
LTE 무선 네트워크에서 Voice over IP 용량 분석

반태원* · 정방철**

Capacity Analysis of VoIP over LTE Network

Tae Won Ban* · Bang Chul Jung**

요 약

4세대 이동통신 시스템인 LTE에서는 음성 서비스를 제공하기 위한 코어 망이 존재하지 않으며, IP 기반의 패킷 코어망으로 통합되었다. 따라서, 음성 서비스를 제공하기 위해서는 VoIP 방식이 도입되어야 하지만, LTE 초기에는 서비스 커버리지의 불연속성 등으로 3세대 네트워크의 음성 서비스 코어망을 통하여 일시적으로 음성 서비스를 제공할 수 있다. 그러나, 향후 LTE 네트워크가 본격적으로 확산될 경우 고품질 음성 서비스를 위하여 필연적으로 VoIP 방식으로의 전환이 불가피하다. 본 논문에서는, 향후 본격적으로 상용화가 예상되는 VoLTE 서비스의 용량을 분석한다. 분석 결과에 따르면, LTE에서는 채널 대역폭 증가 비율 대비 VoLTE 용량 증가 비율이 높음을 확인할 수 있었다. 또한, VoLTE 용량 감소 없이 제어 채널용 자원을 늘릴 수 있는 방안이 존재함을 확인하였다.

ABSTRACT

The 4th generation mobile communication system, LTE, does not support an additional core network to provide voice service, and it is merged into a packet network based on all IP. Although Voice service over LTE can be supported by VoIP, it will be provided by the existing 3G networks because of the discontinuity of LTE coverage. However, it is inevitable to adopt VoIP over LTE to provide high quality voice service. In this paper, we investigate the capacity of VoIP over LTE. Our results indicate that spectral efficiency can be significantly improved as channel bandwidth increases in terms of VoLTE capacity. In addition, we can achieve higher VoLTE capacity without decreasing control channel capacity.

키워드

LTE 음성 서비스

Key word

LTE, VoIP over LTE, VoLTE

* 종신회원 : 경상대학교 정보통신공학과 교수, 해양산업연구소

접수일자 : 2012. 09. 19

** 종신회원 : 경상대학교 정보통신공학과 교수, 해양산업연구소(교신저자)

심사완료일자 : 2012. 10. 16

I. 서 론

스마트폰의 본격 등장으로 인해, 최근 몇 년 사이 모바일 데이터 트래픽이 폭발적으로 증가하고 있다 [1]. 이렇게 폭발적으로 증가하는 모바일 데이터 트래픽을 원활히 수용하기 위하여 4세대 이동통신 시스템인 Long Term Evolution (LTE)가 본격적으로 도입되기 시작하였다 [2]. LTE에서는 음성 서비스와 영상 통화와 같은 회선 기반 서비스 (Circuit Switched Service)를 제공하기 위한 별도의 코어 망이 존재하지 않으며, IP 기반의 패킷 코어 망으로 통합되었다 [3]. 따라서, 모든 서비스는 패킷 코어 망을 통하여 제공되어야 하므로, 음성 서비스를 제공하기 위해서는 Voice over IP (VoIP) 도입이 필수적이다. 그러나, LTE 도입 초기에는 LTE 서비스 제공 지역의 제한, 단말의 VoIP 프로토콜 미지원 등으로 인하여 VoLTE (VoIP over LTE) 서비스가 원활히 제공될 수 없다. 따라서, 초기 LTE 사용자들 기존의 3세대 이동통신 망인 WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access)를 활

용하여 Circuit Switched FallBack (CSFB) 기반으로 음성 서비스를 제공받게 된다 [4]. 이러한, CSFB 기반의 음성 서비스는 필연적으로 음성 호 연결 지연이 클 뿐만 아니라 [5], 단말이 서비스에 따라서 WCDMA와 LTE망에 선택적으로 연결해야만 하므로 향후 VoLTE 도입이 불가피하다. VoLTE가 도입될 경우, 동일 채널 대역폭을 활용하여 데이터와 음성이 동시에 서비스되므로, VoLTE 용량에 대한 세밀한 분석이 필요하지만, 기존에는 컴퓨터를 활용한 복잡한 시스템 레벨 시뮬레이션을 통하여 VoLTE 용량을 분석하였다 [6].

본 논문에서는 몇 가지 가정에 기반한 수학적 해석을 통하여 VoLTE 용량을 분석한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 LTE 프레임 및 자원 할당 구조에 대하여 살펴보고, VoLTE 패킷 모델을 제시한다. III장에서는 II장에서 제시된 프레임 구조 및 패킷 모델에 기반하여 VoLTE 용량을 분석한다. IV장에서는 VoLTE 용량을 다양한 환경에서 분석하고, V장에서 본 논문을 마무리한다.

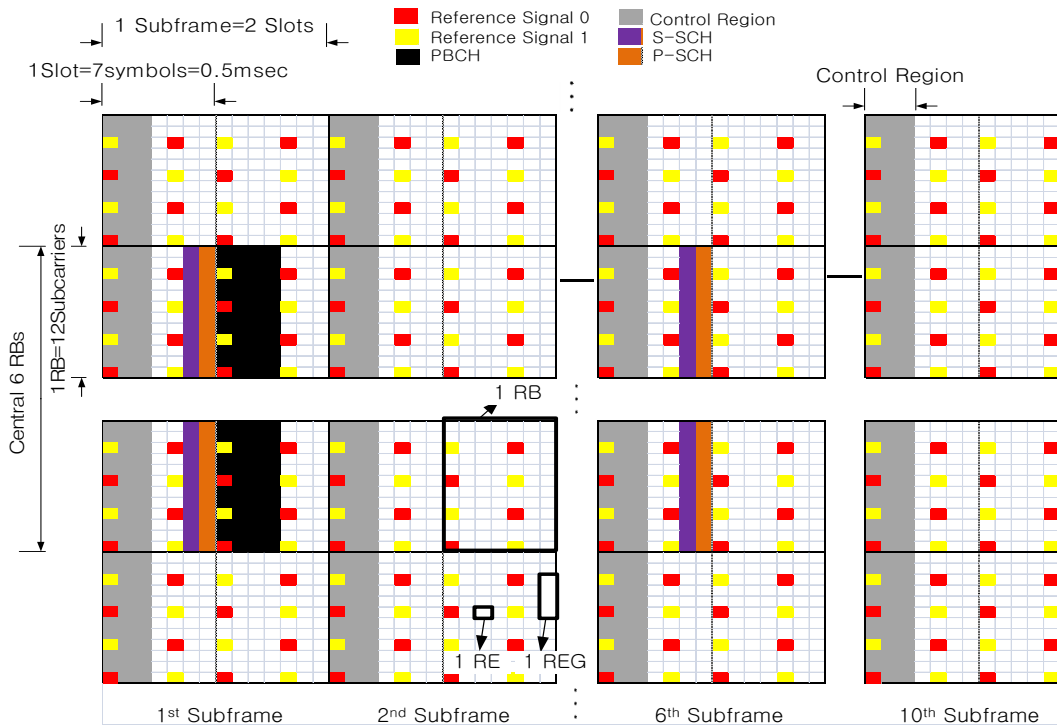


그림 1. LTE 하향링크 프레임 구조 (2개의 안테나)
Fig. 1 VoLTE Downlink Frame Structure (2 Antennas)

II. LTE 프레임 구조 및 VoLTE 패킷 모델

본 장에서는 LTE 하향 링크의 프레임 및 자원 할당 구조에 대해서 살펴보고, VoLTE 패킷 모델을 제시한다.

2.1. LTE 하향링크 프레임 구조

그림 1은 LTE 하향링크 프레임의 구조를 나타낸다. LTE의 최소 전송 단위인 Transmission Time Interval (TTI)는 1msec 서브프레임이며, 하나의 서브 프레임은 2개의 슬롯으로 구성되며, 한 슬롯은 7개의 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 심볼로 구성된다. LTE에서의 최소 자원 단위를 Resource Element (RE)라고 하며, RE는 한 심볼 시간 동안 하나의 부반송파로 구성된다. 그리고, LTE에서는 7 심볼 구간 동안의 12 부반송파로 구성된 Resource Block (RB) 단위로 자원이 할당된다. 그러므로, 하나의 RB는 84개의 RE로 구성된다.

2.2. VoLTE 패킷 모델

VoLTE에서는 AMR (Adaptive Mul-Rate) 코덱을 사용하고 있으며, 20msec 주기로 VoIP 패킷이 전송된다. 그러므로, 20msec 당 AMR 패킷 크기, L_{AMR} 은 다음과 같이 결정된다.

$$L_{VoLTE} = r \times 20msec + 84 \quad (1)$$

여기는 r 은 AMR 코덱의 전송 속도를 나타내며, 84는 각종 오버헤드 비트로써, 코덱 제어 신호 12 비트, ROHC (Robust Header Compression) 압축을 고려한 IP 헤더 24 비트, PDCP (Packet Data Convergence Protocol) 헤더 8비트, RLC (Radio Link Control) 헤더 8비트, MAC (Medium Access Control) 헤더 8비트, 그리고 CRC (Cyclic Redundancy Check) 24비트로 구성된다. 표 1은 다양한 AMR 코덱 모드별 오버헤드를 고려한 패킷 사이즈를 나타낸다 [7].

표 1. AMR 속도별 패킷 량
Table. 1 Packet Size for Various AMR Rates

속도(kbps)	패킷 량 (bits/20msec)
4.75	179
5.15	187
5.95	203
6.7	218
7.4	232
7.95	243
10.2	288
12.2	328

III. VoLTE 용량 분석

VoLTE 용량을 계산하기 위해서 VoLTE 용으로 활용할 수 있는 전체 RB 수를 먼저 구한다. VoLTE 패킷이 전송되는 주기인 20msec 구간 동안에 VoLTE 패킷 전송용으로 사용할 수 있는 총 RB수, RB_{VoLTE} 는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} RB_{VoLTE} &= RB_{total} - RB_{PSS,SSS} - RB_{PBCH} \quad (2) \\ &= 20 \times RB_{BW} - 6 \times 4 \\ &= 20 \times RB_{BW} - 24 \end{aligned}$$

여기서, RB_{total} 은 20msec내에서 활용가능한 전체 RB 수를 나타낸다. 그리고, RB_{BW} 는 LTE 시스템 채널 대역폭에 따라서 활용 가능한 RB 수를 나타내며, 표 2와 같이 규격에 명시되어 있다 [8].

표 2. 채널 대역폭에 따른 전체 RB 수
Table. 2 Total RB Number for Various Channel Bandwidths

채널 대역폭 (MHz)	RB 수, RB_{BW}
1.4	6
3	15
5	25
10	50
15	75
20	100

그리고, $RB_{PSS,SSS}$ 는 단말의 시스템 동기 획득을 위해서 방송되는 정보인 Primary Synchronization Signal (PSS)와 Secondary Synchronization Signal (SSS)용으로 사용되는 RB 수를 나타낸다. PSS와 SSS는 그림 1에서 보는 바와 같이 10msec 프레임 중에서 1번째와 6번째 서브 프레임에서 중앙의 6 RB에 걸쳐서 전송된다. 마지막으로, RB_{PBCH} 는 셀 관련 각종 시스템 정보를 방송하는 채널인 Physical Broadcast Channel (PBCH)용으로 사용되는 RB 수를 나타낸다. PBCH는 10msec 프레임 내에서 첫 번째 서브 프레임에서 중앙의 6 RB에 걸쳐서 전송된다.

LTE에서의 최소 자원할당 단위는 RB이며, 한 TTI가 1msec이므로, 본 논문에서는 PSS, SSS, 그리고 PBCH가 점유하는 RB는 VoLTE 용으로 사용되지 않는 것으로 가정하였다. 식 (2)에서는 VoLTE용으로 활용가능한 전체 RB 수를 산출하였으며, 각 RB 내에서 실제 데이터를 전송할 수 있는 RE 수, RE_{VoLTE} 는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\begin{aligned} RE_{VoLTE} &= RE_{total} - RE_{PDCCH} - RE_{RS} \\ &= 12 \times 14 - 12 \times CFI - 12 \\ &= 12 \times (13 - CFI) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, RE_{PDCCH} 는 제어 채널인 Physical Downlink Control Channel (PDCCH)가 사용하는 RE 수를 나타낸다. PDCCH는 Control Format Indicator (CFI)에 따라서 매 서브 프레임의 앞 1~3개의 심볼을 사용한다. 그리고, RE_{RS} 는 단말 채널 추정을 위한 Reference Signal (RS) 전송 용도로 사용되는 RE 수를 나타내며, 그림 1에서 보는 바와 같이 2개의 안테나를 가정할 경우 각 RB당 총 16개의 RE를 사용하지만, PDCCH와 중첩되는 RE를 제외하면 총 12개의 RE를 사용한다.

식 (2~3)을 통해서 LTE 시스템이 VoLTE 용으로 제공할 수 있는 전체 자원의 양을 얻었으며, VoLTE 용량을 산출하기 위해서는 VoLTE 패킷 전송을 위해서 필요한 자원의 양을 구하여야 한다. LTE에서는 채널 상태에 따라서 적응적인 모듈레이션과 코딩을 위하여 총 15개의 Modulation and Coding Scheme (MCS) 수준을 정의하고 있다 [9]. 이때, 하나의 VoLTE 패킷을 전송하기 위해서 필요한 RE 수는 다음과 같이 계산된다.

$$RE_{req, VoLTE} = \frac{L_{VoLTE}}{MCS_{avg, eff}} \quad (4)$$

여기서, L_{VoLTE} 는 식 (1)에서 구한 한 VoLTE 패킷의 크기를 나타내며, $MCS_{avg, eff}$ 는 MCS의 평균 효율성으로 RE당 이론적으로 수용 가능한 최대 비트수와 규격에서 정의된 Transport Block에서 수용 가능한 실제 비트수의 비율을 나타내며 표 3과 같이 정의된 MCS별 효율성에 분포 확률을 적용하여 구할 수 있다 [9].

표 3. MCS와 코딩 효율성[bits/RE]
Table. 3 MCS and Coding Efficiency[bits/RE]

MCS	변조기법	효율성
1	QPSK	0.1523
2	QPSK	0.2344
3	QPSK	0.3770
4	QPSK	0.6016
5	QPSK	0.8770
6	QPSK	1.1758
7	16QAM	1.4766
8	16QAM	1.9141
9	16QAM	2.4063
10	64QAM	2.7305
11	64QAM	3.3223
12	64QAM	3.9023
13	64QAM	4.5234
14	64QAM	5.1152
15	64QAM	5.5547

LTE에서는 최소 자원할당 단위가 RB이므로, 식 (4)에서 주어진 $RE_{req, VoLTE}$ 를 기반으로, 하나의 VoLTE 패킷 전송에 필요한 RB 수를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$RB_{req, VoLTE} = \left\lceil \frac{RE_{req, VoLTE}}{RE_{VoLTE}} \right\rceil \quad (5)$$

여기서, $\lceil x \rceil$ 는 x 보다 작지 않은 가장 큰 정수를 나타낸다.

최종적으로, 식 (2)와 (5)를 이용하여 LTE 하향 링크

의 VoLTE 용량은 다음과 같이 얻어진다.

$$C_{VoLTE} = \left\lfloor \frac{RB_{VoLTE}}{RB_{req, VoLTE}} \times \frac{1}{\eta} \right\rfloor \quad (6)$$

여기서, $\lfloor x \rfloor$ 는 x 보다 크지 않은 가장 큰 정수를 나타내며, η 는 음성 서비스의 활성화 지수 (Activity Factor) 를 나타낸다.

IV. 성능 평가

본 장에서는 다양한 채널 대역폭 및 CFI에 대하여 VoLTE 용량을 평가하여 본다. 먼저, 그림 2는 MCS=5, CFI=3, 음성 서비스의 활성화 지수 $\eta=50\%$ 일 때 다양한 채널 대역폭에 따른 VoLTE 용량을 나타낸다. 채널 대역폭이 증가함에 따라서 VoLTE 용량은 증가하지만, 그 증가 비율은 채널 대역폭의 비율보다 높게 나타난다. 그림 3에서 확인할 수 있듯이, 5MHz일때의 VoLTE 용량대비 대역 폭이 2배 증가할 경우 용량은 2.1배 증가하며, 대역 폭이 4배 증가할 경우 VoLTE 용량은 4.2배 증가한다. 이는 시스템 정보 및 제어 정보 등을 전송하기 위한 오버헤드 정보의 양은 고정되어 있는 반면, 채널 대역폭이 증가할수록 오버헤드 정보의 비율은 감소하기 때문이다. 이를 통해서 LTE에서는 채널 대역폭이 증가할수록 주파수 효율성이 향상된다는 점을 확인할 수 있다.

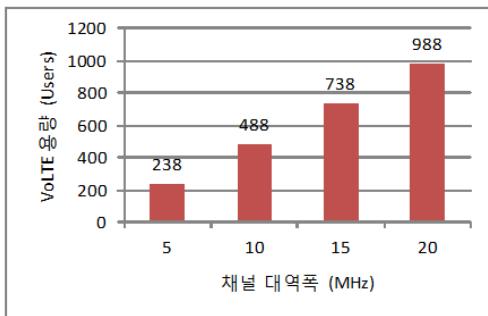


그림 2. 채널 대역폭에 따른 VoLTE 용량 (MCS=5, CFI=3, $\eta=50\%$)

Fig. 2 VoLTE Capacities for Channel Bandwidth (MCS=5, CFI=3, $\eta=50\%$)

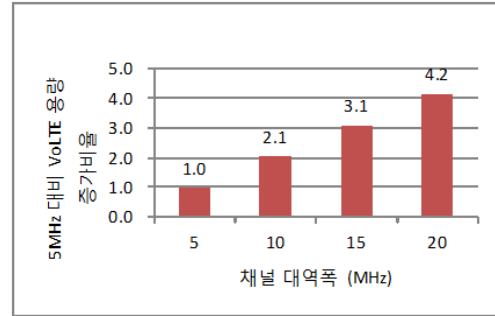


그림 3. 5MHz 대비 VoLTE 용량 비율 (MCS=5, CFI=3, $\eta=50\%$)

Fig. 3 Ratios of VoLTE Capacities to 5MHz capacity (MCS=5, CFI=3, $\eta=50\%$)

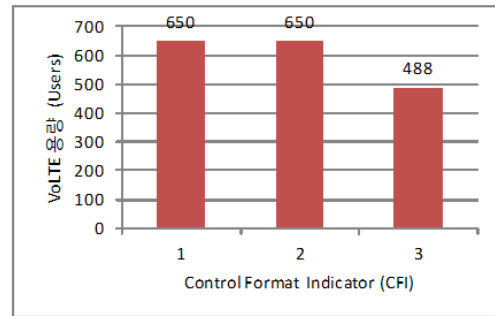


그림 4. CFI에 따른 VoLTE 용량 (MCS=5, 채널 대역폭=10MHz, $\eta=50\%$)

Fig. 4 VoLTE Capacities for CFI (MCS=5, Channel Bandwidth=10MHz, $\eta=50\%$)

그림 4는 MCS=5, 채널 대역폭 10MHz, 음성 서비스의 활성화 지수 $\eta=50\%$ 일 때 CFI별 VoLTE 용량을 나타낸다. CFI가 증가할수록 PDCCH용으로 할당되는 자원이 증가하는 반면, VoLTE용 자원은 감소하기 때문에 VoLTE 용량은 감소한다. 그러나, CFI가 2일 경우의 VoLTE 용량은 CFI가 1일 경우와 동일하게 나타남을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는, 향후 본격적으로 상용화가 예상되는 VoLTE 서비스의 용량을 분석하였다. 기존의 VoLTE 용량 분석은 복잡한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 이루어

졌으나, 본 논문에서는 몇 가지 가정들을 통하여 간단하게 VoLTE 용량을 분석하였다. 분석 결과에 따르면, LTE에서는 채널 대역폭 증가 비율 대비 VoLTE 용량 증가 비율이 높음을 확인할 수 있었다. 또한, 제어 채널용으로 할당되는 자원의 양이 증가할수록 VoLTE 용량이 감소하지만 CFI가 2일 경우는 CFI가 1일 경우와 VoLTE 용량이 동일하므로, VoLTE 용량 감소 없이 제어 채널용 자원을 증가시킬 수 있음을 확인하였다. 본 논문에서는, 하향 링크에서의 VoLTE 용량을 분석하였으며, 향후 하향 링크 제어 채널 및 상향 링크 용량에 대한 추가 분석이 필요할 것이다.

참고문헌

- [1] 윤현영, "4G 시대 도래에 따른 주파수 확보 및 관리 방향," kt경제경영연구소 Digieco, 2011년 12월
- [2] <http://www.3gpp.org/LTE>
- [3] 3GPP TS 23.401 GPRS enhancements for E-UTRAN access
- [4] 3GPP TS 23.272 Circuit Switched fallback in Evolved Packet System: Stage 2
- [5] 3GPP S2-101308 Assessment of CSFB performance and prospective gain of CSFB enhancements
- [6] Harri Holma and Antti Toskala, *LTE for UMTS; OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*, Wiley, 2009
- [7] 3GPP TS 26.090 Mandatory Speech Codec speech processing functions; Adaptive Multi-Rate (AMR) speech codec; Transcoding functions
- [8] 3GPP TS 36.101 User Equipment (UE) radio transmission and reception
- [9] 3GPP TS 36.213 Physical layer procedures

저자소개

반태원(Tae Won Ban)



1998년 2월 경북대학교 전자공학과 학사

2000년 2월 경북대학교 전자공학과 석사

2010년 2월 KAIST 전기전자공학과 박사

2000년 2월 ~ 2012년 8월 KT 네트워크부문

2012년 9월 ~ 현재 경상대학교 정보통신공학과 조교수

※ 관심분야: 이동통신, 자원관리, 간섭관리, 협력 및 중계통신, 인지통신, 주파수 공유, 차세대 이동통신 시스템

정방철(Bang Chul Jung)



2002년 2월 아주대학교 전자공학부 학사

2004년 8월 KAIST 전자전산학과 석사

2008년 2월 KAIST 전자전산학과 박사

2008년 3월 ~ 2009년 8월 KAIST IT 융합연구소 팀장

2009년 9월 ~ 2010년 2월 KAIST IT 융합연구소 연구교수

2010년 3월 ~ 현재 경상대학교 정보통신공학과 조교수

※ 관심분야: 이동통신, 신호처리, 협력 및 중계통신, Cognitive Radios, Compressed Sensing, 차세대이동통신 시스템