

LTE 이동통신 시스템의 처리율과 무선 채널 상태와의 상관관계 분석

김범준*

The analysis of the relationship between the throughput and the wireless channel conditions of a LTE mobile communication system

Beom-Joon Kim*

요 약

대표적인 4세대 이동통신 시스템으로서 LTE는 과거 이동통신 시스템에 비하여 훨씬 더 높은 전송 속도를 제공한다. 그러나 무선 환경의 특성 상 LTE가 제공하는 전송 속도는 무선 채널의 상태에 따라서 큰 영향을 받을 수 있다. LTE 시스템의 무선 접속을 통해서 제공되는 대부분의 서비스에 대한 사용자의 만족도는 전송 속도에 일차적인 영향을 받게 된다. 따라서 본 논문에서는 무선 채널의 상태를 대표하는 다양한 품질 지표를 선정하고 이들에 대한 실체 측정을 실시하여 각 품질 지표의 변화에 대한 LTE 시스템의 전송 속도의 변화를 관찰하였다. 그 결과 채널의 상태가 나빠질수록 신호의 세기가 아닌 신호의 품질이 LTE 시스템이 제공하는 전송 속도에 밀접한 영향을 미친다는 사실을 알 수 있었다.

ABSTRACT

As a representative system of the 4th generation mobile communication system, LTE provides much higher transmission rate than the former ones. Considering the varying property that a wireless environment shows, the transmission rate is influenced very deeply by the wireless channel conditions. The transmission rate is one of the most important attributes that has a primary effect on user's satisfaction of the service provided through the LTE system. After we have selected a few metrics that indicate the wireless channel quality, therefore, we have conducted a measurement for the metrics over the real commercial LTE system. By analyzing the measured results, we have found that the channel quality affect more on the transmission rate as the channel quality becomes poorer.

키 워드

LTE(Long-Term Evolution), Transmission rate, Channel Quality, Measurement
LTE, 전송 속도, 채널 품질, 측정

* 교신저자(corresponding author) : 계명대학교 전자공학과(bkim@kmu.ac.kr)
접수일자 : 2014. 11. 15

심사(수정)일자 : 2015. 01. 16

게재 확정일자 : 2015. 02. 09

1. 서론

흔히 4세대 이동통신 시스템으로 일컬어지는 LTE (Long Term Evolution) 시스템[1]은 3세대 이동통신 시스템에 비해서 훨씬 더 빠른 전송 속도를 제공함으로써 시장에 성공적으로 정착하였다. 그 결과 단순히 기존의 IP(Internet Protocol) 기반 인터넷에서 제공되는 서비스를 무선 네트워크 환경에서 제공하는 것뿐만 아니라 단말의 이동성이 작용하는 다양한 유형의 서비스가 제공되고 있다.

일반적으로 네트워크를 통해서 제공되는 서비스에 대한 사용자의 만족도를 결정하는 가장 중요한 요소는 전송 속도이다[2]. 인터넷이 등장한 이래 인터넷을 통해서 제공되는 서비스에 대한 사용자의 만족도를 높이기 위해서 도입한 가장 주요한 정책은 대역폭 과다 공급(bandwidth over-provisioning)[3]이었으며 실제로 상당한 효과를 나타내었다. 대역폭의 과다 공급이란 말 그대로 네트워크에 가해질 최대 부하를 가정하여 네트워크의 용량을 증대시키는 방법으로 간단하면서도 즉각적인 효과를 기대할 수 있다는 장점이 있다.

그런데 이 대역폭의 과다 공급을 통한 사용자 만족도 증가는 LTE와 같은 무선 접속 기술을 사용하는 이동통신 시스템에는 그대로 적용되기 어렵다. 무선 접속 기술은 제한된 대역폭을 가지는 무선 주파수 상에서 동작하도록 구현되기 때문이다[1]. 따라서 이동통신 시스템을 통하여 이루어지는 서비스에 대한 사용자의 만족도를 관리하기 위해서는 대역폭의 과다 공급 외에 다른 방안이 도입될 필요가 있다.

서비스 측면에 있어 현재 LTE 시스템은 기존의 유선 인터넷을 통하여 제공되는 서비스를 그대로 무선 영역으로 확장하는 역할을 수행하고 있다. 그런데 IP 패킷 기반의 서비스는 서비스 품질(Quality of Service : QoS)[4],[5]의 수준을 보장할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 이 문제는 IP 서비스의 본질적인 BE(Best Effort) 특성으로 인한 것이기 때문에 IP 패킷 기반으로 서비스가 제공되는 한 이를 근본적으로 해결하는 것은 쉽지 않다. 특히 이 문제는 LTE와 같은 이동통신 시스템을 통해서 제공되는 서비스에 대해서 더욱 심각해질 수 있는데 이는 접속 과정에서 무선 채널 상에서 전송되는 신호가 감쇄, 왜곡, 페이

딩, 단말의 이동 등 다양한 요인에 의해서 품질이 저하될 수 있기 때문이다[6].

앞에서 설명한 배경을 가지고 본 논문은 무선 채널의 상태가 LTE 시스템이 제공하는 전송 속도에 미치는 영향에 대해서 상세히 분석하고자 한다. 이를 위하여 무선 채널의 상태를 나타낼 수 있는 몇 가지 지표를 선정하고 이 지표들에 대한 많은 횟수의 실제 측정을 실시한다. 측정된 결과를 분석함으로써 각 품질 지표와 전송 속도와의 상관관계에 대해서 알아본다. 향후 본 논문의 결과는 LTE 시스템을 통하여 제공되는 서비스의 만족도 분석 및 관리 방안의 도출을 위한 근거로서 활용될 수 있을 것으로 기대하고 있다.

II. 선정된 LTE 무선 품질 지표의 선정

II장에서는 LTE 시스템의 무선 접속의 채널 상태를 나타내는 많은 지표들 가운데 본 연구를 위하여 측정 대상으로 선정된 것들에 대해 설명한다. 이 지표들을 선정함에 있어 일반적으로 LTE 무선 접속이 이동 단말에 제공하는 전송 속도에 영향을 미칠 수 있는지의 여부를 일차적으로 고려하였다.

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

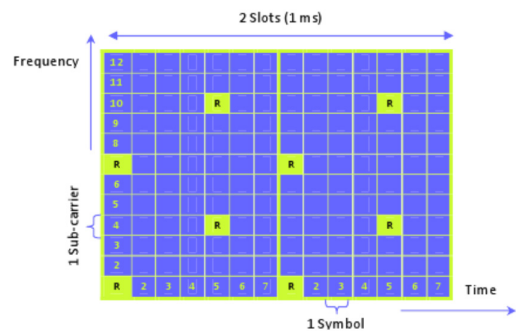


그림 1. LTE 시스템의 다운링크 프레임 내 참조신호의 매핑

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 심벌(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.

$$RSRQ = N \frac{RSRP}{RSSI} \quad (1)$$

- 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 활용되는 것으로 알려져 있다. 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 높은 값일수록 채널의 품질이 더 좋을을 나타낸다.

III. 품질 지표 측정

앞에서 LTE 시스템이 이동단말에 제공하는 전송 속도에 영향을 미칠 수 있는 대표적인 품질 지표에

표 1. 무선 채널 품질에 따른 측정 환경의 분류

Table 1. The classification of measurement environments per the RF channel quality

		RSRP (dBm)	RSRQ (dB)	SINR (dB)
RF Conditions	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

대해서 설명하였다. III장에서는 이들에 측정 환경과 과정에 대해서 설명하고 측정 결과에 대해서 분석한다.

3.1 측정 환경

실제 측정을 위한 필드 시험에 앞서 무선 채널의 품질에 따른 필드시험 대상 지역 선정이 이루어졌다. 일반적인 LTE 무선 접속의 채널 품질에 따른 환경의 분류 기준을 다음의 표 1에 나타내었다[7]. 표에 나타난 바와 같이 무선 채널의 품질을 RSRP, RSRQ, SINR, 세 개의 품질 지표 값에 따라서 네 등급으로 분류한 것을 볼 수 있다.

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

여러 가지 측정 장비를 사용하여 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 2에 나타내었다. 표 2에 측정된 값을 표 1에 제시된 값과 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 2. 측정을 위해 선정된 대상 지역의 특성
Table 2. 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

3.2 측정 결과 요약

아래 표 3에는 지역 A와 지역 B에 대한 필드 시험을 통해서 각 지표에 대해서 얻어진 측정 결과를 요약

표 3. 측정 결과 요약
Table 3. Summary of the measured results

Metric		Lo_A	Lo_B
RSSI (dBm)	Max.	-26.3	-62.6
	Min.	-35.0	-66.7
	Avg.	-30.3	-64.6
RSRP (dBm)	Max.	-56.2	-93.7
	Min.	-63.6	-96.5
	Avg.	-59.3	-95.8
RSRQ (dB)	Max.	-7.5	-8.7
	Min.	-10.5	-12.4
	Avg.	-9.0	-11.1
SINR (dB)	Max.	28.0	16.6
	Min.	21.2	1.9
	Avg.	24.4	12.3
CQI	Max.	14.9	11.7
	Min.	11.4	8.2
	Avg.	12.9	9.6
BLER (%)	Max.	9.1	10.1
	Min.	2.8	8.7
	Avg.	8.9	9.1
Average Throughput (Mbps)	Max.	118.4	50.1
	Min.	41.7	9.7
	Avg.	96.5	35.2

약한 것이다. 앞의 II장에서 설명한 5개의 지표 외에도 링크 계층에서의 재전송 기능의 동작과 관련된

BLER(BLock Error Rate)와 사용자 단말의 TCP (Transmission Control Protocol) 계층에서의 전송 속도의 측정 결과를 추가하였다. 종합적으로 지역 A의 값들이 지역 B의 값보다는 더 높은 것을 볼 수 있다.

이들에 대한 보다 자세한 분석을 위하여 다음 그림 2와 3에는 1,000개의 샘플 측정 값 전체를 각 지표 별로 나타내었다. 이를 통하여 각 지표 별 값들이 변화하는 모양을 비교하는 것이 가능하다. 하나의 샘플은 동일 시간에 측정된 여러 개의 지표에 대한 값의 집합이므로 이들 값은 서로 연계되어 있다고 할 수 있다.

그림 2는 지역 A에서 6개의 지표들에 대해 측정된 결과를 보여준다. 첫 번째 관찰할 수 있는 점은 (a)에 나타난 전송 속도의 값이 몇 번 크게 변화를 보였을 뿐 그 외 나머지 지표들의 변동 폭이 매우 적다는 점이다. 그리고 서로 유사한 변화 형태를 보이는 지표 쌍도 보이지 않는다. 지역 A는 채널의 품질이 매우 우수한 지역이라는 점을 고려했을 때 각 지표들의 값은 최댓값 부근에서 독립적으로 변화한 것으로 추정할 수 있다.

그림 3은 지역 B에서의 측정 결과를 보여주는데 그림 2와는 다소 다른 양상을 관찰할 수 있다. 우선 (a)의 전송 속도와 (c)의 SINR이 굉장히 유사한 형태를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 그리고 미약하지만 (e)의 CQI와 (f)의 RSRQ 역시 다소 증가하는 형태를 보이고 있다. 반면 (b)의 RSSI와 (d)의 RSRP는 오히려 반대로 감소하는 형태를 보여준다.

이와 같은 결과를 토대로 알 수 있는 것은 기지국이 이동 단말에 제공하는 전송 속도는 신호의 세기가 아닌 신호의 품질과 훨씬 더 밀접한 연관성을 가진다는 점이다. 일반적으로 SINR은 간섭과 잡음을 제외한 순수한 신호의 세기를 나타내기 때문에 신호의 품질을 나타낸다고 할 수 있다. 다소 형태가 다르긴 하지만 CQI 역시 증가하는 형태를 보여주는데 이는 CQI의 산출에 SINR의 값이 입력 값으로 사용된다는 점으로 설명 가능하다[9]. RSRQ 역시 신호의 품질을 나타내는 지표이므로 동일하게 설명될 수 있다.

반면 (b)의 RSSI와 (d)의 RSRP의 측정 결과는 오히려 감소하는 형태를 나타내고 있다. RSSI와 RSRP는 모두 잡음이나 간섭을 포함하는 신호 전체의 세기를 의미한다는 점에서 비슷하고 따라서 두 지표의 측정 결과가 유사한 형태를 보이는 것으로 이해

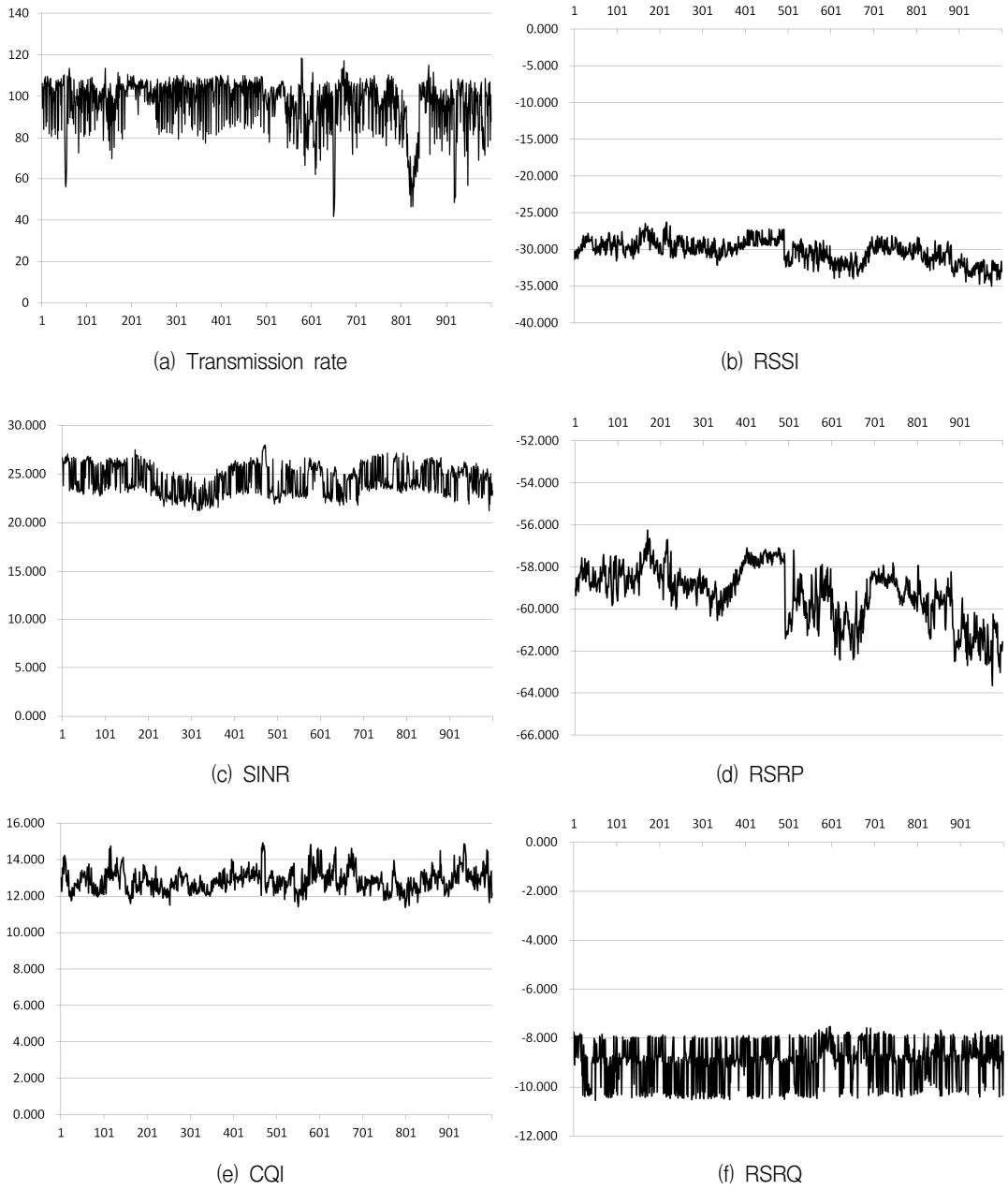


그림 2. 지역 A에서의 측정 결과(x축 : 샘플 번호)
 Fig. 2 The measured results at Location A(x axis : sample number)

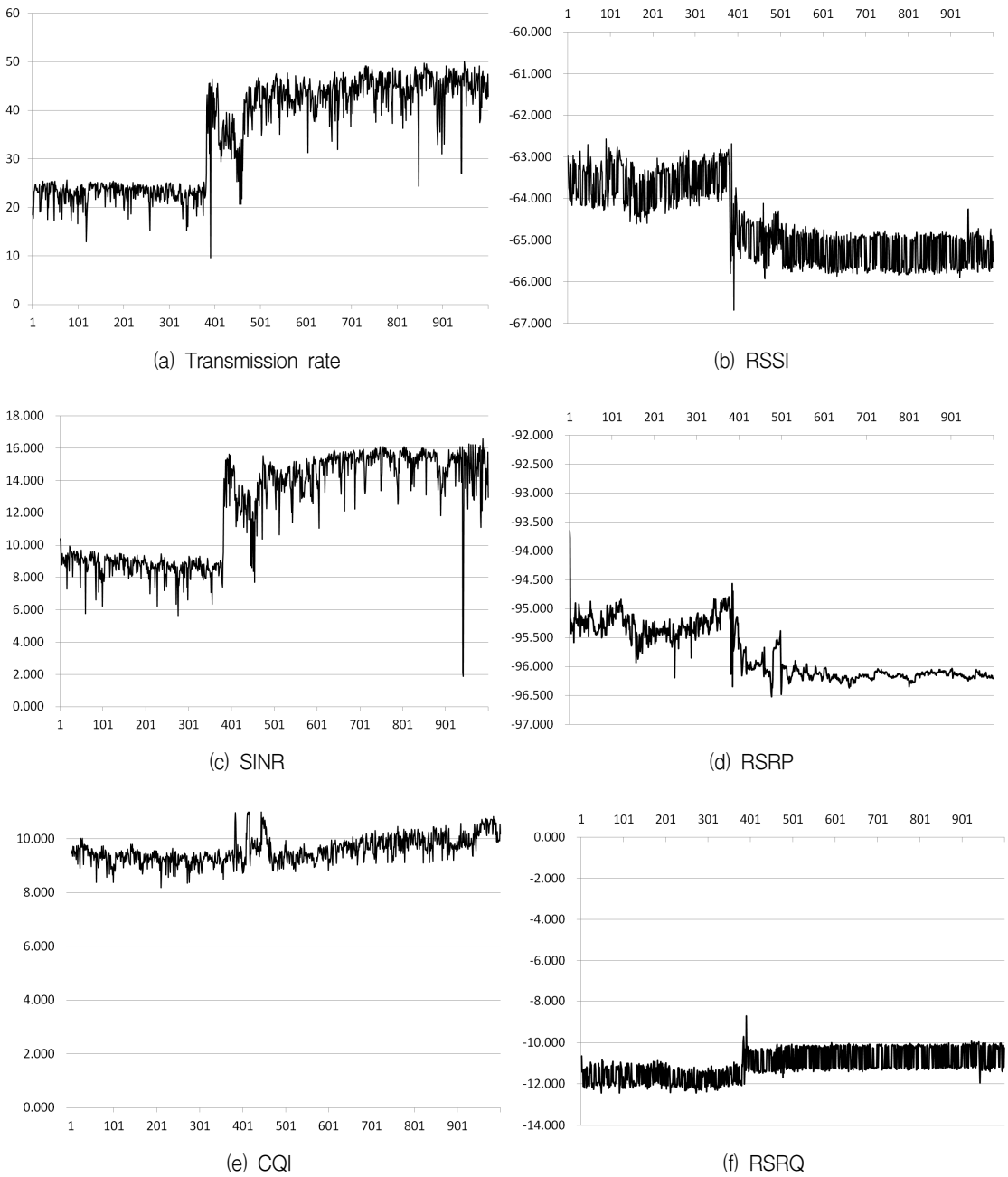


그림 3. 지역 B에서의 측정 결과(x축 : 샘플 번호)
 Fig. 3 The measured results at Location B(x axis : sample number)

할 수 있다. 그런데 전송 속도와는 아예 정 반대의 상관관계를 보인다는 점은 현재로서는 다소 설명하기 어려운 점이다. 다만 본 샘플들은 일정한 시간 간격으로 두고 반복적으로 측정되었으므로 결과적으로 각 그림의 x축은 시간으로 보아도 무방한데 특정 순간을 기준으로 주변의 환경에 변화가 있었거나 기지국의 장비의 설정의 변경으로 인한 것으로 짐작되지만 측정을 실시할 때는 이를 전혀 예상을 하지 못한 관계로 직접적인 원인의 파악에는 다소 한계가 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 LTE 무선 접속이 이동 단말에 제공하는 전송 속도에 채널 상태가 미치는 영향을 실측을 통하여 분석하였고 그 결과 신호의 세기보다는 품질이 훨씬 더 큰 영향을 미친다는 사실을 확인할 수 있었다.

References

- [1] D. Astély, E. Dahlman, A. Furuskär, Y. Jading, M. Lindström, and S. Parkvall, "LTE : The Evolution of Mobile Broadband," *IEEE Communications Magazine*, 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] Michael Menth, Rüdiger Martin, Joachim Charzinski, "Capacity overprovisioning for networks with resilience requirements," In *Proc. the 2006 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, Pisa, Sep., 2006, pp. 87-98.
- [4] Young-dong Kim, "Performance of VoIP traffics over MANETs under DDoS Intrusions," *The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 4, 2011, pp. 493-498.
- [5] Hee-Jong Suh, "An Improved Algorithm of Distributed QoS in Real-time Networks," *The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 1, 2012, pp. 53-60.
- [6] Selim Ickin, Katarzyna Wac, and Markus Fiedler, Lucjan Janowski, Jin-Hyuk Hong, and Anind K. Dey, "Factors Influencing Quality of Experience of Commonly Used Mobile Applications," *IEEE Communications Magazine*, vol. 50, issue 4, Apr. 2012, pp. 48-56.
- [7] 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 Magazine*, vol. 47, issue 4, May. 2009, pp. 92-98.
- [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] S. Schwarz, C. Mehl'ührer, 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*, Monterey, Nov., 2010.

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