

실측을 통한 CQI와 BLER가 LTE 시스템의 전송 속도에 미치는 영향 분석

김범준*

The measurement-based analysis of the effect of CQI and BLER on the transmission rate of a LTE system

Beom-Joon Kim*

요약

최근 LTE(Long-Term Evolution) 이동통신시스템이 보급되어 본격적인 서비스가 제공되고 있다. 특히 LTE 시스템은 3G 시스템 등 과거 이동통신시스템 대비 월등한 전송 속도를 보장함으로써 높은 전송 속도를 요구하는 서비스도 이동단말을 통해서 제공될 수 있도록 하고 있다. 향후 IPTV와 같은 멀티미디어 서비스가 LTE 시스템을 통해서 제공되기 위해서는 실제 사용 환경에서 LTE 시스템이 보여주는 전송 속도의 변화에 대한 기본적인 이해가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 CQI와 BLER과 같은 무선 품질 지표가 LTE 시스템의 전송 속도에 영향을 미치는 체제에 대해서 살펴보고 실측 결과를 통해서 이를 검증한다

ABSTRACT

In recent, the LTE(Long-Term Evolution) mobile communication system has been commercialized and a variety of service is being provided. Comparing to the old wireless access systems such as 3G mobile communications, in particular, the LTE system supports a service requiring a high transmission rate by providing broadband wireless access. In order to understand the possibility of successful support of a multimedia service such as IPTV(Internet Protocol Television) through the LTE system, it is necessary to understand the mechanism that decides the transmission rate supported by the LTE system. This paper, therefore, discusses on the relationship between a number of metrics such as CQI and BLER that affects the transmission rate with the measurement results from the field tests.

키워드

LTE(Long-Term Evolution), Transmission Rate, SINR(Signal to Interference-Plus-Noise Ratio), RSSI(Received Signal Strength Indicator), CQI(Channel Quality Indicator), BLER(BLock Error Rate), Field Test
LTE, 전송속도, 신호대잡음비, 수신신호세기지시자, 채널품질지시자, 와이브로, 블록오류율, 필드시험

* 교신저자(corresponding author) : 계명대학교 전자공학과(bkim@kmu.ac.kr)
접수일자 : 2014. 10. 07

심사(수정)일자 : 2014. 11. 21

게재 확정일자 : 2014. 12. 15

1. 서론

대표적인 제4세대 이동통신시스템으로서 LTE(Long-Term Evolution)의 보급이 성숙기에 진입함에 따라 무선 및 이동통신 환경에서 사용자 단말에게 제공되는 전송링크의 속도가 수십 Mbps이상으로 증가하였고[1] 그에 따라 기존의 유선 환경에서 제공되는 서비스들이 무선 및 이동통신 환경으로 확장되고 있다. 그러나 유선 환경과는 달리 무선 환경에서는 시간에 따라서 채널의 상태가 달라지고 단말이 이동할 수도 있기 때문에 서비스가 제공되는 조건들이 변화한다. 결과적으로 사용자가 실제 체감하는 서비스 품질인 사용자 체감 품질(Quality of Experience; QoE)은 크게 달라질 수 있다[2].

서비스의 품질을 평가함에 있어 사용되고 있는 지표로는 대표적으로 서비스 품질(Quality of Service; QoS)을 들 수 있는데 이는 서비스품질은 네트워크에서 전송되는 패킷 단위의 전송 속도(transmission rate), 전송지연(delay), 패킷손실(packet loss), 지터(jitter)등 기술적으로 측정하여 수치화할 수 있는 파라미터를 의미하며 따라서 객관적인 평가가 가능한 것들이다. 반면 사용자 체감 품질은 말 그대로 실제 사용자가 체감하는 품질이기 때문에 사용자가 느끼는 감성적인 측면까지 포괄적으로 반영되므로 수치화를 통한 객관적인 평가가 어려운 특성을 가지고 있다[3].

과거 유선 네트워크의 사례로 보아 전송 속도가 사용자체감품질에 가장 큰 영향을 미치는 서비스품질의 지표인 것은 명확하다. 따라서 본 논문에서는 현재 상용화되어 있는 LTE 시스템의 전송 속도가 결정되는 체제에 대해서 상세히 살펴보고 실제 측정 결과를 통해서 이를 입증하고자 한다.

II. LTE 무선 접속 품질 지표

II장에서는 LTE 시스템의 무선 접속의 채널 상태를 나타내는 많은 지표들 가운데 LTE 시스템이 이동 단말에 제공하는 전송 속도에 영향을 미칠 가능성이 있는 대표적인 것들에 대해서 소개하고자 한다.

- RSSI(Received Signal Strength Indicator) : 신호의 세기를 나타내는 품질지표로서 전체 주파수 대역에 걸쳐서 잡음이나 간섭에 의한 신호 세기까지 고

려된 값이다.

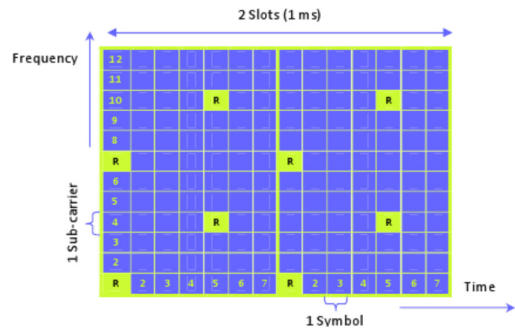


그림 1. LTE 시스템의 다운링크 프레임 내 참조신호의 매핑

Fig. 1 The mapping of the reference signal in a downlink frame of a LTE system

- RSRP(Reference Signal Received Power) : 전체 주파수 대역 가운데 특정 셀에 속해 있는 참조 신호(Reference Signal)의 세기를 평균한 값이다. 그림 1에서와 같이 기지국은 어떤 정해진 패턴으로 참조 신호를 전송하는데 이들 가운데 수신되는 참조 신호의 세기를 평균하여 구해지게 된다. 참조 신호는 12개의 서브캐리어로 구성되는 RB(resource block)당 2개가 포함되게 된다. RSRP가 RSSI와 다른 점은 특정 심볼(symbol)에 대한 신호의 세기만이 구해진다는 점이다. RSRP는 핸드오버 등의 결정을 위해서 측정된 값이 기지국으로 보고된다.

- RSRQ(Reference Signal Received Quality) : RSRP가 신호의 세기를 나타내기 위한 지표라면 RSRQ는 신호의 품질을 나타내기 위한 지표이다. RSRQ는 RSRP와 RSSI에 기초하여 구해질 수 있는데 N 을 RSSI를 계산하기 위해서 사용된 RB의 개수라고 했을 때 다음의 식(1)로 주어진다.

$$RSRQ = N \frac{RSRP}{RSSI} \tag{1}$$

- SINR(Signal to Interference-plus-Noise Ratio) : RSRQ와 마찬가지로 수신된 신호의 품질을 나타내기 위한 지표이다. 말 그대로 신호 대비 다른 셀로부터의 간섭과 잡음의 비로서 정의되고 RSRP나 RSRQ처럼 기지국으로 보고되지는 않으나 CQI(Channel Quality

Indicator)의 산출을 위해서 활용된다. 신호의 세기 측정은 주로 참조 신호와 PDSCH(Physical Downlink Shared CHannel)을 대상으로 이루어진다.

- CQI(Channel Quality Indicator) : CQI는 말 그대로 현재 다운링크 채널의 품질을 나타내는 값으로서 사용자 단말로부터 네트워크로 보고되는 값이다. CQI는 정수 값으로 표현되는데 채널의 품질이 높을수록 품질이 더 좋음을 나타낸다.

III. CQI와 전송 속도와의 상관관계

표 1. CQI 값에 따른 LTE 시스템의 MCS 레벨
Table 1. The MCS level of a LTE system per a CQI Index

CQI index	modulation	code rate x 1024	efficiency
0	out of range		
1	QPSK	78	0.1523
2	QPSK	120	0.2344
3	QPSK	193	0.3770
4	QPSK	308	0.6016
5	QPSK	449	0.8770
6	QPSK	602	1.1758
7	16QAM	378	1.4766
8	16QAM	490	1.9141
9	16QAM	616	2.4063
10	64QAM	466	2.7305
11	64QAM	567	3.3223
12	64QAM	666	3.9023
13	64QAM	772	4.5234
14	64QAM	873	5.1152
15	64QAM	948	5.5547

LTE 시스템은 MCS(Modulation Coding System)을 도입하고 있어 이동 단말이 보고하는 CQI 값에 따라 해당 단말과의 다운링크 채널에 적용되는 변조 방식(Modulation Scheme)과 부호율(Coding Rate)이 조정되도록 구현되어 있다(3GPP TS 36.213 v12.0.0). 어떤 CQI 값에 어떤 변조방식과 부호율이 적용될지는 시스템이 준하는 규격에 따라 달라질 수 있는데, LTE 시스템의 경우 0부터 15까지 CQI 값이 있으며 이 때 적용되는 MCS 레벨과 그에 따른 변조방식과 부호율은 상기 표 1에 나타난 바와 같다.

위의 표 1에서 볼 수 있듯 CQI 값이 증가할수록 기지국은 변조방식의 차수와 코딩방식의 부호율을 증

가시키므로 사용자 단말에게 전송되는 데이터 블록의 크기가 증가하고 이로 인한 스펙트럼 효율이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 결과는 즉시 전송 속도에 직접적인 영향을 미치게 되는데 그림 2와 그림 3을 통해서 이를 확인할 수 있다[5].

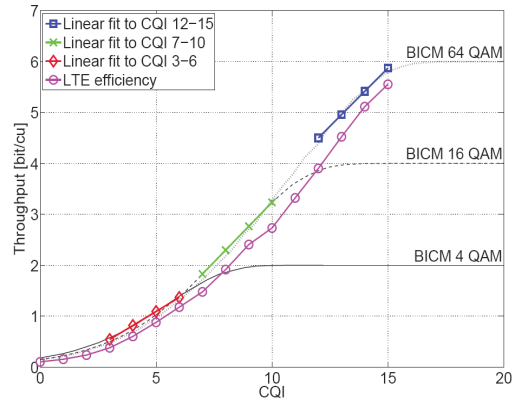


그림 2. CQI에 따른 LTE 시스템의 처리율의 변화
Fig. 2 The throughput variation of a LTE system per CQI values

먼저 그림 2에 나타난 결과[4]는 CQI 값이 증가할수록 처리율(throughput), 즉, 전송 속도가 증가함을 보여준다. 앞서 표 1에서 높은 CQI 값이 높은 차수의 변조방식과 높은 부호율을 가지는 코딩 방식에 대응되는 점을 상기하면 당연한 결과라고 할 수 있다.

그렇다면 어떤 기준을 통해서 CQI 값이 결정되는 것일까? 이에 대해서는 명확한 해답은 LTE시스템과 관련된 어떤 표준 문서에도 제시되어 있지 않기 때문에 이동통신 단말기 혹은 기지국을 제조하는 업체 별로 고유의 알고리즘을 가지고 있는 것으로 추정된다. 다만 지금까지 살펴본 여러 연구 결과를 통하여 종합해보면 사용자 이동단말에서 측정하여 기지국으로 보고하는 SINR와 밀접한 상관관계에 있다는 것을 알 수 있다.

이에 대한 근거로 그림 3에는 SINR과 처리율의 상관관계를 나타내었다[4]. 그림에 나타난 바와 같이 SNR이 증가할수록 Throughput이 증가함을 확인할 수 있다.

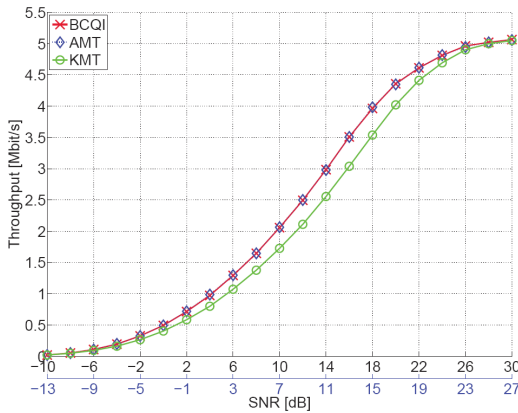


그림 3. SNR에 따른 LTE 시스템의 처리율의 변화
 Fig. 3 The throughput variation of a LTE system per SNR values

IV. 측정 환경 및 측정 결과 분석

앞에서 LTE 시스템이 이동단말에 제공하는 전송 속도는 CQI 값과 밀접한 연관이 있고 다시 CQI 값은 SINR과 밀접한 연관이 있다고 언급하였다. 이 사실을

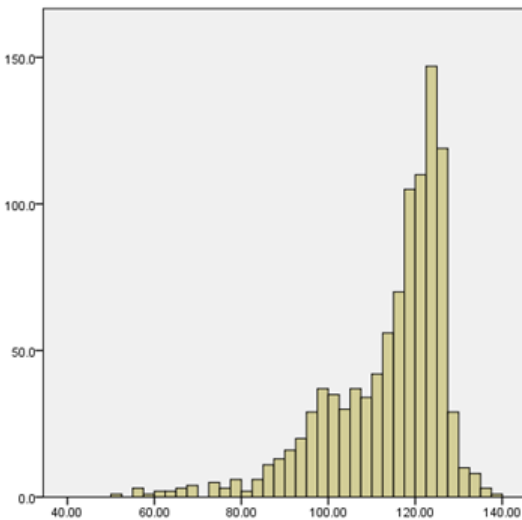
확인하기 위해서 본 장에서는 현재 상용화된 LTE 시스템에 대한 필드시험을 실시하여 그 결과를 정리하였다.

4.1 측정 환경

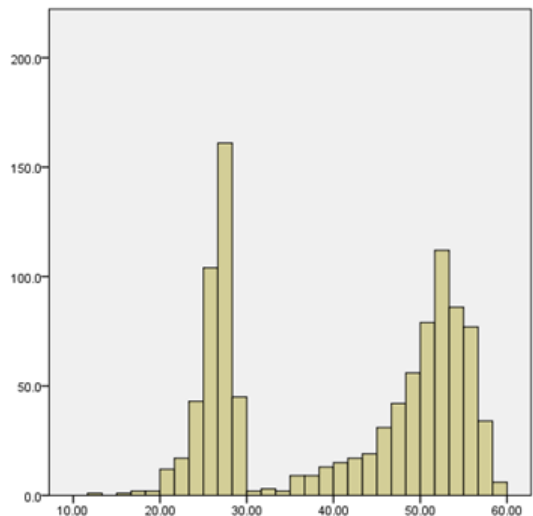
실제 측정에 앞서 무선 채널의 품질에 따른 필드시험 대상 지역 선정이 이루어졌다. 일반적인 LTE 시스템의 채널 품질에 따른 환경의 분류 기준을 다음의 표 2에 나타내었다[5-7]. 표에 나타난 바와 같이 무선 채널의 품질을 RSRP, RSRQ, SINR, 세 개의 품질 지표 값에 따라서 네 등급으로 분류한 것을 볼 수 있다.

표 2. 무선 채널 품질에 따른 측정 환경의 분류
 Table 2. The classification of measurement environments per the RF channel quality

	RSRP (dBm)	RSRQ (dB)	SINR (dB)
Excellent	≥ -80	≥ -10	≥ 20
Good	-80 to -90	-10 to -15	13 to 20
Mid Cell	-90 to -100	-15 to -20	0 to 13
Cell Edge	≤ -100	≤ -20	≤ 0



(a)



(b)

그림 4. 선정된 두 지역에 대한 전송 속도 측정 히스토그램((a) : 지역 A, (b) : 지역 B)
 Fig. 4 The histogram for the two target locations((a) : Location A, (b) : Location B)

그 결과 필드시험 대상 지역으로서 신호의 세기가 매우 강한 지역 A와 신호의 세기가 보통 정도인 지역 B, 두 지역을 선정하였다. 두 측정 대상 지역에서 접속되는 LTE 시스템의 채널 대역폭은 20MHz로 규격 상 최대 전송 속도가 150Mbps에 이르는 광대역 LTE 시스템과 일치하였다[8].

각종 측정 장비를 동원하여 두 지역에서 여러 품질 지표들에 대한 측정을 실시하였는데 하나의 품질 지표에 대해서 24시간 동안 1,000개의 샘플 값을 얻었다. 그 결과들 중 두 대상 지역의 측정 환경 등급을 확인하기 위해서 측정된 RSRP, RSRQ, SINR 평균값을 표 3에 나타내었다. 표 3에 측정된 값을 표 2에 제시된 값을 비교해보면 선정된 두 지역 중 지역 A는 무선 채널 품질이 ‘매우 우수(Excellent)’ 등급에 해당하였고 지역 B는 ‘보통(Mid Cell)’ 등급에 해당함을 확인할 수 있었다.

표 3. 측정을 위해 선정된 대상 지역의 특성
Table 3. The characteristics of the two target locations selected for measurements

	Average RSRP (dBm)	Average RSRQ (dB)	Average SINR (dB)
Location A	-59.3	-9.0	24.4
Location B	-95.8	-11.1	12.3

4.2 전송 속도 측정 결과

이어서 두 지역에 대한 전송 속도의 측정 결과를 그림 4에 히스토그램으로 표현하였다. 그림 4-(a)의 그래프는 지역 A에서 측정된 전송 속도의 측정 결과의 히스토그램을 보여주고 그림 4-(b)의 그래프는 지역 B에서 측정된 전송 속도의 측정 결과의 히스토그램을 보여준다.

그림 4-(a)에서 볼 수 있듯 지역 A에서의 전송 속도는 대부분의 측정 샘플이 100 Mbps 이상의 분포를 보이는 것을 볼 수 있다. 실제로 지역 A에서의 전송 속도는 최대 138.0에서 최소 50.9 Mbps 사이에 분포하였으며 평균값은 113.8 Mbps에 달하였다. 그리고 전송 속도의 분포가 가우시안(Gaussian) 형태로 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

반면 지역 B에서의 전송 속도는 그림 4-(b)에 나타난 바와 같이 전체적으로 그림 4-(a)의 결과보다는

훨씬 낮은 값을 나타내었다. 지역 B에서의 전송 속도는 최대 59.6에서 최소 11.8 Mbps 사이에 분포하였으며 평균값은 41.1 Mbps 정도였다. 그런데 한 가지 주목해야할 점은 그림 4-(b)에 나타난 전송 속도의 분포는 그림 4-(a)와는 다르게 고점을 두 개를 가진 형태로 나타났다는 점이다. 이와 같은 현상의 원인에 대해서는 다음에 나오는 4.3절 말미에 간단하게 언급하기로 한다.

4.3 전송 속도 측정 결과 분석

그림 4-(a)에 나타난 결과는 현재 국내에 상용화된 LTE 시스템이 최상의 환경에서 제공할 수 있는 가장 높은 전송 속도를 보여주고 이에 대한 분포 역시 충분히 해석 가능한 정규 분포 형태를 나타내었다. 반면 그림 4-(b)에 나타난 결과는 무선 채널의 신호 품질이 다소 저하되면 LTE 시스템이 제공하는 전송 속도는 상당히 저하될 수 있는데 특이한 점은 앞서 4.2절에서도 언급한 바와 같이 전송 속도의 분포가 두 개의 그룹으로 나뉜다는 것이다. 이에 대한 이유는 다음과 같은 사실을 통해서 설명되어 질 수 있다.

LTE 시스템에서 제공하는 전송 속도는 다양한 요인에 의해서 결정될 수 있는데 특히 무선 채널의 신호 품질이 저하되면 전송 과정에서 블록 단위의 오류 발생 빈도가 증가하게 된다. 이는 H-ARQ(Hybrid Automatic Repeat reQuest) 프로토콜이 담당하는 재전송에 의한 오류복구 기능에 영향을 미치게 된다. 기본적으로 무선 채널의 신호 품질이 저하되어 블록 단위의 오류 발생 빈도가 증가하게 되면 H-ARQ 프로토콜은 이를 복구하기 위해서 더 많은 재전송을 수행해야 하는데 이는 전체적인 시스템에 가해지는 부하를 높이고 전송 지연을 높이는 결과를 낳게 된다. 따라서 실제 LTE 시스템에서는 무선 채널의 신호 품질이 변화하더라도 블록오류율(BLOCK Error Rate; BLER)은 일정한 값으로 유지하도록 설정되는데 이는 다음의 표 4에 나타난 블록오류율에 대한 측정 결과에서도 확인할 수 있다.

표 4. 블록오류율의 측정 결과 요약
Table 4. Summary of the measured BLER values

BLER		measured value(%)
Location A	Max.	9.1
	Min.	2.8
	Avg.	8.9
Location B	Max.	10.1
	Min.	8.7
	Avg.	9.1

표 4에서 볼 수 있듯 지역 A와 지역 B에서 측정된 블록오류율의 값은 지역 B가 다소 높긴 하지만 거의 비슷한 값을 가지는 것을 볼 수 있다. 이는 무선 채널의 품질 저하가 바로 블록오류율을 증가로 이어지지 않음을 의미한다. 이와 같은 현상은 CQI 값의 변화에 따른 MCS 값의 변화로 설명되어질 수 있다.

무선 채널의 신호 품질이 저하되면 이에 대응하여 이동 단말이 기지국에 보고하는 CQI 값이 낮아지게 된다. 이와 같은 사실은 표 5에 정리된 CQI 값의 측정 결과에 의해 설명될 수 있다.

표 5. CQI의 측정 결과 요약
Table 5. Summary of the measured CQI values

CQI		measured value
Location A	Max.	14.9
	Min.	11.4
	Avg.	12.9
Location B	Max.	11.7
	Min.	8.2
	Avg.	9.6

표 5에 나타난 결과는 신호 품질이 상대적으로 좋은 지역 A에서의 CQI가 신호 품질이 상대적으로 좋지 않은 지역 B에서의 CQI보다 훨씬 더 큰 값을 가진다는 것을 보여주고 있다. 표 1을 기준으로 보았을 때 지역 A에서의 CQI 평균값인 12.9는 변조 방식에 있어서 64QAM에 해당하고 지역 B에서의 CQI 평균값인 9.6은 변조 방식에 있어서 16QAM에 해당하고 이 차이가 두 지역에서 측정된 전송 속도 차이의 주요 원인으로 분석할 수 있다.

그림 4-(b)에 나타난 두 개의 고점을 가진 분포에 대한 이유도 비슷한 방식으로 설명될 수 있다. 표 1에

의하면 CQI 값이 9인 경우에 적용되는 변조방식은 16QAM이고 10인 경우에 적용되는 변조방식은 64QAM이다. 그런데 그림 5에 나타난 지역 B에서 측정된 CQI 값의 변화를 보면 평균값이 10을 기준으로 하여 오르락내리락 변화하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 그림 4-(b)에서 전송 속도가 높은 쪽 분포는 CQI가 10을 넘어선 경우에 해당하고 반대로 전송 속도가 낮은 쪽 분포는 CQI가 10보다 아래인 경우에 해당하여 전송 속도 히스토그램이 두 개의 고점을 가지는 형태를 가지게 된 것으로 분석할 수 있다.

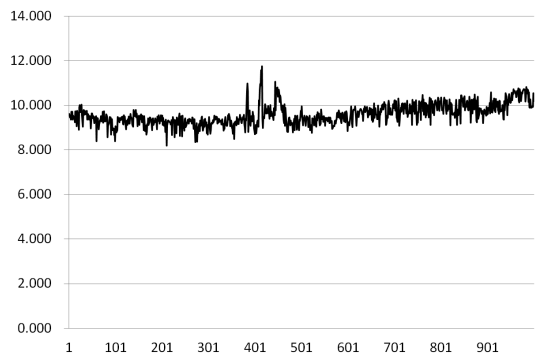


그림 5. 지역 B에서의 CQI 측정값의 변화
Fig. 5 The variation of the measured CQI values at location B

V. 결론

본 논문에서는 현재 상용화되어 서비스가 제공되고 있는 LTE 이동통신시스템의 전송 속도가 결정되는 과정에 대해서 자세히 분석하였다. 특히 많은 지표들 가운데 SINR, CQI, MCS의 상관관계 분석을 통하여 무선 채널의 신호 품질 저하가 바로 블록오류율의 증가로 이어지는 것이 아니라 오히려 전송 속도의 저하로 이어지는 현상에 대해서 설명하고 검증하였다.

검증을 위해서 신호 품질을 기준으로 두 지역을 선정하여 관련 지표들에 대한 실측을 실시하였다. 실측 결과, 앞서 설명한 지표들 간의 상관관계와 그에 따른 LTE 이동통신시스템의 전송 속도의 변화가 잘 설명되어질 수 있음을 확인하였다.

향후에는 본 논문에서 밝혀진 결과를 토대로 LTE 이동통신시스템에서 음성 서비스[9]와 영상 서비스를

제공하는 경우 어느 정도의 서비스 품질[10]이 제공되어 질 수 있는지에 대해서 연구하고자 한다.

References

- [1] D. Astély, E. Dahlman, A. Furuskär, Y. Jading, M. Lindström, and S. Parkvall, "LTE : The Evolution of Mobile Broadband," *IEEE Communications Mag.*, vol. 47, issue 4, May 2009, pp. 44-51.
- [2] S. Barakovic and L. S-Kapov, "Survey and Challenges of QoE Management Issues in Wireless Networks," *J. Computer Networks and Communications*, vol. 2013, Hindawi Publishing Corporation, 2013. pp. 1-28.
- [3] A. Perkis, S. Munkeby, and O. I. Hillestad, "A model for measuring Quality of Experience," In *Proc. IEEE the 7th Nordic Signal Processing Symposium(NORSIG) 2006*, Reykjavik, Iceland, June, 2006, pp. 198-201.
- [4] S. Schwarz, C. Mehlführer, and M. Rupp, "Low Complexity Approximate Maximum Throughput Scheduling for LTE," In *Proc. IEEE the Forty Fourth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers 2010*, Pacific Grove, CA, Nov., 2010.
- [5] 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.
- [6] H. Kiyanagi and M. Minowa, "Field Trial for LTE Mobile Network System," *FUJITSU Sci. Tech. J.*, vol. 48, no. 1, Jan. 2012, pp. 76-82.
- [7] M. P. Wylie-Green and T. Svensson, "Throughput, Capacity, Handover and Latency Performance in a 3GPP LTE FDD Field Trial," In *Proc. IEEE Global Telecommunications Conf.(GLOBECOM) 2010*, Miami, FL, Dec., 2010.
- [8] S.-M. Kim, "Required Specification Analysis of Radio over Fiber system for LTE-Advanced Fronthaul link," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 8, 2014, pp. 915-919.
- [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.
- [10] 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.

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

