) \end{aligned} \quad (4)$$

식 4는 식1에서 $L_{NLOS}(d,p)$는 NLOS에서 경로 손실 값이며 여기서 L_{urban}은 도심 지역에서의 경로 손실 값으로 6.8dB 값을 가지고 N^{-1}은 역 정규 누적 분포함수이다.

표 3은 참고문헌 12의 time varying fading 채널 환경에서 2 FSK 변조방식, 1/2 Recursive Systematic Code (RSC) 채널 코드, 1Hz 도플러 주파수를 적용했을 때 패킷 오류율이며 본 논문에서 제시한 프레임 구조와 유사해 이 성능을 시뮬레이션의 링크 성능으로 사용한다[14].

표 3. 패킷 오류 확률
Table 3. Packet error rate

SNR [dB]	PER
6	0.9
10	0.6
14	0.3
16	0.209
20	0.1049
24	0.0451

www.dbpia.co.kr

각각의 수신 단말은 신호 대 잡음비에 따른 패킷오류율을 기준 값으로 정하고 [0, 1] 사이의 uniform 랜덤 실수 값을 생성해 비교 후 uniform 랜덤 실수 값이 기준 값보다 클 경우 오류 없이 패킷을 수신 했다고 판단한다. 요청신호 받은 단말들은 응답신호를 요청신호를 보낸 단말에 보내야 한다. 응답신호를 보내는 단말은 요청신호를 보내는 단말을 결정하는 것과 같은 방식으로 결정한다. 마찬가지로 응답신호 발견 여부에 대한 판단도 같은 방식으로 결정한다.

성능결과는 발견 된 평균 단말의 수, 발견 latency, 전력 소비에 대해서 나타낸다. 발견 latency는 단말이 요청신호를 보내고 응답신호를 받았을 경우, 응답신호 또는 알림신호를 overhearing 했을 경우 총 3가지에 대해 계산한다. 단말에서 소모되는 평균 소모 전력은 아래의 식 5로 나타낸다.

$$
\begin{aligned}
T_{total} &= N_{TX}T_{TX} + N_{RS}T_{RS} + N_{SB}T_{SB} \\
&\quad + N_{NO}T_{NO} + N_{RB}T_{RB} + N_{PT}T_{PT} \\
P_{av} &= \frac{E_{TX} + E_{SB} + E_{NO} + E_{RB} + E_{PT}}{T_{Total}} \\
E_{TX} &= 3.6 I_{TX}(N_{TX}T_{TX} + N_{RS}T_{RS}) \\
E_{SB} &= 3.6\left(I_{RX}\frac{T_{SB}R_{RX}}{R_{RX}+R_{SB}} + I_{SB}\frac{T_{SB}R_{SB}}{R_{RX}+R_{SB}}\right)N_{SB} \\
E_{NO} &= 3.6(I_{TX}N_{TX_{NO}} + I_{RX}N_{RX_{NO}} + I_{SB}N_{SB_{NO}})\,T_{NO} \\
N_{NO} &= N_{TX_{NO}} + N_{RX_{NO}} + N_{SB_{NO}} \\
E_{RB} &= 3.6 I_{SB}T_{RB}N_{RB} \\
E_{PT} &= 3.6 I_{SB}T_{PT}N_{PT}
\end{aligned}
\tag{5}
$$

여기서 TX, RS, NO, RB, SB, PT는 요청신호, 응답신호, 알림신호, 랜덤 백오프, 청취, 프로세싱을 나타낸다. 따라서 E_x, T_x, N_x는 각각의 모드에 대한 에너지, 시간, 횟수를 나타내고 R_{RX}, R_{SB}는 청취모드에서 수신, 수면모드의 비율을 나타낸다.

표 4는 시스템 레벨 시뮬레이션의 시나리오 파라미터를 나타낸다. 동일 장소에서 단말의 수와 무선 채널 환경에 따라 시나리오 1,2를 구분하였다. p가 50일 때 d_{LOS}는 44m, p가 99일 때 d_{LOS}는 10m 거리를 갖는다.

표 4. 시나리오 파라미터
Table 4. Scenario parameter

	Scenario 1	Scenario 2
# of PDs	100	10,000
# of Groups	10	10
# of PDs per group	10	1,000
Path loss P(%)	50	99

4.2 성능결과

그림 5는 시나리오 1 대해 CSMA/CA와 제안한 기법의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. CSMA/CA에서는 1번의 발견절차를 통해서 2개의 단말이 연결된다. 발견절차는 다음과 같다. 단말은 요청신호를 때만 BRB를 사용한다. 요청신호를 보낸 단말은 청취모드 상태로 응답신호를 기다린다. 수신 단말들은 요청신호의 BRB 카운터 값을 수신하게 되면 수면모드에 있다가 카운터 값이 만료되면 청취모드로 동작해 요청신호를 얻게 되고 CSMA/CA를 통해서 응답신호를 바로 보낸다. 시나리오 1에서는 두 방식은 비슷한 성능을 보였다. 그 이유는 평균 전력 소비를 제외한 성능들은 500 × 500㎡ 영역 안에 100개의 단말을 배치했을 때 경로손실에 의한 영향을 크게 받기 때문이다. 발견 latency를 누적분포함수로 나타냄으로써 개별 단말이 몇 번 만에 동일 그룹의 단말을 발견했는지 알 수 있다. 3초의 시간은 전체의 단말 중 4회안에 발견한 단

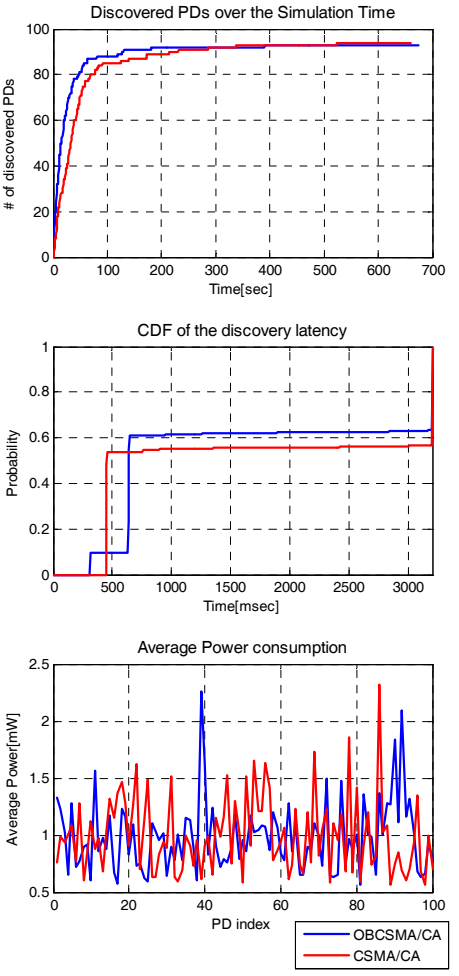

그림 5. 모의실험 결과(시나리오 1)
Fig. 5. Simulation result(Scenario 1)

www.dbpia.co.kr

말의 수가 얼마나 되는지를 나타낸다. 단말이 한 번에 동일 그룹의 발견했을 확률이 CSMA/CA와 비교해 제안한 기법이 높은 것은 overhearing을 통해 발견한 단말의 수 때문이다. 제안한 기법의 경우 500 밀리초 전에서 0.1의 확률 값가지는 이유는 응답신호를 overhearing해서 발견된 단말의 발견 latency 때문에 나타나는 결과다. 평균 전력 소비는 2.5mW 이하로 나오는데 이는 BRB를 통한 CS 방법이 에너지 효율 개선이 큼을 알 수 있다.

그림 6는 시나리오 2 대해 CSMA/CA와 제안한 기법의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 시나리오 1과 비교해 동일 장소에 더 많은 단말이 존재하고 더 좋지 않은 무선 채널 환경이지만 제안한 기법의 경우 빠른 시간 안에 전체 단말의 발견모드가 끝나는 것을 확인 할 수 있다. 그 이유는 overhearing을 통해서 단말간의 발견이 가능하기 때문이다. 이에 반하여 CSMA/CA의 경우 단말의 발견이 요청신호를 보낸 단말과 응답신호를 보낸 단말 간에만 이루어지기 때문에 단말의 수의 증가와 비례해서 시간이 걸린다. CSMA/CA의 시뮬레이션 시간 당 발견된 평균 단말의 수가 적은데도 발견 latency 누적분포함수가 높은 이유는 요청신호를 보낸 단말에 대해서만 발견 latency를 계산했기 때문이다. 응답신호를 보낼 때에도 BRB를 사용하기 때문에 평균 소비전력의 경우 제안한 기법이 CSMA/CA 보다 약간 높게 나왔다.

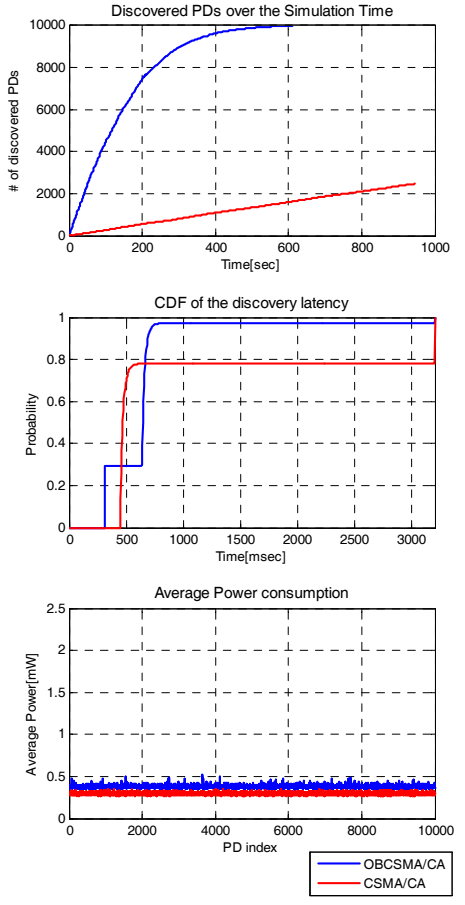

그림 6. 모의실험 결과(시나리오 2)
Fig. 6. Simulation result(Scenario 2)

V. 결 론

본 논문에서는 대상인식통신 common 발견 모드를 위한 초절전 서비스 발견 프로토콜을 제안하고 CSMA/CA기법과 비교해 2가지 시나리오를 제시하고 시뮬레이션 성능을 확인하였다. 평균 전력 소비를 최소화하고 비동기 단말들의 동기를 맞추기 방법으로 BRB를 정의하였고 시간당 평균 발견 단말의 수를 높이기 위해 MAC에서는 overhearing 기반의 CSMA/CA 제안하였다. 제안한 발견 프로토콜은 제한된 영역에서 단말의 수가 많으면 많을수록 성능이 좋아지는 것을 알 수 있었다. 이는 생활 반경 내에 수천 개의 단말이 존재할 때에도 최소 요구시간 내에 최소 전력 소비를 통한 단말 간 직접통신이 가능하다는 것을 의미한다. 이를 이용한 사용자 중심의 새로운 응용서비스 시장이 확대 될 것으로 보이며 결과적으로 기존 Bluetooth, WiFi Direct 등 D2D 기술의 기술적 난제를 해결하는데 활용 가능할 것으로 예상된다.

References

[1] G. Yeo, S. Chae, M. Rim, C. Kang, C. Yeh, and J. Ahn, “Discovery of proximate devices with partial information for device-to-device communication systems,” *J. KICS,* vol. 38B, no. 5, pp. 328-336, May 2013.

[2] IEEE, Introduction to Peer Aware Communications (PAC): A Study Group of IEEE 802.15 WG, Retrieved Jan. 2012, from https:// mentor.ieee.org/802.15

[3] B. Gwak, “Peer aware communications standardization trends,” *J. TTA,* vol. 147, pp. 76-80, 2013.

[4] K. Choi, H. Lee, and S. Chang, “Mobile application and service discovery protocol for device-to-device communication,” *J. KICS*,

www.dbpia.co.kr

vol. 38A, no. 10, pp. 908-917, Nov. 2013.
[5] IEEE, Common Discovery mode for PAC, Retrieved Mar. 2013, from https://mentor.ieee.org/802.15
[6] IEEE Std 802.15.4, Part 15.4 : Wireless Medium Access Control Layer (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), Dec. 2003.
[7] IEEE, Low Energy Sevice Discovery PHY for PAC WPAN, Retrieved Jul. 2013, from https://mentor.ieee.org/802.15
[8] H. Le, H. Guyennet, and V. Felea, "OB MAC: An Overhearing Based MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," *ICSTA*, pp. 547-553, Oct. 2007
[9] D. Park, W. Jung, C. Yun, Y. Oh, and Y. Oh, "A study on the slotted CSMA/CA for performance enhancement of IEEE 802.15.4," *J. KICS*, vol. 34, no. 8, pp. 227-234, Aug. 2009.
[10] IEEE, Low Energy Sevice Discovery MAC Protocol for PAC WPAN, Retrieved Jul. 2013, from https://mentor.ieee.org/802.15
[11] IEEE, TG8 Technical Guidance Document, Retrieved Mar. 2013, from https://mentor.ieee.org/802.15
[12] H. Lee, H. Choi, S. Chang, and D. Kwon, "Performance evaluation of device-to-device communications based on system-level simulation in cellular networks," *J. KICS*, vol. 38B, no. 4, pp. 229-239, Apr. 2013.
[13] IEEE, Channel models for TG8, Retrieved Sep. 2012, from https://mentor.ieee.org/802.15.
[14] Y. Qin, S. Chung, C. Kim, H. Shin, and M. Rim, "A novel selection diversity technique in smart utility network under time varying fading channel environments," in *Proc. KICS*, pp. 339-340, Korea, Nov. 2011.

이 제 원 (Jewon Lee)

2011년 2월 : 충남대학교 전자전파정보통신공학부 졸업
2013년 2월 : 충남대학교 정보통신공학과 석사
2013년 3월~현재 : 충남대학교 정보통신공학과 박사과정
<관심분야> 근거리 통신 물리계층, 위성항법 시스템

안 재 민 (Jae Min Ahn)

1987년 2월 : 서울대학교 전자공학과(학사)
1989년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
1994년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
1994년~1999년 : 삼성전자 선임연구원
2007~2008년 : 정보통신연구진흥원 차세대이동통신 사업단장, 정보통신부 차세대 이동통신 PM
1999년~현재 : 충남대학교 전기정보통신공학부 교수
<관심분야> 차세대 이동통신 물리계층 및 Radio Resource management

이 근 형 (Keunhyung Lee)

2007년 2월 : 충남대학교 전자전파정보통신공학부 졸업
2010년 2월 : 충남대학교 전자전파정보통신공학과 석사
2010년 3월~2012년 4월 : LG전자 주임 연구원
2012년 5월~2014년 4월 : 한국전자통신연구원 IoT융합연구부 연구원
<관심분야> Internet of Things, Wireless Sensor Networks

www.dbpia.co.kr

박 태 준 (Tae-Joon Park)

1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업
1994년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사
2007년 2월 : 충남대학교 정보통신공학과 박사
1994년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 IoT융합연구부 책임연구원

<관심분야> Internet of Things, Wireless Sensor Networks

www.dbpia.co.kr