

통계적 분석을 통한 무선 채널 품질이 사용자 체감 품질에 미치는 영향 분석

김범준*

The analysis of the impact of the wireless channel quality on the quality of experience (QoE) through statistical analysis

Beom-Joon Kim*

요 약

무선 접속을 통한 인터넷 서비스가 보편화된 최근 사람이 서비스를 이용하는 과정에서 실제로 느끼는 품질인 사용자 체감 품질(QoE; Quality of Experience)의 중요성이 더욱 강조되고 있는데 사용자 체감 품질은 서비스 품질(QoS; Quality of Service)와 같이 객관적인 수치화가 불가능하다는 특징이 있다. 유선과는 달리 무선 접속을 통해서 제공되는 IP 서비스는 매우 많은 요인에 의해서 사용자 체감 품질이 영향을 받을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 대표적인 무선 접속 서비스인 HSPA (High Speed Packet Access)를 통해서 음성 서비스가 제공될 때 측정 가능한 품질지표를 선정하고 이들에 대한 실측값을 통계적으로 분석하여 서비스 품질과 사용자 체감 품질 지표와의 상관관계를 밝히고자 한다. 분석 결과 RSSI (Received Signal Strength Indicator)와 전송 지연의 상관관계가 매우 높고 그에 이어 전송 지연과 MOS (Mean Opinion Score)와 매우 높은 상관관계를 가짐을 알 수 있었다.

ABSTRACT

As internet services are being provided through a wireless access, the importance of quality of experience (QoE) is stressed that is defined as the quality that indicates user's actual feeling when a service is provided. Unlike quality of service (QoS) that can be expressed as a numerical value, it is difficult to represent QoE in an objective way. If an internet service is serviced over a wireless channel, its QoE can be affected by a number of factors such as fading, mobility and so on. This paper, therefore, attempts to specify the relationship between QoE and QoS by conducting practical measurements for the voice service through 3G high speed packet access (HSPA) access network. Analysing the measured results, it has been shown that received signal strength indicator (RSSI) has a great influence on mean opinion score (MOS) through transmission delay.

키워드

HSPA(High Speed Packet Access), VoIP(Voice over IP), Measurement, Correlation, RSSI, MOS
고속 패킷 접속 네트워크, VoIP, 품질 측정, 상관관계, RSSI, MOS

* 교신저자(corresponding author) : 계명대학교 전자공학과(bkim@kmu.ac.kr)

접수일자 : 2014. 01. 27

심사(수정)일자 : 2014. 03. 21

게재확정일자 : 2014. 04. 11

I. 서론

무선 접속을 통한 인터넷 서비스가 보편화됨에 따라서 사용자 체감 품질(Quality of Experience ; QoE)에 대한 관심이 크게 증가하고 있다. 사용자 체감 품질은 말 그대로 사용자가 실제로 서비스를 이용하는 과정에서 체감하는 품질의 감성적인 수준을 의미한다[1]. 따라서 IP 네트워크상에서 전송되는 패킷 레벨의 서비스 품질(Quality of Service; QoS)[2-3]의 영역을 뛰어넘는 포괄적인 개념이라 할 수 있으며 오히려 서비스 품질은 사용자 체감 품질에 영향을 미칠 수 있는 하나의 요인으로서 의미를 가질 수 있다[1].

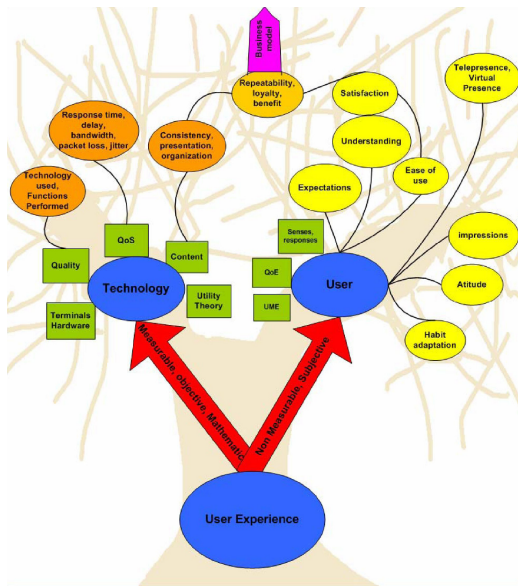


그림 1. QoE의 모형과 구성요소
Fig. 1 QoE model and component

IP 네트워크를 통한 다양한 서비스의 제공은 전송 효율의 극대화라는 장점에도 불구하고 일정한 수준의 서비스 품질을 보장할 수 없다는 단점을 가지고 있다 [1],[4]. 이러한 문제점은 IP 서비스의 본질적인 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. 그러나 전화나 영상과 같은 서비스는 실시간 서비스이기 때문에 적절한 비용의 지불이 이루어지기 위해서는 일정 수준 이상의 서비스 품질의 유지가 매우 중요한 이슈가 될 것이다[2].

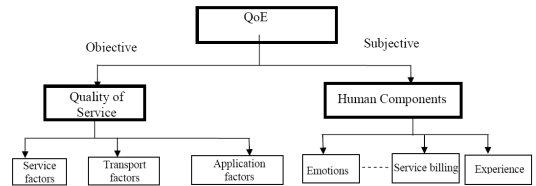


그림 2. QoE와 QoS의 관계
Fig. 2 Relationship between QoE and QoS

특히 3G HSPA (High-Speed Packet Access), 와 이브로 (WiBro), LTE (Long-Term Evolution)와 같은 무선 접속 네트워크를 통해서 서비스가 제공되는 경우 서비스 품질의 문제는 더욱 중요하게 여겨질 수 있다. 왜냐하면 무선 채널 상에서 전송되는 신호는 감쇠, 왜곡, 페이딩, 단말의 이동 등 다양한 요인에 의해서 신호의 품질이 저하될 수 있기 때문이다[3]. 따라서 본 논문에서는 3세대 이동통신인 HSPA 네트워크를 통해서 제공되는 VoIP (Voice over IP) 서비스에 대하여 실측을 실시하여 각 품질 지표 별 측정 데이터를 얻은 후 이들에 대한 통계적인 분석 통하여 무선 채널의 품질과 사용자 체감 품질과의 상관관계에 대하여 분석하고자 한다.

II. 기존 연구 및 본 연구의 연구 동기

2.1 사용자 체감 품질(QoE)와 서비스 품질(QoS)

서론에서 언급한 바와 같이 사용자 체감 품질은 다양한 구성요소를 가진 포괄적인 개념이다. 그림 1에 나타난 바와 같이 어떤 서비스에 대한 사용자의 체험은 크게 기술적인 요소와 사용자 개인의 감성적인 요소로 구분될 수 있는데 서비스 품질이 기술적인 요소를 대표하는 품질 지표라면 사용자 체감 품질은 감성적인 요소를 대표하는 품질 지표라 할 수 있다[1],[4].

사용자 체감 품질과 서비스 품질을 구분할 수 있는

중요한 기준 중 하나는 객관적인 측정이 가능한 지의 여부이다. 일반적으로 서비스 품질은 전송 속도, 전송 지연 등과 같이 IP 네트워크상에서 실제로 전송되는 패킷들을 대상으로 측정이 가능한 반면 사용자 체감 품질은 실제 인간이 느끼는 감성적인 측면까지 고려되어야 하므로 객관적인 측정 방법을 적용시키는 것이 불가능하다. 따라서 그림 1에 나타난 바와 같이 사용자 체감 품질과 서비스 품질은 별개의 것으로 생각하는 것도 가능하다.

그러나 실제로는 서비스 품질이 사용자 체감 품질에 영향을 미치는 중요한 요인 중 하나라는 점은 의심할 여지가 없다. 예를 들어 음성 서비스에 있어서 패킷 레벨에서의 과도하게 긴 전송 지연은 사용자가 실제로 느끼는 사용자 체감 품질을 저하시키는 것은 명확하다.

2.2 기존 연구 요약

지금까지 서비스 품질과 사용자 체감 품질과의 상관관계를 찾기 위한 많은 연구가 이루어져 왔다[6-7]. 이들 대부분은 그림 2에 나타난 바와 같이 객관적인 측정이 가능한 서비스 품질을 사용자 체감 품질을 이루는 하나의 구성 요소로 간주하고 객관적인 측정이 불가능한 감성적인 요소를 또 하나의 구성 요소로 간주하고 있다. 이와 같은 시각으로 보면 서비스 품질은 사용자 체감 품질에 포함되는 관계로 생각하는 것도 가능하다.

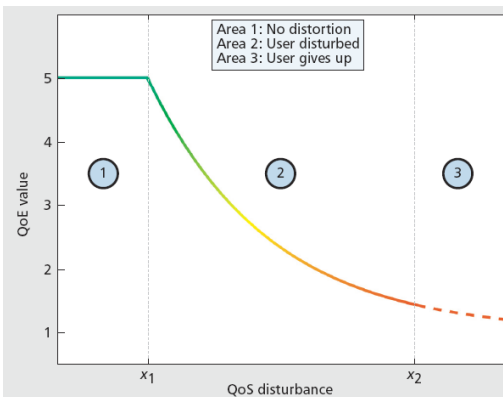


그림 3. QoE의 모형과 구성요소
Fig. 3 QoE model and component

이들 대부분 연구는 사용자 체감 품질의 적절한 제어 방법의 도출에 그 목적을 두고 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 있도록 네트워크 전반을 관리하는 체제를 구축하자는 것이다. 이 과정에서 도출된 사용자 체감 품질과 서비스 품질과의 일반적인 상관관계는 그림 3과 같다[5].

그림 3에 나타난 사용자 체감 품질의 변화는 x축의 서비스 품질의 변화에 따라서 다음과 같이 크게 세 단계로 구분될 수 있다.

- ①단계 : 서비스 품질의 저하가 사용자 체감 품질에 영향을 미치지 않는 단계
- ②단계 : 어떤 임계값(X_1)를 넘어서면 서비스 품질의 저하가 직접적으로 사용자 체감 품질에 영향을 미치는 단계
- ③단계 : 서비스 품질이 또 다른 임계값(X_2)를 넘어서서 사용자 체감 품질은 받아들이기 어려운 수준으로 감소하여 거의 변화하지 않는 단계

이상적으로는 서비스 품질을 적절하게 제어할 수 있다면 사용자 체감 품질이 항상 ①의 영역에 머무를 수 있도록 할 수 있다.

2.3 본 연구의 연구 동기

앞에서 살펴본 바와 같이 사용자 체감 품질과 서비스 품질은 밀접한 연관을 가지고 있고 경우에 따라서는 서비스 품질을 적절하게 제어한다면 사용자 체감 품질을 일정 수준 이상 유지하는 것도 가능하다. 그런데 거의 모든 기존 연구들은 주로 유선 네트워크상에서 이루어지는 서비스들을 대상으로 하고 있다.

물리적인 매체를 통한 신호의 전송이 안정된 유선 네트워크와는 달리 전파라는 무선 전송 매체를 사용하는 무선 접속 네트워크를 통해서 제공되는 서비스의 사용자 체감 품질은 훨씬 더 많은 요인에 의해서 영향을 받을 수 있다. 특히 3G 시스템만 하더라도 수십 개 이상의 무선 채널을 품질을 나타내는 품질 지표가 존재하기 때문에 모든 품질 지표들을 대상으로 그림 3에서와 같은 관계를 모니터링 하여 관리한다는 것은 거의 불가능에 가깝다[8]. 따라서 본 연구에서는 3G 시스

표 1. 측정 대상 품질 지표
Table 1. Quality metrics for measurement

	Quality metric
Wireless Metric	RSSI (Received Signal Strength Indicator)
	Tx Power (Transmission Power)
	Ec/Io (Energy per Chip over the Interface Noise)
Network Metric	Bandwidth, Delay, Jitter, Packet loss ratio
VoIP Metric	R value, MOS (Mean Opinion Score)

템에서 정의되어 사용되고 있는 대표적인 무선 품질 지표들의 실측 데이터를 분석하여 이들이 사용자 체감 품질에 미치는 영향을 분석하고자 하는 것이다.

III. 품질 지표 측정

3.1 대상 서비스 및 품질 지표의 선정

무선 접속을 통한 음성 서비스의 품질에 영향을 미칠 수 있는 품질 지표들을 전송 계층을 기준으로 하여 무선 품질 지표 (wireless metric), 네트워크 품질 지표 (network metric), 그리고 VoIP 서비스 품질 지표 (VoIP metric)의 세 개의 계층으로 구분하였다[8-9]. 표 1에는 HSPA 시스템을 통한 음성 서비스의 품질에 영향을 미칠 수 있는 여러 품질 지표들 가운데 측정 가능한 대표적인 품질 지표로 선정된 것들을 계층 별로 정리한 것이다.

무선 품질 지표로는 물리 계층에서 실제 전송되는 신호 단위의 품질을 나타내는 지표로서 수신 신호의 강도를 나타내는 RSSI (Received Signal Strength Indicator)와 Tx Power (Transmission Power)를 선정하였다. 그리고 잡음 대비 유효한 신호의 세기를 나타내는 품질 지표로서 Ec/Io (Energy per Chip over the Interface Noise)를 선정하였다[8],[10].

네트워크 품질 지표로는 가장 대표적이면서도 가장 일반적으로 알려져 있는 대역폭, 지연, 지터, 패킷손실률을 선정하였다. 이들 지표의 값을 측정하기 위해서 IETF (Internet Engineering Task Force)에 의해 발

간된 표준 문서를 참조하여 RTP (Real-time Transport Protocol)와 RTCP (Real-time Transport Control Protocol)가 제공하는 정보를 이용하도록 하였다.

마지막으로 최상위 품질 지표인 VoIP 품질 지표로는 R 값과 MOS (Mean Opinion Score)를 선정하였다. 측정된 네트워크 품질 지표들의 값을 이용하여 E-Model에 근거한 R 값을 산출하고 이를 근거로 최종적으로 MOS 값을 산출할 수 있다.

3.2 품질 측정 소프트웨어

HSPA 상의 음성 서비스의 품질을 측정하기 위하여 서비스 품질을 사용자 단말에서 직접 측정할 수 있도록 개발된 품질 측정 소프트웨어를 활용하였다[8]. 한국정보화진흥원(NIA)에서 개발한 이 품질 측정 소프트웨어는 현재 국내에 상용화된 패킷기반의 무선 접속 시스템인 HSPA 시스템을 지원하여 사용자 단말기에서 다양한 품질 지표를 측정하는 것이 가능하다.

3.3 측정 환경

HSPA 시스템을 통한 패킷기반 음성 서비스의 품질 측정을 수행하기 위한 측정 환경을 다음과 같이 구축하였다.

표 2. 측정 결과 요약
Table 2. Summary of the measured results

HSPA		G.711	G.729
RSSI (dBm)	Max.	-65.00	-65.00
	Min.	-56.00	-55.00
	Avg.	-58.87	-58.81
Tx Power (dB)	Max.	-1.00	-4.00
	Min.	-20.00	-21.00
	Avg.	-10.23	-10.08
Ec/Io (dB)	Max.	-3.00	-2.00
	Min.	-9.00	-8.00
	Avg.	-4.65	-4.62
Average bandwidth (Mbps)	Uplink	2.77	2.97

	Downlink	1.03	0.99
Delay (msec)	Max.	171.88	156.25
	Min.	58.00	109.36
	Avg.	122.16	129.47
Jitter (msec)	Max.	97.65	83.18
	Min.	12.00	14.01
	Avg.	22.86	22.51
MOS	Max.	4.36	4.02
	Min.	4.32	3.96
	Avg.	4.34	4.00

측정을 위한 이동 단말은 노트북으로 구현하였다. 이는 윈도우즈 모바일과 그 외의 다른 운영 체제를 사용하는 스마트폰의 경우 아직 Active X 방식의 품질 측정 소프트웨어의 설치가 불가능한 어려움이 있기 때문이다. 이와 관련하여서는 향후 추가적인 보완이 이루어 질 예정이다.

음성 서버에서 발생한 음성 전화 트래픽은 상용 인터넷과 HSPA 네트워크를 통하여 이동 단말에 수신된다. 음성 트래픽이 발생하도록 함에 있어 현재 사용

되고 있는 코덱들 가운데 가장 통화 품질이 좋은 64kbps의 G.711과 압축률이 높아 스마트 폰이나 인터넷 전화에서 가장 보편적으로 사용되는 8kbps의 G.729의 두 가지 대표적인 코덱을 선정하였고 일정한 양의 데이터가 일정한 주기로 발생하는 음성 트래픽의 특징을 모델링하여 구현하였다.

한 번의 측정 시간인 300초 동안 표 1에 나타난 각 품질 지표들의 값을 5초마다 측정하여 나온 60개의 값을 평균하여 최종적인 하나의 샘플 데이터가 만들어진다. 실제 인터넷 이동 전화 서비스가 이루어지는 실제 환경에 가까운 측정을 위해서 실내/정지, 실내/이동, 실외/정지, 실외/이동(도보), 실외/이동(지하철)의 총 다섯 가지 시나리오를 설정하였으며 각 시나리오 별 반복적인 측정을 통하여 대량의 샘플 데이터를 얻을 수 있었다.

IV. 측정 결과 및 분석

4.1 측정 결과 요약

표 2에는 각 품질 지표 별로 측정을 통해서 얻은 1,000개의 샘플에 대한 결과를 요약하였다. 음성 트래픽이 G.711 코덱과 G.729 코덱을 통해서 발생하는 두

표 3. 품질 지표 간 상관관계
Table 3. Correlation between the metrics

상관관계		G.711				G.729			
		MOS	R-value	Delay	Jitter	MOS	R-value	Delay	Jitter
HSPA Wireless Metric	RSSI	-0.13198	-0.11619	0.96482	-0.00526	0.17198	0.07679	-0.07715	0.09684
	Ec/Io	0.01696	0.02833	-0.03020	-0.00166	0.17198	0.08942	-0.08978	0.06999
	TxPower	0.03327	0.01746	-0.01711	-0.03649	-0.03721	-0.04706	0.04651	-0.04870
G.711	MOS		0.96482	-0.96316	-0.16528				
	R-value			-0.99690	-0.17679				
	Delay				0.17198				
	Jitter								
G.729	MOS					0.92518	-0.92499	0.26108	
	R-value						-0.99997	0.27027	
	Delay							-0.27085	
	Jitter								

가지 경우에 대해서 총 7개의 품질 지표들에 대하여 측정된 최대값, 최소값, 평균값을 보여준다.

측정된 대역폭은 평균적으로 업링크의 경우 2Mbps를 훌쩍 넘어 거의 3Mbps에 가까운 값을 보였고 다운링크의 경우 1Mbps 내외였다. 이는 G.711 코덱이 64kbps, G.729코덱이 8kbps의 비율로 음성 트래픽을 발생시킨다는 점을 고려할 때 충분한 대역폭이라 할 수 있다. 그 결과 측정된 MOS 값 역시 평균적으로 4를 넘는 좋은 결과가 나왔음을 확인할 수 있다. 참고로 G.729 코덱의 경우 압축을 사용하기 때문에 네트워크의 전송 상태가 아주 좋은 경우에도 MOS 값이 4를 넘지 못하였다.

4.2 품질 지표 간 상관관계

표 3은 각 품질 지표 별로 측정된 값들 간 상관관계를 정리한 것이다. 상관관계는 절대 값을 기준으로 0과 1사이의 값을 가지고 1에 가까울수록 상관관계가 높은 것으로 해석이 가능하다. 예를 들어서 G.711의 R-value와 MOS의 상관관계는 0.96482로 매우 높은 상관관계를 가지는 것을 볼 수 있는데 이는 MOS가 R-value로부터 유도된다는 점을 생각하면 당연한 것이다.

G.711 코덱을 사용하는 경우와 G.729 코덱을 사용하는 경우 전송되는 데이터 양이 달라질 수 있고 그에 따른 지연, 지터 등에도 변화가 있을 수 있어 별도로 상관관계를 산출하였다. G.729 코덱을 사용하는 경우에도 MOS와 R-Value는 0.9이상의 아주 높은 상관관계를 나타내었다.

한 가지 흥미로운 점은 두 개의 코덱을 사용하는 경우 모두 MOS와 전송 지연이 0.9이상의 아주 높은 상관관계를 보인다는 점이다. 따라서 음성 서비스의 사용자 체감 품질에 가장 큰 영향을 미치는 네트워크 레벨의 품질 지표를 전송 지연이라 할 수 있다는 것인데 음성 서비스가 실시간 서비스이면서도 양쪽에서 상호 주고받는 서비스임을 고려하면 매우 타당한 결과라 할 수 있다. 즉 전송 지연이 큰 경우 상대방의 응답이 더디게 느껴지고 이로 인하여 사용자 체감 품질은 떨어질 수 있다.

본 연구를 통해서 풀고자 했던 또 다른 중요한 질문은 “음성 서비스의 사용자 체감 품질인 MOS 값에 어떤 무선 품질 지표가 가장 큰 영향을 줄 것인가”였

다. 이에 대한 해답을 얻기 전에는 아마도 Ec/Io가 MOS와 가장 큰 상관관계를 가지지 않을까라고 예상했다. 왜냐하면 RSSI는 잡음이나 간섭을 포함한 신호 자체의 세기를 나타내는 지표인 반면 Ec/Io는 잡음 대비 실제 신호의 세기의 비를 나타내는 - 신호의 품질을 나타내는 - 품질 지표이기 때문이다.

그러나 실제로는 RSSI의 영향이 더 크다는 것을 알 수 있었는데 G.711 코덱을 사용하는 경우 RSSI와 전송 지연은 0.96482라는 높은 상관관계를 가지고 다시 전송 지연과 MOS는 -0.96316이라는 높은 상관관계를 가지는 것을 확인할 수 있었다. 이에 대한 원인은 분석 중에 있는데 현재로서는 표 2에서 본 바와 같이 측정 과정에서 Ec/Io가 충분히 높은 값을 유지하였고 그에 따라서 다운링크, 업링크 속도가 음성 트래픽을 서비스하는데 필요한 64kbps보다 훨씬 더 높은 전송속도를 제공한 것과 연관이 있을 것으로 판단하고 있다. G.729 코덱을 사용하는 경우에는 어떤 무선 품질 지표와도 일정 수준 이상의 상관관계를 보이지 않았는데 이 역시 G.729 코덱이 요구하는 전송속도를 훨씬 상회하는 대역폭이 제공되었기 때문으로 짐작하고 있다.

V. 결론

본 논문에서는 HSPA 네트워크에서 제공되는 음성 서비스에 대한 다양한 품질 지표의 측정을 통해서 각 품질 지표들 간의 상관관계를 분석하였다. 결과를 통해서 알아낸 것은 RSSI와 전송 지연이 높은 상관관계를 가지고 다시 전송 지연은 음성 서비스의 사용자 체감 품질인 MOS와 높은 상관관계를 가진다는 것이다. 즉 이는 무선 접속 네트워크를 통해서 음성 서비스가 제공되는 경우 RSSI가 음성 서비스의 사용자 체감 품질에 영향을 미치는 가장 중요한 지표라는 것이다.

현재 측정된 결과 값에 대한 추가적인 분석이 이루어지고 있으며 향후에는 음성 서비스보다 높은 전송속도를 요구하는 영상 서비스에 대한 측정을 통한 상관관계 분석을 계획하고 있다.

참고 문헌

- [1] S. Barakovic and L. Skorin-Kapov, "Survey and Challenges of QoE Management Issues in Wireless Networks," *J. of Computer Networks and Communications*, vol. 2013, Hindawi Publishing Corporation, 2013.
- [2] 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.
- [3] H.-J. Suh, "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.
- [4] S. Ickin, K. Wac, M. Fiedler, L. Janowski, J.-H. Hong, and A. K. Dey, "Factors Influencing Quality of Experience of Commonly Used Mobile Applications," *IEEE Communications Mag.* vol. 50, issue 4, Apr. 2012, pp. 48-56.
- [5] M. Wrulich, W. Weiler, and M. Rupp, "HSDPA Performance in a Mixed Traffic Network," In *Proc. of VTC Spring 2008*, 2008, pp. 2056-2060.
- [6] H. Kim, D. Lee, K. Lee, W. Lyu, and S. Choi, "The QoE Evaluation Method through the QoS-QoE Correlation Model," In *Proc. of the Fourth International Conf. on Networked Computing and Advanced Information Management*, 2008, pp. 719-725.
- [7] 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, Mar. 2010, pp. 36-41.
- [8] B. Kim, "Software-based Measurement of Mobile Internet Telephony Services," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 1, 2011, pp. 55-60.
- [9] Y. Kim, "End-to-end performance of VoIP traffics over large scale MANETs," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 1, 2011, pp. 49-54.
- [10] R. Irmer, H.-P. Mayer, A. Weber, V. Braun,

M. Schmidt, M. Ohm, N. Ahr, A. Zoch, C. Jandura, P. Marsch, and G. Fettweis, "Multisite Field Trial for LTE and Advanced Concepts," *IEEE Communications Mag.* vol. 47, issue 4, May 2009, pp. 92-98.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부·한국산업기술진흥원 지정 계명대학교 전자화자동차부품지역혁신센터(B0008866)의 지원에 의한 것입니다.

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 : TCP 성능개선, 사용자 체감 품질

