

# 다중 채널을 지원하는 Voice over Sensor Network (VoSN) Base Station 설계

이 훈 재\*, 이재형\*, 강민수\*\*, 조성호<sup>o</sup>

## A Design of Voice Over Sensor Network (VoSN) Base Station with Multi-Channel Support

Hoon Jae Lee\*, Jae Hyoung Lee\*, Min Soo Kang\*\*, Sung Ho Cho<sup>o</sup>

### 요 약

센서 네트워크를 위한 표준인 IEEE802.15.4는 저전력, 저속 데이터 통신이 특징으로 주로 ZigBee 네트워크와 같은 Wireless Personal Area Network (WPAN)를 구성하기 위해 사용하고 있다. 그러나 최근 센서 네트워크 기반의 음성통신과 Session Initiation Protocol (SIP)를 연동하여 장거리 및 대규모 사용자를 지원하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 센서 네트워크 기반의 음성통신과 SIP를 연동하여 다수 사용자 지원하고 기존 시스템을 하나의 통합 Base Station으로 설계하였다. 또한, 설계한 Base Station의 성능을 평가하기 위하여 사용자수 증가에 따른 Packet 수와 Delay를 측정하였다.

**Key Words** : Voice over Sensor Network (VoSN), IEEE802.15.4, TDMA/TDD MAC, SIP, Interworking

### ABSTRACT

IEEE802.15.4 that is a standard for sensor networks is mainly used the wireless personal area networks such as ZigBee networks and it features low-power, low-speed data communication. However, recently research for interworking sensor network based voice communication and Session Initiation Protocol (SIP) for long-range, multi-user support has been actively conducted. In this paper, we designed a integrated base station based existing systems for interworking sensor networks based voice communication and SIP. We measured number of packet and delay according to increase the number of users to evaluate the performance of designed Base Station.

### 1. 서 론

#### 1.1 연구 배경

Wireless Personal Area Network (WPAN)를 구현

하기 위한 노력으로 IEEE802.15 워킹 그룹이 결성되었다. 하위 그룹으로는 블루투스 표준인 IEEE802.15.1, 고속 무선통신(High Rate WPAN)표준인 IEEE802.15.3, 그리고 저속 무선통신(Low Rate WPAN) 규격을 표

※ This research was supported by the MSIP(Ministry of Science, ICT&Future Planning), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program (NIPA-2013- H0301-13-1001) supervised by the NIPA(National IT Industry Promotion Agency).

♦ First Author : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 임베디드무선통신연구실, hjlee@casp.hanyang.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 임베디드무선통신연구실, dragon@hanyang.ac.kr, 종신회원

\* 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 임베디드무선통신연구실, jhlee@casp.hanyang.ac.kr, 정회원

\*\* 을지대학교 의료IT마케팅학과, mskang@eulji.ac.kr

논문번호 : KICS2013-10-479, 접수일자 : 2013년 10월 31일, 심사일자 : 2013년 12월 9일, 최종논문접수일자 : 2014년 1월 13일

준으로 갖는 IEEE802.15.4가 있다. 그 중 IEEE802.15.4<sup>[1]</sup>는 Zigbee<sup>[2]</sup>, 홈 네트워크, 산업 모니터링, 건강관리, 원격검침 등과 같은 서비스를 제공하는 기술이다.

최근에는 IEEE802.15.4 기반의 센서 네트워크와 기타 이기종 네트워크를 이용하여 장거리, 대규모 사용자를 지원하는 음성통신 시스템을 구현하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 최근에는 이러한 센서 네트워크와 SIP를 이용한 음성통신인 Voice over Sensor Network (VoSN) 연구가 진행되고 있다.

CSMA/CA 기반으로 설계된 다중 1:1 음성 통신은 경쟁 슬롯 할당 방식으로 인해 음성 데이터 같은 대용량 데이터를 전송할 때 트래픽 증가로 인한 지연이나 재전송이 빈번하게 발생하게 되고, 실시간으로 데이터를 보내지 못하는 경우가 있어 음성통신을 위한 환경으로 한계가 있다. 하지만 TDMA/TDD 기반으로 설계된 다중 1:1 음성 통신은 모바일 디바이스가 데이터를 보낼 수 있는 슬롯이 할당되어 경쟁 상태가 없기 때문에 실시간으로 데이터를 전송할 수 있고, 이는 음성통신을 위한 환경으로 적절하다.

### 1.2 관련 연구

VoSN에 관한 연구는 주로 1:1 음성 통신을 위주로 개발되고 있다. Rahul Mangharam은 특정 플랫폼<sup>[3]</sup>을 이용하여 센서네트워크를 이용한 음성통신을 구현하였고, Hu Rong-lin은 Time Division Duplex (TDD) 방식을 이용하여 Full-Duplex 센서네트워크를 이용한 음성통신<sup>[4]</sup>을 구현하였다. 위의 구현 방식은 하나의 음성 채널이 센서 네트워크의 주파수 대역 중 한 개의 주파수 전체를 점유하여 사용자 다수를 지원하지 못하는 한계가 있었다.

따라서 최근 IEEE802.15.4 PHY 기반의 Time Division Multiple Access/Time Division Duplex (TDMA/TDD) 방식으로 6채널 Full-Duplex MAC을 설계하여 한 채널당 최대 6명의 사용자를 지원하고 SIP와 연동하여 장거리, 대규모 사용자를 지원하기 위한 VoSN 시스템<sup>[5-7]</sup>을 구현하였다. 그러나 이러한 시스템은 Base Station당 채널 용량이 작고 부피가 크며 상용 제품을 사용하여 가격이 비싼 한계가 있다. 또한, 이 시스템에서는 코디네이터와 라우터를 연동할 때 UART to Ethernet HUB를 사용하는데 UART의 속도 한계 때문에 대규모 사용자를 지원할 수 없는 문제가 있었다.

본 논문에서는 이러한 한계점을 극복하고자 기존 시스템을 응용하여 대규모, 장거리 음성통신을 지원하

는 Multi Channel VoSN Base Station (MC-VBS)을 제안하였다. MC-VBS는 최대 48채널의 다중 채널을 지원하고 SIP 연동을 통해 장거리 음성통신을 지원한다. 제안한 시스템은 기존 시스템에서 UART to Ethernet HUB를 제거하고 코디네이터와 라우터를 SPI통신으로 직접 연동하여 하나의 시스템으로 통합하였으며 RF보드를 추가하여 전체적인 부피를 줄였다. 또한, 설계한 MC-VBS의 성능을 평가하기 위하여 사용자수 증가에 따른 패킷 개수와 One Way Delay를 측정하여 결과를 검증하였다.

## II. 본 론

### 2.1 시스템 구성

본 논문에서 제안하는 시스템은 하나의 MC-VBS당 48대의 Mobile Device와 1대의 SIP Server로 구성된다. 각 Mobile Device는 MC-VBS를 거쳐 통신하게 되고 MC-VBS는 각 Mobile Device와의 무선 통신뿐만 아니라 SIP를 연동하여 인터넷상에 연결된 다른 MC-VBS의 Mobile Device와 음성 통신이 가능하게 한다. 본 시스템의 구성은 그림 1과 같다.

Mobile Device는 사용자가 음성 통화를 할 수 있게 해준다. MC-VBS는 각 Mobile Device와의 IEEE802.15.4 PHY 기반의 무선 통신을 관리하고 SIP연동을 하기 위한 프로토콜 변환 작업을 수행하여 Full-Duplex SIP 호환 음성통신을 가능하게 한다. Mobile Device와 MC-VBS에 G.729a 포맷을 지원하는 Speech Codec Chip을 사용한다. 그 이유는 G.729a 포맷으로 음성 패킷을 압축하여 짧은 Traffic Slot 시간을 갖게 하면 다수의 Traffic Slot을 만들 수 있어 TDMA 방식으로 다수 사용자를 지원할 수 있기 때문이다. 또한, 두 기기에 Transceiver를 내장하여

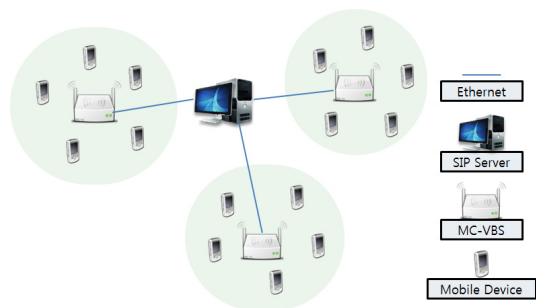


그림 1. 센서 네트워크 기반의 다수 사용자를 지원하는 1:1 Full-Duplex 음성 통신 시스템  
Fig. 1. 1:1 Full-Duplex Voice Communication Systems Supporting Multi-User Based on Sensor Network

IEEE802.15.4 PHY를 이용한 무선 통신을 할 수 있게 한다. SIP 서버는 다수의 VoSN 사용자와 SIP 애플리케이션과의 연동된 세션을 관리한다. SIP 서버는 Home Location Register (HLR) DB와 Server Router Coordinator (SRC) DB를 저장하고 있다<sup>8)</sup>. HLR DB는 Mobile Device의 MAC 주소, SIP 계정, MC-VBS IP 주소와 SIP 기본 정보 등을 저장하고 있다. 이 정보들은 MAC 주소를 SIP ID로 변환하여 SIP와 연동할 때 사용한다. SRC DB는 서버, 라우터, 코디네이터의 인덱스 정보를 가지고 있고 인덱스와 대응되는 주소 정보를 가지고 있다. 이 정보들은 추후 핸드오프를 할 때 사용될 것이다.

MC-VBS는 RF 보드, 코디네이터 보드, 프로세싱 보드로 구성되며 그림 2에 나타났다. 프로세싱 보드는 SIP와 VNP의 연동을 수행하고 사용자 정보를 Visitor Location Register (VLR) DB에 저장하고, SIP 메시지를 생성하여 VoIP 애플리케이션과 연동 및 세션을 관리한다. 또한, SIP 서버와 Ethernet 통신을 이용하여 라우팅기능을 한다. 프로세싱 보드는 코디네이터 보드와 SPI 통신으로 연결되며 프로세싱 보드가 마스터가 되고, 코디네이터 보드가 슬레이브가 된다. 코디네이터 보드는 8개의 Transceiver로 구성되며 Transceiver 한 개에 6대의 Mobile Device를 수용하여 최종적으로 하나의 MC-VBS에서 48대의 Mobile Device를 지원한다. RF 보드는 Splitter/Combiner로 구성되며 코디네이터 보드와 RF Cable로 연결된다. RF 보드는 각각의 Transceiver에서 IEEE802.15.4 PHY 기반으로 송수신해야 할 아날로그 신호를 하나로 묶어 1개의 안테나로 송신하고 수신된 신호를 Splitter를 통해 8개로 분리하고 LNA를 이용하여 증폭한 후 Transceiver로 전달한다.

본 논문에서 제안한 시스템 구성을 하게 되면 이전 시스템보다 더 많은 사용자를 지원할 수 있으며 상용 제품을 사용하지 않고 직접 보드를 제작하였기 때문에

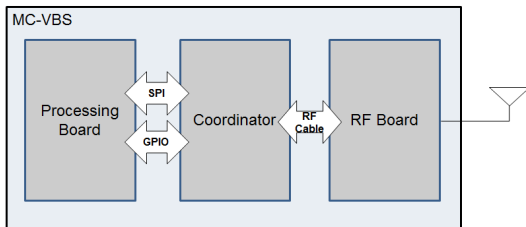


그림 2. 센서 네트워크 기반의 다수 사용자 음성통신을 지원하기 위한 MC-VBS  
Fig. 2. MC-VBS for Multi-User Voice Communication Based on Sensor Network

더 작은 부피를 갖고 더 적은 비용으로 시스템 구현이 가능하다. 또한, RF보드의 도입으로 다수의 안테나를 하나의 안테나로 통합하였기 때문에 더욱 단순한 시스템 구현이 가능하다. 하지만 다수의 Transceiver를 지원하기 위한 소프트웨어적 복잡도가 증가하였다.

### 2.2 프로토콜 스택

VoSN과 SIP를 연동하기 위한 프로토콜 스택<sup>7)</sup>은 그림 3과 같다. Mobile Device 프로토콜 스택은 IEEE802.15.4 PHY 기반의 TDMA/TDD MAC과 Voice Network Protocol (VNP) 계층, 애플리케이션 계층을 가진다. VNP 계층은 세션을 맺고 Call Process를 관리하며 SIP와 연동하는 프로토콜이다. 애플리케이션 계층은 통화를 위한 사용자 인터페이스이다.

코디네이터 보드 프로토콜 스택은 Mobile Device 프로토콜 스택과 유사하다. 프로세싱 보드 프로토콜 스택은 IEEE802.11n PHY/MAC, UDP/RTP, SIP 그리고 애플리케이션 계층을 가진다. 코디네이터 보드 PHY와 프로세싱 보드 PHY는 SPI 통신으로 연결된다. 프로세싱 보드 프로토콜 스택은 SIP와 VNP 변환시키는 계층을 갖는다.

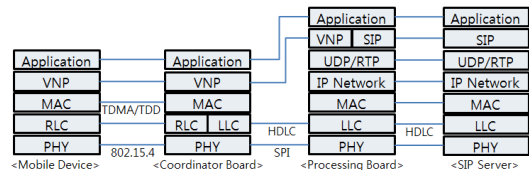


그림 3. 센서 네트워크 기반의 다수 사용자 음성통신을 지원하기 위한 프로토콜 스택  
Fig. 3. Protocol Stack for Multi-User Voice Communication Based on Sensor Network

### 2.3 TDMA/TDD MAC 프로토콜

본 시스템을 위해 설계한 IEEE802.15.4 기반의 TDMA/TDD MAC Frame<sup>7)</sup>은 20Bytes의 음성 데이터를 가지고, 하나의 주파수 대역당 최대 6대의 Mobile Device를 지원할 수 있다. TDMA/TDD MAC Superframe은 20ms마다 센서 네트워크를 통해 전송이 이뤄지는데, 이는 Speech Codec Chip의 20Bytes/20ms 버퍼링 기능을 사용하기 위함이다. 설계한 TDMA/TDD MAC Frame은 아래 그림 4와 같다.

20ms의 주기를 갖는 Superframe은 하나의 Beacon 슬롯 (0.8ms), 하나의 Paging 슬롯 (1.2ms), 하나의 Access 슬롯 (1.0ms), 두 개의 Guard-time 슬롯 (2x0.22ms), 6쌍의 Traffic 슬롯 (12x1.38ms)로 구성된다. Beacon 슬롯은 Mobile Device와 코디네이터간

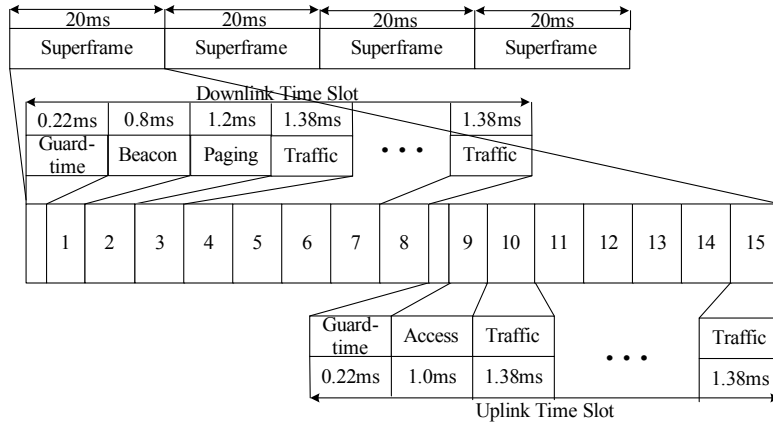


그림 4. 센서 네트워크 기반의 다수 사용자의 음성통신을 지원하기 위한 MAC 프로토콜  
 Fig. 4. MAC Protocol for Multi-User Voice Communication Based on Sensor Network

의 시간 동기를 맞추기 위해 사용된다. Paging 슬롯은 코디네이터에서 Mobile Device로 명령을 내릴 때 사용되고, Access 슬롯은 Mobile Device에서 코디네이터로 Call 절차를 요청할 때 사용된다. 음성 데이터는 Traffic 슬롯을 통해 전송된다. Guard-time 슬롯은 Uplink와 Downlink를 안정적으로 분리하는데 사용된다.

2.4 하드웨어 연동방법 설계

다수 사용자간 Full-Duplex 음성 통신을 구현하기 위하여 제안한 시스템에서는 서로 다른 IEEE802.15.4 주파수 대역을 사용하는 코디네이터 8대를 1대의 코디네이터 보드로 통합하였다. 또한, 이전에 제안했던 시스템에서 HUB를 제거하고 SPI 통신으로 코디네이터 보드와 프로세싱 보드를 직접 연동하여 UART to Ethernet HUB에서 가지고 있는 UART로 인한 속도 문제를 해결할 수 있다. 코디네이터 보드와 프로세싱 보드의 세부적인 구성은 아래 그림 5와 같다.

SPI 통신으로 코디네이터 보드와 프로세싱 보드를

연동할 때 코디네이터 MCU가 프로세싱보드 CPU보다 훨씬 느리게 동작한다. 따라서, MCU가 CPU로부터 데이터를 수신하거나 송신할 수 있는 순간을 결정하는 것이 데이터 송수신을 안정적으로 동작하는 방법이 된다. CPU는 SPI 통신에서 마스터이고 MCU는 슬레이브가 된다. 아래 그림 6은 프로세싱 보드와 코디네이터 보드를 SPI 통신으로 연동하기 위한 구성도이다.

CPU는 데이터를 전송하거나 수신하는 순간을 알지 못하므로 코디네이터 보드의 MCU중 하나가 Paging, Traffic, Access 슬롯마다 GPIO를 이용해 CPU로 인터럽트를 걸어준다. 이때, MCU에서 CP로 전송하려는 GPIO 핀번호와 반대로 CPU에서 MCU로 수신하려는 GPIO 핀 번호를 다르게 하여 송신상태인지 수신상태인지 구분할 수 있게 하였다. 또한, 안정적인 동작을 보장하기 위하여 1Byte씩 패키지의 길이만큼 읽거나 쓰게 하여 패키지 단위로 데이터를 송수신한다. 수신 인터럽트를 감지한 CPU은 인터럽트 핸들러

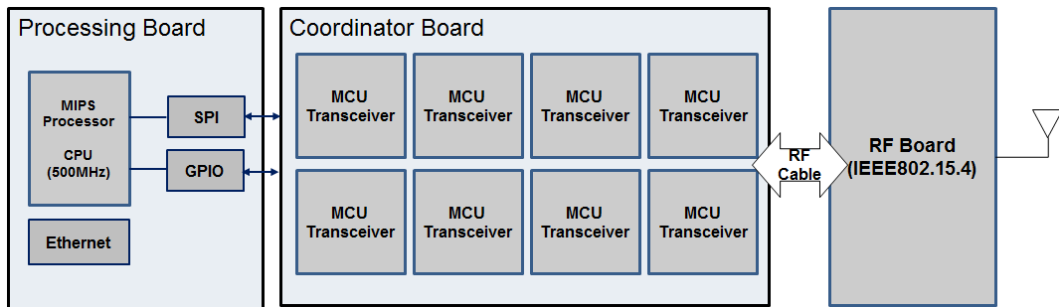


그림 5. 센서 네트워크 기반의 다수 사용자 음성통신 지원을 위한 코디네이터 보드와 프로세싱 보드  
 Fig. 5. Coordinator Board and Processing Board for Multi-User Voice Communication Based on Sensor Network

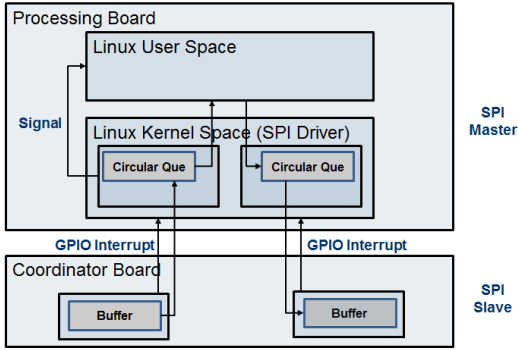


그림 6. 프로세싱 보드와 코디네이터 보드 연동을 위한 블록 다이어그램  
Fig. 6. A Block Diagram for Interworking of Processing Board and Coordinator Board

에서 각각의 MCU를 선택하면서 수신할 SPI 데이터가 있는지 스캔한다. 만약 수신할 데이터가 있으면 패킷 단위로 읽어 리눅스 커널 영역의 원형 큐에 저장한다. 패킷에서 처음 1Byte가 패킷의 길이를 나타내기 때문에 SPI를 1Byte 읽어 수신할 SPI 데이터가 있는지 없는지 판단할 수 있다. 만약 수신할 데이터가 없으면 SPI를 1Byte 읽었을 때 0을 읽게 된다. 인터럽트 핸들러는 수신된 데이터를 원형 큐에 저장한 이후 리눅스 User 영역에 수신된 데이터가 있다는 Signal을 보낸다. 리눅스 User 영역에서는 Device Driver에 접근해 수신된 데이터를 리눅스 User 영역으로 복사한다.

코디네이터로 전송할 데이터가 있을 경우, 리눅스 커널의 원형 큐에 전송할 데이터를 저장해 놓는다. 송신 인터럽트를 감지한 CPU는 커널 영역의 원형 큐에 전송할 데이터가 있는지 검사한다. 만약 전송할 데이터가 있다면, 전송할 패킷을 분석해 어느 MCU로 전송할지 결정 후 SPI 통신으로 패킷을 전송한다.

### III. 실험

본 논문에서 제안한 시스템의 성능을 평가하기 위해 설계한 MC-VBS를 사용하여 1:1 음성 통신을 수행하였다. Digital Speech Level Analyzer II (DSLAI-II)를 이용하여 One Way Delay와 ITU-T 권고 P.863 기준에 따른 MOS를 측정하였다. 실험을 수행한 환경은 안드로이드 애플리케이션으로 전파 환경을 측정된 결과 아래 그림 7과 같이 WiFi 간섭이 발생할 수 있는 환경이었다. 실험을 수행할 때 사용한 IEEE802.15.4 주파수 대역은 19번 채널(2.445GHz)로 WiFi 주파수 채널 7번과 8번 사이에 위치한다.

MC-VBS는 중앙에 고정되어 움직이지 않았으며

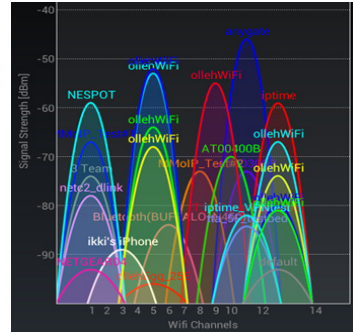


그림 7. 실험 수행 환경  
Fig. 7. The Test Environment

MC-VBS와 Mobile Device는 약 1m 반경을 유지하였다. 사용자수를 1명부터 12명까지 증가시키며 양방향으로 실험을 하였다. 음성품질 측정 구성도는 그림 8과 같다.

실험 결과 아래 그림 9에서 볼 수 있듯이 1초당 패킷 개수는 사용자가 증가할수록 Linear하게 증가함을 확인하였다. 또한 아래 그림 10과 같이 One Way

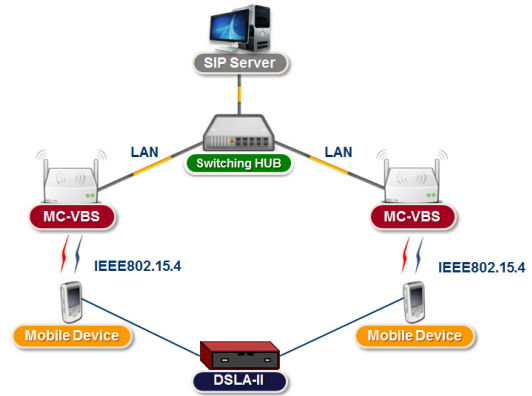


그림 8. 음성품질 측정 구성도  
Fig. 8. Voice Quality Test Diagram

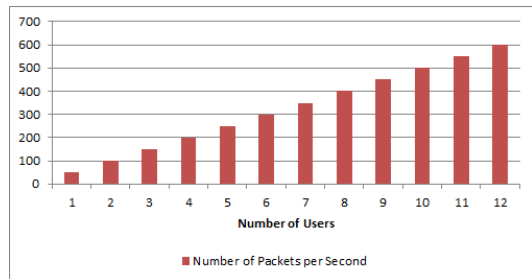


그림 9. 사용자수에 따른 초당 패킷수  
Fig. 9. Number of Packets per Second according to Number of Users

Delay도 사용자가 증가할수록 점점 증가함을 확인하였다. 음성 품질은 크게 나쁘지 않다고 판단되지만 Delay가 커서 통화하는데 약간의 불편함이 있었다.

기본적으로 95ms 정도의 One Way Delay가 있고 사용자가 증가할수록 프로세싱 보드와 SIP Server에서 처리해야 하는 패킷의 개수가 늘어나 One Way Delay가 점점 커진 것으로 판단된다. 이러한 Delay를 줄이기 위해서는 세션을 맺고 끊는 것과 같은 세션 관리를 위한 데이터만 SIP 서버를 거치고 음성 데이터는 SIP 서버를 거치지 않고 직접 상대 Base Station으로 전송하면 된다. 그림 11은 그림 10과 실험 환경이 동일한 상태에서 음성 데이터만 직접 다른 Base Station으로 전송한 실험 결과이다. 음성 데이터가 SIP 서버를 거치지 않아 예상했던 것과 같이 One Way Delay가 전체적으로 35ms 정도 줄은 것을 확인할 수 있다.

현재 시스템에서는 Jitter 관리를 SIP 서버가 하기 때문에 SIP 서버를 거치지 않으면 Jitter를 보정하지 못해 음질이 나빠진다. 따라서 음성 데이터를 직접 상

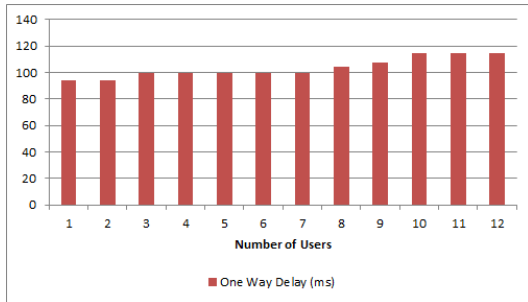


그림 10. 사용자수에 따른 One Way Delay (Proposed System)  
Fig. 10. One Way Delay according to Number of Users (Proposed System)

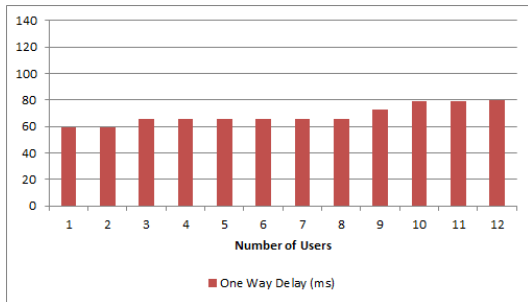


그림 11. 사용자수에 따른 One Way Delay (추가 실험 결과)  
Fig. 11. One Way Delay according to Number of Users (Additional experimental Result)

대 Base Station으로 전송하는 방법을 사용하기 위해서는 Jitter 보정을 위한 시스템이 Base Station에 추가되어야 할 것이다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 기존의 센서 네트워크 기반의 음성 통신을 위한 Base Station의 하드웨어 설계를 개선하여 다수 사용자간 1:1 Full-Duplex 음성통신을 위한 시스템을 설계하고 구현하였다. 본 시스템을 구현하기 위하여 기존의 IEEE802.15.4 PHY 기반의 TDMA/TDD MAC 프로토콜을 사용하였고, 프로세싱 보드, 코디네이터 보드, RF 보드를 구현하여 최대 48대의 Mobile Device를 지원할 수 있게 하였다. 설계한 시스템의 성능을 검증하기 위하여 사용자수에 따른 초당 패킷 개수와 One Way Delay를 측정하여 VoSN의 성능을 평가하였다.

본 논문에서 제안한 시스템을 사용하면 소규모, 단거리 음성 통신뿐만 아니라 대규모 장거리 음성통신을 적은 비용으로 구현할 수 있을 것이다. 또한, 이 시스템을 응용하여 음성 통신뿐만 아니라 데이터 통신을 통해 제품 정보를 제공해 주는 단말기로 응용할 수 있을 것이다.

#### References

- [1] IEEE, Part 15.4: “Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specification for low-rate wireless personal area networks (LR-WPANS),” *IEEE Standard 802.15.4a*. 2003.
- [2] Zigbee Alliance, *ZigBee/IEEE802.15.4 summary*, Retrieved Sep. 10, 2004. from <http://www.zigbee.org>.
- [3] R. Mangharam, A. Rowe, R. Rajkumar, and R. Suzuki, “Voice over sensor networks,” in *Proc. IEEE Int'l Symp. In Real-Time Syst. (RTSS'06)*, pp. 291-302, Rio de Janeiro, Brasil, Dec. 2006.
- [4] R.L. Hu, J.R. Yin, X.J. Gu, X.P. Gu, and L.Q. Chen, “The research and design on TDD voice WSN,” in *Proc. Int'l Conf. Multimedia Technol. (ICMT)*, pp. 1-4, Ningbo, China, Oct. 2010.
- [5] S.W. Jung, J.H. Lee, J.H. Yoo, and S.H. Cho, “A study on the MAC for voice communication

based sensor network,” in *Proc. KICS Conf.*, pp. 33-35, Seoul, Korea, Nov. 2011.

- [6] H.J. Lee, J.H. Lee, and S.H. Cho, “A process design for transferring voice data between voice communication based sensor network and session initiation protocol(SIP),” in *Proc. KICS Conf.*, pp. 349-350, Jeju Island, Korea, Jun. 2012
- [7] S.W. Jung, H.J. Lee, J.H. Lee, and S.H. Cho, “Interworking of voice over sensor Network (VoSN) using the TDMA/TDD MAC and VoIP Based SIP,” in *Proc. IEEE IC-NIDC*, pp. 97-101, Beijing, China, Sept. 2012.
- [8] S.D. Lee, S.W. Jung, J.H. Lee and S.H. Cho, “A Design of the HLR/VLR system for Voice Communication Based VoSN System,” in *Proc. KICS Conf.*, pp. 1002-1003, Jeju Island, Korea, Jun. 2012.

**이 훈 재 (Hoon Jae Lee)**



2012년 2월 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 졸업  
2012년 3월~현재 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석사과정  
<관심분야> WPAN, IoT

**이 재 형 (Jae Hyung Lee)**



1989년 2월 : 인하대학교 전자공학과 학사  
1994년 2월 : 한양대학교 전자공학과 석사  
2010년 8월~현재 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> 무선통신, USN, IoT

**강 민 수 (Min Soo Kang)**



2006년 10월~2008년 9월 : 한양사이버대학교 정보통신공학과 교수  
2009년 6월~2012년 7월 : 한국거래소  
2009년 3월~2013년 2월 : 한국산업기술평가관리원 RFID/USN PD

2013년 3월~현재 : 을지대학교 의료IT마케팅학과 교수  
<관심분야> RFID, USN

**조 성 호 (Sung Ho Cho)**



1982년 2월 : 한양대학교 전자공학과 학사  
1984년 12월 : University of Iowa 컴퓨터공학과 석사  
1989년 8월 : University of Utah 컴퓨터공학과 박사  
1989년 8월~1992년 8월 : 한국

전자통신연구원(ETRI) 선임연구원  
1992년 3월~현재 : 한양대학교 융합전자공학부 교수  
<관심분야> 무선통신, UWB, RFID, WSN, DSP/FPGA Application