

Resource Allocation for Guaranteeing QoE in Mobile Communication Networks

Moon-Ho Lee*, Jong-Chan Lee**

Abstract

This paper proposes a novel resource allocation scheme which allows to guarantee the user-perceived service quality for various high-quality mobile multimedia service such as interactive game, tactile internet service, remote emergency medical service or remote disaster handling robot control to a certain level in the mobile networks. In our proposed scheme, Mean Opinion Score(MOS), which represents the degree of user satisfaction for perceived quality, is determined based on the delay limit allowable to each service. Moreover resources are allocated in consideration of this MOS. Simulation results show that our proposed scheme can decrease the outage probability in comparison with existing schemes Moreover it can increase the total throughput as well.

▶ Keyword : QoE, SLA, MOS, Delay, Resource Allocation.

I. Introduction

5세대 이동통신은 ‘언제 어디서나 환경의 제약 없이 사람과 사물을 포함한 모든 사용자에게 지연 없이 Gbps급 서비스를 비용·에너지 효율적으로 제공하는 통신기술’으로, 2020년 초에 이를 바탕으로 하는 미래형 서비스의 상용화가 이루어질 것으로 예상된다. 이러한 차세대 응용 서비스를 지원하기 위해서는 1ms 이하의 전송지연 시간과 1Gbps의 하향링크 속도가 요구되는 것으로 간주되고 있다[1-2]. 5세대 이동통신에서는 전송 지연 시간이 수 ms 내로 감소되며 1ms 내외의 전송지연을 요구하는 양방향 초실시간 서비스도 가능하게 할 것이다. 예를 들면, ms 이하의 중단 간 지연시간을 요구하는 촉각 인터넷 서비스, 긴급 환자 발생 시 의료 로봇을 통해 치료하는 원격 의료 서비스, 그리고 재난현장에 투입된 로봇을 정교하게 조종하는 산업용 로봇의 원격제어 서비스를 제시하고 있다[3-4]. 앞서 언급된 서비스를 지원하기 위해서는 Gbps급의 데이터 속도를 기반으로 극단적인 전송지연 속도를 유지함으로써 사용자가 요구하는 최적의 서비스를 보장할 수 있어야 하며, 이러한 목표의 달성을 위하여 사용자 체감품질(QoE: Quality of Experience)

제공 방안이 중요한 문제로 부각되고 있다.

5세대 이동통신망에서는 다양한 실시간성 및 비실시간성의 서비스가 동적으로 제공될 수 있다. 기존의 정적인 서비스 제공 구조에 비하여 보다 복잡하고 능동적으로 서비스를 사용자에게 제공하는 방식으로 이를 위해서는 정교한 SLA(Service Level Agreement)에 근거하여 QoE를 보장할 수 있는 QoE 운영 구조를 제공해야 한다. 본 연구에서는 서비스의 특성과 SLA를 기반으로 하여 QoE를 지원하기 위한 자원할당 방안을 제시한다. 제안되는 방안은 각 서비스를 지연의 허용 한계에 근거하여 네 가지 유형으로 분류하고, 각 지연 한계에 적합한 MOS(Mean Opinion Score)를 결정하고, 이를 근거로 무선 자원을 할당하는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 본 연구에서 QoE 처리 구조를 기술하고, III장에서는 SLA와 QoE의 연동 구조 그리고 트래픽 및 자원 관리 방안을 제시한다. IV장에서는 시뮬레이션 실험을 통해 성능을 평가하고 V장에서는 본 논문의 결론과 향후 연구 방향에 대하여 논한다.

• First Author: Moon-Ho Lee, Corresponding Author: Jong-Chan Lee

*Moon-Ho Lee (mhlee@chungwoon.ac.kr), Dept. of Multimedia Science, Chungwoon University

**Jong-Chan Lee (chan2000@kunsan.ac.kr), School of Computer Information and Communication Engineering, Kunsan National University

• Received: 2016. 12. 02, Revised: 2016. 12. 27, Accepted: 2017. 01. 18.

II. QoE Processing Structure

1. Service Classes

본 연구에서는 5세대 이동통신망에서 지원 가능한 응용서비스의 지연 특성에 따라 네 가지 클래스로 분류하고 각 클래스 별로 적합한 메커니즘을 적용하여 처리하는 방법을 채택한다[5-7].

- LL (Low Delay, Low Loss)는 지연에 민감하며 손실에도 취약한 특성을 갖는 실시간 서비스로서, 촉감 인터넷 서비스, 원격 의료서비스, 911서비스(음성, 영상), 위치 인식 서비스, Interactive 게임 등이 있다.

- LH (Low Delay, High Loss Class) 서비스는 지연에 민감하나 손실에 대해서는 덜 취약한 특성을 갖는 실시간 서비스로서 고품질 실시간 방송, Stream Audio/Video, Conversational Voice/Video 등이 있다.

- HL(High Delay, Low Loss class) 서비스는 지연에 덜 민감하나 손실에는 취약한 특성을 갖는 비실시간 서비스로서 WWW Browsing, E-mail, FTP 등이 있다.

- HH (High Delay, High Loss Class) 서비스는 지연에 민감하지 않고 손실에도 덜 취약한 특성을 갖는 서비스로서 Background 서비스 (E-mail 통지, Fax 등)이 있다.

2. Relationship of SLA, MOS, and QoE

SLA는 특정 서비스에 대한 요구충족의 등급으로 사용자가 어느 정도의 QoS를 요구하느냐에 대한 정의이다. 어떤 사용자는 통신 서비스에 대한 최상의 서비스를 요구하지만 다른 사용자는 그 보다 낮은 하위의 서비스 제공에 만족할 수 있다는 것이다. 이는 서비스 제공자가 제공하는 다양한 서비스에 대해 사용자가 서비스 수준을 지정하는 것이다.

Table 1. MOS Score vs Perceptual Quality

| Perceptual Quality | MOS Score |
|--------------------|-----------|
| Excellent | 5 |
| Good | 4 |
| Fair | 3 |
| Poor | 2 |
| Bad | 1 |

QoE는 사용자에 의하여 인지되고 평가되므로 사용자마다 주관적인 기준을 가질 수 있다. 서비스 제공자는 QoE를 분석하고 전달 망에서의 서비스 수준을 정해야 한다. 표 1은 서비스 사용자의 QoE 수준을 5단계의 수치로 구분하는 MOS을 나타낸다. 서비스 사용자의 QoE 기준은 Excellent(5)의 제공이지만 서비스 특성, 즉 실시간성 또는 비실시간성의 특성에 따라 MOS 수준은 동적으로 변경될 수 있다.

그림 1은 SLA 수준과 MOS를 기반으로 한 QoE 제공 흐름

을 보인다. 사용자는 서비스 요청 시에 서비스 제공자와 SLA 수준 및 MOS 수준을 협약하고 이를 근거로 QoE 제어를 수행한다. 협약 시 MOS 수준은 SLA의 수준에서 최상의 만족도인 Excellent(5)를 제공하는 것을 원칙으로 한다. 예를 들어 사용자가 스트리밍 서비스에 대해 SLA를 수준 2로 서비스 협약을 맺었다면 서비스 제공자는 “SLA-수준 2, MOS 수준- Fair(3) 이상”으로 유지해야 한다.

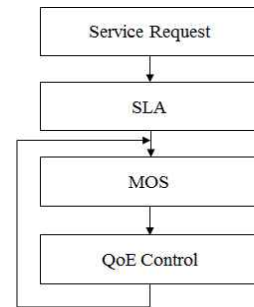


Fig. 1. QoE Control Flow

그림 2는 서비스 제공자의 SLA 수준과 QoE 수준의 동적 운영에 대한 상관관계를 표시하고 있다. 본 연구의 서비스 협약 방식은 서비스 변경에 대한 재협상이 없는 정적 서비스 협약 방식이 아니라 시스템의 동적인 상태 변화에 따라 서비스 재협상을 통하여 서비스 수준을 변경할 수 있는 동적 협약 방식을 적용한다. 따라서 동적 협약 방식을 통하여 사용자가 원하는 서비스를 동적으로 제어할 수 있다. 동적 서비스 수준은 사용자가 특정 서비스 수준에 한정하여 서비스를 받는 것이 아니라 망의 상태에 따라 서비스 수준을 제공받는 것을 의미한다.

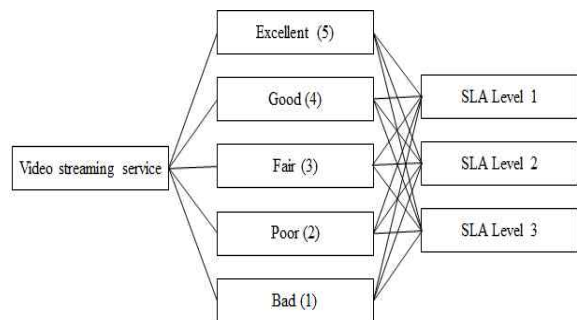


Fig. 2. Correlation of MOS with SLA

3. Determining the Level of QoE per Service

실시간 전송을 요하는 서비스는 지연에 민감하므로 이를 고려해야 하고, 비실시간성 서비스는 지연에 둔감하지만 지연의 최대 허용한도 내에서 QoE를 보장해야 한다. 대부분 사용자의 서비스의 불만족의 원인은 지연에서 발생하므로 본 연구에서는 각 요구 서비스의 지연 한계를 보장함으로써 사용자의 QoE 수준을 보장하는 방안을 제시한다. 허용 가능한 지연 기반의 QoE를 확보하기 위하여 다음의 조건의 성립이 필요하다.

- ① LL 서비스는 최소한의 지연을 허용한다.

- ② LH 서비스는 Fair(3) 수준까지의 지연을 허용한다.
- ③ HL 서비스는 Poor(2) 수준까지의 지연을 허용한다.
- ④ HH 서비스는 Bad(1) 수준까지의 지연을 허용한다.

본 연구에서는 서비스 유지를 위한 QoE 수준으로 MOS를 적용하고 MOS의 각 수준은 지연 기준치로 정의된다. QoE 성립 조건은 식 (1-4)와 같다. 여기서 mos_e 은 MOS 지연 수준이 Excellent(5), mos_f 은 MOS 지연 수준이 Fair(3), mos_p 은 MOS 지연 수준이 Poor(2), mos_b 은 MOS 지연 수준이 Bad(1)이다. 또한 qoe_{mos} 은 각 서비스의 협상된 MOS 지연 수준을 의미한다. 식 (1)의 LL 서비스의 MOS 수준은 Excellent(5)을 만족시켜야 함을 의미하고, 식 (2)의 LH 서비스의 MOS 수준은 최소한 Fair(3)를 유지해야 함을 의미한다. 또한 식 (3)에서는 HL 서비스의 MOS 수준이 최소한 Poor(2)를 유지해야 함을 의미하고, 식 (4)에서는 HH 서비스의 MOS 수준이 최소한 Bad(1)를 유지해야 함을 의미한다.

$$qoe_{mos}^{LL} \leq mos_e \quad (1)$$

$$mos_e \leq qoe_{mos}^{LH} \leq mos_f \quad (2)$$

$$mos_e \leq qoe_{mos}^{HL} \leq mos_p \quad (3)$$

$$mos_e \leq qoe_{mos}^{HH} \leq mos_b \quad (4)$$

MOS의 지연 수준은 식 (5-8)와 같다. LL 서비스는 최소지연허용치 d^{min} 보다 작아야 하고, LH 서비스는 원칙적으로 전송지연 수준은 d^{min} 보다 높아도 상관없다. 또한 HL 서비스는 최대지연허용치 d^{max} 보다 적어야 하고, HH 서비스는 지연 수준은 d^{max} 보다 높을 수 있다.

$$d^{min} \geq mos_e \quad (5)$$

$$d^{min} \leq mos_f \quad (6)$$

$$d^{max} \geq mos_p \quad (7)$$

$$d^{max} \leq mos_b \quad (8)$$

III. Proposed Method

식 (9)는 셀 내의 서비스의 지연 시간의 변동을 나타낸다. 여기서 n 는 서비스의 수, δ 은 협상된 지연 수준, ψ 는 현재 지연 수준을 나타낸다. $D_n^{\delta\psi}$ 은 협상된 지연 수준과 현재 지연 시간의 차이를 반영한다. 허용 기준치 이상의 지연이 일정시간 계속 되면 협상된 MOS 수준으로 지연 시간을 조정해야 한다. 서비스의 지연이 SLA의 기준 값 이하로 저하되면 QoE 제어 방안을 실시한다.

$$T = (D_1^{\delta\psi}, D_2^{\delta\psi}, D_3^{\delta\psi} \dots D_n^{\delta\psi}) \quad (9)$$

1. Resource Allocation for Class LL

LL 서비스는 극단적으로 지연에 민감하므로 QoE를 유지하기 위하여 식 (10)이 성립해야 한다. b_k^{LL} 는 서비스 유형이 LL인 서비스 k 의 요구 전송률, M 은 서비스에 할당된 채널의 수, s_i 은 각 채널에서 전송 가능한 비트율을 의미한다. mos_e 는 LL서비스를 위하여 협상된 지연수준을 의미하고, $D_k^{\delta\psi}$ 는 서비스 k 의 협상된 지연 수준과 현재 지연 수준의 차이 나타낸다.

$$\sum_{i=1}^M s_i = b_k^{LL} \quad (10)$$

$$\text{subject to } D_k^{\delta\psi} \geq 0 \text{ or } mos_e \geq \psi$$

협상된 단대단 지연 수준을 초과한다면 지연을 해소하기 위하여 무선 자원을 추가로 할당한다. 여기서 e^{i+1} 는 채널이득 수준이 최대인 부채널을 의미한다.

$$\text{while } D_k^{\delta\psi} < 0 \text{ or } mos_e < \psi \text{ do}$$

$$s^{i+1} = \arg \max_{i=\{1, \dots, M\}} (s_i)$$

$$\text{end while}$$

2. Resource Allocation for Class LH

LH 서비스는 LL 서비스에 비하여 극단적으로 지연에 민감하지 않지만, 지연으로 인한 데이터의 손실이 발생할 수 있으므로 허용 가능한 지연 시간을 유지해야 한다. 여기서 b_k^{LH} 는 서비스 유형이 LH인 서비스 k 의 요구 전송률을 의미한다.

$$\sum_{i=1}^M s_i = b_k^{LH} \quad (11)$$

$$\text{subject to } D_k^{\delta\psi} \geq 0 \text{ or } mos_e \leq \psi \leq mos_f$$

서비스 k 가 단대단 지연 기준치를 초과한다면 지연을 해소하기 위하여 채널이득 수준이 최대인 부채널을 추가 할당한다.

$$\text{while } D_k^{\delta\psi} < 0 \text{ or } mos_f < \psi \text{ do}$$

$$s^{i+1} = \arg \max_{i=\{1, \dots, M\}} (s_i)$$

$$\text{end while}$$

3. Resource Allocation for Class HL

HL 서비스는 LH 서비스에 비하여 지연에 덜 민감한 특성을 갖지만 극단적인 지연을 허용하지는 않는 특성을 갖는다. 따라서 LH 서비스에 비하여 지연 기준치는 크지만 허용 가능 지연 시간을 유지해야 한다. 여기서 b_k^{HL} 는 서비스 유형이 HL인 서비스 k 의 요구 전송률을 의미한다.

$$\sum_{i=1}^M s_i = b_k^{HL} \quad (12)$$

subject to $D_k^{\delta\psi} \geq 0$ or $mos_e \leq \psi \leq mos_p$

서비스 k 가 지연 기준치를 초과한다면 지연을 해소하기 위하여 채널이득 수준이 최대인 부채널을 추가로 할당한다.

while $D_k^{\delta\psi} < 0$ or $mos_p < \psi$ do
 $s^{i+1} = \arg \max_{i=\{1,\dots,M\}} (s_i)$
 end while

4. Resource Allocation for Class HH

HH 서비스는 HL 서비스에 비하여 극단적인 지연을 허용하는 특성을 갖는다. 따라서 HL 서비스에 비하여 최대의 지연 시간을 유지할 수 있다. 여기서 b_k^{HH} 는 서비스 유형이 HH인 서비스 k 의 요구 전송률을 의미한다.

$$\sum_{i=1}^M s_i = b_k^{HH} \quad (13)$$

subject to $D_k^{\delta\psi} \geq 0$ or $mos_e \leq \psi \leq mos_b$

서비스 k 가 지연 기준치를 초과한다면 지연을 해소하기 위하여 채널이득 수준이 최대인 부채널을 추가 할당한다.

while $D_k^{\delta\psi} < 0$ or $mos_b < \psi$ do
 $s^{i+1} = \arg \max_{i=\{1,\dots,M\}} (s_i)$
 end while

IV. Simulation and Analysis

본 논문에서 제안한 기법의 성능을 분석하기 위하여 사용한 시스템 모델은 다음과 같다. 19개의 기지국이 균일하게 분포된 재사용도 1의 이동통신시스템을 고려하였다. MT의 서비스 요구는 셀 내에서 고르게 발생하며, 서비스의 발생은 포아송 분포(Poisson distribution)를 따른다. 각 MT는 $0 \sim 2\pi$ 의 임의의 방향으로 이동할 수 있고, 이동 속도와 방향이 지속적으로 변경 가능하며, 이에 따른 핸드오버 발생은 평균 40%인 포아송 분포를 가정한다. 주요 시스템 수준 시뮬레이션 규격은 OFDMA-based 3GPP LTE-Advanced system과 3GPP LTE Ericsson model [8]의 시스템 레벨 파라미터와 채널 구조를 적용한다. 표 2에 시뮬레이션 파라미터를 보인다.

Table 2. Simulation Parameters

| 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 [9-10] - Urban Macro Type - path-loss exponent: 4 |
| | Shadowing Model [11] - WINNER Channel Model II - 8dB |
| | Fading Model - ITU-R M.1225 pedestrian B - 5dB |
| SINR | Exponential: 3dB |

그림 3은 19개의 셀이 균일하게 분포된 환경에서 제안된 방법의 성능을 평가하기 위한 시뮬레이션 시나리오를 보이고 있다[12-13]. 메시지 큐는 신규 세션 및 핸드오버 요청 메시지를 저장하고, RM-DB는 접속 망의 자원 및 부하 등의 현재 상태 정보를 저장하며 제안된 알고리즘과 연결된다.

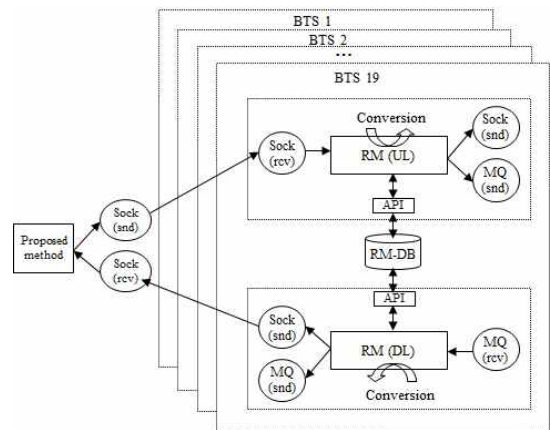


Fig. 3. Simulation Scenario

본 연구에서 제안한 방안의 성능 평가를 위해 Yang의 방식 [14] 그리고 Xiao의 방식[15]과 비교·분석한다. 그림 4는 서비스 도착률의 증가에 따른 outage 확률을 비교한 결과이다. 여기서 outage 확률은 평균 전송률이 MiBR이 아닌 서비스의 비율로서 계산하였다. Yang의 방식[14] 그리고 Xiao의 방식[15]에서는 지연 변화 상태의 변화에 미흡하게 대처함으로써 전송률이 감소하고 이로 인하여 outage 확률이 증가함을 알 수 있다. 제안된 방식을 적용할 경우 도착률 1에서 outage 확률이 6~11% 정도 감소함을 알 수 있다. 그 이유는 서비스 지연이 점차적으로 증가할 경우 QoE 저하를 최소화하기 위하여 무선 자원을 추가 할당함으로써 허용 가능한 지연 한도에서 서비스를 수행할 수 있기 때문이다.

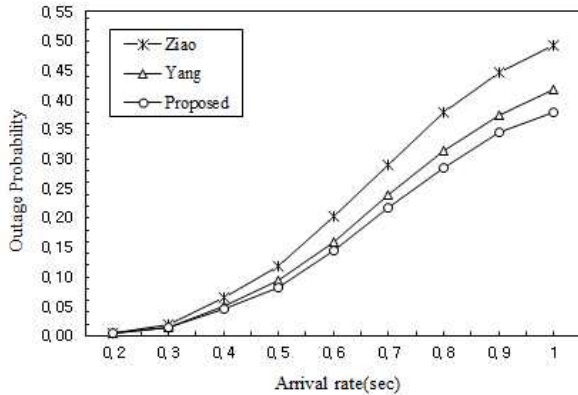


Fig. 4. Outage Probability

그림 5는 오류 없이 송/수신되는 데이터 량, 즉 총 처리량 (total throughput)을 성능 척도로 하여, Yang의 방식[14] 그리고 Xiao의 방식[15]과 비교·분석한 결과이다. 부하 0.6 이상에서는 Yang의 방식[14] 그리고 Xiao의 방식[15]에 비하여 데이터 처리량의 증가를 보인다. 제안된 방식을 적용할 경우 도 착률 1에서 총 처리량이 0.5~1.2Mbps 정도 증가함을 알 수 있다. 이는 지연 기준치 내에서 할당된 무선자원의 양을 최적으로 유지하고, 각 서비스의 특성을 기반으로 지연을 적응적으로 허용하고 조정함으로써 패킷의 처리율이 증가했기 때문이다.

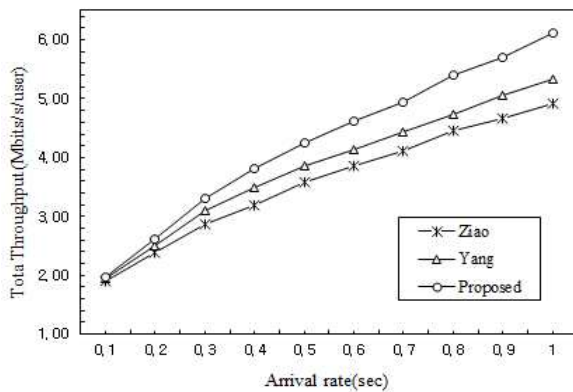


Fig. 5. Total Throughput

V. Conclusions

5세대 이동통신망의 서비스는 훨씬 더 빠른 데이터 속도와 지극히 낮은 전송 지연을 필요로 한다. 본 논문에서는 각 서비스를 지연의 허용 한계에 근거하여 네 가지 유형으로 분류하고 각 지연 한계에 대응하는 적합한 MOS (Mean Opinion Score)를 바탕으로 하여 자원을 할당하는 방안을 제안하였다. outage 확률과 데이터 처리율을 주요 성능 척도로 하여 수행된 시뮬레이션 결과에 의하면 제안된 방안에서는 기존의 방식에 비해 도 착률 1에서 outage 확률의 경우 6~11% 정도 감소하였고, 총

처리량의 경우 0.5~1.2Mbps 정도 증가함을 확인할 수 있었다. 향후 본 연구 결과를 상용 시스템에 적용하기 위해서는 알고리즘의 복잡도를 감소시키고 핵심 망과의 연계를 고려한 방안에 대한 연구가 선행되어야 한다.

REFERENCES

- [1] J. Moon, N. Park, S. Lee, and Y. Kim "Convergence of Wired Wireless Network Technologies for 5G Networks," *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol. 28, No. 6, pp. 1-12, Dec. 2013.
- [2] N. V. Quoc-Thinh, N. Agoulmine and E. H. Cherkaoui, "Multicriteria Optimization of Access Selection to Improve the Quality of Experience in Heterogeneous Wireless Access Networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 62, No. 4, pp.1785-1800, May 2013.
- [3] J. Jang and D. Kwon, "5G Mobile Communication Technology," *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol. 30, No. 5, pp. 109-117, Oct. 2015.
- [4] GSMA Intelligence, "Understanding 5G: Perspectives on Future Technological Advancements in Mobile," pp. 4-6, Dec. 2014.
- [5] J. Lee and G. Lee, "An End-to-End QoS Control Method for Heterogeneous Networks," *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 10, No. 10, pp. 2715-2720, Oct. 2009.
- [6] J. Lee and M. Lee, "A QoS Provisioning Based on Load Balancing for Hand-over in OFDMA System," *Journal of the Korea Society of Computer Information*, Vol. 18, No. 2, pp. 59-68, Feb. 2013.
- [7] J. Lee and M. Lee, "Resource Allocation for QoS Provisioning in Overlaid Macrocell-Femtocell Networks," *Journal of the Korea Society of Computer Information*, Vol. 20, No. 10, pp. 153-59, Oct. 2015.
- [8] 3GPP TR R1-050255, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Downlink Transmission Scheme," Apr. 2005.
- [9] 3GPP TS 36.211 v8.4.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channel and Modulation," Sep. 2008.
- [10] J. Lee and M. Lee, "Sub-channel Allocation Based on Multi-level Priority in OFDMA Systems," *KSII Transaction on Internet and Information Systems*,

Vol. 7, No.8, pp. 1876-1889, Aug. 2013.

- [11] P. Kyosti et al., "WINNER II Channel Models," IST-WINNER II D1.1.2, Nov. 2007.
- [12] J. Lee and M. Lee, "Resource Allocation Scheme for Macro-Femtocell Overlaid LTE-Advanced Networks," Journal of the Korea Society of Computer Information, Vol. 19, No. 12, pp. 81-89, Dec. 2014.
- [13] J. Lee and M. Lee, "A QoS Provisioning Based on Load Balancing for Hand-over in OFDMA System," Journal of the Korea Society of Computer and Information, Vol. 18 No. 2, pp. 59-68, Feb. 2013.
- [14] F. Yang, Q. Yang, F. Fu and K. Sup Kwak, "A QoE-based resource allocation scheme for multi-radio access in heterogeneous wireless network," Proceedings of International Symposium on Communications and Information Technologies, pp. 264-268, Sep. 2014.
- [15] Z. Xiao, Y. Xu, H. Feng, T. Yang, B. Hu, and Y. Zhou, "Modeling Streaming QoE in Wireless Networks with Large-Scale Measurement of User Behavior," Proceedings of Global Communications Conference, pp. 6-10, Dec. 2015.

Authors



Moon-Ho Lee received his B.E. degree in electronics from Seoul National University, Korea in 1977, M.S. and Ph.D. degrees in computer science and engineering from Soongsil University, Korea in 1993 and 1996 respectively. He was a research engineer in Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI) from 1979 to 1984. Since 1997, he has been a member of faculty in the Department of Multimedia Science, Chungwoon University. His current research areas are in the areas of mobile multimedia network, Internet of Things and information security.



Jong-Chan Lee received the M.S. and Ph.D. degrees in computer science and engineering from Soongsil University, Korea, in 1996 and 2000 respectively. He was a senior member of engineering staff in Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI) From 2000 to 2005. Since 2005, he has worked in the Department of Computer Information Engineering, Kunsan National University. His current research interests are in the areas of mobile multimedia networks, information security and big data.