

매크로-펍토셀 중첩 LTE-Advanced 망을 위한 자원 할당 방안

이 중 찬*, 이 문 호**

Resource Allocation Scheme for Macro-Femtocell Overlaid LTE-Advanced Networks

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

요 약

매크로셀과 펍토셀로 중첩 구성된 LTE 펍토셀 망은 매크로셀 영역을 확대시키고 증가된 패킷 용량을 수용할 수 있다. 특히 이동 멀티미디어 서비스는 지연 및 손실에 의해 서비스 연속성이 영향을 받기 때문에 이동 멀티미디어 서비스의 QoS 요구사항을 유지하기 위한 효율적인 자원 관리 방안이 필요하다. 본 논문에서는 LTE 펍토셀 망에서 멀티미디어 서비스의 효율적인 QoS를 제공하기 위한 방안의 하나로 수락 제어와 부하 제어와 밀접하게 연계된 자원 할당 방안을 제안한다. 제안된 방안은 매크로셀 및 펍토셀내 자원 점유 상태의 변화에 따라 부하제어를 수행하고 실시간 서비스에는 자원 점유의 우선권을 주며, 비실시간 서비스에 대해서는 버퍼링을 통하여 최대 자원을 일시적으로 할당하는 방식을 적용한다. 제안된 방안의 성능을 시뮬레이션에 의하여 분석한다.

▶ Keywords : 자원관리, 중첩셀, 이동멀티미디어, 서비스품질

Abstract

The heterogeneous LTE-Advanced networks comprising a macrocell and femtocells can provide an efficient solution not only to extend macrocell coverage but also to deal with packet traffics increasing explosively within macrocells. Efficient resource management schemes are necessary to maintain the QoS requirements of versatile multimedia applications in LTE-Advanced networks because their service-continuity may be defected by some delay and information loss. In this paper, we propose a resource allocation method for the heterogeneous LTE-Advanced networks overlaid with femtocells. Performances are analyzed by simulation.

▶ Keywords : resource management, overlaid cell, mobile multimedia service, Quality of Service

•제1저자 : 이중찬 교신저자 : 이문호

•투고일 : 2014. 9. 30, 심사일 : 2014. 10. 15, 게재확정일 : 2014. 11. 3.

* 국립군산대학교 컴퓨터정보공학과(Dept. of Computer Information Engineering, Kunsan National University)

** 청운대학교 멀티미디어학과(Dept. of Multimedia Science, Chungwoon University)

I. 서 론

LTE-Advanced의 상용화가 진행됨에 따라 고품질 영상 및 멀티미디어 콘텐츠 등 대용량의 데이터를 실시간으로 전송하여야 하는 서비스의 수요가 급증하고 있다. 특히 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(macrocell) 위주로 구성된 단일망상에서 가정 및 사무실 내에서의 통신 용량을 개선함으로써 사용자에게 고속의 데이터 전송률을 제공하고 셀 용량을 증대시키기 위하여 3GPP에서는 초소형 기지국인 펠토셀(femtocell)을 표준기술의 하나로 채택할 것을 적극 검토하고 있다. 증가하는 데이터 서비스에 대한 요구를 매크로셀 기반의 셀 분할만으로는 충족시키기가 어렵기 때문에, LTE-Advanced 기반의 펠토셀을 이용하여 서비스 반경을 확대시키고 사용자로 하여금 실내외의 소규모 영역에서 증가하는 데이터 서비스를 저비용으로 사용할 수 있도록 하는 것이다[1-3]. 하지만 매크로 기지국의 서비스 셀 내에 펠토셀들이 중첩될 경우 매크로셀과 펠토셀 신호의 중첩으로 인한 간섭, 셀 선택 방안, 핸드오버 등 여러 가지 기술적인 문제가 발생한다[4-6]. 이들 문제는 서비스 품질 (Quality of Service : QoS)에 심대한 영향을 미치므로 사용자 QoS를 효과적으로 지원하면서도 자원을 효율적으로 활용할 수 있는 자원 할당 방안이 요구된다.

매크로셀과 펠토셀이 혼재하는 융합망 상에서 무선 자원을 운용하는 방법은 매크로셀과 펠토셀이 각각의 전용 스펙트럼(dedicated spectrum)을 사용함으로써 펠토셀에 전용 자원을 할당하는 방안[7-10]과 매크로셀과 펠토셀이 동일 스펙트럼을 공유하는 방안(shared spectrum)[11-13]이 제안되었다. 첫번째 방안에서는 펠토셀과 매크로셀 간에 간섭이 발생하지 않지만, 각 셀은 설정된 자원만을 사용해야 하므로 용량이 부족할 경우에는 추가적인 스펙트럼을 확보하여야 하는 상황이 발생할 수 있다. 두 번째 방안에서는 모든 자원을 펠토셀과 매크로셀에서 사용할 수 있으므로 자원의 효율적 사용이 가능하다. 그러나 이 방안에서는 매크로셀과 펠토셀에 위치한 이동단말기(Mobile Terminal; 이하 MT)의 거리에 따라 간섭의 정도가 심각할 수 있다. 즉 매크로셀 신호가 높게 잡히는 지역(매크로셀과 펠토셀이 근접할 경우)에서 MT는 수신 신호가 큰 매크로셀에 자동으로 접속하게 되어 펠토셀을 사용

할 수 없는 상황이 발생한다. 특히 펠토셀 설치에 있어서 동일 채널 간섭은 신호 대 간섭 비(Signal to Noise Ratio)를 저하시켜 무선 네트워크의 용량을 감소시키므로 반드시 해결되어야 할 문제로 지적되고 있다. 이를 해결하기 위하여 FFR(Fractional Frequency Reuse) 을 이용한 방식이 IEEE 802.16m 과 3GPP LTE-Advanced 중심으로 연구되고 있다[14-15]. 또한 이러한 FFR 방식을 근간으로 하여 간섭을 회피하면서 주파수 자원을 최대한 활용할 수 있는 방안들이 제안되었다[16-17]. [16]에서는 펠토셀들이 간섭을 근거리 동적채널할당 여부를 결정하며, 주변 펠토셀의 동의하에 부채널을 할당하는 방안을 사용한다. [17]에서는 그래프 컬러링 알고리즘(graph coloring algorithm)을 이용하여 펠토셀에게 공평하게 무선채널을 할당하고, 간섭이 허용하는 한도에서 인접 펠토셀이 사용하지 않는 채널을 추가로 할당함으로써 자원 사용을 극대화하려 하였다. 그러나 두 방식은 각각 인접 펠토셀의 채널 사용 문제와 셀들의 추가적인 채널 사용에 따른 펠토셀 사이의 간섭 증가를 야기한다.

인터넷 상의 패킷 기반 멀티미디어 서비스는 시간에 따라 전송률이 달라질 수 있으며 무선 셀 내 부하가 지나치게 증가하도록 허용할 경우 현재 연결되어 있는 서비스의 품질을 보장할 수 없다. 본 연구에서는 중첩셀 기반의 LTE-Advanced 시스템에서 셀 내 부하 증가에 효율적으로 대처하고 자원 점유 상태의 변화에 적응적으로 대응할 수 있는 자원할당 방안을 제안한다. 제안된 방안은 매크로셀 및 펠토셀내 자원 점유 상태의 변화에 따라 부하제어를 수행하고 이를 통하여 실시간 서비스에는 자원 점유의 우선권을 주어 자원을 할당하며, 비실시간 서비스에 대해서는 버퍼링을 통하여 전송 지연 기준치에 도달한 서비스에 최대 자원을 일시적으로 할당하는 방식을 적용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안되는 방안을 정의하기 위한 시스템 모델을 기술하고, 3장에서는 제안하는 자원 할당 방안에 대해 기술한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통한 성능 평가가 이루어진다. 5장에서는 본 논문의 결론 및 향후 연구에 관하여 논한다.

II. 기반 구조

2.1 자원 운용 구조

매크로셀과 펠토셀이 각각의 전용자원만을 사용하는 방식에서는 각 셀은 설정된 자원만을 사용해야 하므로 용량이 부

축합에 따른 자원의 양을 추가적으로 확장해야 하는 상황이 발생할 수 있지만, 펄도셀과 매크로셀 간에 공유자원을 사용할 경우 발생하는 간섭을 회피할 수 있다. 이러한 장점을 고려하여 본 연구에서는 전용 자원 분배방식을 채택한다.

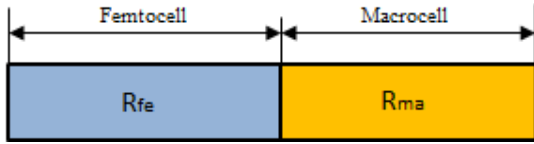


그림 1. 자원 할당 방안
Fig. 1. Resource Allocation Strategy

자원을 효율적으로 운용하기 위하여 실시간 서비스의 지연을 일정 범위까지 허용하면서 비실시간 서비스에 최소한의 손실만이 발생되도록 전송률을 극대화해야 한다. 시간 지연에 민감하지 않은 서비스라 할지라도 소비자의 만족도를 증가시키기 위해서는 각 사용자가 요구하는 QoS에 일정 수준 이하의 시간 지연 요건이 포함되어야 한다. 이러한 전송 지연의 제어는 요구 서비스 수락 제어 및 부하 제어와 병행하여 이루어져야 하며, 손실률 억제를 위해서는 재전송 및 큐잉을 통한 서비스 제어가 필요하다.

식 (1)의 조건이 만족될 경우 사용자의 서비스 연결 요구는 수락된다. 여기서 C_k^d 은 사용자 k 의 신규 요구의 전송률, R_A 는 가용부채널로부터 획득 가능한 전송률의 합이다.

$$C_k^d \leq R_A \quad (1)$$

2.2 전송률 할당

사용자 k 에 대한 부채널 n 의 할당 지시 값으로 ρ_k^n 을 정의한다. 사용자 k 에게 부채널 n 이 할당되었을 때 $\rho_k^n = 1$ 이고, 그렇지 않으면 $\rho_k^n = 0$ 이다. $Mr_k^{(n)}$ 와 $Fr_k^{(n)}$ 는 각각 매크로셀과 펄도셀에서 사용자 k 에게 할당된 부채널 n 으로 획득 가능한 전송률이고, 매크로셀과 펄도셀의 사용자에 의하여 획득 가능한 전송률의 합을 R_U^{Ma} 과 R_U^{Fe} 라 정의하면 식 (2-3)과 같다. 여기서, F 는 각 펄도셀에서 서비스 중인 사용자 수, M 은 매크로셀의 사용자 수, 그리고 N 은 이전 프레임 $[T_{i-1}, T_i]$ 에서 각 사용자에게 할당된 부채널의 수이다.

$$R_U^{Ma} = \sum_{k=1}^M \sum_{n=1}^N (\rho_n^k \cdot Mr_k^{(n)}) \quad (2)$$

$$R_U^{Fe} = \sum_{k=1}^F \sum_{n=1}^N (\rho_n^k \cdot Fr_k^{(n)}) \quad (3)$$

수락 제어 시 마다, 주기적으로 식 (4)와 같이 매크로셀과 펄도셀의 가용자원을 통하여 획득가능한 전송률 R_A^{Ma} 와 R_A^{Fe} 를 산정하고 셀 내 부하 증가에 효율적으로 대처하기 위하여 자원 운용 방식을 재설정한다. 이러한 자원운용 방식의 재설정은 호 수락 및 부하 제어 그리고 자원 할당을 제어함으로써 자원 점유 상태 변화에 능동적으로 대처할 수 있기 때문에 계층 셀 환경에 효율적이다. 여기서, R_T^{Ma} 와 R_T^{Fe} 는 각각 매크로셀과 펄도셀에 할당된 자원으로부터 획득 가능한 전송률의 총 합이다.

$$R_A^{Ma} = R_T^{Ma} - R_U^{Ma}, \quad R_A^{Fe} = R_T^{Fe} - R_U^{Fe} \quad (4)$$

샤논(Shannon)의 법칙을 이용하여 매크로셀과 펄도셀에서 공유자원인 R_{mf} 의 부채널 n 을 통하여 전송 가능한 데이터율을 $Mr(sh)_k^{(n)}$ 과 $Fr(sh)_k^{(n)}$ 로 정의하면 식 (5-6)과 같이 정의할 수 있다. 여기서, $p_i^{(n)}$ 은 부채널 n 에 할당된 전력을 의미하고 집합 $P_i = (p^{(1)}, p^{(2)}, \dots, p^{(N)})$ 으로 정의한다. 부채널 n 과 사용자 k 사이의 링크 이득 $H_k^{(n)}$ 는 거리에 따른 감소와 로그노말페이딩(lognormal fading)으로 구성된다. $\Phi^{(n)}$ 는 부채널 n 으로 부터의 수신 잡음, $W_k^{(n)}$ 은 사용자 k 의 부채널 n 에 할당된 대역폭을 의미한다. $IMM_k^{(n)}$ 은 인접 매크로셀에서 발생하는 간섭을 나타내고, $IFF_k^{(n)}$ 은 펄도셀 사용자에게 영향을 미치는 인접 펄도셀로부터 발생하는 간섭을 의미한다.

$$Mr_k^{(n)} = W_k^{(n)} \ln \left(1 + \frac{H_k^{(n)} + p_k^{(n)}}{IMM_k^{(n)} + \Phi_k^{(n)}} \right) \quad (5)$$

$$Fr_k^{(n)} = W_k^{(n)} \ln \left(1 + \frac{H_k^{(n)} + p_k^{(n)}}{IFF_k^{(n)} + \Phi_k^{(n)}} \right) \quad (6)$$

III. 자원 할당 방법

본 연구에서는 지연 특성 때문에 버퍼 대기시간이 제한적이어야 하는 실시간 서비스의 전송에 우선권을 부여한다. 비실시간 서비스에 대해서는, 일정 시간 동안 대기하였음에도 불구하고 전송 요구 용량이 확보될 수 없으면 패킷을 특정 기 준치까지 폐기하고 재전송을 수행한다.

실시간 서비스에 대해서는 두 가지의 전송률, 즉 사용자요 구전송률과 시스템요구전송률을 고려한다. 사용자요구전송률 은 사용자가 선호하는 전송률로서 사용자의 만족도와 관련된다. 즉 음성인 경우 고음질 수준, 영상의 경우는 고화질 수준 을 만족시킬 수 있는 전송률을 의미한다. 시스템요구전송률은 지연을 고려한 전송률로서, 시스템에서 실시간 서비스로서 인 정할 수 있는 최소 수준의 전송률을 의미한다. 이 전송률은 시스템에서 제어하고 무선 자원의 상태에 따라 일시적으로 부 여되고 재조정될 수 있다.

비실시간 서비스에 대해서는 두 가지의 전송률, 즉 MaBR (Maximum Bit Rate)과 MiBR(Minimum Bit Rate)을 고려한다. 이는 사용자요구와 상관없이 비실시간 서비스 자체 가 보유한 서비스 특성에 따라 전송률이 결정된다. 비실시간 서비스의 경우, 일정 자원을 보장해 주지 않으면 핸드오버 시 에 전송되지 못하여 버퍼에 쌓인 많은 패킷으로 인하여 포워 디ング 또는 재전송이 요구되므로 시스템 부하를 초래한다. 이 경 우 일정량의 비실시간 패킷이 주기적으로 서비스될 수 있도록 최소한의 자원을 보장함으로써 위 문제를 해결할 수 있다.

비실시간 서비스를 위하여 일시적으로 큰 버퍼를 할당하여 혼잡을 해결하려고 시도할 경우에는 지연을 야기하게 되며 버 퍼의 크기를 무한대로 만들어 혼잡을 제거하려 한다면 패킷은 영원히 지연된다. 따라서 자원이 부족할 지라도 일정량의 비 실시간성 데이터를 주기적으로 전송하고, 자원이 충분할 때, 버퍼에 쌓인 비실시간성 데이터에 대해 짧은 시간에 많은 자 원을 할당하여 전송하는 방안을 사용한다. 이를 위하여 지연 기준치를 사용한다. 사용자 서비스의 전송지연이 지연 기준치 (서비스 마다 서비스의 패킷 손실 시점을 의미하는 각각의 지 연 기준치를 가진다) 이상일 경우 지연 우선순위를 부여 받지만, 지연 기준치 이하일 경우는 지연 우선순위를 부여 받지 못한다. 허용 가능한 한계까지 지연을 허용하지만, 기준치를 초과하면 최상위의 우선순위를 할당하여 기지국에 버퍼링된 데이터를 전송한다.

3.1 실시간 서비스를 위한 자원할당 방안

본 논문의 구성상 매크로셀과 펌토셀에서의 자원할당 방안 은 동일하므로, 별도로 구분하여 알고리즘을 정의하지 않고 통합하여 기술한다. 이를 위하여 R_A^{Ma} 와 R_A^{Fe} 를 편의상 통합적으로 R_A 로 표기하여 사용한다.

실시간서비스에 대한 자원할당 방안을 설정함에 있어서 실 시간 서비스를 위한 사용자요구전송률 ζ_k^{ru} 와 지연을 고려한 시스템요구전송률 ζ_k^{rs} 을 동시에 고려한다. 식 (7)과 같이 사 용자요구전송률이 시스템요구전송률보다 높다고 가정한다.

$$\zeta_k^{ru} > \zeta_k^{rs} \quad (7)$$

우선 ζ_k^{ru} 을 계산하고, 이를 수용할 수 있는 부채널을 할 당한다. 프레임 $[T_i, T_{i+1}]$ 에서 부채널의 가용성에 따라 두 가지 상태를 고려할 수 있다.

$$R_A \geq \zeta_k^{ru} \quad (8)$$

식 (8)이 성립될 경우에, 사용자에게 할당될 자원은 요구 용량과 동일하다.

$$R_A < \zeta_k^{ru} \quad (9)$$

식 (9)가 성립될 경우에, 가용 부채널의 부족으로 인하여 사용자 요구전송률을 수용할 수 없으므로 전송률을 시스템 요 구전송률로 재조정한다.

$$R_A \geq \zeta_k^{rs} \quad (10)$$

식 (10)이 성립될 경우에, 사용자에 조정된 전송률 ζ_i^{rs} 을 할당한다.

$$R_A < \zeta_k^{rs} \quad (11)$$

식 (11)이 성립될 경우에 R_A 로는 시스템요구전송률을 수용할 수 없으므로 $\zeta_k^{rs} - R_A$ 에 해당되는 자원을 확보해 야 한다. 식 (12)를 근거로 서비스 우선순위와 부하제어를 통

하여 여분의 자원을 확보한다. 여기서 O_i 는 자원할당을 위하여, 프레임 $n+1$ 에서 전송을 위해 버퍼에 대기 중인 데이터, 이미지, 오디오 또는 비디오의 일부분을 의미한다. A_i 는 O_i 의 패킷손실률을 의미하며 한정된 자원으로 인하여 O_i 의 전송 중에 발생하는 QoS의 손실을 의미한다. $|O_i|$ 은 프레임 $n+1$ 동안의 정규화된 O_i 의 크기를 나타낸다. θ_i 는 객체 O_i 의 신뢰성 요건(reliability requirement)으로서 $(1-\theta_i)\%$ 의 손실을 가진 객체 O_i 를 서비스 사용자가 감내할 수 있음을 의미한다.

$$\sum A_i |O_i^N| = \zeta_k^{rls} - R_A, \quad 0 \leq A_i \leq 1 - \theta_i \quad (12)$$

부하제어 대상을 결정하기 위하여 우선순위 알고리즘을 적용하여 결정한다. 이 알고리즘은 서비스들의 우선순위 별로 $RT_i - Fr$ 만큼의 부가 용량을 확보할 때까지 서비스의 자원 사용량을 MiBR로 줄인다. 부하제어 시에 할당 용량 감소는 실시간 서비스의 QoS를 충족시키기 위하여, 비실시간 서비스에서 우선적으로 발생한다. 부하제어를 통하여 총 반환 용량 $\sum_{i=1}^n \psi_i^R$ 을 구하고, 이를 바탕으로 식 (13)의 조정된 가용 부채널의 합 ψ_T^R 을 획득한다.

$$\psi_T^R = \sum_{i=1}^n \psi_i^R + R_A \quad (13)$$

ψ_T^R 의 가용도에 따라서, 두 방안 중 하나를 고려한다.

$$\psi_T^R \geq \zeta_k^{rls} \quad (14)$$

식 (14)이 성립되는 경우에는, 사용자에게 요구 용량 ζ_k^{rls} 을 할당한다.

$$\psi_T^R < \zeta_k^{rls} \quad (15)$$

식 (15)가 성립되는 경우에 시스템요구용량을 수용할 수 없으므로, 사용자가 접속 중인 셀의 종류에 따라, 다음의 두 가지 상태를 고려할 수 있다. 우선, 펠토셀 지역에서 펠토셀에 접속된 경우에는 매크로셀로의 접속 전환(펠토셀에서 매크로셀로의 핸드오버)을 수행한다. 매크로셀에서 전송에 필

요한 자원을 확보하기 위하여 식 (16)과 같이 ζ_k^{mlrls} 의 확보를 요구한다.

$$R_A \geq \zeta_k^{mlrls} \quad (16)$$

식 (16)의 경우, 사용자에게 조정된 전송률 ζ_i^{flrls} 을 할당한다.

$$R_A < \zeta_k^{mlrls} \quad (17)$$

식 (17)의 경우에 R_A 로는 요구전송률을 수용할 수 없으므로, 서비스는 절단된다.

두 번째로 펠토셀 지역에서 매크로셀에 접속된 경우는 펠토셀로의 핸드오버(매크로셀에서 펠토셀로의 핸드오버)를 수행한다. 다만 핸드오버는 선택적으로 수행한다. 본 연구에서는 하위의 부하제어 조건에 부합할 경우에만 매크로셀에서 펠토셀로의 핸드오버를 허용한다. 이는 조건 1에 부합하는 매크로셀로부터 조건 2에 부합하는 펠토셀로의 핸드오버를 허용함으로써, 시스템 내 부하의 적절한 배분을 목적으로 한다.

- ① 조건 1: 매크로셀의 가용 자원이 시스템 기준치(threshold) 이하
- ② 조건 2: 펠토셀의 가용 자원이 시스템 기준치 이상

펠토셀로의 핸드오버를 요구하는 사용자 k 는 ζ_k^{flrls} 의 할당을 시도한다. 펠토셀의 가용 부채널의 양에 따라 두 가지 상태를 고려할 수 있다.

$$R_A \geq \zeta_k^{flrls} \quad (18)$$

식 (18)이 성립한다면 사용자 k 에게 ζ_k^{flrls} 을 할당하고 펠토셀로의 핸드오버는 허용된다.

$$R_A < \zeta_k^{flrls} \quad (19)$$

그러나 식 (19)가 성립한다면, ζ_k^{flrls} 을 할당할 수 없으므로 펠토셀로의 핸드오버는 허용되지 않는다.

3.2 비실시간 서비스를 위한 자원 할당 방안

비실시간 서비스의 MaBR ζ_k^{rlmax} 와 MiBR ζ_k^{rlmin} 을 동시에 고려하여야 한다. 우선 ζ_k^{rlmax} 을 계산하고, 이를 수용할 수 있는 부채널을 할당한다. 자원 용량의 가용도에 따라

세 가지 상태를 고려한다.

$$R_A \geq \zeta_k^{n|max} \tag{20}$$

식 (20)의 경우에 가용 부채널로부터 획득 가능한 전송률의 합 R_A 이 요구전송률보다 크면 사용자에게 $\zeta_k^{n|max}$ 을 할당한다.

$$\zeta_k^{n|min} \leq R_A < \zeta_k^{n|max} \tag{21}$$

식 (21)의 경우에 사용자에게 $\zeta_k^{n|min}$ 을 할당한다.

$$R_A < \zeta_k^{n|min} \tag{22}$$

식 (22)의 경우에 가용 부채널이 부족하므로 대기 큐에서 우선순위를 할당받은 후 대기한다. 식 (23)과 같이 허용 가능한 최대 전송 지연 기준치가 85%이상이면, 자원 점유의 높은 우선권을 가지게 되고 버퍼에 저장된 패킷을 전송하기 위한 자원할당을 시도한다. 여기서 d_k^n 는 현재의 전송 지연 시간, M_k^n 는 사용자 k 의 최대지연시간기준치를 의미한다.

$$M_k^n \leq d_k^n \tag{23}$$

식 (23)이 성립될 경우에, 부채널의 가용도에 따라 두 가지 상태를 고려할 수 있다.

$$R_A \geq \zeta_k^{n|min} \tag{24}$$

식 (24)가 성립될 경우에, 사용자에게 $\zeta_k^{n|min}$ 를 할당한다.

$$R_A < \zeta_k^{n|min} \tag{25}$$

식 (25)가 성립되는 경우에 사용자 요구 용량을 수용할 수 없으므로, 셀 간 핸드오버를 수행한다. 이 경우에는 펌토셀에서 매크로셀로의 핸드오버만을 수용한다. 식 (26)과 같이 매크로셀에 $\zeta_k^{n|min}$ 를 요구한다.

$$R_A \geq \zeta_k^{n|min} \tag{26}$$

식 (26)의 경우에, 매크로셀로의 접속전환을 수행하고 사용자에게 $\zeta_k^{n|min}$ 을 할당한다.

$$R_A < \zeta_k^{n|min} \tag{27}$$

식 (27)의 경우에 R_A 로는 매크로셀에서 $\zeta_k^{n|min}$ 을 수용할 수 없으므로, 서비스는 절단된다.

IV. 성능 평가

4.1 성능 평가 환경

본 논문에서 제안한 자원운용 방안의 성능을 평가하기 위하여 시뮬레이션 저작 도구인 MODSIM을 이용하여 시뮬레이션 프로그램을 개발하고 이를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 2는 시뮬레이션 입력력 구조를 보이고 있다. 평가 시스템은 중첩된 셀 상의 계층 셀로 구성되며, 각 셀에 대해 자원 관리자(resource manager)는 MT의 세션 제어에 관여한다. RM-DB는 각 중첩 셀의 자원 및 부하 등의 상황 정보를 저장하고, 메시지 큐 및 소켓을 상황 정보를 입력하기 위한 프리미티브를 위하여 사용되며, 제안된 방법에 연결된다.

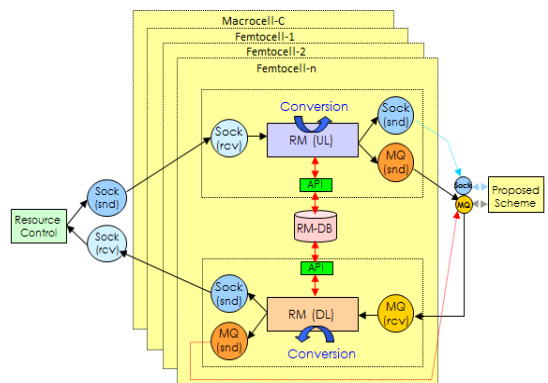


그림 2. 시뮬레이션 구조
Fig. 2. Simulation structure

평가를 위한 기본 구조로 다음과 같이 가정한다[18-19].

- 실시간 서비스의 한 버스트의 지속 시간은 1.00s 이다.
- 실시간 서비스의 경우, 시간 간격동안 버퍼에 쌓이는 패킷의 평균량은 버퍼 크기의 70% 이다.
- MT의 패킷 전송률은 상이, 전송률의 합은 동일하다.

- 패킷의 경우는 10ms 프레임 구조를 사용한다.

MT의 이동 경로와 속도는 도로 구조에 의해 영향을 받으며 이러한 방향 및 속도의 변화가 MT 이동 패턴을 지배한다. 이동 속도에 따라 고속이동 MT와 저속 이동 MT로 나누어 저속 이동 MT 즉 보행자는 전체의 60%를 차지하며 그들 중 50%가 정지 상태에 있고 나머지 50%가 보행중인 상태에 있는 것으로 분류하고 고속 이동 MT는 전체의 40%에 달하는 것으로 가정한다. 수신 신호의 경로 손실에 의한 평균 신호 감쇠는 전파 거리의 3.5 배에 비례하고 shadowing은 6dB의 표준 편차를 갖는 log-normal 분포를 따른다. 수신 신호 세기가 -16dB 이하이면 수신 신호의 오류로 판단하여 평균 수신 신호 세기의 계산에서 제외한다. 세션의 시도는 셀 내에서 고르게 발생하며, 세션의 발생은 포아송 분포를 따른다. 멀티미디어 서비스는 다양한 전송률, 전송 지연, 지속 시간 등을 가지므로 제안된 방안의 멀티미디어 서비스에 대한 영향을 분석하기 위하여 표 1과 같이 실시간과 비실시간 세션의 선정 요소 수준에 대한 소속 함수 값들을 각각 고려하였다 [18].

표 1. 멀티미디어 서비스의 분류
Table 1. Classification of Multimedia Services

멀티미디어 서비스		전송률	전송 지연
Realtime service	High Quality Voice	32K	150ms
	Video Conference	64~384 K	150ms
	VOD	10~20 M	150ms
Nonreal time service	WWW	< 2 M	20s
	Electronic Commerce	64~384 K	4s
	FTP	< 20 M	10s

4.2 평가 결과

본 연구에서 제안한 방안의 성능 평가를 위해 Zheng의 방안[16], Uygungelen의 방안[17]과 비교하여 분석한다. 그림 3은 서비스 도착율의 증가에 따른 outage 확률을 비교한 결과이다. 여기서 outage 확률은 평균전송률이 MiBR이하인 서비스의 비율로서 계산하였다. Zheng의 방안[16]과 Uygungelen의 방안[17]에서는 셀 내 부하의 증가에 의한 자원 점유 상태의 변화에 미흡하게 대처함으로써 자원의 부족 또는 잉여가 발생하여 outage 확률이 증가함을 알 수 있다. 이에 비하여 제안된 방안은 트래픽 부하 0.6 이상에서 기존 방안에 비하여 outage 확률이 현저히 감소함을 알 수 있다.

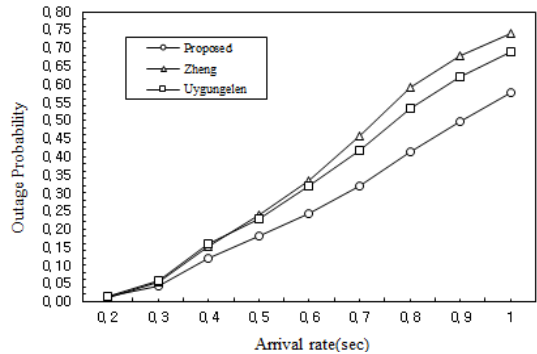


그림 3. outage 확률의 비교
Fig. 3. Comparison of outage probability

그림 4는 실시간 서비스와 비실시간 서비스를 구분하여 outage 확률의 변화를 비교한 결과이다. 실시간 서비스에 대해서는 부하제어를 통하여 유연하게 자원을 할당함으로써 현저한 성능향상을 보인다. 비실시간 서비스는 전송 지연 기준치에 도달한 서비스에 최대 자원을 일시적으로 할당하는 방식과 최소자원의 할당을 통하여 일정량의 패킷 전송을 보장하는 방식을 사용함으로써, 기존 방식과 유사한 성능을 얻을 수 있었다.

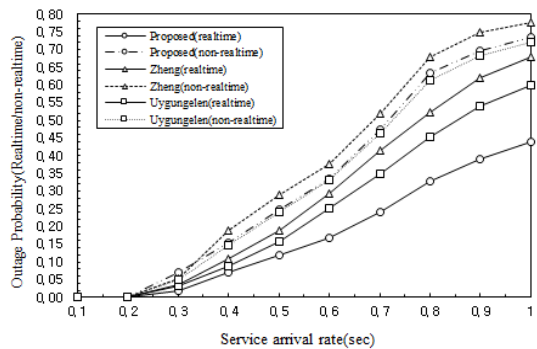


그림 4. 실시간과 비실시간 서비스의 outage 확률의 비교
Fig. 4. Comparison of outage probability of realtime and non-realtime service

그림 5는 블록킹률을 비교한 것으로 제안된 방안은 부하 0.5 이상에서 기존 방안에 비하여 부채널 부재로 인한 블록킹률을 감소시킬 수 있음이 확인된다. 이것은 제안된 방법이 자원의 점유 상태에 따라 부하제어를 수행하고, 이를 통하여 동적으로 실시간과 비실시간 서비스의 자원 할당 용량을 제어함으로써 부채널의 점유 상태의 변화에 능동적으로 대처할 수 있기 때문인 것으로 판단된다. 또한 자원할당 정책으로 매크

로셀에서 펌토셀로의 중첩 셀 핸드오버를 허용함으로써, 계층 셀 자원 상태에 따라 서비스 요구에 적응 가능하므로 블록킹율이 감소함을 알 수 있다.

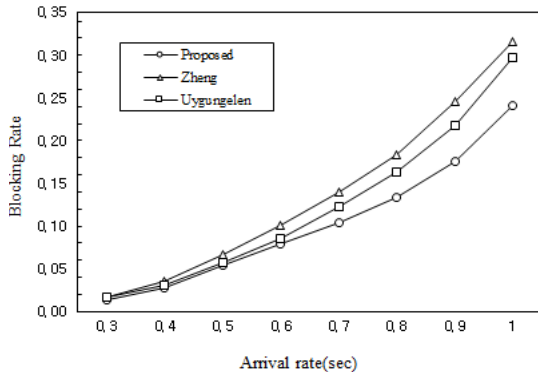


그림 5. 블록킹률의 비교
Fig. 5. Comparison of blocking rate

V. 결론

본 논문에서는 매크로-펌토셀이 중첩된 LTE-Advanced 통신망에서 이동 멀티미디어 서비스에 일정 수준의 QoS 보장을 보장하기 위한 자원할당 방안을 제안하였다. 제안된 방안은 매크로셀 및 펌토셀내 자원 점유 상태의 변화를 적응적으로 파악하여 부하제어를 기반으로 실시간 서비스의 패킷 전송 지연 요건을 만족시키고, 비실시간 서비스에 대해서는 부채널 상태를 효과적으로 반영함으로써 서비스 연속성을 보장한다.

제안된 방안의 성능을 평가하기 위하여 outage 확률과 블록킹율을 주요 성능 척도로 규정하고 성능을 분석하였다. 시뮬레이션에 의하면 기존의 방안들에 비하여 성능이 우수함이 확인되었다. 추후, 추후 펌토셀 간의 핸드오버를 고려한 자원할당 방안과의 통합을 고려하여 전력 할당, 간섭 등에 대한 추가 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] H. Claussen, D. Calin, "Macrocell Offloading Benefits in Joint Macro-and Femtocell Deployments," in Proc., IEEE 20th International Symp. On Pers. Indoor and Mobile Radio Commun.(PIMRC), pp. 350-354, Sep. 2009.

[2] N. Saquib, E. Hossain, L.B Le and D.I Kim, "Interference Management in OFDMA Femtocell Networks: Issues and Approaches," IEEE Commun. Mag., 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] K. H. Cho, and D. H. Kim, "Load-balanced Handover Based on Adaptive Hysteresis in a Femto-Cell System," Proc. Convergence and Hybrid Information Technology Communications in Computer and Information Science 6th International Conference, Vol. 310, pp. 1-8, Aug. 2012.

[5] R. Ellouze, M. Gueroui, and A. M. Alimi, "Macrofemto Cell Handover with Enhanced QoS in Mobile WiMAX," Proc. Wireless Telecommunications Symposium, pp. 1-6, Apr. 2011.

[6] Z. Becvar and P. Mach, "Adaptive Hysteresis Margin for Handover in Femtocell Networks," Proc. Wireless and Mobile Communications International Conference, pp. 256-261, Sep. 2010.

[7] F. Zhong and S. Yong, "Access and Handover Management for Femtocell Systems," Proc. IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 1-5, May 2010.

[8] M. Z. Chowdhury, Y. M. Jang, and Z. J. Haas, "Interference Mitigation Using Dynamic Frequency Re-use for Dense Femtocell Network Architectures," IEEE Int. Conf. on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), pp. 256-261, Jun. 2010.

[9] Nguyen Tien Dung, Chang Soon Kang, "A Dynamic Downlink Load Control Scheme with Virtual Coverage Adjustments for Two-tier LTE Systems," in Proc., IEEE 2011 International Conference on ICT Convergence (ICTC), pp. 487-492, Sep. 2011.

- [10] H. Claussen, "Performance of Macro- and Cochannel Femtocells in a Hierarchical Cell Structure," IEEE 18th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2007), pp. 1-5, Sep. 2007.
- [11] M. Vondra, Z. Becvar, "Connection Cost Based Handover Decision for Offloading Macrocells by Femtocells," in Proc., Wired/Wireless Internet Communication 10th International Conference, WWIC 2012, pp. 208-219, Jun, 2012.
- [12] K. Cho, W. Lee, D. Yoon, K. Hyun, "Resource Allocation for Orthogonal and Co-channel Femtocells in a Hierarchical Cell Structure," 13th IEEE International Symposium on Consumer Electronics (ISCE2009), pp. 655-656, 25-28 May 2009.
- [13] Thomas Novlan et al, "Comparison of Fractional Frequency Reuse Approaches in the OFDMA Cellular Downlink", IEEE GLOBECOM 2010, pp.1-5, 6-10 Dec. 2010.
- [14] F. Tariq, L. S. Dooley, A. S. Poulton, "Dynamic Fractional Frequency Reuse based Hybrid Resource Management for Femtocell Networks", Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 7th International, pp.272-277, Jul. 2011.
- [15] 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, July 2013.
- [16] K. Zheng, F. Hu, L. Lei, and W. Wang, "Interference Coordination between Femtocells in LTE-Advanced Networks with Carrier Aggregation," in Proc. Chinacom 2010, pp. 1-5, Aug. 2010.
- [17] S. Uygungelen, G. Auer, and Z. Bharucha, "Graph-based Dynamic Frequency Reuse in Femtocell Networks," in Proc. IEEE VTC 2011-Spring, pp. 1-6, May 2011.
- [18] 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.
- [19] 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.

저자 소개



이종찬

1996 : 숭실대학교 공학석사
 2000 : 숭실대학교 공학박사
 2000-2005 : ETRI 선임연구원
 2005-현재 : 국립군산대학교
 컴퓨터정보공학과 부교수
 관심분야 : 이동멀티미디어,
 센서네트워크,
 무선원격제어
 Email : chan2000@kunsan.ac.kr



이문호

1977 : 서울대학교 공학사
 1993 : 숭실대학교 공학석사
 1996 : 숭실대학교 공학박사
 1997-현재 : 청운대학교
 멀티미디어학과 교수
 관심분야 : 무선멀티미디어,
 통신방송융합, 센서네트워크
 Email : mhlee@chungwoon.ac.kr