

Resource Allocation for QoS Provisioning in Overlaid Macrocell-Femtocell Networks

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

Abstract

In this paper we propose a resource management scheme which allocates hierarchical resources stepwise based on the users' QoS requirement of each service in the macro-femtocell overlaid LTE-Advanced network. Our proposed scheme adjusts the transmission rate to the minimum which guarantees the allowable minimum requirement of delay for each user service. In this way it minimizes the interference on the adjacent channels and it is able to increase the resource utilization efficiency. Simulation results show that our scheme provides better performances than the conventional one in respect of the outage probability and data transmission throughput.

▶ Keyword : Resource Allocation, Macro/Femtocell, QoS, Multimedia Services

1. Introduction

최근 스마트폰, 태블릿 PC 등 고성능 고화질의 개인 휴대 단말의 보편적인 사용으로 음성을 비롯한 비디오 및 모바일 IPTV와 같은 대용량 멀티미디어 서비스를 이용하는 사용자가 증가되고 있으며 이로 인해 이동통신 네트워크에 데이터 트래픽이 폭발적으로 증가하여 네트워크의 부하가 가중되고 있다 [1]. 이에 따라 매크로셀 기반의 셀 분할만으로는 충족시키기가 어렵기 때문에, LTE-Advanced 기반의 펌토셀을 이용하여 서비스 반경을 확대시키고 사용자로 하여금 실내외의 소규모 영역에서 증가하는 데이터 서비스를 저비용으로 사용할 수 있도록 제안하고 있다 [1-3]. 펌토 셀 환경에서 멀티미디어 서비스의 효율적 지원을 위해서는 각 펌토 셀 내의 자원 할당 패턴을 분석하여, 계층화된 셀(펌토셀-매크로셀) 별로 자원 할당을 최적화할 수 있는 방향으로 접근해야한다. 특히 멀티미디어 서비스의 전송률 증가에 의한 관리대상 무선자원이 크게 증가하므로 전송 시에 효율적인 자원 할당 기술을 적용하여야 한다. 또한 인터넷 상의 패킷 기반 멀티미디어 서비스는 자원요구량, 성능목표, 자원이용효율 등이 상이하므로 적응적인 자원 관리

가 필수적으로 요구된다.

매크로셀-펌토셀로 계층화된 구조에서 효율적인 자원관리를 위한 자원관리 방안들이 연구되었으며 [4-11], 매크로셀과 펌토셀이 각각 별도의 주파수 대역을 사용하는 전용 자원 (dedicated channel) 방법과 매크로셀과 펌토셀이 동일한 주파수 대역을 공유하는 공유 자원(co-channel) 방법이 제안되었다. 전용 자원을 사용할 경우, 셀 간 간섭을 회피할 수 있어서 사용자 QoS의 연속성을 보장할 수 있다. 그러나 각 셀은 한정된 자원을 사용하기 때문에 사용자 수용 용량의 한계를 초래한다. 동일 자원을 공유할 경우에는 수용용량을 극대화할 수 있지만 동일 자원을 사용하는 이동 단말기 (Mobile Terminal; 이하 MT)의 거리에 따라 간섭의 정도가 커지며 이로 인한 사용자 QoS 성능의 저하를 야기할 수 있다. 패킷 기반 멀티미디어 서비스는 시간에 따라 전송률이 달라질 수 있으며 무선 셀 내부 부하 지나치게 증가하도록 허용할 경우 현재 연결되어 있는 서비스의 품질을 보장할 수 없다. 본 연구에서는 중첩셀 기반의 LTE-Advanced 시스템에서 사용자의 다양한 QoS 요구를 그 서비스 특성에 맞게 수용하고, 사용자 최대품질보장을 전제 조건으로 QoS(Quality of Service) 충족 범위 내에서의 자원 할당 방안을 제안한다. 동화상이나 음성과 같이 실시간성이 요구

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

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

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

• Received: 2015. 08. 11, Revised 2015. 09. 21, Accepted: 2015. 10. 13.

되는 실시간 서비스의 경우 정해진 시간 내에 전송되지 못한 패킷은 버려지는데, 이 폐기되는 패킷의 비율은 QoS와 직접적으로 관련된다. 전송의 실시간성을 만족시키기 위해서는 자원을 배타적으로 점유하는 방법이 가장 좋으나 버스트성 멀티미디어 서비스의 경우 자원의 이용률을 저하시켜 비효율적이다. 비실시간 서비스는 전송 지연에는 덜 민감하지만 오류가 없어야 하거나 최소한의 오류로 전송되어야 한다. 본 논문에서는 실시간 서비스와 비실시간 서비스의 요구사항을 만족시키면서도 각 요구 서비스의 허용 가능한 지연까지 전송률을 줄임으로써 자원의 이용률을 증대시킬 수 있는 방안을 제안한다.

II. Preliminaries

본 연구에서는 무선 자원 및 전력을 효율적으로 관리하기 위하여 서비스의 유형에 따라 상이한 관리 방법을 사용한다. LL (Low Delay, Low Loss class) 서비스는 호 설정 시 할당된 일정량의 전송률을 전 서비스 시간에 걸쳐서 변화 없이 사용한다. 그러나 LH (Low Delay, High Loss class), HL(High Delay, Low Loss class) 서비스의 경우는, 최소 전송률과 최대 전송률을 동시에 지정함으로 가용 무선 자원 및 무선 링크의 상태에 따라 단말기는 최소전송률과 최대전송률 사이에서 전송률을 조정할 수 있다. HH (High Delay, High Loss class) 서비스는 완화된 지연을 갖는 트래픽이므로 사용자가 대역폭을 지정하지 않고 기지국이 망의 상태에 따라 자율적으로 조정한다[12].

그림 1과 같이 기지국의 분류기 (Classifier)는 사용자 서비스의 종류에 따라 LL 서비스는 LL 버퍼, LH 서비스는 LH 버퍼, HL 서비스는 HL 버퍼 그리고 HH 서비스는 HH 버퍼에 버퍼링된다. 기본적으로 LL 버퍼, LH 버퍼, HL 버퍼, HH 버퍼 순으로 전송 우선순위를 갖으며, 이에 따라 부채널 할당의 우선순위를 갖는다. 각 버퍼는 사용자 서비스 요청 시에 할당되며, 버퍼의 종류 또한 결정된다. 버퍼에 저장된 패킷들은 각각의 허용 가능한 최대 지연(Maximum Delay)을 가지며, 이 때 까지 전송하지 못하면 큐잉 지연, 버퍼 오버플로어가 발생하여 폐기된다. 우선순위가 더 높은 큐가 비어있거나 사용되지 않을 경우에만, 우선순위가 낮은 큐에 있는 요구들에 대한 SAC(Service Admission Control)를 수행한다. 연결 요구를 받은 SAC scheduler는 RAB(Resource Allocation Block)로부터 현재 점유 자원 및 가용 자원의 상태 정보, 그리고 HCB(Hand-over Control Block)으로부터 현 셀로 입력을 요구하는 핸드오버 서비스의 전송률 정보와 현 셀로부터 인접 셀로 핸드오버를 요구하는 서비스의 전송률 정보를 종합하여 연결 요구의 수락 여부를 결정한다.

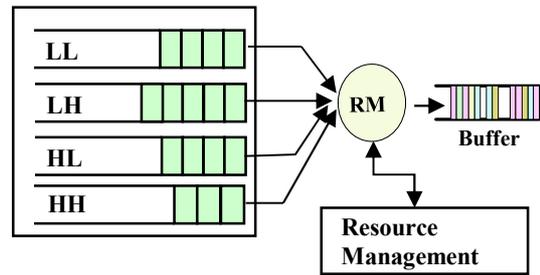


Fig. 1. Service Queue of BS

매크로셀 내에 펌토셀이 위치하는 계층 셀 구조를 이루므로 망의 자원은 공유될 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 전용자원방식의 장점인 간섭 미발생과 공유자원방식의 장점인 자원의 효율적사용을 극대화하기 위하여, 전용자원할당과 공유자원할당을 동시에 고려하는 자원할당 방법을 제안한다. 매크로셀과 펌토셀의 전용자원이 부족할 경우에, 특정 조건에 근거하여 펌토셀 또는 매크로셀에 위치한 사용자에게 공유자원을 할당한다. 그림 2와 같이 두 가지 방식을 융합한 자원 점유 매커니즘을 정의하기 위하여 3개의 유형- 매크로셀 전용자원인 R_{ma} , 매크로셀과 펌토셀의 공유자원인 R_{sh} , 그리고 펌토셀 전용자원인 R_{fe} 를 정의한다. 여기서 R_{sh} 는 R_{fe} 와 R_{ma} 가 부족할 경우에, 특정 조건에 근거하여 사용자에게 할당한다.

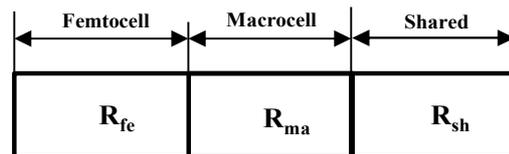


Fig. 2. Resource Allocation Strategy

사용자가 최소 요구 전송률을 요구한다고 가정하고, 사용자에 대한 부채널 n 의 할당 지시값으로 ρ_k^n 을 정의한다. 사용자에 대해 부채널 n 이 할당되었을 때 $\rho_k^n=1$ 이고, 그렇지 않으면 $\rho_k^n=0$ 이다. 을 사용자에 대해 할당된 부채널 n 을 이용하여 전송할 수 있는 전송률로 정의하면, 사용자 k 에게 전송되는 전체 전송률은 식 (1)과 같다[13]. 여기서 N 은 사용자 k 에게 할당된 부채널의 수를 의미한다.

$$R_k^T = \sum_{n=i}^N \rho_k^n \cdot r_k^n \quad (1)$$

각 기지국의 부채널에는 서로 다른 전력이 할당되며, ρ_k^n 은 부채널 n 에 할당된 전력을 의미한다. 부채널 n 과 사용자 k 사이의 링크 이득은 H_k^n 으로 정의하고 기지국에서 이동 단말기까지의 하향 링크 경로 손실과 다중 경로에 의한 신호 세기 감소로 구성된다. 이 때, 부채널 n 에 대한 사용자 k 의 SINR는 식 (2)와 같다[14]. 여기에서 $\Phi^{(n)}$ 는 부채널 n 으로 부터의 수신 잡음을 의미한다. 또한 I_k^n 는 인접 기지국들로부터 발생하는 기지국간

간섭을 나타낸다.

$$SINR_k^n = \frac{H_k^n + p_k^n}{I_k^n + \Phi^n} \quad (2)$$

일반적으로 Shannon의 법칙을 이용하여 부채널의 데이터율을 식 (3)과 같이 정의한다. 여기서 W_k^n 은 사용자 k 의 부채널에 할당된 대역폭을 의미한다.

$$r_k^n = W_k^n \ln(1 + SINR_k^n) \quad (3)$$

III. The Proposed Scheme

사용자 서비스의 허용 가능한 QoS 제약(허용 가능한 전송 지연)에 부합하는 최소 전송률을 유지할 경우, 위의 두 파라미터를 충족시킬 수 있다. 이는 최소 전송률을 유지하면 점유할 무선 대역폭이 최소화되어 간섭의 양이 줄어들기 때문이다. 정보율은 전송 전력뿐만 아니라 각 부채널에 대하여 채널 이득에 의존한다. OFDMA 시스템에서의 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 특성을 이용하여 사용자가 최대 채널 이득을 가지는 부채널을 사용함으로써 데이터 전송률을 극대화할 수 있다.

채널 이득 수준을 식 (4)와 같이 표현한다. 여기서 C 는 주파수 영역의 부채널의 개수, L 은 사용자수를 의미한다. 즉 S_k^c 은 l 번째 사용자의 c 번째 부채널의 채널 이득 수준을 나타낸다[15].

$$S = \begin{bmatrix} s_1^1 & s_2^1 & s_3^1 & \cdots & s_L^1 \\ s_1^2 & s_2^2 & s_3^2 & \cdots & s_L^2 \\ s_1^3 & s_2^3 & s_3^3 & \cdots & s_L^3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_1^C & s_2^C & s_3^C & \cdots & s_L^C \end{bmatrix} \quad (4)$$

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

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

LL 서비스 사용자의 가능한 자원 사용량은 식 (6)과 같다. 식 (5)에 의하여 결정된 부채널 c_k^n 을 통하여 사용자 k 에게 전송 가능 비트율을 식 (3)에 근거하여 $r_k(c_k^n)$ 이라 정의한다. 여기서 K_{L2} 은 LL 서비스 사용자들의 수를 의미하고, N_{L2} 은 LL 서비스에 할당된 부채널의 수이다.

$$\sum_{k=1}^{K_{L2}} R_k^{LL} = \sum_{k=1}^{K_{L2}} \sum_{n=1}^{N_{L2}} r_k(c_k^n) \quad (6)$$

LH 서비스 사용자의 자원 사용량은 식 (7)과 같이 정의된다.

여기서 K_{L1} 은 LH 서비스 사용자들의 수, N_{L1} 은 LH 서비스에 할당된 부채널의 수를 의미한다.

$$\sum_{k=1}^{K_{L1}} R_k^{LH} = \sum_{k=1}^{K_{L1}} \sum_{n=1}^{N_{L1}} r_k(c_k^n) \quad (7)$$

HL 서비스 사용자의 자원 사용량은 식 (8)과 같이 정의된다. 여기서 K_{H1} 은 HL 서비스 사용자들의 수이고, N_{H1} 은 HL 서비스에 할당된 부채널의 수이다.

$$\sum_{k=1}^{K_{H1}} R_k^{HL} = \sum_{k=1}^{K_{H1}} \sum_{n=1}^{N_{H1}} r_k(c_k^n) \quad (8)$$

HH 서비스 사용자의 자원 사용량은 식 (9)와 같이 정의된다. 여기서 K_{H2} 은 HH 서비스 사용자들의 수, N_{H2} 은 HH 서비스에 할당된 부채널의 수이다.

$$\sum_{k=1}^{K_{H2}} R_k^{HH} = \sum_{k=1}^{K_{H2}} \sum_{n=1}^{N_{H2}} r_k(c_k^n) \quad (9)$$

총 사용 자원은 식 (10)과 같다.

$$R^{(T)} = \sum_{k=1}^{K_{L2}} R_k^{LL} + \sum_{k=1}^{K_{L1}} R_k^{LH} + \sum_{k=1}^{K_{H1}} R_k^{HL} + \sum_{k=1}^{K_{H2}} R_k^{HH} \quad (10)$$

제안 시스템의 자원 할당 문제는 식 (11)과 같다.

$$\arg \max [R^{(T)}] = \arg \max \left[\sum_{k=1}^{K_{L2}} R_k^{LL} + \sum_{k=1}^{K_{L1}} R_k^{LH} + \sum_{k=1}^{K_{H1}} R_k^{HL} + \sum_{k=1}^{K_{H2}} R_k^{HH} \right] \quad (11)$$

식 (11)이 성립하기 위한 제약 조건을 실시간성 서비스와 비실시간성 서비스의 지연 특성에 근거하여 각기 다르게 설정한다. 식 (12)는 실시간성 서비스인 LL과 LH 서비스의 지연 제약 조건을 나타낸다. 여기서 N 은 식 (5)에 의하여 사용자 k 에게 할당된 부채널의 수, d_k^n 은 사용자 k 가 부채널 n 을 이용하여 데이터 전송 시 발생하는 전송 지연, d_k^{user} 은 사용자요구지연, 그리고 d_k^{sys} 은 시스템요구지연, 그리고 d_k^{\min} 은 최소전송지연기준치를 의미한다. 조건 식 (12)는 모든 사용자에게 전송 지연을 만족시켜야 한다는 것을 나타낸다.

$$\sum_{n=1}^N d_k^n < d_k^{user} < d_k^{sys} < d_k^{\min} \quad (12)$$

식 (13)은 비실시간성 서비스인 HL과 HH 서비스의 지연 제약 조건을 나타낸다. 여기서, d_k^{\max} 는 사용자 k 의 최대전송지연시간기준치를 의미한다.

$$d_k^{user} < \sum_{n=1}^N d_k^n < d_k^{sys} < d_k^{\max} \quad (13)$$

LL과 LH 서비스를 위하여 d_k^{user} 를 고려한 사용자요구전송률 ζ_k^{ru} 와 d_k^{sys} 를 고려한 시스템요구전송률 ζ_k^{rs} 을 동시에 고려한다. 식 (14)와 같이 ζ_k^{ru} 이 ζ_k^{rs} 보다 높고, ζ_k^{rs} 은 허용 가능한 최소전송률보다 ζ_k^{\min} 높다고 정의한다.

$$\zeta_k^{\min} \leq \zeta_k^{rs} \leq \zeta_k^{ru} \leq \zeta_k^{\max} \quad (14)$$

1. LL 서비스의 자원할당

LL 서비스는 지연 시간이 짧으며 손실에 약한 트래픽 특성을 갖는 서비스이므로, 고정된 전송률을 가지며 서비스 동안에 지속적인 전송률 유지가 필요하다. 따라서 단위 시간동안 고정된 데이터 량이 사용자 k 에 전송되어야 한다. LL 서비스를 ζ_k^{LLu} 이하로 전송하기 위하여 필요한 요구 용량 ζ_i^{LLu} 을 수용하기 위하여 식 (15)에 의하여 부채널을 할당한다.

$$\sum_{n=1}^N r_k(c_k^n) = \zeta_k^{LLu} \quad (15)$$

부채널의 가용성에 따라 두 가지 상태를 고려할 수 있다.

$$\sum_{n=1}^N r_k(c_k^n) \geq \zeta_k^{LLu} \quad (16)$$

식 (16)이 성립될 경우에, 사용자에게 할당될 자원은 요구 용량과 동일하다.

$$\sum_{n=1}^N r_k(c_k^n) < \zeta_k^{LLu} \quad (17)$$

식 (17)이 성립될 경우에, 가용 부채널의 부족으로 인하여 사용자 요구전송률을 수용할 수 없으므로 전송률을 시스템 요구전송률로 재조정한다.

$$\sum_{n=1}^N r_k(c_k^n) \geq \zeta_k^{LLs} \quad (18)$$

식 (18)이 성립될 경우에, 사용자에게 조정된 전송률 ζ_i^{LLs} 을 할당한다.

$$\sum_{n=1}^N r_k(c_k^n) < \zeta_k^{LLs} \quad (19)$$

식 (19)이 성립될 경우, 요구 용량을 수용할 수 없으므로, 부가 용량의 추가가 필요하다. 전송에 필요한 부가 자원을 확보하기 위하여 펌드셀과 매크로셀의 공유자원인 R_{sh} 에서 가용자원을 확보한다. R_{sh} 에서 전송에 필요한 부가 자원을 확보하기 위하여 식 (20)과 같이 ζ_k^{LLmin} 에 해당하는 자원의 확보를 요구한다. 즉 사용자가 공유자원인 R_{sh} 를 점유할 경우 ζ_k^{LLmin} 의 할당을 시도한다. 여기서 R_{sh}^r 은 R_{sh} 에서 할당 가능한 자원의 양이다.

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^N r_k(c_k^n) + R_{sh}^r &\geq \zeta_k^{LLmin} \\ \text{subject to } \sum_{n=1}^N d_k^n &< d_k^{min} \end{aligned} \quad (20)$$

식 (20)의 경우에 사용자 k 에 ζ_k^{LLmin} 을 할당한다.

$$\sum_{n=1}^N r_k(c_k^n) + R_{sh}^r < \zeta_k^{LLmin} \quad (21)$$

식 (21)이 성립되는 경우에는 ζ_k^{LLmin} 을 수용할 수 없으므로 서비스는 절단된다.

2. LH 서비스의 자원할당

LH 서비스는 지연 시간이 민감하지만 손실에 강한 트래픽 특성을 갖는 서비스이다. 전송률이 심하게 변하므로 사용자의 전송률이 단위시간 동안 $\zeta_k^{LHmin} < \zeta_k^{LHu} < \zeta_k^{LHmax}$ 의 전송 패턴을 가진다. LH 서비스는 데이터 발생이 가변적이므로, 항상 극단적인 지연이 발생할 수 있는 가능성이 내재한다. 따라서 지연이 발생할 경우, 부채널을 추가 할당함으로써 전송 지연을 해결한다.

자원 용량의 가용성에 따라 세 가지 상태를 고려한다.

$$\sum_{n=1}^N r_k(c_k^n) \geq \zeta_k^{LHu} \quad (22)$$

식 (22)의 경우에, 사용자 k 에 ζ_i^{LHu} 을 할당한다.

$$\sum_{n=1}^N r_k(c_k^n) < \zeta_k^{LHu} \quad (23)$$

식 (23)이 성립될 경우에, 가용 부채널의 부족으로 인하여 사용자 요구전송률을 수용할 수 없으므로 전송률을 시스템 요구전송률로 재조정한다.

$$\sum_{n=1}^N r_k(c_k^n) \geq \zeta_k^{LHs} \quad (24)$$

식 (24)이 성립될 경우에, 사용자에게 조정된 전송률 ζ_i^{LHs} 을 할당한다.

$$\zeta_k^{LHmin} < \sum_{n=1}^N r_k(c_k^n) < \zeta_k^{LHs} \quad (25)$$

식 (25)의 경우에 사용자 k 에 ζ_i^{LHmin} 을 할당한다.

$$\sum_{n=1}^N r_k(c_k^n) < \zeta_i^{LMmin} \quad (26)$$

식 (26)의 경우에, $\zeta_i^{LMmin} - \sum_{n=1}^N r_k(c_k^n)$ 만큼의 부가 용량이 필요하다. 전송에 필요한 부가 자원을 확보하기 위하여 R_{sh} 에서 가용자원을 확보하기 위하여 ζ_k^{LHmin} 에 해당하는 자원의 확보를 요구한다.

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^N r_k(c_k^n) + R_{sh}^r &\geq \zeta_k^{LHmin} \\ \text{subject to } \sum_{n=1}^N d_k^n &< d_k^{min} \end{aligned} \quad (27)$$

식 (27)의 경우에 사용자 k 에 ζ_k^{LHmin} 을 할당한다.

$$\sum_{n=1}^N r_k(c_k^n) + R_{sh}^r < \zeta_k^{LHmin} \quad (28)$$

식 (28)이 성립되는 경우에는 ζ_k^{LHmin} 을 수용할 수 없으므로 서비스는 절단된다.

3. HL 서비스의 자원할당

HL 서비스는 지연 시간에 민감하지 않은 반면에 손실을 보장이 필요하므로 QoS 요구사항으로 최소전송률을 유지해야 한다. HL 서비스는 자원 용량의 가용성에 따라 세 가지 상태를

고려한다.

$$\sum_{n=1}^N r_k(c_k^n) \geq \zeta_k^{HLl} \quad (29)$$

식 (29)의 경우에 가용 부채널로부터 획득 가능한 전송률의 합 $\sum_{n=1}^N r_k(c_k^n)$ 이 요구전송률보다 크면 사용자에게 ζ_k^{HLl} 을 할당한다.

$$\zeta_k^{HLlmin} < \sum_{n=1}^N r_k(c_k^n) < \zeta_k^{HLl} \quad (30)$$

식 (30)의 경우에 사용자 k 에게 ζ_k^{HLlmin} 을 할당한다.

$$\sum_{n=1}^N r_k(c_k^n) < \zeta_k^{HLlmin} \quad (31)$$

식 (31)의 경우에 가용 부채널이 부족하므로 대기 큐에서 우선순위를 할당받은 후 대기한다. 식 (32)과 같이 허용 가능한 최대전송지연기준치를 초과하면, 자원 점유의 높은 우선권을 가지게 되고 버퍼에 저장된 패킷을 전송하기 위한 자원할당을 시도한다.

$$\sum_{n=1}^N d_k^n \geq d_k^{max} \quad (32)$$

식 (32)가 성립될 경우에, 부채널의 가용도에 따라 두 가지 상태를 고려할 수 있다.

$$\sum_{n=1}^N r_k(c_k^n) \geq \zeta_k^{LHmin} \quad (33)$$

식 (33)이 성립될 경우에, 사용자 k 에게 ζ_k^{LHmin} 를 할당한다.

$$\sum_{n=1}^N r_k(c_k^n) < \zeta_k^{LHmin} \quad (34)$$

식 (34)의 경우에, 전송에 필요한 부가 자원을 확보하기 위하여 R_{sh} 에서 $\zeta_k^{LHmin} - \sum_{n=1}^N r_k(c_k^n)$ 만큼의 자원 확보를 요구한다.

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^N r_k(c_k^n) + R_{sh}^r &\geq \zeta_k^{HLlmin} \\ \text{subject to } \sum_{n=1}^N d_k^n &< d_k^{max} \end{aligned} \quad (35)$$

식 (35)의 경우에 사용자 k 에게 ζ_k^{HLlmin} 을 할당한다.

$$\sum_{n=1}^N r_k(c_k^n) + R_{sh}^r < \zeta_k^{HLlmin} \quad (36)$$

식 (36)이 성립되는 경우에는 ζ_k^{LHmin} 을 수용할 수 없으므로 서비스는 절단된다.

4. HH 서비스의 자원할당

HH 서비스는 QoS 제공이 거의 없는 서비스로서, 지연 및 손실에 둔감하므로 가용 자원이 있을 경우에만 한정된 자원이

할당된다. HH 서비스는 자원 용량의 가용성에 따라 두 가지 상태를 고려한다.

$$\sum_{n=1}^N r_k(c_k^n) \geq \zeta_i^{HHmax} \quad (37)$$

식 (37)의 경우에 사용자 k 에 ζ_i^{HHmax} 를 할당한다.

$$\zeta_i^{HHmin} \leq \sum_{n=1}^N r_k(c_k^n) < \zeta_i^{HHmax} \quad (38)$$

식 (38)의 경우에 사용자 k 에 요구 용량 ζ_i^{HHmin} 로 부채널을 할당한다.

$$\sum_{n=1}^N r_k(c_k^n) < \zeta_i^{HHmin} \quad (39)$$

식 (39)의 경우에 요구 용량을 확보할 수 없으므로, 일정 시간 간격 동안 HH 큐에 대기한다. 여분의 무선 자원이 있는 경우에 전송이 가능하다.

IV. Performance Evaluation

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 포이송 분포를 따른다. 시스템의 성능평가는 하향 링크(downlink)에 국한되며, 이를 위한 환경 변수는 표 1과 같다.

Table 1. Simulation Parameters [16–19]

Item	Parameter (Value)	
Frequency	Carrier Frequency : 2.3GHz	
Bandwidth	Effective Frequency: 8.75MHz	
BS Tx	BS Tx power: 43dBm	
	BS Max EIRP: 60dBm	
Channel Model	<ul style="list-style-type: none"> Path-loss Model <ul style="list-style-type: none"> Urban Macro Type path-loss exponent: 4 Shadowing Model <ul style="list-style-type: none"> WINNER Channel Model II 8dB Fading Model <ul style="list-style-type: none"> ITU-R M.1225 pedestrian B 5dB 	
	SINR	Exponential: 3dB

본 연구에서 고려한 주요 시스템 레벨 시뮬레이션 환경 [16–19]은 다음과 같다. TTI는 0.5ms로 가정하고 한 개의 프레임(10ms)내에 20개의 TTI가 배치되며, TTI에 해당하는 시간 영역에 7개의 OFDM 심볼을 갖는다. 또한 부반송파의 간격은 15kHz이다. 자원 할당 시 최소 단위인 RB(또는 부채널)의 구조는 한 개의 TTI에 해당하는 시간 영역에 7개의 OFDM 심볼과 180kHz에 해당하는 부반송파 12개로 이루어진 2차원 형태이다. 따라서 한 프레임은 20개의 TTI와 30개의 RB로 총 600개의 RB로 구성된다. 각 RB는 1명의 사용자에게만 할당되며, 1명의 사용자는 요구 전송률에 따라서 다수의 RB를 할당받을 수 있다.

본 연구에서 제안한 OSd의 성능을 평가하기 위하여, Feng의 방식[20] 그리고 Ahmed의 방식[21] 과 비교·분석한다. Feng 방식은 하이퍼그래프(hypergraph) 기반의 주파수 재사용에 중점을 둔 방식으로서, 기존 방식에 비하여 정밀하게 측정된 간섭을 추정할 수 있으며, 이를 이용하여 가변적인 주파수 할당 방법을 제시하였다. Ahmed 방식은 펠토셀을 위한 가변 자원 할당 방식을 제안하였다. 이 방식은 매크로-펠토셀간의 간섭을 최대한 억제하기 위하여, 펠토셀 사용자에게 최소자원을 허용하면서, 매크로셀에서 수용하지 못하는 서비스를 수용하는 방식을 제안하고 있다.

그림 3은 멀티미디어 서비스의 도착율의 증가에 따른 Outage 확률의 비교 결과이다. 연결 상태인 서비스의 평균전송률이 MiBR이하인 서비스의 비율로서 계산하였다. 제안된 방법에서는 Feng[20]과 Ahmed[21]에 비하여 Outage 확률이 크게 향상되었음을 알 수 있다. 이는 기지국은 멀티미디어 서비스에 대하여 허용 가능한 전송 지연에 부합하는 MiBR을 보장하기 때문이다. 또한 공유자원 사용 시 최대전송지연의 허용한도에서 최소전송률을 지원하므로 시스템 전체적으로 평균 데이터 전송률이 향상되는 결과를 가져온다. 특히 Feng[20]과 Ahmed[21]의 경우 셀 내 부하의 증가에 의한 사용자 분포의 불균형 및 자원 점유 상태의 변화에 대한 대처가 미흡하기 때문에 자원의 잉여가 발생하여 outage 확률이 증가함을 알 수 있다.

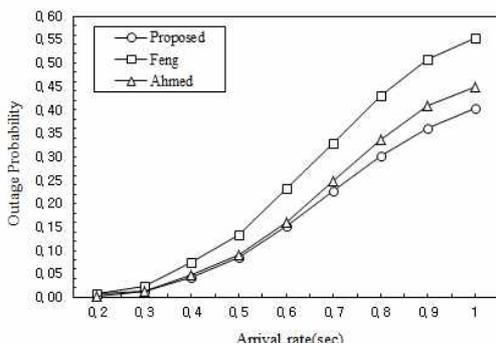


Fig. 3. Comparison of Outage Probability

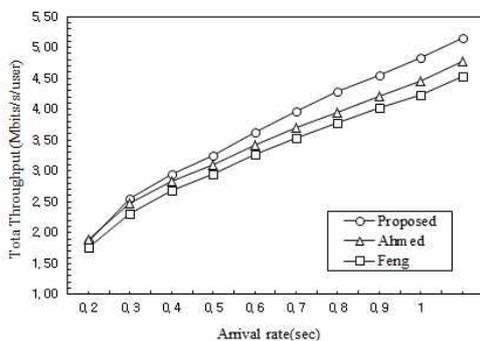


Fig. 4. Comparison of Total Throughput

그림 4는 MT의 서비스 요구 증가에 따른 데이터 처리량을 비교한 결과이다. 부하 0.5이상에서는 Feng[20]과 Ahmed[21]에 비하여 우수한 데이터 처리량의 증가를 보인다.

이는 전용자원의 서비스 특성을 기반으로 공유자원을 단계적으로 할당할 수 있으므로 가용 자원의 양을 항상 최대로 유지할 수 있기 때문이다. 또한 셀의 자원 점유 상태에 따라 최대전송지연을 적응적으로 허용함으로써 패킷의 처리율이 증가한다. 더불어 채널 이득이 최대인 부채널을 할당함으로써 요구되는 데이터 전송률을 최대전송지연 한도에서 수용할 수 있기 때문에 기존 방법에 비하여 동일 부채널상에서 데이터 처리율이 증가함을 알 수 있다.

V. Conclusions

본 논문에서는 매크로-펠토셀이 중첩된 이동통신망에서 매크로셀과 펠토셀 각각에 할당된 전용자원과 동시 점유 가능한 공유자원을 효율적으로 활용하면서도 멀티미디어 서비스의 QoS요구사항을 충족시키기 위한 자원할당 방안을 제안하였다. 이 방법은 자원을 멀티미디어 서비스 특성에 따라 4개의 유형으로 분류하고, 지연 특성에 근거하여 자원을 할당하는 방법이다. 제안된 방안의 성능을 평가하기 위하여 outage 확률과 데이터 처리율을 주요 성능 척도로 규정하고 성능을 분석하였다. 시뮬레이션에 의하면 기존의 방안들에 비하여 성능이 우수함이 확인되었다. 추후, 실제 환경에 적용하기 위하여 각 파라미터 값의 변경에 따른 성능 변화에 대한 연구가 필요하다.

REFERENCES

- [1] H. Claussen, D. Calin, "Macrocell Offloading Benefits in Joint Macro and Femtocell Deployments," Proceedings of International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication, Sep. 2009.
- [2] N. Saquib, E. Hossain, L.B Le and D.I Kim, "Interference Management in OFDMA Femtocell Networks: Issues and Approaches," IEEE Communications Magazine, Vol. 19, No. 3, pp. 86-95, Jun. 2012.
- [3] V. Chandrasekhar and J. G. Andrews, "Femtocell Networks: A Survey," IEEE Communications Magazine, Vol. 46, No. 9, pp.59-67, Jan. 2008.
- [4] J. Zhang, Q. Zhang, and T. Jiang, "Spectrum Leasing to Femto Service Provider with Hybrid Access," Proceeding of IEEE INFOCOM, pp. 1215-1223, 2012.
- [5] J. Lee and M. Lee, "Resource Allocation Scheme for Macro-Femtocell Overlaid LTE-Advanced Networks," Journal of the Korea Society of Computer and Information, Vol. 19 No. 12, pp. 81-89, Dec. 2014.

- [6] M. Vondra, Z. Becvar, "Connection Cost Based Handover Decision for Offloading Macrocells by Femtocells," *Proceeding of Wired/Wireless Internet Communication International Conference*, pp. 208-219, Jun. 2012.
- [7] D. Xenakis, N. Passas, L. Merakos, and C. Verikoukis, "Mobility Management for Femtocells in LTE-Advanced: Key Aspects and Survey of Handover Decision Algorithms," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, No. 99, pp. 1-28, Jul. 2013.
- [8] J. Lee and M. Lee, "A Resource Management and Allocation Scheme for Multiple Multimedia Service in Heterogeneous Networks," *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, Vol. 17, No. 1, pp. 141-149, Jan. 2012.
- [9] S. Uygungelen, G. Auer, and Z. Bharucha, "Graph-based Dynamic Frequency Reuse in Femtocell Networks," *Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 1-6, May 2011.
- [10] G. Roche, A. Valcarce, D. Lopez-Perez, and J. Zhang, "Access Control Mechanisms for Femtocells," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 48, No. 1, pp.33-39, 2010.
- [11] 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.
- [12] J. Lee and M. Lee, "Interrelation Based Resource Allocation Scheme for Mobile Multimedia Networks," *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, Vol. 15 No. 8, pp. 79-87, Oct. 2010.
- [13] M. Hunukumbure, T. Mousley, and S. Vadgama, "A Dynamic Resource Allocation Algorithm as a Green Technology for 4G Advanced Networks," *Proceedings of IEEE World Telecommunications Congress*, pp. 1-5, Mar. 2012.
- [14] H. Jung and J. Lee, "Downlink Power Allocation of the OFDMA Femtocell for Inter-cell Interference Mitigation," *Journal of KICS*, Vol. 35, No. 8, pp. 743-751, Apr. 2010.
- [15] J. Lee, M. Lee, "Green Resource Allocation with QoS Supporting in OFDMA Cellular Networks", *International Journal of Advancements in Computing Technology*, Vol. 5, No. 12, pp. 612-621, 2013.
- [16] 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.
- [17] *Guidelines for the Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000, Recommendation ITU-R M.1225*, 1997.
- [18] P. Kyosti et al., "WINNER II Channel Models," *IST-WINNER II D1.1.2*, Nov. 2007.
- [19] 3GPP TR R1-050255, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Downlink Transmission Scheme," Apr. 2005.
- [20] J. Feng and M. Tao, "Hypergraph-based Frequency Reuse in Dense Femtocell Networks," *Proceeding of IEEE/CIC International Conference on Communications in China*, pp. 537-542, Aug. 2013.
- [21] A.U. Ahmed, F. Aziz, T.M. Masum, "Resource Allocation in Hybrid Access Control Femtocell Network Targeting Inter-cell Interference Reduction," *International Conference on Electrical Information and Communication Technology*, pp. 1-5, Aug. 2013.

Authors



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 resource management for mobile multimedia networks.



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 resource management and QoS provisioning for mobile multimedia.