

이동통신망에서 송신전력 절감 및 QoE 보장을 위한 전력관리 방안

이문호¹ · 이종찬^{2*}

Decreasing Transmission Power with Provisioning Quality of Experience in Mobile Communication Networks

Moon-Ho Lee¹ · Jong-Chan Lee^{2*}

¹Department of Multimedia Science, Chungwoon University, Incheon 22100, Korea

^{2*}Department of Computer Information Engineering, Kunsan National University, Gunsan 54150, Korea

요 약

이동통신망에서는 채널 사용을 극대화하기 위하여 제한된 송신 전력으로 멀티미디어 트래픽을 지원해야 한다. 실시간 전송 기반의 데이터들은 지연에 민감하므로 이를 고려해야 하고, 비실시간성 데이터는 비교적 지연에 둔감하므로 패킷 손실에 유연하게 대처할 수 있다. 따라서 제한된 송신 전력으로 멀티미디어 트래픽을 지원하여야 하므로 하향 링크 전력을 최소로 유지하면서 QoE 제약 조건을 충족시키는 방안이 필요하다. 전송률의 증가에 따라 소비되는 전력이 크게 증대되므로 다양한 이동 멀티미디어 서비스를 지원하기 위해서는 에너지 소비 절감 기술이 요구된다. 또한 인터넷 기반의 멀티미디어 서비스는 자원 요구량, QoE 요건이 상이하므로 적응적인 전력 관리가 필수적이다. 따라서 본 논문에서는 QoE를 일정 수준으로 충족시키면서 전력 소모를 최소화하기 위한 방안을 제안한다.

ABSTRACT

Mobile communication systems should be able to support multimedia traffics with limited transmit power due to the frequency reuse for maximizing the channel accommodation. Real-time data is very sensitive to delay, and they need to be transmitted instantly. On the other hand, non-real time data is less sensitive to delay, and their packet loss can be handled more flexibly. Therefore an adaptive resource management scheme is essentially required which enables to keep the minimal power allocated in the base station while guaranteeing the user requirements for QoE within a permissible range. Power-saving techniques are required in order to support multimedia services in the mobile networks because the power consumption increases greatly with the transmission rate increase. This paper proposes a novel scheme which enables to keep the allocated power minimal while guaranteeing the user requirements for QoE within a permissible range.

키워드 : 체감 품질, 자원 관리, 서비스의 질, 종단 간 QoS, 최소 전력

Key word : QoE, Resource Management, QoS, End-to-End QoS, Minimum Power

Received 22 July 2016, Revised 25 July 2016, Accepted 08 September 2016

* Corresponding Author Jong-Chan Lee(E-mail:chan2000@kunsan.ac.kr, Tel:+82-063-469-4863)

Department of Computer Information Engineering, Kunsan National University, Gunsan 54150, Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkice.2016.20.12.2219>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

클라우드 컴퓨팅, VoIP(Voice over IP), IP-TV와 같은 다양한 광대역 서비스의 출현에 따른 트래픽의 급격한 증가로 통신망 액세스 속도가 크게 증가하고 인터넷 트래픽이 폭발적으로 급증하면서 망의 확장 및 고속화가 필수적으로 요구되고 있다. 일반적으로 망 확장 및 고속화를 위해서는 기지국 증설과 고속 전송 장치가 필요하며 이에 따른 에너지 소모는 크게 상승할 것으로 예상되고 있다. 이동 통신망 전체적으로 가장 많은 전력 소비와 가장 많은 이산화탄소를 배출하는 기지국의 증가에 대처하기 위한 방안으로 Green 개념의 도입을 통한 Green 셀룰러 망의 개발이 연구되고 있다[1-5].

기지국을 포함한 전체 이동통신 망에서의 전력 소비를 줄이기 위해서는 각 기지국 내의 전력 소비 패턴을 분석하여, 각 부분 별로 전력 소비를 최적화할 수 있는 방향으로 접근해야 한다. 특히 전달망에서는 IP (Internet Protocol) 계층에서 원하는 대역폭을 예약하고 지연 시간을 최소화한다. 이렇게 제공된 IP 계층의 자원을 사용자가 체감하기 위해서는 전송계층과 응용계층이 전달 망에서 확보한 자원을 이용하여 최대의 망 성능을 사용자에게 제공하도록 동작해야 한다. 전송 계층(transport layer)에서는 최적의 프로토콜 조정(protocol adaptation)을 수행함으로써 IP 계층에서 확보한 자원을 충분히 반영하여 전송 계층의 효율을 극대화해야 한다. 응용계층에서는 실제로 전달된 데이터를 자신의 응용에 적합하게 가공하여 사용자에게 전달해야 한다. 이때 이동단말기(Mobile Terminal; 이하 MT)의 성능에 따라서 상당한 시간차가 나타나게 되고, 이로 인한 지연으로 인하여 전달 망에서 확보한 귀중한 자원을 낭비할 수 있다. 따라서 응용계층에서 발생하는 처리 지연(processing delay)을 최소화함으로써 전달 망에서 확보된 QoS(Quality of Service)를 효율적으로 유지할 수 있어야 한다[6-11].

본 논문에서는 서비스의 최소 품질 보장을 전제 조건으로 QoE 충족 범위 내에서의 전력 감소 방안을 제안한다. 음성이나 동영상, Interactive 게임, 3D 영상 등의 실시간 서비스는 지연에 민감한 반면, Web, FTP 데이터와 같은 비실시간성 서비스는 비교적 지연에 둔감하므로 패킷 손실에 유연하게 대처할 수 있다. 전력 사용을 최소화하기 위하여, 각 요구 서비스의 허용 가능한 지

연까지 전송률을 줄임으로써 전력 사용을 최소화하는 방안을 제시한다.

2장에서는 시스템 구조와 3장에서는 제안하는 최소 전력 할당 방법에 대해 기술한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통한 성능 평가가 이루어진다. 5장에서는 논문에 대한 결론 및 향후 연구에 관하여 논의한다.

II. 시스템의 구조

QoS란 망에서 대역폭과 지연시간을 사용자가 원하는 수준으로 제공하는 것이었다. 그러나 실제로 망에서 자원예약을 완벽하게 지원하더라도 전송계층과 응용계층을 거쳐 사용자까지 전달되는 과정에서 품질이 유지되지 않는다면 사용자 입장의 서비스의 품질은 보장되지 않는다. 기존에는 단순히 정해진 시간에 정해진 양의 데이터를 망에서 성공적으로 전송하는 것을 목표로 했지만 사용자 입장에서는 서비스의 품질에 대한 보다 다양한 종류의 요구사항이 존재할 수 있다. 사용자 관점에서 최종적으로 만족하는 수준의 서비스 품질이란 기존의 QoS가 아닌 서비스 수준의 QoE로 이해해야 한다.

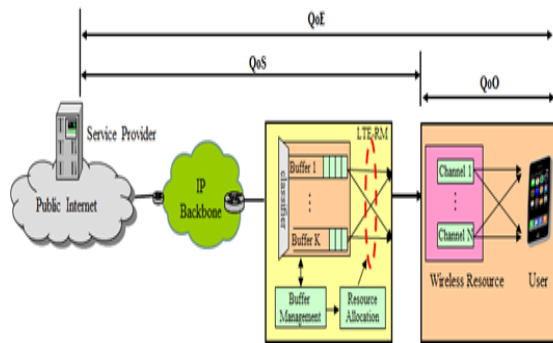


Fig. 1 Relation of QoE, QoS and QoO

그림 1과 같이 패킷이 송신자로부터 수신자에게 전달되기 위해서는 다수의 과정을 거치게 된다. 전달 망에서는 네트워크 지연으로서 전송 지연(transmission delay)과 전파 지연(propagation delay)이 발생하고, 종단에서는 MT의 성능에 기인하여 발생하는 처리 지연과 큐잉 지연(queueing delay) 등이 발생한다. 사용자의 품질 요구에 맞는 콘텐츠를 제공하기 위하여 (사용자의

QoE를 최적화하기 위하여 망에서는 전송 지연과 전파 지연을 최소화하여 최적의 QoS를 제공하고 전송 계층과 응용 계층에서 QoS 품질 저하가 최소가 되도록 QoO(Quality of Others)를 유지해야한다. 즉 큐잉 지연 및 처리 지연을 최소화해야 한다. 따라서 본 연구에서는 지연을 QoE의 성능 파라미터로 하여 사용자의 품질 요구에 맞는 서비스를 제공하기 위한 전력 할당 방법을 제안한다.

각 기지국의 무선 채널에는 서로 다른 전력이 할당되며, P_i 은 무선 채널 n 에 할당된 전력을 의미하고 집합 $P_i = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ 로 정의한다. 무선 채널과 서비스 k 사이의 링크 이득은 H_k 로 정의하고 거리에 따른 감소와 로그노멀 페이딩(lognormal fading)으로 구성된다. 이 때, 무선 채널에 대한 서비스 k 의 하향링크 SINR(signal to interference plus noise ratio)는 식 (1)과 같다[12]. 여기에서 Φ 는 무선 채널로부터의 수신 잡음을 의미한다. 또한 I_k 는 인접 기지국들로부터 발생하는 기지국간 간섭을 나타낸다.

$$SINR_k = \frac{H_k p_k}{I_k + \Phi_k} \quad (1)$$

일반적으로 사논의 법칙을 이용하여 r_k 를 식 (2)와 같이 정의한다. 여기서 W_k 은 서비스 k 에 할당된 무선 채널의 대역폭을 의미한다.

$$r_k^n = W_k \ln(1 + SINR_k) \quad (2)$$

III. 동적 최소 전력 할당

3.1. 전제 조건

전력량을 최소화하면서 QoE 수준을 확보하기 위하여 식 (3)의 전력 사용 최소화 파라미터를 정의한다. 여기서 QoP_{\min} 은 최소 QoP(Quality of Power), QoS_{\min} 은 최소 QoS, QoO_{\min} 은 최소 QoO, QoE_{\min} 은 최소 QoE를 의미한다.

$$QoP_{\min} \cong f(QoS_{\min}, QoO_{\min}, QoE_{\min}) \quad (3)$$

최소 전력 QoP_{\min} 에서 허용 가능한 QoE를 확보하기 위하여 아래의 세 가지 조건의 성립이 필요하다.

- ① 각 무선채널마다 전력이 할당되므로 최소한의 무선 자원을 할당한다.
- ② 협약된 QoE 수준의 허용한도 내에서 전송지연을 최소화한다.
- ③ 응용 계층에서 발생하는 처리지연을 최소화한다.

사용자 서비스의 허용 가능한 QoE 제약에 부합하는 최소 전송률(minimum bit rate)을 유지할 경우, 위의 세 파라미터를 충족시킬 수 있다. 이는 최소 전송률을 유지하면 점유할 무선 대역폭이 최소화됨으로서 간섭의 양이 줄어들기 때문이다. 정보율은 전송 전력뿐만 아니라 각 부채널에 대하여 채널 이득에 의존한다. 무선 채널의 상태는 시간에 따라 변화하며, 한 사용자에게 특정 부채널의 채널 이득이 기준치 이하일 수도 있지만 다른 사용자에게는 그 부채널의 품질이 기준치 이상일 수도 있다. 이러한 채널의 특성을 이용하여 서비스에 최대 채널 이득을 가진 부채널을 할당함으로써 데이터 전송률을 극대화할 수 있다.

채널 이득 수준을 식 (4)와 같이 표현한다. 여기서 C 는 주파수 영역의 부채널의 개수, L 은 서비스 수를 의미한다. 즉 g_{lc} 은 l 번째 서비스의 C 번째 부채널의 채널 이득 수준을 나타낸다[13].

$$G = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} & \dots & g_{1C} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} & \dots & g_{2C} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} & \dots & g_{3C} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{L1} & g_{L2} & g_{L3} & \dots & g_{LC} \end{bmatrix} \quad (4)$$

채널 이득 정보를 이용하여 기지국은 서비스에 최적의 부채널을 할당한다. 식 (5)와 같이 서비스 요구 전송률에 따라서 N 개의 부채널이 선택된다. 여기서 k^n 는 서비스 k 에게 할당될 부채널로서, 채널 이득 수준이 최대인 n 번째 부채널을 나타낸다.

$$k^n = \arg \max_{n=\{1, \dots, C\}} (G_{kn}) \quad k \in \{1, 2, \dots, L\} \quad (5)$$

기지국에서의 총 사용 전력은 식 (6)와 같다. $\sum_{k=1}^{k^{RT}} p_k$ 는 실시간 서비스(realtime service, RT)의 전력 사용량, $\sum_{k=1}^{k^{NRT}} p_k$ 은 비실시간 서비스(non-realtime service, NRT)

의 전력 사용량을 의미한다. k^{RT} 와 k^{NRT} 은 각각 실시간 서비스와 비실시간 서비스의 수이다.

$$P^{(T)} = \sum_{k=1}^{K^{RT}} p_k + \sum_{k=1}^{K^{NRT}} p_k \quad (6)$$

제안 시스템의 전력 할당 문제는 식 (7)과 같다.

$$\arg \min [P^{(T)}] = \arg \min \left[\sum_{k=1}^{k^{RT}} p_k + \sum_{k=1}^{k^{NRT}} p_k \right] \quad (7)$$

식 (8)이 성립하기 위한 제약 조건은 아래와 같다. 여기서 R_k^{\min} 은 서비스 k 의 최소 전송률, r_k 은 서비스 k 에게 할당된 전송률, D_k^{QoS} 는 QoS 구간에서 발생하는 지연, D_k^{QoO} 는 QoO 구간에서 발생하는 지연, $D_k^{QoE\max}$ 는 서비스의 허용 가능한 최대 전송 지연을 의미한다. 조건 식 (8)은 모든 서비스의 최소 요구 전송률을 만족시켜야 함을 의미하고, 조건 식 (9)는 모든 서비스의 최대 전송 지연을 만족시켜야 한다는 것을 나타낸다.

$$r_k \leq R_k^{\min} \quad (8)$$

$$D_k^{QoS} + D_k^{QoO} \geq D_k^{QoE\max} \quad (9)$$

3.2. 실시간 서비스를 위한 전력 할당

실시간 서비스는 지연 시간에 민감하지만 손실에 강한 데이터 특성을 갖는 서비스이다. 전송률 변동이 심한 가변적인 데이터 패킷의 형태를 보이므로 서비스 k 의 전송률이 단위시간 동안 $R_k^{\min} \leq R_k \leq R_k^{\max}$ 의 전송 패턴을 가진다. 따라서 최소 전력을 유지하기 위하여 식 (10)이 성립해야 한다. 여기서, d_k^{RT} 는 실시간 서비스 k 의 현재 전송 지연 시간, $D_k^{QoE\min}$ 는 실시간 서비스 k 의 최소 지연 시간 기준치를 의미한다.

$$\sum_{n=1}^N k^n = R_k^{\min} \quad (10)$$

subject to $d_k^{RT} \leq D_k^{QoE\min}$

서비스 k 가 서비스 수행도중에 전송지연 기준치를 초과한다면($d_k^{RT} > D_k^{QoE\min}$), 지연을 해소하기 위하

여 자원을 추가 할당하고 전송 지연 기준치를 확보할 수 있는 전력을 할당한다.

$$\begin{aligned} & \text{while } d_k^{RT} \leq D_k^{QoE\min} \text{ do} \\ & \quad k^{n+1} = \arg \max_{n=\{1, \dots, C\}} (G_{k(n+1)}) \\ & \quad m_L(k^n) = m_L(k^{(n-1)}) + 1 \\ & \quad p_L(k^n) = p_L(k^{(n-1)}) + 1 \\ & \text{end while} \end{aligned}$$

실시간 서비스는 데이터 발생이 가변적이므로, 항상 극단적인 지연이 발생할 수 있는 가능성이 내재한다. 따라서 지연이 발생할 경우, 부채널을 추가 할당하고 이 부채널에 최소 전력을 할당함으로써 전송 지연을 해결한다.

3.3. 비실시간 서비스를 위한 전력 할당

비실시간 서비스는 지연 시간에 민감하지 않은 반면에 손실률의 보장이 필요하므로 QoE 요구사항으로 최소 전송률을 유지해야 한다. 따라서 최소 전력을 유지하기 위해서는 식 (11)이 성립해야 한다. 여기서, d_k^{NRT} 는 비실시간 서비스 k 의 현재 전송 지연 시간, $D_k^{QoE\max}$ 는 비실시간 서비스 k 의 최대 지연 시간 기준치를 의미한다.

$$\sum_{n=1}^N k^n = R_k^{\min} \quad (11)$$

subject to $d_k^{NRT} \leq D_k^{QoE\max}$

서비스 k 가 전송지연 기준치를 초과한다면($d_k^{NRT} > D_k^{QoE\max}$), 지연을 해소하기 위하여 자원을 추가 할당하고 최소 전력을 할당함으로써 $D_k^{QoE\max}$ 까지 유지시킨다.

$$\begin{aligned} & \text{while } d_k^{NRT} \leq D_k^{QoE\max} \text{ do} \\ & \quad k^{n+1} = \arg \max_{n=\{1, \dots, C\}} (G_{k(n+1)}) \\ & \quad m_L(k^n) = M(D_k^{QoE\max} - d_k^{NRT}) \\ & \quad p_L(k^n) = p_L(m_L(k^n)) \\ & \text{end while} \end{aligned}$$

IV. 시뮬레이션 및 분석

본 논문에서 제안한 동적 부채널 할당 기법의 성능을 분석하기 위하여 19개의 육각형 셀이 균일하게 분포된 재사용도 1의 LTE-Advanced 을 고려하였다. MT의 서비스 요구는 셀 내에서 고르게 발생하며, 멀티미디어 서비스의 발생은 포아송 분포를 따른다. 시스템의 성능 평가는 하향 링크(downlink)에 국한되며, 이를 위한 환경 변수는 표 1과 같다.

Table. 1 Simulation Parameters [12-14]

Item	Parameter (Value)
Frequency Bandwidth	Carrier Frequency : 2.3GHz
	Effective Frequency: 8.75MHz
BS Tx	BS Tx power: 43dBm
	BS Max EIRP: 60dBm
Channel Model	Path-loss Model - Urban Macro Type - path-loss exponent: 4
	Shadowing Model - WINNER Channel Model II - 8dB
	Fading Model - ITU-R M.1225 pedestrian B - 5dB
SINR	Exponential: 3dB

본 연구에서 고려한 주요 시스템 레벨 시뮬레이션 환경은 다음과 같다 [12-14]. TTI(Transmit time interval)는 0.5ms로 가정하고 한 개의 프레임(10ms)내에 20개의 TTI가 배치되며, TTI에 해당하는 시간 영역에 7개의 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 심볼을 갖는다. 또한 부반송파의 간격은 15kHz이다. 자원 할당 시 최소 단위인 부채널의 구조는 한 개의 TTI에 해당하는 시간 영역에 7개의 OFDM 심볼과 180KHz에 해당하는 부반송파 12개로 이루어진 2차원 형태이다. 따라서 한 프레임은 20개의 TTI와 30개의 RB(Radio Resource Blocks)로 총 600개의 RB로 구성된다. 각 RB는 1개의 서비스에게만 할당되며, 1개의 서비스는 요구 전송률에 따라서 다수의 RB를 할당받을 수 있다.

본 연구에서 제안 방법의 성능을 평가하기 위하여, 연결 상태인 서비스의 평균 전송률이 최소 전송률이 아닌 서비스의 비율을 나타내는 Outage 확률, 그리고 기

지국에서 전송하는 전력의 양을 성능적으로 하여, Shao의 방식[15] 그리고 Xie의 방식[16]과 비교 분석한다.

그림 2는 서비스의 도착률의 증가에 따른 Outage 확률의 비교 결과이다. Shao[15]과 Xie[16]에 비하여 제안된 방법은 Outage 확률을 크게 향상 시켰음을 알 수 있다. 이는 기지국은 모든 멀티미디어 서비스에 대하여 최소 전력량을 유지하기 위하여 지연 한계를 기반으로 최소 전송률을 보장하기 때문이다. 또한 최소 전력만을 사용하므로 인접 셀 서비스에게 미치는 간섭의 양이 줄어들고 이로 인하여 시스템 전체적으로 평균 데이터 전송률이 향상되는 결과를 가져온다. 특히 Shao[15]과 Xie[16]는 셀 내 부하의 증가(여기서는 0.6이상)에 따라 서비스 분포의 불균형이 발생하고 이로 인하여 자원의 부족 또는 자원이 잉여가 발생하여 Outage 확률이 현저히 증가함을 알 수 있다.

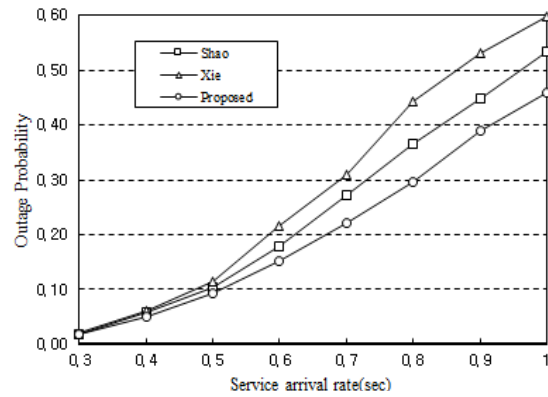


Fig. 2 Comparison of outage probability

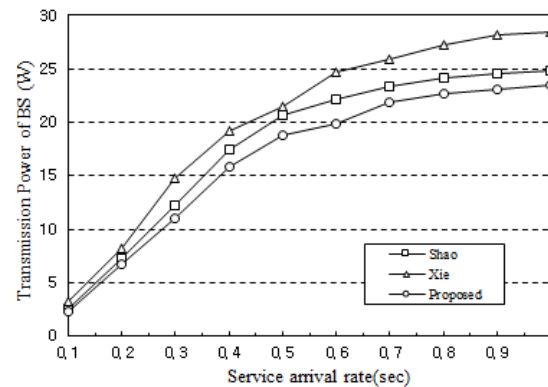


Fig. 3 Comparison of transmission power

그림 3은 서비스의 수의 증가에 따라 변하는 하향 링크 전력을 나타낸 것이다. 기존 방법에 비하여 전력 할당의 비율이 현저히 감소함을 알 수 있다. 이는 다양한 멀티미디어 서비스의 자원 점유 변화에 대한 송신 전력 할당의 대처가 적절했기 때문이다. 제안된 방법에 비하여 Shao[15], Xie[16]는 서비스의 도착율이 커질수록, 0.3 이상에서는 각각 700mW 그리고 1100mW 까지 전송 전력이 증가함을 보인다. 이는 부채널의 상태에 따라 최적화된 전송률을 확보할 수 있는 전력을 할당함으로써 적은 전력으로도 서비스의 요구 전송률을 만족시킬 수 있음을 알 수 있다. 이외에 서비스 종류 별로 전력 할당과 자원 할당을 제어함으로써 각 멀티미디어 서비스의 자원 점유 상태 변화에 능동적으로 대처할 수 있으며 시스템 환경에 효율적으로 작동한다는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 서비스의 최소 전송률과 전송 지연을 전제 조건으로 전력 감소 방안을 제안하였다. 최소 전송률, 최소 대역폭, 최대 채널이득, 최소 인접 채널 간섭 등을 확보함으로써 사용자 수용용량 증가 및 송신 전력 사용의 최소화를 실현할 수 있었다. 제안된 방법의 성능을 평가하기 위하여, outage 확률과 송신 전력 사용량을 분석하였다. 시뮬레이션에 의하면 기존의 방법들에 비하여 성능이 우수함이 확인되었다. 추후 본 연구를 실제 시스템에 적용하기 위한 동일 부채널 간섭 동적 조정 그리고 전력 분배에 대한 세부적인 연구가 필요하다.

REFERENCES

- [1] M. Hunukumbure, T. Mousley, and S. Vadgama, "A Dynamic Resource Allocation Algorithm as a Green Technology for 4G Advanced Networks," *IEEE World Telecommunications Congress (WTC)*, pp. 1-5, March, 2012.
- [2] H. Jung, J. Lee, "Downlink Power Allocation of the OFDMA Femtocell for Inter-cell Interference Mitigation," *Journal of Korea Information and Communications Society*, vol. 35, No. 8, pp. 743-751, Apr. 2010.
- [3] C. Han, T. Harrold, et al., "Green radio: Radio Techniques to Enable Energy-efficient Wireless Networks," *IEEE Communication Magazine*, vol. 49, no. 6, pp. 46-54, March 2011.
- [4] C. Yan, S. Zhang, S. Xu, and G. Y. Li, "Fundamental Trade-offs on Green Wireless Networks," *IEEE Communication Magazine*, vol. 49, no. 6, pp. 1-16, Jan. 2011.
- [5] D. Rosario, et al., "A QoE Handover Architecture for Converged Heterogeneous Wireless Networks," *Wireless Networks*, vol. 19, no. 8, pp. 2005-2020, Nov. 2013.
- [6] K. Piamrat, A. Ksentini, C. Viho, and J. Bonnin, "QoE Aware Vertical Handover in Wireless Heterogeneous Networks," in *Proceeding of Wireless Communications and Mobile Computing Conference*, pp. 95-100, 2011.
- [7] G. Gómez, and J. Lorca, "Towards a QoE-Driven Resource Control in LTE and LTE-A Networks," *Journal of Computer Networks and Communications*, vol. 2013, pp. 1-15, Jan. 2013.
- [8] M. Alreshoodi, J. Woods, "Survey on QoE/QoS Correlation Models for Multimedia Services," *International Journal of Distributed and Parallel Systems*, vol.4, no.3, pp. 53-72, May 2013.
- [9] D. Suh, I. Jang, and S. Pack, "QoE-enhanced Adaptation Algorithm over DASH for Multimedia Streaming," in *Proceedings of International Conference on Information Networking*, pp. 497-501, Feb. 2014.
- [10] Y. Xu, Y. Zhou, and D. Chiu, "Analytical QoE models for bit-rate switching in dynamic adaptive streaming systems," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 13, no. 12, pp. 2734-2748, Dec. 2014.
- [11] N. Bouten, J. Famaey, S. Latre, R. Huysegems, B. Vleeschauwer, W. Leekwijck, and F. Turck, "QoE Optimization Through In-network Quality Adaptation for HTTP Adaptive Streaming," in *Proceedings of International Conference and workshop on Systems and Virtualization Management*, pp. 336-342, 2012.
- [12] J. Lee and M. Lee, "Sub-channel Allocation Based on Multi-level Priority in OFDMA Systems," *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, vol. 7, no.8, pp. 1876-1889, Aug. 2013.
- [13] IST- WINNER II D1.1.2, *WINNER II Channel Models*, IST, 2007.
- [14] 3GPP TR R1-050255, *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Downlink Transmission Scheme*, ETSI, 2005.

- [15] H. Shao, W. Jing, et al., "Joint Optimization of Quality of Experience and Power Consumption in OFDMA Multicell Networks," *IEEE Communication Letters*, vol. 20, no. 2, pp. 380-383, Feb. 2016.
- [16] C. Xie, X. Zhang, Y. Li, and B. Han, "QoE Driven Energy Efficiency Promotion for Mobile Video Service," in *Proceedings of 26th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, pp. 1030-1035, Aug. 2015.



이문호(Moon-Ho Lee)

1977년 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1993년 송실대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
1996년 송실대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)
1979년~1984년 한국전자통신연구원 연구원
1997년~ 현재 청운대학교 멀티미디어학과
※관심분야 : 이동통신, 이동멀티미디어, 멀티미디어 통신



이종찬(Jong-Chan Lee)

1996년 송실대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
2000년 송실대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)
2000년~2005년 한국전자통신연구원 선임연구원
2005년~ 현재 국립군산대학교 컴퓨터정보통신공학부
※관심분야 : 이동통신, 이동멀티미디어, 정보보안