

LTE 이동통신 시스템에서 QoS 변화에 따른 VoIP 서비스의 사용자 체감 품질 변화에 대한 연구

김범준*

Study on QoE of the VoIP Service for QoS levels over LTE Mobile Communication System

Beom-Joon Kim*

요 약

최근 이동통신 환경에서 음성 서비스는 VoIP 기술을 이용한 패킷 기반 서비스로 이루어지고 지는 추세에 있다. VoIP 패킷을 전송하기 위해서 필요한 전송 속도를 고려했을 때 현재 LTE 이동통신 시스템이 제공하는 전송 속도는 매우 충분하지만 무선 채널의 특성 상 단말 주변의 전송 환경의 변화나 이동성 등으로 인한 일시적인 서비스 품질의 저하가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 이와 같은 실험 환경을 구축하고 주요 전송 관련 파라미터를 변화시키면서 그에 따른 VoIP 서비스의 품질의 변화를 측정하였다. 이를 토대로 향후 VoIP 서비스 제공을 위한 네트워크 요구 사항을 수립하는 것이 가능하다.

ABSTRACT

Recently, the voice service over a mobile communication system tends to be provided based on the packet-based technology. Even though the sufficient transmission rate is supported by LTE mobile communication system, the quality of VoIP service that is experienced by the user can be degraded by the change in the transmission conditions and the terminal mobility. This paper has established an environment on which experiments are conducted for the different values of the major parameters that represent the transmission conditions. The result can contribute to the decision of the requirement that the mobile system should meet for maintaining the quality of VoIP service.

키워드

LTE Mobile Communication System, Voice Service, VoIP, Quality Of Experience (QoE)
LTE 이동 통신 시스템, 음성 서비스, VoIP, 사용자 체감 품질

1. 서 론

성공적으로 정착함에 따라서 과거 회선 기반으로 제공되던 음성 서비스는 점차 VoIP(Voice over IP) 기술을 사용한 패킷 기반 서비스로 제공되는 추세이
LTE(Long-Term Evolution) 이동통신 시스템이

* 교신저자: 계명대학교 전자공학과
• 접수일 : 2016. 02. 22
• 수정완료일 : 2016. 03. 13
• 게재확정일 : 2016. 03. 24

• Received : Feb. 22, 2016, Revised : Mar. 13, 2016, Accepted : Mar. 24, 2016
• Corresponding Author : Beom-Joon Kim
Dept. of Electronic Eng., Keimyung University,
Email : bkim@kmu.ac.kr

다. 패킷 기반 음성 서비스의 제공은 전송 효율을 높일 수 있는 반면 일정한 수준의 서비스 품질을 항상 보장할 수 없다는 문제점이 있다[1-2].

이 문제점은 IP 서비스의 BE(Best Effort) 특성으로 인한 것이기 때문에 IP 네트워크를 통해서 서비스가 이루어지는 한 이를 근본적으로 해결하는 것은 쉽지 않다. 지금도 인터넷에서는 이로 인한 서비스 품질 저하 현상이 심심찮게 발생하고 있지만 다행히도 웹이나 파일 전송과 같은 데이터 서비스는 실시간성을 띄고 있지 않은 데이터 위주의 서비스이기 때문에 그다지 큰 문제로 여겨지고 있지는 않다.

LTE가 제공하는 무선 인터페이스의 전송 속도를 고려했을 때 앞에서 지적한 요인으로 인한 음성 서비스의 품질 저하는 미미할 것으로 여겨지지만 무선 채널의 품질은 시간에 따라서 변화가 심하기 때문에 일시적으로 사용자 체감 품질의 저하가 발생할 가능성이 있다. 실제로 우리가 다양한 어플리케이션에서 제공하는 패킷 기반의 음성 서비스를 이용하다보면 아직은 회선 기반의 음성 서비스보다 열악한 서비스 품질을 체감하는 경우가 많이 있다.

따라서 본 논문에서는 다양한 측정 장비를 동원하여 LTE 이동통신 시스템에서 VoIP 서비스가 제공되는 환경을 구축하고 패킷 손실, 전송 지연, 처리율, 지연 변이의 네 가지 주요 파라미터를 변화시키면서 그에 따른 사용자 품질의 변화를 관찰하고 분석하였다. 이 분석 결과를 통해서 LTE 이동통신 시스템에서 패킷 기반의 음성 서비스를 제공할 때 사용자 체감 품질을 일정 수준 유지하기 위한 네 파라미터 값의 기준 값을 설정하는 것이 가능하였다.

II. 서비스 품질과 사용자 체감 품질

2.1 서비스 품질과 사용자 체감 품질과의 관계

통신 네트워크를 통해서 이루어지는 서비스에 대해서 단순히 전송 속도가 아닌 실제 사용자가 느끼는 서비스 품질을 흔히 사용자 체감 품질(Quality of Experience, QoE)라고 한다[3-6]. 사용자 체감 품질은 IP 네트워크상에서 전송되는 패킷 단위로 측정되는 서비스 품질(Quality of Service : QoS)[7-8]에 사용자의 주관적인 서비스에 대한 느낌이나 경험이 추가

적으로 반영되는 상위 개념이라 할 수 있다.

지금까지 서비스 품질과 사용자 체감 품질과의 상관관계를 도출하기 위한 많은 연구가 이루어져 왔다 [3-6]. 이들 대부분은 객관적인 측정이 가능한 서비스 품질을 사용자 체감 품질을 이루는 하나의 구성 요소로 간주하고 서비스 품질을 측정함으로써 사용자 체감 품질을 추정하고자 하고 있다. 즉 객관적이고 정량적으로 측정이 가능한 서비스 품질을 통해서 사용자가 인식하는 사용자 체감 품질의 수준을 유추하고 이를 기반으로 사용자가 일정한 수준 이상의 품질을 체감할 수 있는 서비스 품질을 기준으로 네트워크 전반을 관리하는 체계를 구축하자는 것이다. 이 과정에서도 도출된 사용자 체감 품질과 서비스 품질의 일반적인 상관관계는 그림 1과 같다[3].

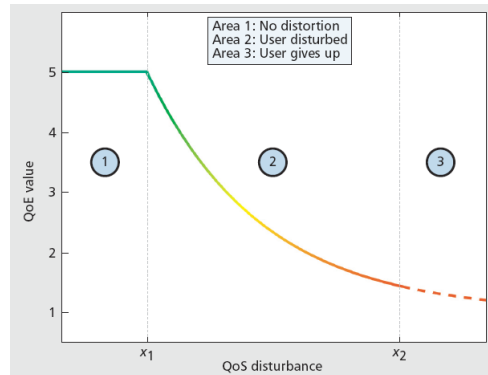


그림 1. QoE의 모형과 구성요소

Fig. 1 QoE model and component

그림 1에 나타난 QoE의 변화는 x축의 QoS의 변화에 따라서 다음과 같이 크게 세 단계로 구분될 수 있다.

- ①단계 : QoS의 저하가 QoE에 영향을 미치지 않는 단계
 - ②단계 : 어떤 임계값(X_1)를 넘어선 QoS의 저하가 직접적으로 QoE에 영향을 미쳐 QoE 역시 감소하는 단계
 - ③단계 : QoS가 두 번째 임계값(X_2)를 넘어서서 QoE는 사용자가 받아들이기 어려운 수준으로 감소하여 이 후로는 거의 변화하지 않는 단계
- 이와 같은 모델이 성립한다면 QoS를 적절하게 제어하여 QoE가 항상 ①의 영역에 머무를 수 있도록

하는 것이 이상적이라 할 수 있다.

그러나 위와 같은 관계에 의해서 네트워크를 유지 및 관리하는 것은 간단한 문제가 아니다. 특히 물리적인 매체를 통한 신호의 전송이 매우 안정되어 있는 유선 네트워크와는 달리 라디오 전파라는 무선 전송 매체를 사용하는 무선 접속 네트워크를 이용하여 서비스를 제공하는 경우 서비스 품질은 매우 많은 요인에 의해서 영향을 받을 수 있고 그 결과 사용자 체감 품질에도 영향을 미칠 것이다. 예를 들어 LTE 시스템의 경우 수십 개 이상의 무선 채널을 품질을 나타내는 품질 지표가 존재하기 때문에 모든 품질 지표들을 대상으로 그림 1에서와 같은 관계를 모니터링 하여 관리한다는 것은 거의 불가능에 가깝다.

2.2 음성 서비스의 사용자 체감 품질 측정

음성 서비스의 사용자 체감 품질을 측정하기 위한 방법으로는 PESQ(Perceptual Evaluation of Speech Quality)와 E-Model 두 가지 방법이 있다. 두 가지 방법 모두 ITU-T에 의해서 표준 권고안으로 발간되었기 때문에 상황에 따라서 두 가지 가운데 하나를 선택하여 사용하는 것이 가능하다[9].

본 논문에서는 특정 소프트웨어가 설치된 계측 장치를 이용하여 음성 서비스의 MOS를 측정하는 방식이기 때문에 시험 음성의 입력을 요구하는 PESQ는 적용하는 것이 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 E-Model 기반으로 MOS를 측정하였다.

E-Model은 인터넷과 같은 데이터 네트워크 특유의 손실, 지연 등을 고려할 수 있기 때문에 데이터 네트워크를 통한 음성 품질 평가에 적용될 수 있다. E-Model은 전체 전송과 관련한 다양한 독립적인 요소들을 각각의 파라미터로 분류하여 이들 파라미터간의 관계를 이용하여 사용자 체감 품질을 평가하게 된다. 그 결과 R 값이라고 불리는 단일 값이 산출되는데 이는 종합적인 음성 서비스의 전송 품질을 나타낸다.

R 값은 아래의 식 (1)과 같이 신호 대 잡음비를 품질의 정도라고 간주한 후 그 정도에서 음성신호, 지연, 주변장치(예: 코덱) 등이 품질에 미치는 모든 손실 요소들을 차례로 빼나가는 형태로 산출되게 된다.

$$R = R_o - I_s - I_d - I_{e-eff} + A \quad (1)$$

- R_o : 회선 잡음, 송신/수신실 내 경음, 가입자 선 잡음에 의한 주관적인 품질 저하
- I_s : OLR(Overall Loudness Rating), sidetone, 양자화 변형에 의한 주관적인 품질 저하
- I_d : 송신한 사람의 에코, 수신한 사람의 에코, 절대 지연에 의한 주관적 품질 저하
- I_{e-eff} : 저비트율 부호화, 패킷/셀 손실 등에 의한 주관적 품질 저하
- A : 모바일 통신 등의 편리성이 주관적 품질(만족도)에 끼치는 영향을 고려한 값

위 식 (1)에 의해서 산출되는 R 값은 다음 관계식 (2)에 의해 MOS로 변환되는데 특히 이 경우의 MOS를 MOS-CQE(Conversational Quality Estimated)라 한다.

$$MOS = \begin{cases} 1, & \text{for } R \leq 0 \\ 1 + 0.035R + R(R - 60) \times (100 - R)7 \times 10^{-6}, & \text{for } 0 < R < 100 \\ 4.5, & \text{for } R \geq 100. \end{cases} \quad (2)$$

III. 측정 환경

3.1 측정 환경 구축

LTE 이동통신 시스템을 통한 패킷 기반 음성 서비스의 품질 측정을 수행하기 위한 측정 환경을 다음 그림 2와 같이 상용 계측기와 에뮬레이터를 이용하여 구축하였다. 트래픽 발생기에서 발생한 VoIP 트래픽은 L2 스위치를 거쳐 무선 채널 에뮬레이터와 연결된다. 무선 채널 에뮬레이터는 무선 채널 상태의 변화를 VoIP 트래픽에 반영하기 위한 기능을 수행하며 이를 통과한 VoIP 트래픽은 다시 L2 스위치를 거쳐 측정 장치에 도달하여 최종적으로 측정 장치는 이 VoIP 트래픽에 대한 MOS 값을 측정한다. 본 측정 환경 구축에 있어 VoIP 트래픽의 발생과 MOS 값의 측정을 위한 장비로는 IXIA사의 IXChariot을 사용하였고 무선 채널 에뮬레이터로는 PacketStorm사의 Hurricane II를 사용하였다.

표 1. 측정 파라미터의 설정 및 측정 범위
Table 1. Measurement scenario for each parameters

Parameter	Measurement Range	Measurement Gap	Measurement Duration	Measurement attempts	Standard
Throughput	6800 - 5440 kbps	0.5%	5 minutes	50	64kbps (G.711)
Packet Loss Ratio	0 - 20%	0.5%	5 minutes	50	<9.9% (TTA)
Delay	0 - 200msec	5msec	5 minutes	50	<150msec (TTA)
Jitter	0 - 20msec	0.5msec	5 minutes	50	<50msec (TTA)

3.2 측정 장치 설정

측정을 위한 VoIP 트래픽은 G.711 코덱을 따른다. G.711 코덱은 PCM (: Pulse Coded Modulation)을 이용하여 64kbps의 전송 속도로 음성을 코딩하는 표준으로 기존의 유선 전화에서 사용되는 가장 기본 코덱이라고 할 수 있다. 이상적인 환경에서 네트워크에 의한 스트레스가 가해지지 않는 경우 약 4.45 정도의 MOS 값을 갖게 되는데 이는 압축을 사용하는 등의 이유로 G.711보다 낮은 전송 속도를 필요로 하는 다른 코덱들 보다 높은 값에 해당한다.

무선 채널의 에뮬레이터인 Hurricane II를 적용하기 위해서 그림 2와 같이 관련 장치들을 구성하였다. Hurricane II와 직접 연결된 노트북(Configuration PC)을 통해서 전송지연, 지연변이, 패킷손실율을 원하는 값으로 설정하는 것이 가능하다.

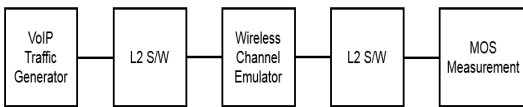


그림 2. 측정 장치의 구성
Fig. 2 Measurement devices

마지막으로 VoIP 트래픽 발생 및 MOS 측정을 위해서 IXChariot을 설정하였는데 IXChariot을 실행하여 트래픽을 발생시키는 장치와 측정하는 장치 간의 Chariot Pair를 구성하게 된다. (그림 3 참조)

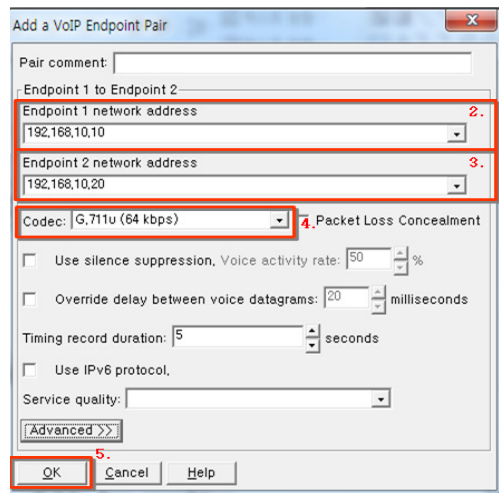


그림 3. Chariot pair의 구성
Fig. 3 Chariot pair establishment

IV. 측정 결과 및 분석

4.1 측정 시나리오

측정에 앞서 측정을 위한 파라미터 선정과 관련된 값들의 설정이 표 1과 같이 이루어졌다. 우선 무선 채널 상태의 변화는 통신 환경에 있어 다양한 영향을 미칠 수 있는데 이를 대표하기 위해서 처리율 (throughput), 패킷손실률 (packet loss rate), 전송지연 (delay), 그리고 지연변이 (jitter) 네 개의 파라미터를 선정하였다. 이들은 이와 같은 측정 기반의 실험에 있어 가장 흔하게 사용될 수 있는 대표적인 파라

미터들이다. 네 개의 파라미터들에 대해서 측정 범위, 측정 간격, 측정 시간, 측정 횟수를 설정하였다.

처리율의 경우 실제로 VoIP 트래픽이 발생하는 속도가 64kbps인 점을 감안하여 측정 범위를 6800bps부터 이보다 20% 낮은 수준인 5440bps까지 설정하였고 측정 간격은 6800bps에서 시작하여 6800bps의 0.5%씩 감소시키면서 5440bps가 될 때까지 총 40회 실시하였다. 비슷한 방법으로 패킷손실률의 경우 0%부터 20%까지 0.5%간격으로 40회, 전송지연의 경우 0부터 200msec까지 5msec간격으로 40회, 그리고 지연변이의 경우에도 0부터 20msec까지 0.5msec간격으로 40회 측정하였다.

4.2 측정 결과 및 분석

동일한 설정에 대해서 모든 측정은 50회 반복되었고 이들을 평균하여 최종 측정 결과를 얻었다. 그림 4부터 그림 7까지 각 파라미터 값의 변화에 따른 MOS 측정값의 변화를 나타내었다.

먼저 그림 4에는 처리율이 6,800bps에서 5,440bps까지 변할 때 MOS 값의 측정 결과를 보여준다. 50개의 측정값을 평균한 값과 이들 중 최대값과 최소값을 함께 나타내었다. 앞서 설명한 바와 같이 최대값은 약 4.4 정도이고 평균값과 최소값은 처리율이 떨어짐에 따라서 같이 하락하는 것을 확인할 수 있다. 본 측정에 있어서 VoIP 트래픽 발생을 위해서 적용한 G.711 코덱이 요구하는 비트 전송율은 64kbps라는 점을 생각했을 때 네트워크의 처리율이 64kbps 이상일 때 측정된 MOS는 거의 최대값을 유지하는 점을 쉽게 이해할 수 있다. 이후 처리율이 64kbps 이하로 떨어지면서 MOS 역시 점차 낮아지는 것을 볼 수 있는데 코덱화된 VoIP 데이터가 원활하게 전달되지 못하고 있음을 반영하는 것으로 생각할 수 있다. 처리율을 5440bps까지 낮추었을 때 MOS는 3.0이하의 값으로 원활한 통화가 다소 어려운 수준까지 하락하게 된다.

그림 5에는 패킷손실률에 따른 MOS의 변화를 보여준다. VoIP와 같은 실시간 서비스에서는 패킷이 손실되는 경우 재전송을 통한 복구가 의미를 가질 수 없기 때문에 그림에 나타난 바와 같이 패킷손실률은 MOS에 즉각적인 영향을 미치게 된다. 패킷손실률이 약 15%에 이르기 까지 MOS는 꾸준히 하락하다가 15%를 넘어서게 되면 MOS가 1이 되어 더 이상 낮

아지지 않는다. 실제 유무선 네트워크상의 패킷손실률은 일반적인 경우에 있어 매우 낮기 때문에 VoIP 서비스를 제공함에 있어 큰 문제가 되지 않을 것으로 예상되나 이동통신 네트워크에서는 단말의 이동이나 주변 전파환경의 변화 등으로 일시적인 문제가 발생할 가능성도 충분하다.

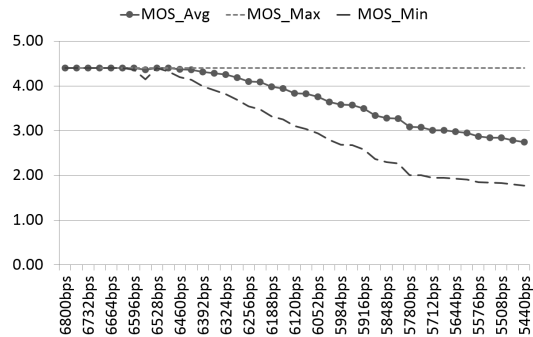


그림 4. 전송속도에 따른 MOS의 변화
Fig. 4 MOS per transmission rate

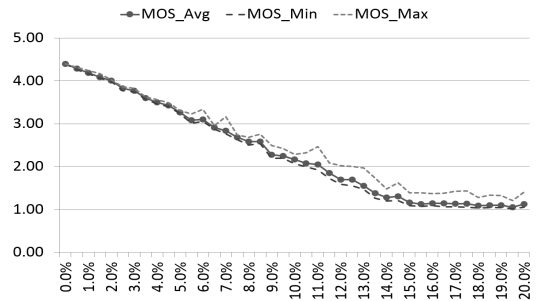


그림 5. 패킷손실률에 따른 MOS의 변화
Fig. 5 MOS per packet loss rate

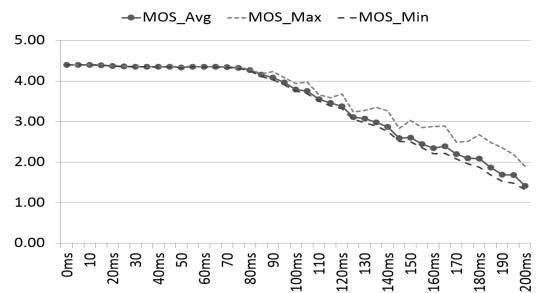


그림 6. 전송지연에 따른 MOS의 변화
Fig. 6 MOS per transmission delay

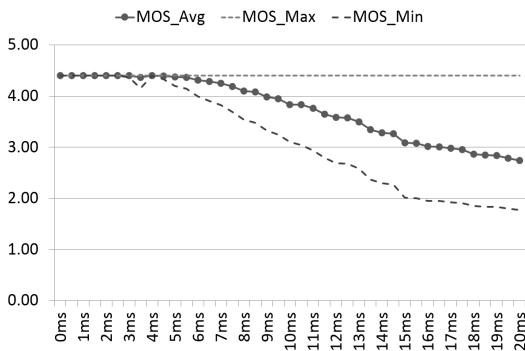


그림 7. 지연변이에 따른 MOS의 변화

Fig. 7 MOS per jitter

그림 6과 그림 7은 전송지연과 지연변이에 따른 MOS의 변화를 보여준다. 앞의 패킷손실에 의한 MOS의 변화와는 다소 다르게 전송지연과 지연변이의 증가는 즉각적인 MOS의 하락으로 연결되지는 않는다. 즉, 어느 정도의 전송지연과 지연변이의 증가는 감당할 수 있다는 의미가 되는데 이는 인체에서 인식할 수 있는 민감도와 상관이 있다. 전송지연의 경우 약 90msec, 지연변이의 경우 약 7msec을 넘어서면서 본격적인 MOS의 감소가 시작되어 이후 꾸준히 감소하는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론 및 시사점

본 논문에서는 LTE 이동통신 시스템에서 VoIP 기반 제공되는 음성 서비스의 사용자 체감 품질을 측정 기반으로 분석하였다. 무선 채널 상태의 변화를 반영하기 위해서 에미터를 이용하여 주요 네트워크 파라미터인 전송속도, 패킷손실율, 전송지연, 지연변이를 인위적으로 변화시키고 그에 따른 MOS를 측정하였다.

현재 LTE 이동통신 시스템은 음성 서비스를 제공하기에 충분한 전송속도를 제공하고 있어 그로 인한 사용자 체감 품질 저하의 가능성은 낮다. 그리고 전송지연이나 지연변이에 의한 사용자 체감 품질의 저하 역시 어느 정도까지는 견딜 수 있는 것으로 분석되었다.

그러나 패킷 손실의 경우 실시간 서비스에 대해서는 복구될 수 없으므로 즉각적인 사용자 체감 품질의 저하로 이어짐을 확인할 수 있었다. 이는 이동통신 네

트워크상에서 무선 채널의 특성 상 그리고 단말기의 이동에 따라서 패킷 손실이 자주 일어날 수 있음을 감안했을 때 LTE 이동통신 시스템을 통해서 제공되는 패킷 기반 음성 서비스의 사용자 체감 품질의 관리를 위해서는 패킷 손실의 관리가 가장 중요하다는 사실을 입증하고 있는 것이다.

References

- [1] D. Kim and B. Kim, "A Measurement-based Quality Evaluation Scheme for Mobile VoIP Service over Wireless Broadband(WiBro) Networks," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 5, no. 5, Oct. 2010, pp. 528-533.
- [2] B. Kim, "Software-based Quality Measurement of Mobile VoIP Services," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 6, no. 1, Feb. 2011, pp. 55-60.
- [3] S. Barakovic and L. Skorin-Kapov, "Survey and Challenges of QoE Management Issues in Wireless Networks," *J. of Computer Networks and Communications*, vol. 2013, Dec. 2012. pp. 1-28.
- [4] K. Laghari and K. Connelly, "Toward Total Quality of Experience: A QoE Model in a Communication Ecosystem," *IEEE Communications Mag.*, vol. 50, issue 4, Apr. 2012, pp. 58-65.
- [5] M. Fiedler, T. Hossfeld and P. Tran-Gia, "A Generic Quantitative Relationship between Quality of Experience and Quality of Service," *IEEE Network*, vol. 24, issue 2, Apr. 2010, pp. 36-41.
- [6] I. Ketyko, K. Moor, and L. Martens, "Performing QoE-Measurements in an Actual 3G Network," *In proc. 2010 IEEE Int. Symp. on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, Shanghai, Mar. 2010, pp. 1-6
- [7] H. Juh, "An Improved Algorithm of Distributed QoS in Real-time Networks," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 1, 2012, pp. 53-60.
- [8] S. Bae, S. Lee, and K. Park, "Multipath Routing Method for QoS Support in WMSNs," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 3, 2013, pp. 453-458.

- [9] Y. Kim, "Performance of VoIP traffics over MANETs under DDoS Intrusions," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 4, 2011, pp. 493-498.

저자 소개



김범준(Beom-Joon Kim)

1996년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업 (공학사)

1998년 8월 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2003년 8월 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

계명대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 5G 이동통신, TCP Optimization

