

Push-To-Talk 재난 서비스 환경에서 전송 지연 최소화를 위한 고속 데이터 복사 및 키 성능 지표 개선 방안

채용두*, 최윤호*, 정우석*, 남백산*, 김주엽^o

Methods of High-speed Data Copy and Key Performance Indicator Enhancement for Minimizing the Transfer Delay in the Public Safety Push-To-Talk Service

Yongdoo Chae*, Youknow Choi*, Wooseok Jeong*, Baeksan Nam*, Juyeop Kim^o

요약

유무선 통신 기술 및 Internet Protocol (IP) 기술의 발전 및 보편화에 따라 최근 다양한 데이터 서비스가 등장하게 되었다. 이에 따라 1:1 데이터 전송을 주된 형태로 하는 전통적인 서비스와는 다르게, 1:N 데이터 전송을 활용하는 다양한 서비스가 등장하고 있으며, 이 서비스들은 1:N 전송의 효율성 및 성능 향상을 요구하고 있다. 특히 최근 많은 관심을 받고 있는 국가재난안전통신망에서 가장 중요한 서비스인 Push-To-Talk (PTT) 서비스의 경우 서비스 서버가 다수의 그룹 수신자에게 동일한 음성 데이터를 실시간 및 최소 지연 시간으로 전달해야 한다. 본 논문에서는 이런 서비스 요구 경향에 따라, 동일 데이터를 다수의 수신자에게 전달하기 위한 효율을 높이는 방법을 제시한다. 또한, 실제 유무선 통신망이 구축된 필드 환경에서 1:N 전송 성능을 어느 정도까지 높일 수 있는지 그 가능성에 대해 PTT 서비스 핵심 성능 지표 관점에서 분석해보고자 한다.

Key Words : Push-To-Talk, Public Safety, Data Copy, Transfer Delay

ABSTRACT

A part from the typical data services based on 1:1 data communications, various new services based on 1:N communications have recently appeared. These services are becoming to require advanced 1:N communication schemes which can transfer the same data to many receivers efficiently and in high-performance. Especially, a Push-To-Talk (PTT) service, which is an important service in public safety communication system, requires a service server to disseminate the same voice media data to multiple receivers in a group in real-time and low latency. In this paper, we propose an efficient scheme to disseminate the same data to multiple receivers in low latency. In addition, we provide an analysis which gives a guide the performance of the 1:N communications in practical wired/wireless system environments in the perspective of the PTT service index.

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [B0101-16-1361, 국가 공공안전서비스를 위한 LTE기반 재난통신 시스템·달말 개발]

♦ First Author : Cybertel Bridge, alex@everytalk.co.kr, 정희원

o Corresponding Author : Korea Railroad Research Institute, Signaling&Communications Research Team, jykim00@krii.re.kr, 정희원

* Cybertel Bridge, {(wsjcy, you.know, bsnam)}@everytalk.co.kr, 정희원

논문번호 : KICS2016-08-195, Received August 11, 2016; Revised October 14, 2016; Accepted October 14, 2016

I. 서 론

지난 수십 년간, 유무선 통신 기술이 비약적으로 발전함에 따라, 데이터 전송을 기반으로 한 다양한 서비스가 지속적으로 등장하게 되었다. 개별 음성통화, 웹 브라우징, Social Network Services(SNS), 채팅 등 지금까지 대부분의 주요 서비스들은 전형적으로 1:1 형태의 데이터 전송을 기반으로 제공되어 왔다. 그러나 최근에는 사업용 광고, 공공기관의 실시간 공지, 실시간 공유 멀티미디어 전송 등 1:1 형태가 아닌 1:다수 형태의 서비스가 많이 등장하게 되었다. 특히 최근 LTE를 기반으로 시범 구축 사업이 진행된 국가재난 안전망의 Push-To-Talk(PTT) 서비스에서는 전송 지연 시간을 Key Performance Indicator(KPI) 로 정하고 성능 지표를 엄격하게 정의하고 있어, 이에 따라 다량의 그룹에게 보낼 음성 미디어 데이터를 빠르게 전달하는 기술이 반드시 필요하다. 이런 서비스 환경의 변화로 인해 네트워크 및 서비스 서버 관점에서는 동일한 데이터를 수백 ~ 수십만 명에게 실시간으로 전달하는 일을 효율적으로 수행하기 위한 기술의 필요성이 높아지게 되었다.

동일 데이터를 다수의 수신자에게 전달하기 위해서는 서버 관점에서 보다 빠른 데이터의 복사를 수행해야 한다. 특히, 실시간으로 음성 및 영상데이터를 전송해야 하는 PTT 환경에서 그룹 수신자들의 수신 품질을 보장하기 위해서는 고속 데이터 복사가 필수 기술이 된다. 하나의 데이터를 복사하는 방식을 개선하여 데이터 전송 지연을 줄일 수 있는 방법이 있지만, 이를 실현하기 위해서는 CPU가 고속 데이터 복제를 할 수 있는 하드웨어 개발이 필요한 상황이다. 이러한 문제점을 해소하고자 데이터를 복사하여 동시에 전송시킬 수 있는 방법에 대한 연구가 이루어지고 있으며, 디지털신호처리장치를 추가적으로 구현하는 방법 등이 그 대안으로 연구가 되고 있다. 하지만, 유무선 통신 기반에서 서비스를 제공하는 방식으로 동일 데이터를 여러 집단에 실시간으로 전달하고자 하는 서버 기반 데이터 고속 전송 방식에는 효율성이 크게 떨어진다. 서버가 데이터를 고속으로 복사하여 실제 서비스를 받는 단말기에 전송하는 기술도 단말기의 응용 프로그램(iOS, Android)에 최적화를 하지 않으면 데이터 전송 시간을 줄이기 어려운 상황이다.

PTT 서비스의 성능 분석과 관련된 내용은 기존 연구에서 찾아볼 수 있다. ([1]-[3]) [1]와 [2]에서는 PTT 서비스를 사용하는 철도전용 통합무선망의 testbed 에서 열차에 탑승한 시나리오에서의 PTT를 비롯하여

개별통화, FTP, 영상통화 등 다양한 서비스 성능을 반복 시험을 통해 직접 측정하였다. 하지만 이는 열차 탑승과 같은 on-board 시나리오에서, 철도 노선을 따라 기지국이 구축되어 양호한 수신신호감도 환경에서의 성능에 해당되며, 정해진 진로 외 이동을 하고 산악, 지하시설 등 약전계가 많이 분포하는 재난망 시나리오와는 근본적으로 다르다. 특히 수신 그룹 내 참여자가 500명까지 될 수 있는 재난안전통신망 시나리오와는 다르게, 철도에서는 수 명에서 수십 명 수준의 수신 그룹만 형성이 되므로 서버 관점에서의 데이터 복사 성능은 크게 고려해야 할 사항이 아니다. 그리고 [3]-[8]에서는 1:N 전송을 향상시키는 다양한 통신 기법들을 요소기술 관점에서 제안하고 있다. 하지만 본 연구처럼 시스템 관점에서 1:N 전송의 성능을 측정하거나 실제 유무선 통신 환경에서의 1:N 전송 성능지표를 정의하고 성능 측정 결과를 제공하는 내용을 포함하지는 않는다.

본 논문에서는 PTT 서비스를 제공함에 있어서, 서버 단에서의 데이터 고속복사 기법을 제안하고 서비스 종단의 Android 기반 단말에 탑재되는 PTT application 에서의 데이터 전송지연을 최소화 하는 구현 방법을 제안한다. 별도의 하드웨어 없이 소프트웨어 기반의 제안 기법을 활용하면, 복사하고자 하는 데이터를 CPU 연산 처리기에서 한 번의 instruction fetch cycle로 무한대 데이터 크기의 (수십 메가 바이트 이상)데이터 블록을 동시에 복사할 수 있게 된다. 이와 더불어, 제안 방법을 실제 PTT solution에 적용하였을 때의 성능에 대한 실측 데이터를 제공하여 실제 환경에서 실시간 데이터 전송이 어느 정도의 성능을 가질 수 있는지 알아보하고자 한다.

2장에서는 데이터 고속 복사 방식의 데이터 전송 방법 및 application 단에서 수행할 기능을 제안한다. 3장에서는 PTT 서비스를 Android 기반의 단말에서 구현하는 application에서 단말 단에서 효율적으로 전송시간을 최소화 할 수 있는 방법과 관련 실측 데이터를 제시한다. 그리고 4장에서는 실제 환경에서 제안 기법을 활용하였을 때 PTT의 성능 실측 데이터를 제공한다.

II. 동일 데이터의 Bulk 단위 복제 가상 기법

PTT 서비스에서 음성 또는 영상과 같은 화자 데이터를 그룹에 속해 있는 모든 사용자에게 실시간으로 동시에 전송하고자 할 때, 화자(발언권자)의 음성 또는 영상 데이터를 그룹에 속해 있는 모든 사용자에게

복사하여 전송하는 것이 필요하다. 이러한 발언권자의 음성 및 영상 또는 멀티미디어(사진, 문자, 동영상 등) 전송 시, 동일 그룹에 속해 있는 사용자가 많아지면 각각의 데이터 복사에 소요되는 시간이 축적되어 눈에 띄는 수준의 처리속도 지연이 발생하게 된다. 이로 인해 수신측 단말기에 데이터가 늦게 도달하면, 발언권자의 음성 및 화상데이터의 데이터 송출이 지연되므로 실시간적 의미(100msec 이상 지연 요소 발생)를 잃게 된다. 뿐만 아니라 시간차가 있는 멀티미디어 수신으로 인해 멀티미디어의 왜곡 현상도 발생하게 된다. 가령, 발언권자가 “아”라고 말을 하게 되면 수신단말기에서는 각 단말기의 지연시간에 의해 “아, 아”와 같이 하울링이 울리는 것처럼 음성이 들리게 된다.

2.1 일반적인 데이터 처리 흐름도

기존 데이터 복사 개념은 그림 1과 같은 복사 방식을 이용하고 있다. CPU가 하나의 처리명령어(instruction fetch cycle)에 사용되는 머신 명령어(어셈블리 명령어)와 상위 개념의 C/C++ 언어에서 처리하고자 하는 복사 명령어인 A=B: 또는 Copy등을 통해 일정 사이즈 이상의 복사를 수행할 때, 실제 연산 처리 과정에서 많은 First input First output (FIFO) stack과 레지스터를 사용하게 된다. 여기서 FIFO, macro cell, 연산처리를 최소화시켜야 고속의 복사 처리가 가능하다.

위의 그림과 같이 복사 처리를 하는 경우 소요되는 시간은 복사 대상 수에 비례한다. 예를 들어 64개의 복사 수신 장치가 존재하면 결국 (복사 시간)*64만큼의 지연시간이 필요하다. 특히 재난상황이나 긴급한 상황에서는 수백 명 수준의 경찰 및 소방대원이 그룹을 이루어 그룹통화를 하는 경우가 발생하며, 이때 늘어난 복사처리에서의 지연시간으로 인해 실시간 데이터 전송이 어려울 수 있다.

C 언어로 작성된 코드를 어셈블리 언어로 변환하여 살펴보면, 1개의 복사 블록을 복사하려고 할 때 많

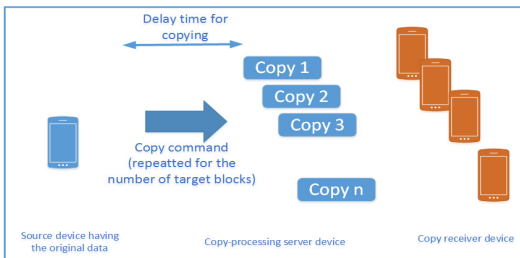


그림 1. 일반 데이터 복사 방식 예시
Fig. 1. A general example of a data copy scheme

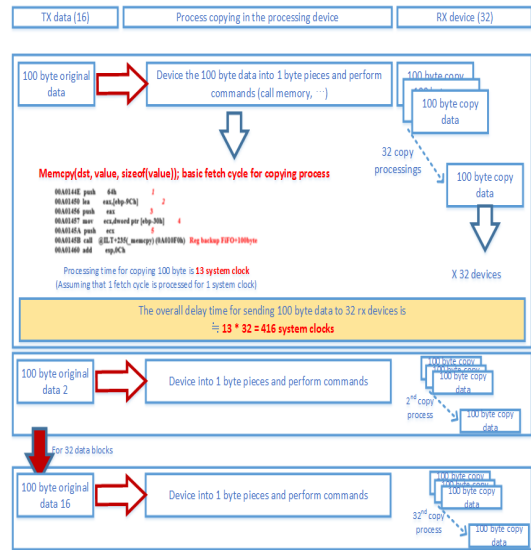


그림 2. 일반 데이터 복사 처리 흐름도
Fig. 2. Flowchart for a general data copy process

은 처리명령어를 수행하여야만 복사가 완결된다. 이러한 방법을 사용하게 되면, 보내야 할 데이터의 용량이 크거나, 응급상황 전달을 위해 전파되는 메시지와 같이 전달 지연 시간을 최소화해야 하는 경우에는 적합하지 않다. 예를 들면, 100byte 원본 블록 16개를 전송해야 한다면, 해당 원본 블록 데이터를 복사할 경우 내부 처리 흐름도는 그림 2와 같다. 이러한 방식으로 100byte의 블록 16개를 전송하게 되면 system clock 관점에서 최소 6,656 수행시간이 소요될 것으로 계산된다.

2.2 가상 데이터 복사 개념

복사 원본데이터를 다수의 전송장치에게 보내고자 할 때, 해당 원본을 그림 2와 같이 직접 복사하는 게 아니라, 그림 3처럼 가상복사 어드레싱기법을 이용하여 원본데이터를 인지하고 있는 어드레스를 기록하여 관리할 수 있다. 원본 데이터 복사는 4byte 크기의 “virtual copy control bit block” 내의 32개 bit 배열에서 위치해 있는 bit의 설정으로 대체한다. 즉, virtual copy control bit block내 특정 bit가 “1”로 지정이 되어 있으면 해당 블록은 가상적으로 복사된 것으로 처리한다. 이로 인해 4byte 크기의 bit 설정 처리로 32개의 전송 데이터 블록이 일괄 복사 처리가 될 수 있으므로, 복사에 소요되는 시간은 move “virtual copy control bit block”, 0xFFFFFFFF의 수행시간인 system clock 1개가 된다.

기존 복사 방식 기반으로 100 byte 데이터 블록을

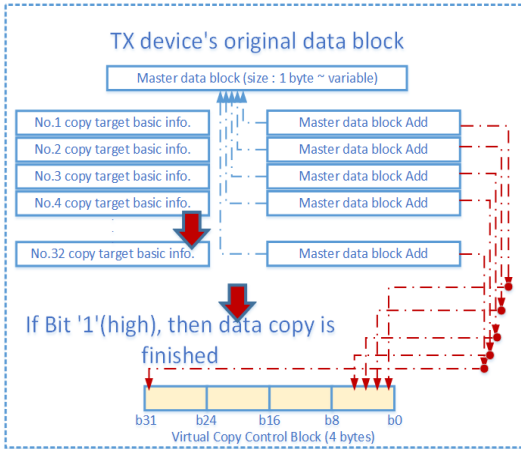


그림 3. 가상 복제 제어 비트 블록
Fig. 3. Virtual copy control bit block

32개 수신 장치에 보내는 경우와 비교하면, 본 기술은 최소 1/6000의 소요시간으로 가상적인 복사 처리를 할 수 있다. 이로 인해 수신 장치가 수천, 수만 대가 된다하더라도 수 msec내에 데이터를 복사하여 전송할 수 있게 된다. 제안 기법을 활용하면 다양한 일괄 처리 서비스 분야 (SMS 일괄공지, 음성 일괄 공지, 사진 일괄 공지 동영상 일괄공지 등)에 적용되어 복사에 소요되는 처리 지연요소를 최소화 할 수 있다. 특히 PTT 서비스와 같이 수백~수십만의 대상에게 송출데이터가 실시간으로 연속적으로 전송해야 할 경우 제안한 가상적 복사 방법을 통해 보다 효율적인 서버 프로그램을 작성 할 수 있다.

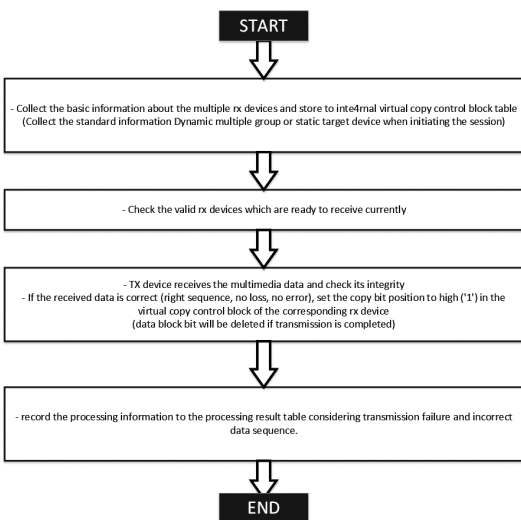


그림 4. 제안하는 서비스 구성 프로세스의 흐름도
Fig. 4. Flowchart of the proposed service process

전체 과정은 그림 4에 나타나있다. 복사 대상 기본 정보수집 및 virtual copy control block table 에 정보를 저장한 이후에, 송신단말에서부터 수신되어 오는 전송되는 데이터를 등록된 복수의 전송 장치에 가상적인 복사방법을 사용하여 전송을 하게 된다.

III. PTT 단말 최적화

PTT 서비스에서 가장 민감한 성능 지표인 전송 지연 시간을 향상시킬 수 있는 방법으로 단말기 응용프로그램의 최적화가 있다. 일반적으로 사용되는 Audiotrack을 이용하는 방법과 OpenSSL 을 이용하는 방법이 있으며, OpenSSL 과 Audiotrack 은 아래와 같은 차이점을 가진다.

3.1 Aduiotrack 이용

안드로이드 framework 를 이용하여 동작하기 때문에 단말에서 설정한 min buffer 크기에 따라 처리 지연이 필연적으로 발생하게 된다.

3.2 OpenSSL 이용

안드로이드에서 제공하는 NDK로 Framework를 거치지 않고 직접적으로 low level access 가 가능하게 되어 단말 설정과 관련 없이 원하는 사이즈의 buffer를 바로 얻어 올 수 있기 때문에 지연을 현저하게 줄일 수 있다.

이런 차이점으로 인해 본 연구에서는 OpenSSL을 이용하는 방법을 활용하였다. 그렇게 되면 그림 5에 나타난 것처럼 application framework 부분을 이용하지 않고 low level 접근이 가능하게 된다. OpenSSL을 활용하게 되면 실제 PTT application 단에서의 튜닝을 위한 노력이 필요하게 되지만 지연시간의 개선을 효과적으로 이룰 수 있다.

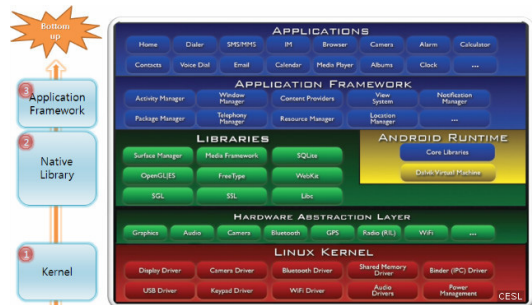


그림 5. 안드로이드 framework 구조
Fig. 5. Android framework structure

IV. KPI 기반 PTT 성능 분석

4.1 MCPTT KPI 기반 측정 지표 정의

제안한 가상 복제 방식의 효율성 증명을 위하여 국제 규격 상에 명시된, PTT 서비스 관점에서의 주요 지표를 측정하였다. 3GPP에서 규정하는 Mission Critical Push To Talk (MCPTT)의 KPI는 표 1과 같다. [9-10]

이중에서 가장 중요한 성능 지표는 KPI 1과 KPI 3이다. KPI 1은 발언권 전환 시간에 해당되는 것으로, 그림 6의 발언권 제어 흐름도 상에서 단말이 PTT key 획득을 위한 메시지를 보낸 시점부터 key 응답 메시지를 수신한 뒤 첫 RTP 패킷이 전송될 때까지 시간이 해당된다. KPI3은 발언 시점부터 상대방이 들릴 때까

표 1. 3GPP MCPTT 규격 내 정의된 KPI
Table 1. KPI definition in 3GPP MCPTT

	Meaning	Value
KPI 1	MCPTT Access time	<300 ms
KPI 2	End-to-end MCPTT Access time	<1000 ms
KPI 3	Mouth-to-ear latency	<300 ms
KPI 4a	Maximum Late call entry time (Without encryption)	<150 ms
KPI 4b	Maximum Late call entry time (with encryption)	<350 ms

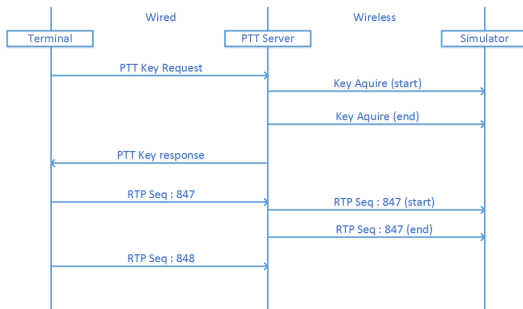


그림 6. 발언권 제어 흐름도
Fig. 6. Message flow chart for floor control

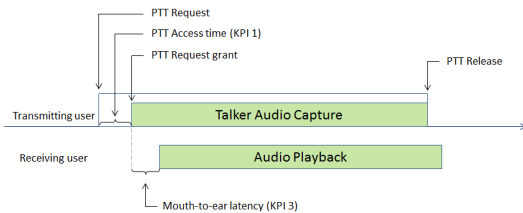


그림 7. 시간축 상에서의 KPI
Fig. 7. Time-domain flow chart for floor control

지 걸리는 시간에 해당되는 것으로, 그림 6에서 RTP 패킷이 상대방에게 전달되는 시간과 송신 단말이 캡처한 음성을 처리하는 시간, 그리고 수신 단말이 audio playback을 처리하는 시간이 포함된다. 그림 7은 KPI 1 및 KPI 3을 시간 축 타이밍 관점에서 도식화 한 것이다.

4.2 PTT 시험 환경

그림 8의 전체 시험 구성도 및 그림 9의 장비를 활용하여, 단말기는 무선망, 가상 프로그램 PC는 유선망을 통해 PTT 서버와 연결된다. 극단적인 환경에서의 시스템 성능 측정을 실현하기 위해서 가상 프로그램을 활용하였다. 물리적인 단말의 수량이 한계가 존재하므로, 가상 프로그램과 물리적 단말을 498:2 비율로 혼용하여 500명 접속 user가 존재하는 환경을 구성하였다. 이 접속 user들을 하나의 PTT 그룹으로 구성하고, PTT 발언권 전환 동작을 수행하면서 다양한 지표를 측정하였다. 세부 시험 절차는 아래와 같다.

- a. PTT 그룹에 세션을 연결하고, Network Analyzer 연결

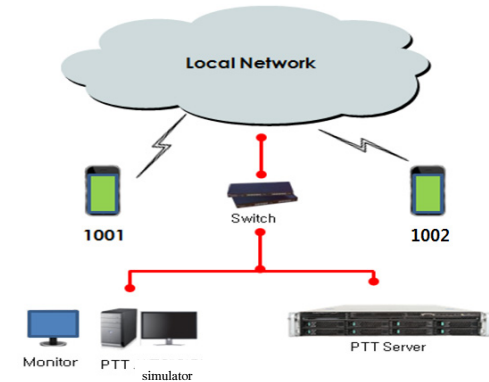
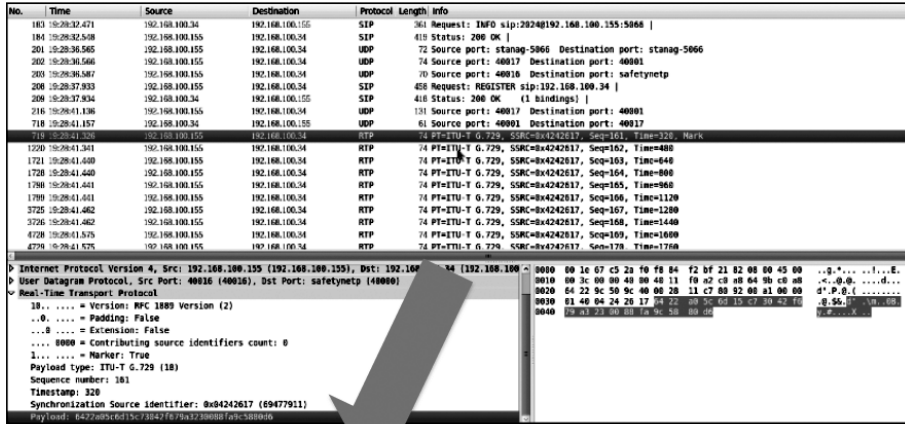


그림 8. PTT 시험망 구성도
Fig. 8. The network architecture for the PTT test



그림 9. PTT 시험 장비 구성
Fig. 9. The test devices for the PTT test



No	Time	Protocol	Status
216	19:28:41.136	UDP	PTT key acquire
718	19:28:41.157	UDP	PTT key response
719	19:28:41.326	RTP	first RTP tx

그림 10. 발언권 전환 시간 측정 결과
 Fig. 10. Performance result of KPI 1

- b. 송신 단말에서 발언권을 얻기 위한 PTT key를 누르고 음성전달
- c. PTT server에서 TCPDUMP 로그 획득
- d. 가상 프로그램 PC에서 TCPDUMP 로그 획득

4.3 발언권 전환 지연시간

발언권 전환 시간은 PTT server 상에서의 TCPDUMP를 통해 추정하였다. 즉 PTT key 획득을 위한 메시지 수신 시점부터 첫 번째 RTP 패킷이 들어 올 때까지 걸리는 시간을 측정하였다. 시험 결과는 그림 10 및 11과 같이, 기존 데이터 복사 기법의 경우 평균 277ms 가량 소요되는 반면, 제안 기법을 활용하면 평균 190ms 수준이 되는 것으로 나타났다. 제안

기법을 활용하면 3GPP에서 요구하는 기준인 300ms 보다 110ms 가량 낮으며, 이 차이는 곧 무선망에서의 다양한 요인에 의해 확률적으로 발생할 수 있는 지연에 대한 충분한 margin이 된다. 즉 실제 PTT를 활용하는 다양한 시나리오에서 열악한 무선 환경이나 망 상태, 코어망과 기지국 간 물리적인 거리 등으로 인해 지연이 추가적으로 발생하여도 그 지연시간이 110ms 보다 작 으면 margin에 의해 300ms 기준을 여전히 만족시킬 수 있게 된다.

특히, PTT 서버에서는 500개의 수신 단말에 대한 key 획득 메시지를 모두 보낸 뒤에 PTT key 응답 메시지를 보내게 되며, 이때 걸리는 시간은 약 19ms이다. 이는 제안 기법인 가상 데이터 복사 동작으로 인한 결과라 볼 수 있다. 또한 제안 기법으로 인해 이 결과는 사용자 수가 더 늘어나도 크게 차이가 없을 것으로 예상된다.

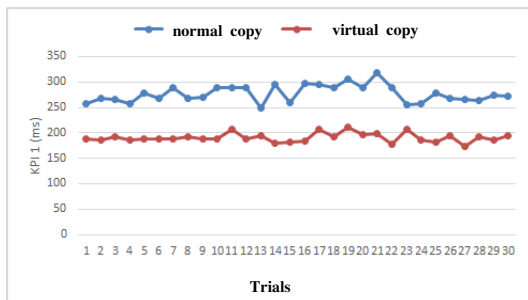


그림 11. 데이터 복제 기법에 따른 KPI 1 측정 결과
 Fig. 11. KPI1 measurement result for various data copy schemes

4.4 PTT 음성 품질

상기 KPI 중 음성통화 품질과 관련된 KPI는 KPI 3에 해당된다. KPI 3 값의 정의는 송신측 단말에서 발언자의 음성을 캡처하여 전송한 패킷이 수신측 단말에 도착하여 리시버 또는 스피커로 출력될 때까지의 소요 시간이다. 이는 곧, 발언이 수신자에게 들릴 때까지 걸리는 시간에 해당된다. 이는 모든 음성통화에 대해 95% 분포로 300ms 이하가 되도록 규정되고

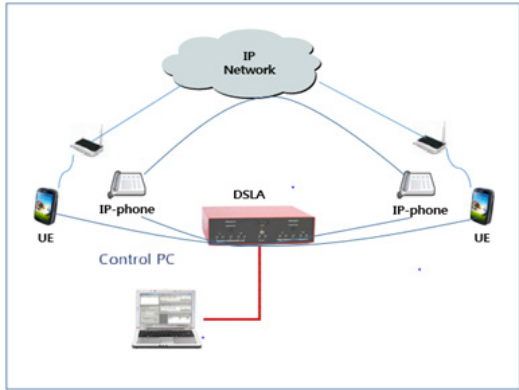


그림 12. MOS 측정을 위한 시스템 구성도
Fig. 12. System architecture for MOS measurement

있다. 또 다른 음성통화 품질과 관련된 지표로, 상용망에서 주로 활용되는 Mean Opinion Score (MOS)가 있다. MOS는 본래의 발원 음성과 수신 음성의 차이를 분석하여 0-5점 사이의 숫자로 점수화 한 지표로, 수신 음성이 본래의 음성 대비 왜곡의 정도를 숫자로 환산한 개념이다.

여기서는 동일데이터 가상 복제 방식과 OpenSL 방식을 모두 적용하여 KPI 3 값과 함께 MOS 값을 측정을 하였다. 그 결과는 그림 13과 같으며, KPI 3 관점에서는 제안 방식인 OpenSL은 평균적으로 120ms

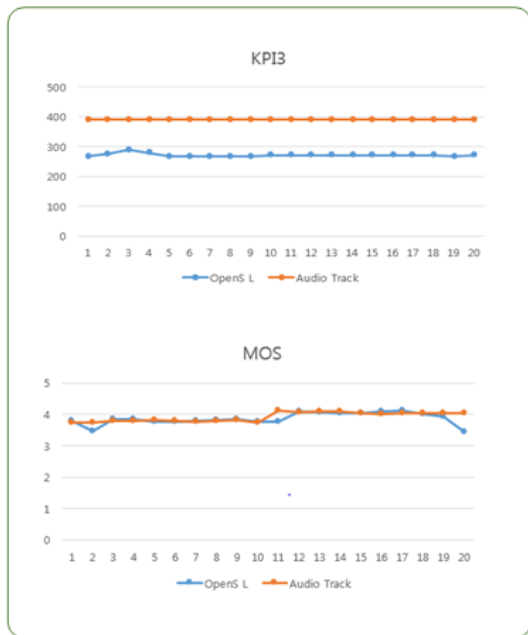


그림 13. PTT 음성 품질 결과
Fig. 13. Performance result of the PTT voice quality

수준의 개선효과를 가져오는 것을 확인하였다. 반면 MOS 측정값은 제안 방식인 OpenSL을 이용할 때 기존 방식인 Audio Track의 측정값인 평균 3.8~3.9과 거의 동일하게 나오는 것을 확인 할 수 있었다. 이 결과는 제안 방식인 OpenSL의 활용은 추가적인 음성 품질의 왜곡을 일으키지 않으면서 3GPP에서 요구하는 성능지표를 개선 효과를 가져오는 것을 의미한다.

V. 결론

본 논문에서는 국가재난안전통신망에서 중요한 서비스인 PTT 시나리오에서 1:N 데이터 전송에 대한 성능 향상을 위해 다양한 기법을 제시하였다. 재난망 시나리오에서 500명 수준의 수신자 그룹에 대한 지원을 위해서, 서버에서의 효율적인 데이터 복사 기법을 제안함으로써 서버단에서의 지연을 최소화하는데 기여하였다. 또한 단말 단에서의 OpenSL 방식을 제안하여 3GPP에서 규정하는 MCPTT의 주요 지표인 KPI 3 지표를 개선하면서 음성 품질 지표인 MOS를 기존 기법과 동일한 수준이 되는데 기여하였다. 그리고 이러한 제안 기법을 포함하여, 실제 유무선 통신망 환경에서 PTT 성능이 어느 정도가 되는지를 파악하기 위해서, 3GPP에서 제시하는 MCPTT 성능 지표를 기반으로 실측을 한 결과, 제안 기법을 포함한 PTT 시스템이 다양한 재난망 시나리오에서 국제 규격적인 기준을 충분히 만족시킬 수 있는 가능성을 볼 수 있었다. 특히 OpenSL 기반의 제안 기법이 100ms 가량의 지연 절감 효과를 가져올 수 있었으며, 데이터 복사 관련 제안 기법을 통해 500명의 수신자가 존재하는 환경에서도 20ms 내에 데이터 복사 및 전송이 서버 단에서 이루어지는 것을 확인할 수 있었다.

References

- [1] Y.-S. Song, J. Kim, S. W. Choi, and Y.-K. Kim, "Long term evolution for wireless railway communications: Test-bed deployment and performance evaluation," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, no. 2, pp. 138-145, Feb. 2016.
- [2] J. Kim, S. W. Choi, Y.-S. Song, Y.-K. Yoon, and Y. K. Kim, "Automatic train control over LTE: Design and performance evaluation," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 10, pp. 102-109, Oct. 2015.
- [3] J. Kim, S. W. Choi, Y.-S. Song, and Y.-K.

Kim, "Group communication over LTE: A radio access perspective," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, no. 4, pp. 16-23, Apr. 2016.

[4] T. Ho, M. Medard, R. Koetter, D. R. Karger, et al., "A random linear network coding approach to multicast," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 52, no. 10, pp. 4413-4430, Oct. 2006.

[5] M. Castro, P. Druschel, A. -M. Kermarrec, and A. I. T. Rowstron, "Scribe: a large-scale and decentralized application-level multicast infrastructure," *IEEE J. Sel. Area in Commun. (JSAC)*, vol. 20, no. 8, pp. 1489-1499, Oct. 2000.

[6] Y. Jeong and B. Kim, "Performance evaluation of common feedback channels for multicast transmission and optimization of system parameter," *J. KICS*, vol. 34, no. 5, pp. 489-497, May 2005.

[7] J. Nam, M. Kang, J. Jeon, and S. Son, "Personal broadcasting system using mOBCP-based overlay multicast tree construction method," *J. KICS*, vol. 32, no. 8, pp. 539-546, Aug. 2007.

[8] D.- K. Oh and S.-W. Min, "A fast handover scheme of multicast traffics m PMIPv6," *J. KICS*, vol. 36, no. 3B, pp. 208-213, Feb. 2011.

[9] 3GPP TS. 22.179, v13.3.0, *Technical Specification Group Service and System Aspects; Mission Critical Push To Talk (MCPTT) over LTE; Stage 1*, Dec. 2015.

[10] 3GPP TS. 23.179, v13.2.0, *Technical Specification Group Service and System Aspects; Funictonal Architecture and information flows to support mission critical communication services; Stage 2*, Jun. 2016.

채 용 두 (Yongdo Chae)



1997년 3월~2002년 2월: 동국대학교 반도체학과 졸업
 2002년 3월~2004년 2월: 동국대학교 반도체학과 석사
 2004년 6월~2006년 11월: AWG 하드웨어 개발팀 선임 연구원

2012년 3월~현재: 사이버텔브릿지 하드웨어팀 책임연구원

<관심분야> RF Front End 설계, LNA(Low Noise Amplifier, MCPTT, V2X

최 윤 호 (Youknow Choi)



1980년 3월~1986년 2월: 국민대학교 전자공학과 졸업
 2001년 3월~2003년 2월: 한양대학교 경영대학원 전략벤처학과 석사

1990년 3월~1995년 3월: 일본 Central Engineering Co.,Ltd 책임 연구원

1995년 3월~1998년 7월: 삼성전자 책임 연구원

1998년 7월~2014년 7월: 삼성SDS 정보 기술 연구소 팀장

2014년 7월~현재: 사이버텔브릿지 부사장

<관심분야> 분산제어시스템, 빌딩자동제어시스템, TDMA 모뎀, IP-PTT 서비스

정 우 석 (Wooseok Jeong)



1999년 2월: 연세대학교 문학사
 2000년 11월: (주)한경피씨라인 웹마스터

2007년 1월: (주)휴노 기획팀장

2013년 2월: 한국철도기술연구원 선임연구원

2014년 11월~현재: (주)사이버텔브릿지 SE 사업부 사업기획팀 차장

<관심분야> OMA 표준, LTE-R, PS-LTE, Software Defined Data Bus

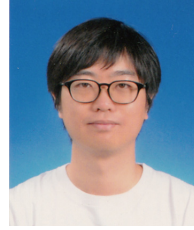
남 백 산 (Baeksan Nam)



1984년 3월~1990년 2월 : 대전
대학교 전자과 졸업
2000년 6월 : (주)사이버텔브릿지
설립
2000년 6월~현재 : (주)사이버텔
브릿지 대표이사

<관심분야> OMA표준, Diameter protocol,
MCPTT, IP-PTT합기술 연구개발

김 주 엽 (Juyeop Kim)



2000년 3월~2004년 2월 : KAIST
전기 및 전자공학과 졸업
2004년 3월~2010년 1월 : KAIST
전기 및 전자공학과 박사
2010년 3월~2011년 2월 : KAIST
Institute IT융합연구소 박사후
연구원

2011년 4월~2013년 12월 : 삼성전자 무선사업부 책
임 연구원

2014년 1월~현재 : 한국철도기술연구원 ICT융합연구
팀 선임연구원

<관심분야> 차세대 이동통신 시스템, 사물인터넷,
철도전용 통합무선망, SW 공학, ICT융합기술 연
구개발