

논문 2015-52-2-5

피코넷 상호 간섭이 PicoCast 데이터 전송량에 미치는 영향 분석

(An Analysis on Data Throughput of PicoCast Affected by Piconet Mutual Interference)

정 재 경*, 전 상 엽*, 김 명 진**

(Jae-kyong Chung, Sang-yeop Jeon, and Myoung Jin Kim[Ⓢ])

요 약

PicoCast는 개별 사용자를 중심으로 한 반경 수십 미터 범위의 공간("개인 공간")에서 저속의 센서/제어 데이터부터 음성 및 동영상 트래픽의 전송을 단일 프로토콜로써 지원하는 근거리 무선통신 방식으로서 ISO 표준으로 규격화되어 있다. 동일한 공간에 여러 사용자가 있는 경우 사용자 개별적으로 정의한 개인 공간이 중첩되는 경우가 많이 발생할 수 있다. 물리적으로 동일한 공간 내에 여러 PicoCast piconet들이 동시에 작동할 수 있으므로 상호 간섭이 발생하는 것은 피할 수 없다. 이와 같은 환경에서 PicoCast piconet 간의 상호 간섭이 데이터 전송에 얼마나 영향을 미치는지 분석하고, 간섭의 효과를 최소화하기 위한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 OPNET 네트워크 시뮬레이터를 이용하여 PicoCast 프로토콜을 구현하고, PicoCast piconet 간의 간섭을 데이터 전송량을 근거로 분석하였다.

Abstract

PicoCast is a recently proposed short-range wireless communications technology that supports both low rate sensor/control data and high speed data such as voice and video traffic in the personal space, defined by the user-centric space of radius tens of meters, with one unified protocol. When the users are in the same area, personal spaces defined by each user may overlap. Since these PicoCast piconets may simultaneously operate, mutual interference is unavoidable. It is necessary to investigate the effect of mutual interference on data transmission and to conduct research on minimizing the interference among PicoCast devices. In this paper we analyze the effect of mutual interference between PicoCast piconets based on data throughput using OPNET network simulator. We have implemented the PicoCast protocol and measured the average throughput and packet loss rate.

Keywords : PicoCast, 근거리 무선통신, 피코넷, OPNET, 상호 간섭

I. 서 론

PicoCast는 개별 사용자를 중심으로 한 반경 수십 미터 범위의 공간("사용자 공간")에서 저속 데이터 전송에서부터 고속 데이터 전송까지 동시에 지원하는 근거리 무선 네트워크(Wireless Personal Area Network: WPAN)의 한 종류로서 ISO/IEC 29257 국제표준으로 규격화되어 있다^[1]. PicoCast는 비면허로 사용할 수 있

* 학생회원, ** 정회원, 한국외국어대학교 정보통신공학과 (Department of Information and Communications Engineering, Hankuk University of Foreign Studies)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: mjkim@hufs.ac.kr)

※ 이 연구는 2014학년도 한국외국어대학교 교내 학술 연구비의 지원에 의하여 이루어진 것임.

접수일자: 2014년12월10일, 수정일자: 2015년01월07일
게재확정: 2015년02월02일

는 2.4 GHz ISM(Industrial, scientific, medical) 주파수대에서 운용되는데, 이 주파수 대역은 이미 보편화되어 있는 WLAN을 비롯하여 Bluetooth, ZigBee와 같은 다양한 근거리 무선 네트워크 (WPAN) 기기들이 공존하고 있는 매우 혼잡한 주파수 대역이다. 따라서 네트워크 장비 상호간 간섭으로 인하여 성능 열화가 발생할 가능성이 높으며, 동일한 공간 내에 새로운 무선 장비가 추가되는 경우 간섭으로 인한 성능 열화가 더욱 심화될 것이다. 이러한 상호 간섭은 다른 종류의 무선 네트워크뿐만 아니라 동일한 종류의 무선 네트워크 간에도 존재한다. 무선 장비 간의 상호 공존 문제는 매우 중요하여 비면허 대역에서 동작하는 새로운 무선통신 장비의 운용에 앞서 필수적으로 고려해야 할 과제이다. 사용자 중심의 융합 서비스 지원이 가능한 PicoCast는 사용자가 밀집한 환경에서도 동작할 수 있어야 한다. PicoCast 사용자 간의 간섭 및 타 시스템과의 간섭을 최소화하기 위한 기술 연구가 진행되고 있다^[2].

Bluetooth의 경우 피코넷 상호 간섭의 영향을 분석한 결과가 보고되어 있다^[3-7]. 상호 간섭에 의한 패킷 손실율, 데이터 전송율 등이 분석되어 있다. 또한 Bluetooth 기기 간 간섭을 최소화하기 위한 scatternet 형성 방법 및 piconet 간 간섭 회피 방안이 각각 [8]과 [9]에 제안되어 있다.

PicoCast는 기기 제어, 방송과 통신 등의 다양한 분야에 응용이 가능하고, 그 응용에 따라서 piconet을 구성하는 방법이 다양하게 존재한다. 따라서 piconet을 구성하는 방식에 따라 다양한 결과를 도출할 수 있다. 사용자가 밀집한 환경에서는 여러 piconet이 전파 전달 범위 내에 존재할 가능성이 높으며, 동시에 동작하는 piconet의 개수에 따른 영향을 분석할 필요가 있다. 본 논문에서는 [3]에서 분석한 시나리오를 발전시켜 여러 개의 PicoCast piconet이 동시에 작동하는 환경을 고려하여 piconet 상호 간섭이 데이터 전송량에 얼마나 영향을 미치는지 분석한다.

본 연구에서는 성능 분석 도구로서 OPNET^[10] 시뮬레이터를 사용하였다. PicoCast 프로토콜 모듈을 구현하고, 여러 개의 PicoCast piconet이 동시에 작동하도록 시나리오를 구성하여 성능 열화의 정도를 분석하였다. 구체적으로, 원하는 PicoCast piconet이 동작하고 있는 환경에서 주변에 간섭원으로 작용하는 piconet을 배치시키고, 간섭원과의 거리 및 간섭 piconet의 개수에 따

라 데이터 전송량 및 패킷 오류가 어떻게 영향을 받는 지 측정하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 PicoCast WPAN에 대한 간략한 소개와 함께 PicoCast 프로토콜의 주요 특성에 대해 설명하고, III장에서는 OPNET 네트워크 시뮬레이터를 이용한 PicoCast 프로토콜의 구현에 대하여 기술한다. IV장에서는 OPNET을 사용하여 간섭 영향 시뮬레이션을 수행한 결과를 제시하며, V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. PicoCast 개요

PicoCast란 반경 수십 미터 이내의 작은 범위의 공간 즉, picocell 내에서 일대일 통신, 그룹 통신 그리고 방송 및 제어 등의 서비스를 지원하는 새로운 근거리 무선 통신 방식을 말한다. 개인마다 picocell을 구성하고, 주변의 기기들을 작은 방송국 혹은 기지국으로 활용하여 라디오, 무선 전화기, 리모콘, 센서 등을 융합한 “개인공간” 방송·통신·제어 서비스를 제공한다^[11-13].

PicoCast에서는 picocell을 기본 단위로 네트워크를 구성한다. 한 picocell의 각 장치는 마스터 또는 슬레이브로 동작하는데, 마스터는 비콘 신호를 송출하여 모든 슬레이브 장치를 동기시킨다. PicoCast RF 채널의 간격은 1 MHz이며, 2.4 GHz대의 80개 주파수 채널 중에서 품질이 좋은 16개 채널을 선택하여 주파수를 도약시키면서 사용한다. 마스터는 80개 채널을 스캔하여 양호한 품질의 16개 채널을 선정한 다음 주파수 도약 테이블을 구성하고, 주파수 채널 정보를 비콘 신호에 실어서 슬레이브에게 전송한다.

하나의 piconet은 최대 16개의 동시 통신 채널을 가진다. Piconet 구성 요소들은 1:1 뿐만 아니라 1:N 또는 N:M의 통신이 가능하다. 마스터는 비콘 신호를 모든 슬레이브에게 전송하여 동기를 맞추도록 하며, 마스터는 하나의 슬레이브와 상호 통신하고, 다른 슬레이브들은 마스터를 거치지 않고 독립적으로 다른 채널을 사용하여 통신할 수 있다. 이러한 네트워크 환경이 Bluetooth와 차별되는 점이다.

그림 1에 PicoCast 프로토콜에서 사용하는 프레임 구조를 보인다. 제어 및 트래픽 데이터는 프레임, 미들프레임, 슈퍼프레임으로 짜인 틀에 넣어진다. 하나의 프레임 구조로 다양한 응용들을 지원하기 위해 미들프레임

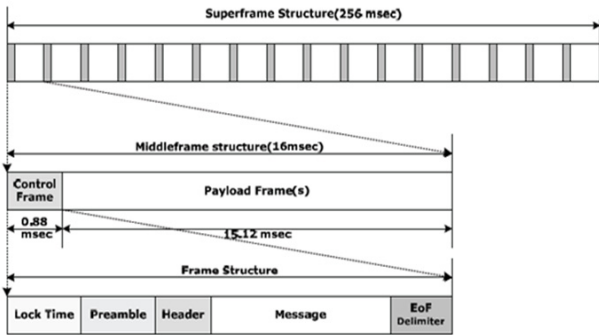


그림 1. PicoCast 프레임 구조
Fig. 1. PicoCast frame structure.

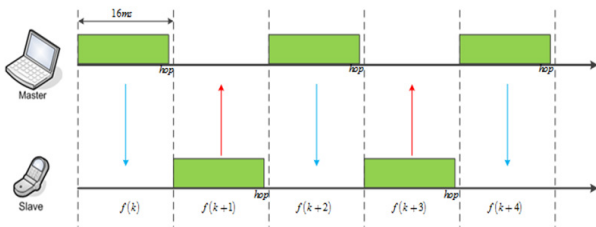


그림 2. Time-slot 배정의 예
Fig. 2. Example of time-slot allocation.

의 길이가 16ms로 고정되어 있는데, 이는 대부분의 응용에서 허용되는 수준의 시간 지연을 가능하게 한다.

미들프레임은 하나의 제어 프레임과 하나 또는 그 이상의 페이로드 프레임으로 구성된다. 데이터의 전송 단위는 미들프레임을 기본으로 하며, 미들프레임 단위로 주파수 도약이 이루어진다. 필요하다면 미들프레임을 이루는 프레임 단위로도 주파수를 변경하여 전송하는 것도 가능하다. 슈퍼프레임은 16개의 미들프레임으로 구성되어 256ms 길이를 갖는다. 슈퍼프레임 단위로 호처리 절차, 즉 picocell의 동기화 요청 절차를 진행한다.

마스터와 슬레이브 간의 양방향 통신은 시분할을 기반으로 이루어지는데, time-slot은 미들프레임 길이와 같은 16ms이다. 그림 2에 마스터와 슬레이브의 양방향 통신을 위한 time-slot 배정의 예를 보인다.

III. PicoCast 프로토콜의 구현

본 논문의 연구에서는 성능 분석 도구로서 네트워크 시뮬레이터인 OPNET^[10]을 이용하여 PicoCast 프로토콜을 구현하였다. 응용에 따라 데이터율과 페이로드 프레임의 개수가 달라질 수 있지만, 간섭을 분석하기 위한 목적으로 구현하였으므로 CBR(Constant Bit Rate)

의 랜덤 트래픽을 발생시켜 시뮬레이션 수행 시간 동안 지속적으로 전송하도록 구현하였다.

1. Node 모델

Node 모델은 그림 3과 같이 패킷을 발생시키는 generator가 포함되어 있는 ‘Source Process’ 단계와 패킷에 MAC header를 실어주고 hopping time이 계산되는 ‘MAC Process’ 단계, 마지막으로 ‘송·수신기 파라미터 설정’ 단계로 나뉜다.

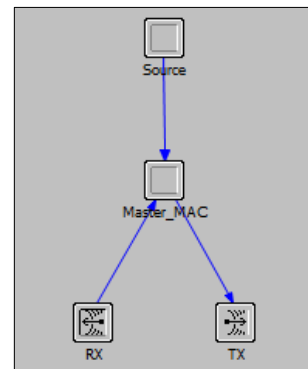


그림 3. Node 모델
Fig. 3. Node model.

2. Source Process 모델

‘Source Process’는 패킷을 발생시키는데, 최초의 패킷을 발생시키는 시간, 패킷을 지속적으로 발생시키는 주기, 마지막으로 패킷의 크기를 지정한다. 그림 4는 Source Process 모델의 전체적인 모습을 나타낸다. State들은 OPNET 사용 언어인 Proto-C를 기반으로 작성된 코드로 구성되며, 시뮬레이션의 시작과 종료에

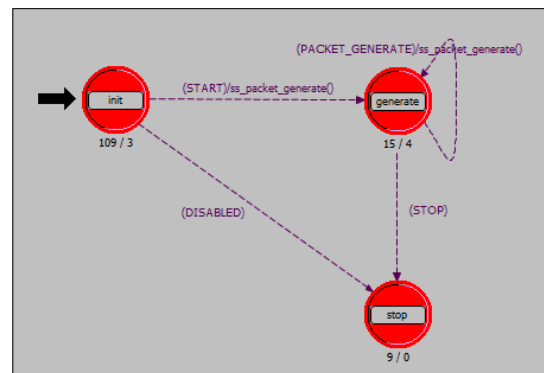


그림 4. Source process 모델
Fig. 4. Source process model.

따라 'event', 'interrupt stream'과 같은 명령에 의해 state 사이를 천이한다.

3. MAC Process 모델

'MAC Process'는 그림 5와 같이 총 6개의 state로 구성된다. 각 state는 Source Process 모델과 마찬가지로 Proto-C 코드로 구성되며 'event', 'interrupt stream' 명령에 따라서 state 사이를 천이한다. 'Init' state는 변수들을 초기화시키며, 통신 채널을 설정하고, 수신된 패킷들을 수집하여 통계를 내기 위한 'statistic handle' 변수들을 초기화 시킨다. 'Master Wait' state는 다른 state로의 천이가 일어나는 interrupt가 오기 전까지 대기하는 단계이다.

'From SRC' state는 'interrupt stream'에 따라 Source Process에서 내려오는 패킷을 받아 버퍼에 저장하는 역할을 한다. 동시에 'From SRC' state가 수행되는 현재 시간을 저장하여 다음 state에서 계산되는 hopping time에 반영한다.

다음으로 'To Tx' state에서는 미리 지정해 놓은 패킷 포맷에 따라 버퍼에 저장되어 있던 패킷을 변형시킨다. 즉, Source Process에서 발생된 트래픽 패킷에 MAC header를 실어 최종적으로 만들어진 이 패킷을 송신기로 보낸다. 동시에 hopping time이 계산되며 interrupt를 주어 'FH(Frequency Hopping)' state로 천이한다.

FH state에서는 주파수 도약을 처리하는데, function block에서 정의된 함수를 호출하여 0부터 79까지의 정수 중에서 의사랜덤하게 정수를 선택하여 가져온다. 이

정수를 header block에서 미리 정의해 놓은 2402의 값을 갖는 MIN_FREQ 변수와 더하여 송수신기의 채널 주파수를 결정한다. 다음 패킷의 생성 이후에도 동일한 방법으로 채널 주파수를 랜덤하게 선정하여 주파수 도약을 한다.

마지막으로 'From RX' state는 'interrupt stream'에 의해 들어온 패킷에 대한 정보를 취한다. MAC address가 일치하는 패킷만을 받아들이는데, 물리계층을 처리하는 파이프라인 스테이지를 통과하는 동안 발생한 비트 오류 수를 채널 라인에서 받아 온다. 받아들인 패킷의 크기를 측정하여 'Local Statistics'와 'Global Statistics'에 반영한다. 마지막으로, 수집 후의 패킷은 파괴시킨다.

4. 파이프라인 스테이지(Pipeline Stage)

MAC 이상의 프로토콜 계층은 프로세스 모델로 구현되는데 비해 물리 계층은 파이프라인 스테이지를 통해 구현된다. 파이프라인 스테이지는 송신 노드의 Tx 포트에서 내보내진 패킷이 수신 노드의 Rx 포트에 도달하는 과정을 일련의 단계로 수행되도록 구성되어 있다. 파이프라인을 구성하는 주요 블록을 보면 Transmission/propagation Delay, Link Closure, Channel Match, Tx/Rx Antenna Gain, Noise/interference, Error Allocation, Error Correction 등이 있다. 모델링한 무선 송수신 과정에 맞게 안테나 이득, 수신전력 설정, 잡음 및 간섭의 전력 설정한다. 변복조 과정이 직접 구현되는 대신 modulation curve로부터 SNR에 대응하는 비트오율에 맞게 오류를 할당한다. Error Correction 블록에서는 설정한 오류정정 능력에 따라 패킷을 MAC으로 넘겨줄지 여부를 결정한다. 오류정정 능력에 따른 오류허용 임계치(ecc threshold)와 패킷에 발생한 오류 비트의 비율을 비교하여 결정한다.

5. 송·수신기 파라미터

가. 송신기 파라미터

PicoCast 물리계층 규격을 요약하면 다음과 같다. 심볼율은 1 Msps이며, RF 채널 간격은 1 MHz이고, 2.402 MHz의 주파수부터 80개의 채널을 사용한다. 변조 방식으로는 변조지수 0.32의 GFSK가 사용되며, 대역폭과 비트 길이의 곱은 $BT=0.5$ 이다. 송신 전력은 10mW

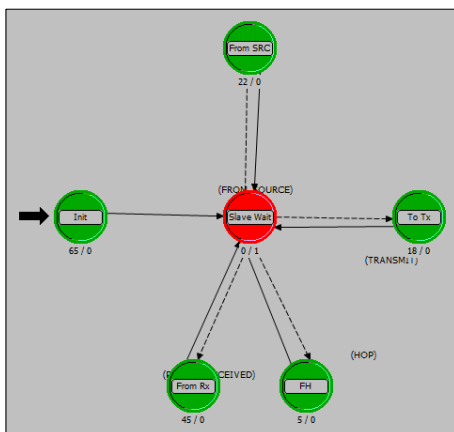


그림 5. Master MAC process 모델
Fig. 5. Master MAC process model.

표 1. 송신기 시뮬레이터의 속성과 값
Table 1. Attribute of Transmitter Simulator and Its Value.

Attribute	Value
data rate (bps)	1,000,000
packet formats	all formatted
min frequency (MHz)	2,402
power (W)	0.01
modulation	gfsk

또는 100mW이다. 표 1에 송신기 시뮬레이션을 위한 주요 파라미터 속성과 설정값을 보인다. data rate(bps)는 1Mbps로 설정하였으며, 송신 전력은 PicoCast 표준 2급 전력을 반영하여 0.01W로 설정하였다. GFSK 변조에 대해서는 비트오율을 미리 계산하여 modulation curve 형태로 파이프라인 스테이지 모델에 제공하였다.

이 외에 txdel, chanmatch, tagain, propdel 등의 파이프라인 스테이지 모델들은 OPNET에서 무선통신 환경의 시뮬레이션에서 일반적으로 사용되는 dra_* default model로 설정하였다. 단, link closure 모델은 dra_closure_all model로 설정하였는데, 이 단계는 실제 지형 정보를 기반으로 한 전파 전파 모델이다. 본 시뮬레이션에서는 지형 정보를 사용하지 않으므로 closure 값을 null로 만들어주는 dra_closure_all model로 설정하였다.

나. 수신기 파라미터

표 2는 시뮬레이션에서 적용한 수신기의 속성과 값을 나타낸다. data rate, packet formats, min frequency, modulation은 송신기와 동일하다. noise figure는 수신기의 실제 잡음 출력과 주변 온도에 대응하는 열잡음 사이의 비율이다. 1.0은 default 값으로서 두 잡음 출력 간에 차이가 없음을 의미한다. ecc threshold는 dra_ecc 파이프라인 스테이지에서 오류정정 코딩 효과를 반영하

표 2. 수신기 시뮬레이터의 속성과 값
Table 2. Attribute of Receiver Simulator and Its Value.

Attribute	Value
data rate (bps)	1,000,000
packet formats	all formatted
min frequency (MHz)	2,402
noise figure	1.0
ecc threshold	0.0
modulation	gfsk

기 위해 이용되는 임계값으로 패킷에 발생한 오류의 수를 보고 해당 패킷을 수신하여 MAC으로 전달할지 여부를 결정한다. 채널 부호화를 사용하지 않으므로 ecc threshold를 default 값인 0.0으로 설정하여 패킷에 하나라도 비트 오류가 발생하면 패킷 오류로 처리되도록 설정하였다.

5. GFSK modulation 커브

OPNET에서 기본으로 제공하는 modulation 커브에는 GFSK가 포함되어 있지 않다. 본 논문에서는 페이딩 채널 환경에서 GFSK 수신기의 비트오율 성능에 따라 modulation 커브를 작성하여 OPNET 파이프라인 스테이지에 적용되도록 하였다. 멀티패스 채널 환경에서 GFSK의 비트오류 확률은 다음과 같다^[14].

$$p(\gamma) = e^{-\frac{\gamma}{2}} \times \left(0.5I_0(ab) + \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{a}{b}\right)^k I_k(ab) \right) \quad (1)$$

여기서 γ 은 SNR이고 I_k 는 k차 Bessel 함수를 나타내며, 상수 a와 b는 다음과 같이 정의된다.

$$a = \sqrt{\frac{\gamma}{2}(1 - \sqrt{1 - \rho^2})}, \quad (2)$$

$$b = \sqrt{\frac{\gamma}{2}(1 + \sqrt{1 + \rho^2})} \quad (3)$$

위의 비트오류 확률 수식을 EMA code로 작성하여 OPNET modeler가 비트오류 확률값에 따라 modulation 커브를 작성하도록 한다. EMA code는 샘플의 개수, 최소 Eb/No 값, Eb/No spacing 등의 변수들로 구성되어 있다.

IV. 간섭 분석 시나리오 및 시뮬레이션 결과

1. 간섭 분석 시나리오

한 개의 마스터와 한 개 이상의 슬레이브로 하나의 piconet이 형성된다. PicoCast의 특징으로 개인별로 정의된 공간(개인 공간)에서 네트워크를 형성할 수 있다는 것을 들 수 있다. 개인 별 하나의 마스터 기기와 주변의 기기들이 슬레이브가 되어 piconet을 형성할 수도 있고, 여러 사람이 여러 그룹으로 나뉘어 piconet을 형성하는 그룹 통신도 가능하다. 따라서 동일 공간 내에

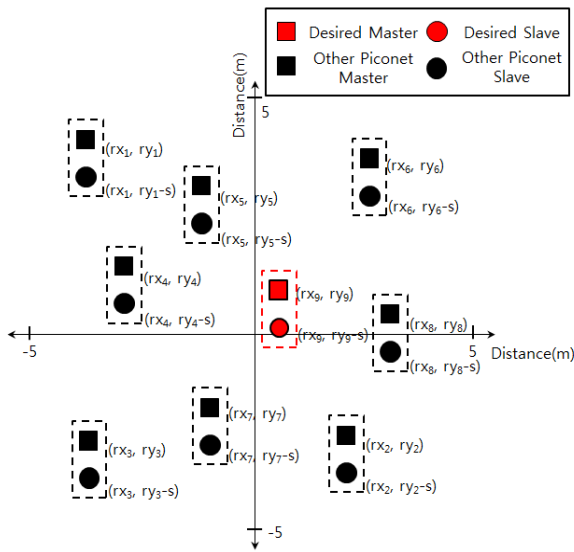


그림 6. 간섭 분석 시나리오
Fig. 6. Interference Analysis Scenario.

여러 개의 piconet이 존재할 수 있으며, piconet 간의 간섭이 발생할 것은 자명한 일이다. 본 논문에서는 PicoCast 사용자가 밀집한 환경에서 여러 개의 piconet이 동시에 작동하고 있는 경우를 고려하여 piconet의 개수와 마스터-슬레이브 거리에 따른 영향을 분석하고자 한다.

간섭 분석을 위한 시뮬레이션 시나리오를 그림 6에 보인다. 사각형으로 표시된 부분이 마스터 노드를 의미하며 원으로 표시된 부분이 슬레이브 노드를 의미한다. 사각형의 마스터 노드를 랜덤한 위치에 위치시키며, 각 슬레이브 노드들은 해당 마스터 노드를 기준으로 이격 거리 s 만큼 $-y$ 좌표로 이동하여 위치시킨다. 예를 들어, piconet 1번의 마스터 노드가 (rx_1, ry_1) 에 위치하였다면 piconet 1번의 슬레이브 노드는 (rx_1, ry_1-s) 에 위치한다.

시뮬레이션은 $10 \times 10m$ 공간에 10개, 15개, 20개의 PicoCast piconet이 동작하는 3가지 시나리오를 구성하여 수행하였다. 각 시나리오에서는 마스터들을 랜덤한 위치에 고정시키고 슬레이브들과의 거리를 8가지 경우 (0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2, 5, 10m)로 나누어 간섭의 영향이 데이터 전송량 및 패킷 손실율에 미치는 영향을 분석하였다. 시뮬레이션 편의상 각 piconet은 하나의 마스터와 하나의 슬레이브로 구성되는 경우를 가정하였다. 그림 7에 마스터-슬레이브 거리가 1.5m인 10개의 piconet이 동작하는 환경의 예를 보인다.

각 시뮬레이션에서는 모든 piconet들이 5분 동안 지

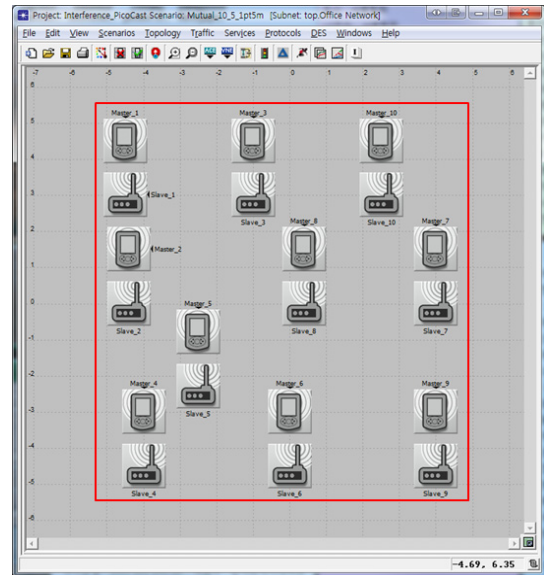


그림 7 10개의 piconet이 동작하는 환경
(마스터와 슬레이브의 간격 : 1.5m)
Fig. 7. The environment operating 10 piconets.
(1.5m master-slave separation)

속적인 양방향 통신을 한다. 여기서 양방향 통신은 piconet을 구성하는 구성원인 하나의 마스터와 하나의 슬레이브 간의 통신을 말한다. 앞서 설명하였듯이 미들 프레임의 길이인 16 msec의 시간 슬롯 단위로 마스터와 슬레이브는 번갈아가며 16,000 비트의 패킷을 서로에게 전송하며, 패킷 단위로 주파수 도약을 한다. 주파수 채널은 80개의 채널 중에서 품질이 우수한 16개의 채널을 선택하여 사용하는데, 이 채널군에서 랜덤하게 주파수를 도약시킨다. 또한 본 논문에서 수행한 시뮬레이션에서는 모든 piconet의 마스터와 슬레이브의 동기가 맞추어 있는 환경을 가정하였다.

Simulation background는 'office network'로 설정하였으며, 모든 piconet이 동일한 조건 하에서 동작하는 것을 가정하였다. 동종 네트워크 간의 간섭을 알아보기 위한 것이므로 piconet 간의 간섭 이외의 다른 간섭은 없다고 가정하였다.

2. 시뮬레이션 결과

PicoCast 네트워크 간 간섭의 영향을 분석하는 시뮬레이션 수행 결과로 10개의 piconet이 동작하는 환경에서 측정된 평균 전송량(average throughput)과 패킷 손실율(packet loss ratio)을 그림 8에 보인다. 마스터-슬레이브 이격 거리가 증가할수록 전송량의 저하가 많이

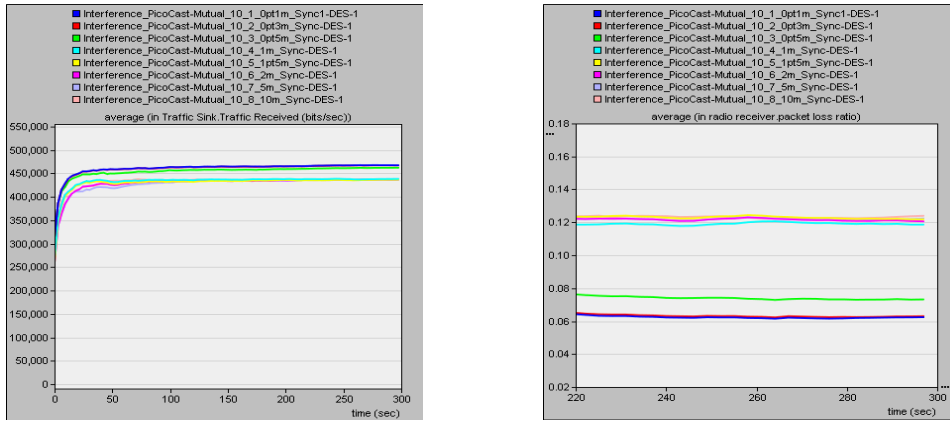


그림 8. 10개의 piconet이 동작하는 환경에서의 평균 전송량 및 패킷 손실율
 Fig. 8. Average throughput and packet loss ratio in the environment operating 10 piconets.

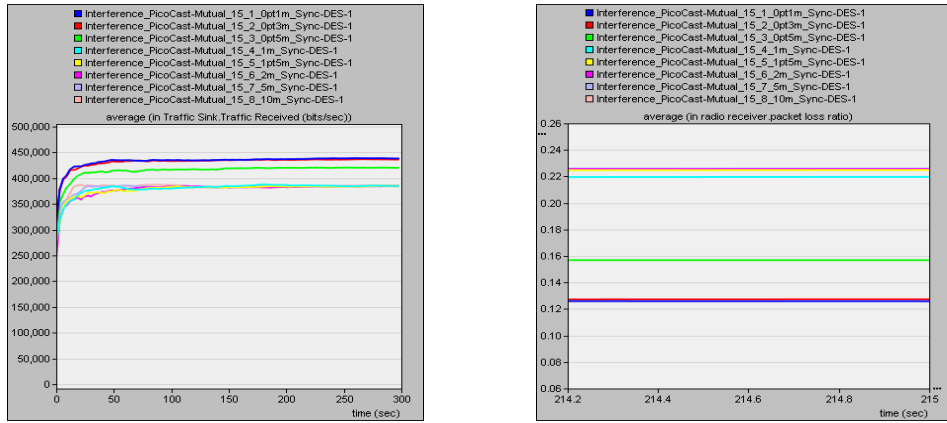


그림 9. 15개의 piconet이 동작하는 환경에서의 평균 전송량 및 패킷 손실율
 Fig. 9. Average throughput and packet loss ratio in the environment operating 15 piconets.

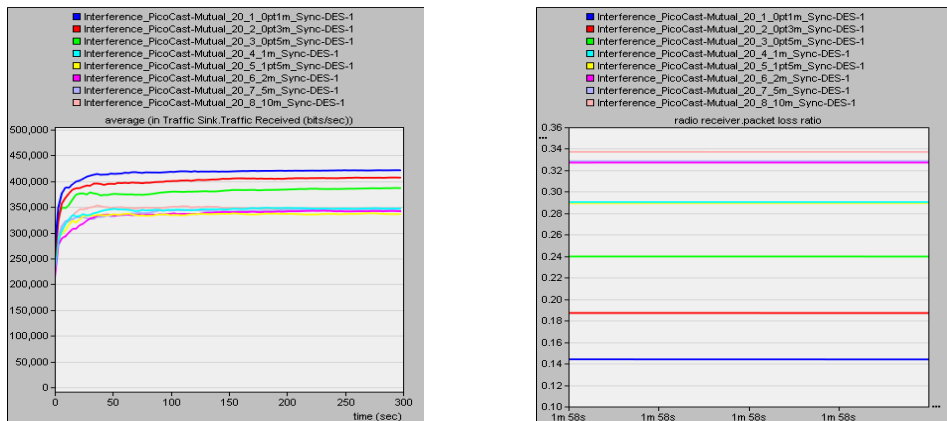


그림 10. 20개의 piconet이 동작하는 환경에서의 평균 전송량 및 패킷 손실율
 Fig. 10. Average throughput and packet loss ratio in the environment operating 20 piconets.

발생하며, 이격 거리가 10m에 가까워지면 패킷 손실이 약 12% 정도 되는 것을 볼 수 있다. 이는 [3]에서 제시된 Bluetooth 패킷 손실율에 비해 낮은 수준임을 보여준다.

다음으로 piconet이 15개 동작하는 환경에서 측정된 평균 전송량과 패킷 손실율을 그림 9에 보인다. Piconet이 10 개인 경우에 비해 데이터 전송량의 감소가 더 많이 일어나며, 마스터-슬레이브 이격 거리가 10m에 가

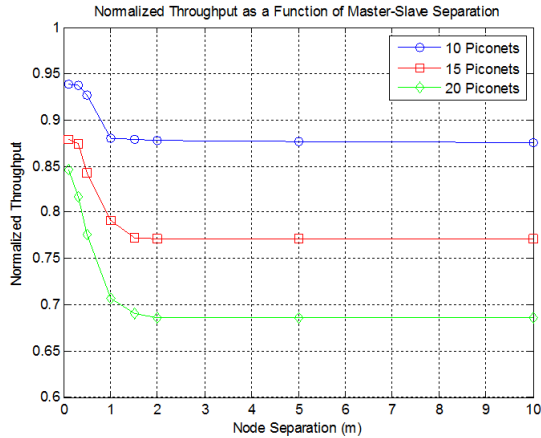


그림 11. 마스터-슬레이브 이격 거리에 따른 정규화된 평균 전송량
Fig. 11. Normalized average throughput as a function of master-slave separation.

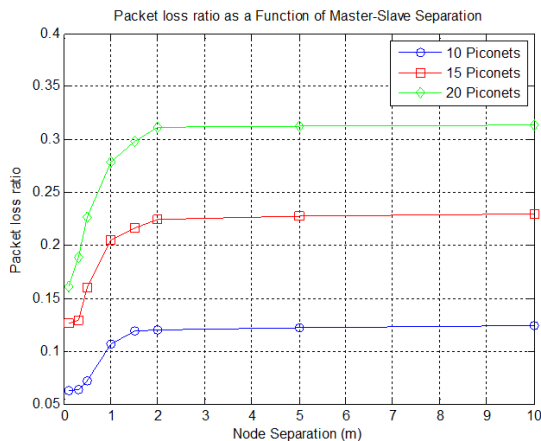


그림 12. 마스터-슬레이브 이격 거리에 따른 패킷 손실율
Fig. 12. Packet loss ratio as a function of master-slave separation.

가워지면 패킷 손실율이 22%에 이르는 것을 확인할 수 있다.

마지막으로 piconet이 20개 동작하는 환경에서 측정된 평균 전송량과 패킷 손실율을 그림 10에 보인다. 데이터 전송량의 감소가 더 크며, 마스터-슬레이브 이격 거리가 10m에 가까워지면 패킷 손실율이 30%를 넘는 것을 확인할 수 있다.

Piconet 개수가 10개, 15개, 20개인 세 가지 시나리오에 대해서 측정된 평균 전송량을 정규화하여 그림 11에 비교하여 보인다. 공통적인 현상으로 마스터-슬레이브 이격 거리가 증가함에 따라 데이터 전송량이 감소하며,

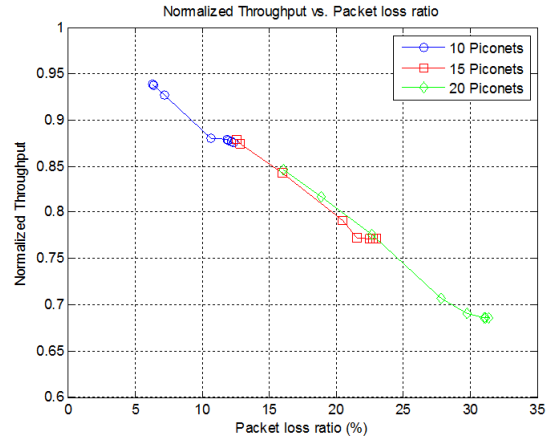


그림 13. packet loss ratio에 따른 normalized Throughput
Fig. 13. Normalized Throughput as a function of packet loss ratio.

특정 거리(약 2m) 이상이면 거리의 영향은 거의 받지 않고 인접 piconet의 주파수 간섭 영향을 주로 받는 것을 알 수 있다. 동일 공간에서 작동하는 piconet의 개수가 많을수록 동일한 RF 채널을 사용함으로써 발생하는 충돌 효과로 해석할 수 있다.

그림 12는 패킷 손실율로써 나타낸 시뮬레이션 결과를 보이고 있다. Piconet 개수가 많을수록 패킷 손실율이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 마스터-슬레이브 이격 거리가 일정 값을 넘어서면 수신전력 감쇠의 효과보다 RF 채널 주파수의 충돌로 인한 패킷 손실 효과가 우세하다는 것을 알 수 있다.

그림 13에는 패킷 손실율 대비 정규화된 전송량을 보이고 있다. Piconet의 개수에 따라 패킷 손실율의 범위는 다르지만 데이터 전송량의 감소폭 대비 패킷 손실율의 증가폭은 거의 일정하다는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 PicoCast의 특성을 살펴보고, 동일한 PicoCast 기기로 이루어진 인접한 piconet의 증가에 따른 영향과 마스터-슬레이브 간의 이격 거리에 따른 영향을 OPNET을 이용한 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 동시에 작동하는 piconet의 개수와 마스터-슬레이브 이격 거리가 증가함에 따라 간섭의 영향을 더 많이 받게 되는 것을 평균 전송량 및 패킷 손실율을 측정함으로써 확인하였다. 본 논문에서 적용한 시뮬레이션 시나

리오에서는 PicoCast piconet을 구성하는 슬레이브가 한 개이고 모든 piconet이 동기가 맞아 있는 경우를 가정하였다. 실제로 간섭이 발생하는 환경은 매우 다양한데, 향후에는 조금 더 실제 응용 환경에 가까운 분석 모델을 고려하여 다양한 시나리오의 시뮬레이션을 수행하여 간섭에 의한 영향을 분석할 예정이다. 또한 piconet 간 상호 간섭의 영향을 극복하는 방안이나 간섭에 의한 성능 저하를 피하기 위한 프로토콜 개선 방안에 관하여 연구할 필요가 있다.

REFERENCES

- [1] International Standard ISO/IEC 29157, PHY/MAC specifications for short-range wireless low-rate applications in the ISM band, ISO/IEC JTC1/SC6, 2010.
- [2] Dong-Joo Kim, Jae-kyong Chung, Myoung Jin Kim, "An analysis on data throughput affected by interference between Bluetooth and PicoCast devices," KICS Winter Conference, KICS, Jan. 2013.
- [3] D. Harris and M. Roberts, "Quantifying bluetooth piconet mutual interference," in Proc. OPNETWORK 2002, Washington DC, Aug. 2002.
- [4] Amre El-Hoiydi, "Packet Error Rate due to Interference between Bluetooth Networks - Probabilistic Upper Bound and Simulation Results," CSEM, Jaquet-Droz 1, 2007.
- [5] Wang Feng, A. Nallanathan, "Performance of PHY and MAC Layers of a Bluetooth Piconet in Multi-Bluetooth Interference Environment," IEEE Communications Society Globecom 2004, pp.3614-3618, 2004.
- [6] K. Naik, David S.L. Wei, Yu T. Su, "Packet interference in a heterogeneous cluster of Bluetooth piconets," Vehicular Technology Conference, Vol.1, pp.582-586, Oct. 2003.
- [7] I. Howitt, "Mutual Interference between independent bluetooth piconet," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.52, No.3, pp.708-718, May. 2003.
- [8] A.S. Bhargava, D.M. Gruenbacher, "Using piconet avoidance techniques to reduce interference in Bluetooth networks," Consumer Communications and Networking Conference, pp.65-70, Jan. 2004.
- [9] N. Amanquah and J. Dunlop, "Improved throughput by interference avoidance in co-located Bluetooth networks," Personal Mobile Communications Conference, pp.86-90, April. 2003.
- [10] OPNET Technologies, Inc., OPNET Modeler Wireless Suite-ver. 17.1, <http://www.opnet.com>.
- [11] TTA Standard TTAS.KO-06.0157/R1, PicoCast Specification: low Data Rate PicoCast 1.0, TTA, Dec. 2010.
- [12] Dong-Bok Lee, Kwang Kim, "IPTV based PicoCast technology application," Telecom, IEIE, Vol.23, No.2, pp. 60-66, Dec. 2007.
- [13] Seung-Moon Ryu, "Standardization trends on PicoCast," TTA Journal, No. 121, pp. 87-95, Jan. 2009.
- [14] Bo Jiang, "Voice Performance Evaluation of BLUETOOTH System in the Presence of IEEE802.11b WLAN System," University of Ottawa, Sep. 2003.

저 자 소 개



정 재 경(학생회원)
2013년 한국외국어대학교 정보통신공학과 학사 졸업.
2013년~현재 한국외국어대학교 정보통신공학과 석사과정.
<주관심분야 : WPAN, 무선통신, Sensor Network, 통신시스템>



전 상 엽(학생회원)
2012년 한국외국어대학교 정보통신공학과 학사 졸업.
2012년~현재 한국외국어대학교 정보통신공학과 석사과정.
<주관심분야 : WPAN, 무선통신, 통신신호처리, Localization>



김 명 진(정회원)-교신저자
1982년 서울대학교 제어계측공과 졸업
1984년 서울대학교 제어계측공학과 (공학석사)
1992년 University of Minnesota, 전기공학과 (공학박사)
1996년~현재 한국외국어대학교 정보통신공학과 교수
<주관심분야 : WPAN, 무선통신, 통신신호처리>