

3G LTE의 Adaptive Partitioning 기반 다운링크 호 수락제어 방식

정회원 전 경 구*

Adaptive Partitioning based Downlink Call Admission Control in 3G LTE

Kyungkoo Jun* *Regular Member*

요 약

3G Long Term Evolution (3G LTE)은 OFDMA와 MIMO기반 무선접속 기술을 이용해 다양한 모바일 멀티미디어 서비스를 제공하는 차세대 이동통신 시스템이다. 기존 WCDMA기반 시스템과 여러 면에서 차이가 있지만, 3G LTE는 Physical Resource Block (PRB)을 무선전송 자원으로 사용하고, 모든 서비스가 PS 도메인을 통해 이루어진다는 점에서 새로운 자원관리 방식의 개발을 필요로 한다. 본 논문은 Adaptive Partitioning 기반의 다운링크 호 수락제어 방식을 제안한다. 실시간과 비실시간 호를 구분하여 호 종류별로 최대 사용가능 자원량을 미리 지정하고, 한계 초과시 잉여자원량에 비례하여 확률적으로 호를 수락하는 방식이다. 이러한 adaptive 개념은 이미 다른 호 수락제어에서 사용되어 왔지만, PRB의 특징을 활용한 적용방식을 고안하고 PRB utilization과 payload ratio을 이용해 기지국 자원사용량을 측정하는 것은 본 논문의 특징이다. 시뮬레이션을 통해 다른 방식들과 성능 비교한 결과, 실시간 신규 호의 수락을 우선할 수 있었으며, 전체 시스템 성능 또한 우수한 것으로 확인되었다.

Key Words : Call Admission Control, QoS, 3G LTE

ABSTRACT

3G Long Term Evolution (3G LTE) is a next generation cellular networks system capable of providing various mobile multimedia services by using OFDMA and MIMO based radio access technology. Among many differences from existing WCDMA based systems, the facts that 3G LTE uses Physical Resource Block (PRB) as its radio resources and provides all services through the PS domain make the development of new resource management schemes necessary. This paper proposes an adaptive partitioning based downlink call admission control scheme. It separates realtime call requests from non-realtime ones, specifies maximum allowable resource amounts for each type, but if the maximum is exceeded, call requests are accepted with probability proportional to remaining resource amounts. Despite the fact that such adaptive concept has been already adopted by other call admission schemes, the contributions of our paper, which are that we are able to find an efficient way to apply the proposed scheme exploiting PRB characteristics and measure the resource usage of base stations by PRB utilization and payload ratio, are still valid. When judging from simulation results in comparison with others, our scheme is able to prioritize realtime call requests over non-realtime ones, and at the same time, overall system performance is superior.

※ 본 연구는 2006년도 인천대학교 교내연구비 지원으로 수행되었습니다.

* 인천대학교 멀티미디어시스템공학과 (kjum@incheon.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-02-086, 접수일자 : 2007년 2월 26일, 최종논문접수일자 : 2007년 5월 31일

I. 서론

3G Long Term Evolution (3G LTE)은 OFDMA와 MIMO 기술을 이용하여 다양한 이동 멀티미디어 서비스 제공을 가능하게 하는 차세대 이동통신 시스템 기술이다^[1]. 많은 특징들 가운데 특히 서비스 측면에서 중요한 점은, 기존 3G 시스템이 음성 서비스와 데이터 서비스를 각각 서킷기반 CS 도메인과 패킷기반 PS 도메인으로 분리해서 처리했던 반면, 3G LTE는 모든 서비스를 PS 도메인에서 처리한다는 것이다.

이러한 패킷 자원 공유를 기반으로 하는 3G LTE서비스 구현에서는 여러 가지 새로운 기술적 도전들이 예상되는데, 그 중 하나는 호 수락제어에 관한 것이다. 기존 3G 기반 시스템의 호 수락제어 방식에 관해서는 이미 다양한 연구가 진행되어 왔지만, 현재 추세에서는 무선 채널 재사용을 위해 셀 반경이 더욱 축소됨에 따라 더 많은 핸드오버가 발생하고, 하나의 단말이 여러 개의 호를 동시에 진행하는 멀티 콜이 일반화됨에 따라 호 수락제어의 중요성은 더욱 커지고 있다. 3G LTE의 호 수락제어 방식에서 고려해야 할 특징들과 논문의 제안 방식을 설명하기 전에, 여기서는 기존 호 수락제어 방식들에 대해 살펴본다.

기존 호 수락제어 방식들은 크게 정적 방식과 동적방식으로 두 가지로 분류될 수 있다. 정적 방식의 대표적인 예로는 호 종류별로 - 신규 호와 핸드오버 호 - 미리 정해 놓은 최대 사용가능 채널 개수 내에서 수락여부를 결정하는 guard channel^[2] 방식들을 수 있다. 이외에도 guard channel 방식의 낮은 자원효율성을 개선한 fractional guard channel^[3], queueing^[4] 등이 정적 방식에 해당한다. 동적 방식은 변화하는 트래픽 패턴이나 셀 자원상황을 예측하여 수락 결정을 하는데, 로컬 기지국 상황 예측만을 사용하는 방식^[5]과 이웃 셀들의 자원상황까지도 고려하는 방식들이 있다^{[5][6]}. 후자의 대표적인 예로는 단말의 이동 경로와 속도를 예측하여 해당 주변 셀들의 자원 상황에 따라 수락을 결정하는 shadow clustering 방식^[7]이 있다.

기존 WCDMA기반 시스템과 비교했을 때, 3G LTE 시스템은 다음과 같은 차이점을 고려하여 호 수락제어 방식을 설계해야 한다.

- 전송자원의 차이점: WCDMA 시스템의 전송자원은 채널로 결정되지만, 3G LTE는 서브캐리어와 OFDM 심볼^[11]로 전송자원이 결정된다.

- 호 수락제어 결정인자의 차이점: WCDMA기반 시스템에서는 OVFS 코드, 채널 간섭 등이 호 수락 결정의 주요인자였으나, 3G LTE는 이들 인자들과 상관이 없기 때문에 새로운 결정인자 발굴이 필요하다.

- QoS 보장의 어려움 가중: 3G LTE에서는 지연에 민감한 음성 트래픽도 PS 도메인에서 처리되므로, 보다 엄격해진 QoS 요구사항 만족을 고려해야 한다.

본 논문에서는 이러한 차이점을 고려하여, *adaptive partitioning* 기반 다운링크 호 수락제어 방식을 제안한다. 이 방식은 전송자원으로 Physical Resource Block (PRB)^[11] 개념을 사용하고, 호 수락제어 결정인자로는 PRB 사용 현황을 나타내는 두 가지 새로운 개념 - *PRB utilization, payload ratio* -을 이용하며, QoS 보장을 위해 실시간과 비실시간 호 수락요구를 별도로 처리한다. *Adaptive partitioning*은 실시간과 비실시간 호 종류별 최대 사용가능 자원량이 상황에 따라 적응적으로 조절된다는 의미이다.

*Adaptive partitioning*과 같이 동적으로 최대 자원 사용 한계량을 조절하는 아이디어는 이미 다른 호 수락제어 방식에서 사용되고 있지만^[3], 이를 3G LTE에 적용하고자 하는 것은 새로운 시도이다. 특히 제안한 방안에서는 수락결정의 주요 인자들인 기지국 다운링크 무선자원 사용 상태를 PRB utilization과 PRB payload ratio로 분리하여 측정한다. 전자는 단위시간동안 기지국 전체 PRB들 중 데이터 전송에 사용된 PRB들의 비율을 나타내고, 후자는 각 PRB의 전송용량 대비 실제 데이터 전송량의 비율이다. 제안 방식은 호 수락 결정에서 중요한 역할을 하는 실시간과 비실시간 호들의 최대 허용 PRB utilization과 PRB payload ratio를 상황에 따라 적응적으로 조절하는 특징을 가지고 있다. 이러한 조절을 통해 실시간 호들의 수락율을 높이는 동시에 시스템 전체 성능을 향상시킬 수 있다.

본 논문이 3G LTE의 호 수락제어와 관련하여 기여하는 핵심적인 부분들은 다음과 같다.

- 3G LTE 기지국 다운링크 자원 사용현황 파악을 위한 측정인자들로 PRB utilization과 PRB payload ratio 개념 도입
- 상기 두 가지 측정 인자들을 사용하여 *adaptive partitioning*기반 다운링크 호 수락제어 방식의 효과적인 구현 알고리즘 제안
- 시뮬레이션을 통한 제안 알고리즘의 성능 검증

II. eNodeB 다운링크 자원 모델

Evolved-UMTS Radio Access Network (E-UTRAN)은 사용자 단말들에게 무선접속 서비스를 제공하는 e-NodeB들로 구성된다. 본 절에서는 제안하는 adaptive partitioning 방식을 수행할 eNodeB들을 다운링크 자원 모델과 특징, MAC 스케줄러 측면에서 살펴본다.

E-UTRAN 구조^[1]에서 가장 두드러진 특징은 기존 UTRAN에서 RNC와 NodeB로 분리해서 처리했던 기능들을 eNodeB 하나로 통합한 것이다. 따라서 RNC의 호 수락제어 기능을 포함한 Radio Resource Management와 재전송 관련 기능들이 eNodeB로 한 단계 내려오게 되어, 3G LTE 시스템의 요구 사항인 짧은 지연시간과 계층 간 중복기능의 통합 및 재조정이 가능하게 된다.

eNodeB의 호별 다운링크 자원 할당은 PRB와 Modulation and Coding Scheme (MCS)로 지정되며, 하나 혹은 복수 Transmission Time Interval (TTI) 단위로 유효하다. PRB란 주파수와 시간 측면을 가진 무선 전송자원 단위로, 3G LTE 표준 제안에서는 15 kHz 대역폭 서브캐리어 12개와 0.5 ms 서브 프레임 2개를 묶어서 하나의 PRB로 정의하고 있다^{[9][10]}. MCS는 Adaptive Modulation and Coding (AMC)에 관련된 것으로 PRB에 전송 데이터 적재시 modulation과 coding 방식을 지정한다. 다운링크 modulation은 QPSK, 16QAM, 64QAM을 사용할 수 있으며, coding rate은 $\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{4}{5}$ 이 가능하다. 사용되는 MCS에 따라 하나의 PRB가 전송할 수 있는 데이터 비트 수가 달라진다.

본 논문에서는 PRB utilization, μ 와 PRB payload ratio, ρ 개념을 제안하고 이들을 다운링크 자원상황을 나타내는데 사용한다. 앞서 설명한 바와 같이 μ 는 단위시간동안 기지국 전체 PRB 대비 데이터 전송에 사용된 PRB들의 비율을, ρ 는 각 PRB의 전송용량 대비 실제 데이터 전송량의 비율이다. 좀 더 쉬운 이해를 위해, 예를 들어 eNodeB의 다운링크 사용대역폭이 20 MHz일 경우, 약 100개의 PRB가 사용 가능하며, 단위시간 동안 20개의 PRB가 실제 데이터 전송에 할당되었다면 μ 는 0.2가 되고, 이때 AMC 기반으로 PRB i 의 최대 용량 160 bit 대비 실제 80 bit만 전송했다면, PRB i 의 ρ_i 는 0.5가 된다. ρ 는 단위시간 동안 전체 ρ_i 들의 평균값으로 다음과 같이 계산된다.

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i}{n} \quad (1)$$

여기에서 n 은 사용된 PRB 개수이다.

대부분의 경우 ρ 는 1.0 미만의 값을 가지는데 이는 하나의 PRB가 TTI동안 한 개 호의 데이터만 전송할 수 있기 때문에, 다운링크 큐에 저장된 데이터 양이 PRB 용량보다 적은 경우, 나머지 용량은 낭비되기 때문이다. 이를 보완하기 위해 3GPP에서는 Virtual Resource Block (VRB)라는 개념을 이용하여 PRB를 여러 호가 공유할 수 있도록 지원하는 방식에 관한 논의가 진행 중이지만^[11] 본 논문에서는 VRB 사용을 고려하지 않는다.

eNodeB의 자원 사용 현황을 파악하기 위해서는 PRB utilization, μ 과 payload ratio, ρ 를 모두 고려해야 한다. 진행 중인 호의 개수는 μ 와 ρ 에, 호별 스케줄링 지연시간, 다운링크 큐 길이, 트래픽의 burst 여부 등이 ρ 에 영향을 준다. 따라서 μ 와 ρ 상태 조합에 따른 자원 상황은 아래와 같이 정리될 수 있다.

- High μ , Low ρ : 많은 수의 호가 진행 중이지만 eNodeB의 전송 부하는 보통임. 각 호는 별다른 지연 없이 PRB를 할당받을 수 있는 상태이므로 ρ 가 낮음.
- High μ , High ρ : 많은 수의 burst 트래픽 호들이 진행되는 상태로 eNodeB의 전송 부하가 높음. 많은 호가 진행 중이기 때문에 μ 가 높으며, 또한 PRB를 할당받기까지 지연시간 증가로 버퍼링한 데이터양이 많기 때문에 ρ 가 높아져 있음.
- Low μ , Low ρ : eNodeB의 전송 부하가 아주 낮은 상태. 적은 수의 호가 진행 중이고, 각 호별 트래픽이 idle 내지는 적은 량의 데이터 전송이 이루어지고 있음.
- Low μ , High ρ : 거의 일어나지 않는 상황으로, 적은 수의 호들이 진행 중이면서, 각 호별 전송 데이터양이 하나의 PRB 최대 전송 용량과 비슷한 경우에 발생.

본 논문은 eNodeB가 Channel Adaptive Fair Queueing (CAFQ)^[16]에 기반한 MAC 스케줄링 방식을 사용한다고 가정한다. 이 방식에서는 실시간 호에 우선적으로 PRB를 할당하되, 실시간 호간 할당 순서는 Signal-to-Noise Ratio (SNR)와 버퍼길이에 비례하여 우선된다. 스케줄링 되는 호마다 한 개씩의 PRB를 할당하지만, 가용 PRB가 남아있는 한

round-robin방식으로 계속되므로 복수 개의 PRB를 할당하는 것도 가능하다. 또한, 패킷 세그멘테이션이 불가능한 상황에서 PRB 용량이 전송 패킷 크기보다 작다면 두 개 이상의 PRB를 할당한다.

Ⅲ. Adaptive Partitioning기반 호 수락제어 방식

제한하는 adaptive partitioning기반 호 수락제어 방식은 guard channel을 대표로 하는 complete partitioning과 fractional guard channel^[3]의 하이브리드 방식이다. 호 종류별 최대 사용 가능 자원량을 미리 정해놓는다는 점에서는 complete partitioning기반 방식과 비슷하지만, 자원 사용 효율성이 떨어진다는 단점을 극복하기 위해 잉여자원량과 자원 사용 효율성을 고려하여 확률적으로 그 한계를 넘을 수 있게 한다는 점에서는 fractional guard channel^[3]의 특징을 가지고 있다.

Fractional guard channel 방식은 실시간 호의 QoS 보장을 고려하지 않고, 신규 호의 경우 항상 확률적으로 수락여부를 결정하기 때문에 충분한 잉여자원 상태임에도 불구하고 호가 거절될 수 있다는 단점들을 가지고 있다. 하지만 제안방식은 실시간 호와 비실시간 호를 구별하여 QoS 보장을 하도록 하고, 확률적 호 수락은 호 종류별 자원 사용 한계량을 초과하는 순간부터 적용하기 때문에 앞서 언급한 부적절한 호 거절발생을 막을 수 있다. 제안 방식의 관심은 실시간 호의 QoS와 전체 시스템 성능 향상이므로 신규 호와 핸드오프 호를 따로 구분하지는 않지만, 이들 구분은 실시간과 비실시간 구분 내에서 세부구분으로 쉽게 처리가 가능하다.

제안 방식에서는 신규 호 요청을 실시간과 비실시간으로 구분한 후 그림 1과 같이 세 단계를 거치면서 호 수락 여부를 결정한다. 1단계에서는 해당 호 종류의 현재 PRB utilization인 μ_{rt} 와 μ_{nrt} 가 지정된 최대 허용 μ_{rt}^{max} 와 μ_{nrt}^{max} 이내인지를 확인하여 수락여부를 결정하고, 2단계에서는 지정된 PRB payload ratio, ρ , 초과여부에 따라, 그리고 마지막 3단계에서는 잉여 자원량에 비례하여 커지는 확률에 따라 수락여부를 결정한다. 1단계와 2단계에서는 실시간과 비실시간 호 종류 각각에 대하여 단위시간당 최대 허용 PRB utilization, μ_{rt}^{max} 와 μ_{nrt}^{max} 을, PRB payload ratio에 대해서는 ρ_{rt}^{max} 과 ρ_{nrt}^{max} 을 미리 지정한다.

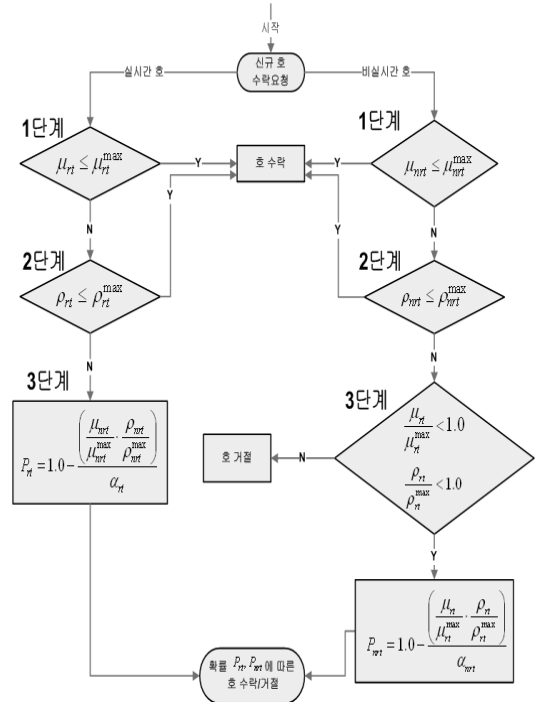


그림 4. Adaptive partitioning기반 호 수락제어 알고리즘 순서도

확률적 수락 결정을 시행하는 3단계에서는 호 종류 상호간 잉여자원을 활용하는 것이 목적이다. 즉, 실시간 호는 비실시간 호에 할당된 자원 중 잉여자원을, 비실시간 호는 실시간 호의 잉여자원을 이용한다. 호의 수락확률 P_{rt} 와 P_{nrt} 은 아래 식 (2), (3)과 같이 각각 상대 종류 호의 잉여자원의 양에 비례하여 커지고, α_{rt} 와 α_{nrt} 를 조절하여 실시간 호의 수락확률을 비실시간 경우보다 우대할 수 있다.

$$P_{rt} = 1.0 - \frac{\left(\frac{\mu_{nrt}}{\mu_{nrt}^{max}} * \frac{\rho_{nrt}}{\rho_{nrt}^{max}} \right)}{\alpha_{rt}} \quad (2)$$

$$P_{nrt} = 1.0 - \frac{\left(\frac{\mu_{rt}}{\mu_{rt}^{max}} * \frac{\rho_{rt}}{\rho_{rt}^{max}} \right)}{\alpha_{nrt}} \quad (3)$$

여기에서 $\frac{\mu_k}{\mu_k^{max}}$ 와 $\frac{\rho_k}{\rho_k^{max}}$ ($k = rt$ 혹은 nrt)는 잉여 자원 비율 나타내어, 실제 사용량을 나타내는 μ_k 와 ρ_k 가 최대 허용치인 μ_k^{max} 와 ρ_k^{max} 에 근접할수록 해당 수락확률 P_k 는 작아지게 된다. α_{rt} 와 α_{nrt} 실시간과 비실시간 간의 확률을 차별화하기 위한 상수

값이며, α_{rt} 를 α_{nrt} 보다 크게 설정하여, P_{rt} 이 P_{nrt} 보다 같은 조건에서 더 커지도록 한다.

특히, 비실시간 호의 경우 3단계 확률적 수락결정은 실시간 호에 할당된 자원 중 잉여분이 있을 경우에만 시도되도록 아래와 같은 추가조건을 지정하였다.

$$\frac{\mu_{rt}}{\mu_{rt}^{\max}} < 1.0, \frac{\rho_{rt}}{\rho_{rt}^{\max}} < 1.0 \quad (4)$$

하지만 실시간 호의 3단계에서는 이러한 추가조건을 지정하지 않아, 실시간 호의 수락이 비실시간 호의 경우보다 우대되도록 하였다.

제안 알고리즘에서는 비실시간 호의 수락을 위해 실시간 호에 할당된 자원을 사용하는 것이 가능하도록 했지만, 이로 인해 실시간 호의 성능에 미칠 수 있는 부정적 영향은 최소화된다. 예를 들어, 비실시간 호에 할당된 자원이 소진된 상황에서 3단계에 의해 비실시간 호들이 수락되고, 이후 신규 실시간 호 요청이 있는 경우를 가정해 보자. 우선 수락 결정에 있어서는 1, 2단계의 μ_{rt} 와 ρ_{rt} 는 진행중인 전체 호가 아니라, 실시간 호들만 대상으로 계산되므로 비실시간 호가 영향을 끼칠 수 없다. 스케줄링 측면에서는 다운로드 과부하 상황이 발생해도, 앞서 2장의 MAC 스케줄러 소개에서 설명한 바와 같이, 실시간 호의 데이터를 우선시 하여 전송하는 스케줄링 방식을 사용하기 때문에, 실시간 호의 QoS 보장에는 문제가 없다. 다만, 비실시간 호들의 경우, 지연시간 증가 등의 문제가 발생할 수 있지만, 수락 확률을 조절하여 해결할 수 있다.

IV. 시뮬레이션을 통한 제안 알고리즘 평가

본 절에서는 제안 알고리즘의 성능을 다른 호 수락제어 방식들과 비교 측정하기 위해 시뮬레이션 실험을 실시한다. Complete partitioning과 fractional guard channel을 비교 대상 알고리즘으로 하고, 기지국 자원 사용 효율성과 실시간 호의 수락 차별성 비교에 중점을 둔다. 정량적 비교를 위해 다운로드 호 수락율, PRB utilization, PRB payload ratio, 그리고 시스템 throughput을 측정한다.

4.1. 시뮬레이션 환경 설정

비교 대상인 complete partitioning 알고리즘에서는 실시간 호와 비실시간 호가 사용할 수 있는 최대 PRB 개수를 미리 정해 놓고, 그 이상을 요구하

표 1. 시뮬레이션 파라미터 값

시뮬레이션 파라미터	값
μ_{rt}^{\max}	0.55
μ_{nrt}^{\max}	0.40
ρ_{rt}^{\max}	0.50
ρ_{nrt}^{\max}	0.70
α_{rt}	1.5
α_{nrt}	1.0

는 경우 호 수락을 거절하도록 하였다. 또 다른 비교대상인 Fractional guard channel 알고리즘은 원래 신규 호와 핸드오프 호의 수락요구를 구별하나 이를 성능 비교의 목적에 맞도록 실시간 호와 비실시간 호 구분으로 수정하여, 비실시간 호 수락은 항상 확률적으로 이루어지고, 실시간 호의 경우는 할당량을 초과할 경우에만 확률적으로 수락을 결정하도록 한다. 이 때, 비실시간 호의 수락확률은 단위시간당 미사용 PRB 비율에 비례하도록 설정하고, 실시간 호의 수락확률은 예약 PRB를 제외한 미사용 PRB 비율에 비례하도록 한다.

시뮬레이션을 위한 환경은 Java 언어를 사용하여 구현하였으며, 구성에 필요한 셀 배치, 사용자 단말 이동, 그리고 셀 내 무선 환경은 다음과 같다. 우선 모두 7개의 셀 사용을 가정하여, 중심에 반경 1 Km의 육각형 모양의 셀과 주위에 6개의 셀을 두고, 주위 셀들은 wrap-around되도록 한다. 사용자 단말들은 random-walk 패턴으로 보행속도 3 Km/h로 이동한다. 셀의 무선 환경은 다운로드 사용대역폭 1.25 MHz기준 6개의 사용 가능한 PRB를 가정하며, 채널환경은 path loss와 shadowing 효과를 고려하기 위해 각각 [12][13]에서 제안한 모델을 사용한다. 또한 AMC의 경우, 모듈레이션 방식은 QPSK, 16QAM, 64QAM을, 코딩율은 1/2, 2/3, 3/4, 4/5를 채널환경에 따라 조합하도록 한다. 제안하는 adaptive partitioning 알고리즘에 사용되는 PRB utilization과 payload ratio관련 파라미터들은 표 1과 같다.

시뮬레이션에서 신규 호는 포아송 분포에 따라 생성되며, 호 지속시간은 지수분포를 따른다. 호 종류는 3GPP의 conversational, streaming, interactive, background에 해당하는 음성, 비디오, 웹, FTP의 4 종류로 나누고, 각각의 호 비율은 0.05:0.35:0.45:0.2가 되도록 한다. 이중 음성과 비디오 호는 실시간 호로 분류하여 처리하고, 나머지 웹과 FTP는 비실시간 호로 처리한다.

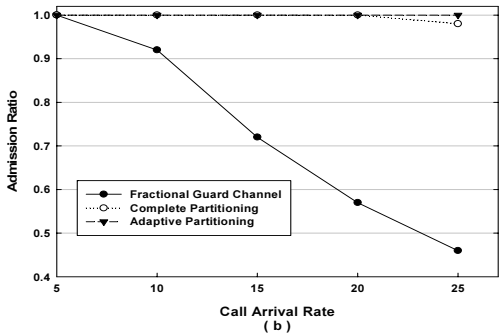
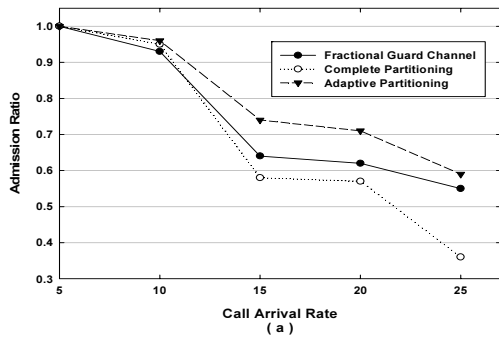


그림 5. 호 생성율 증가에 따른 실시간 호(a)와 비실시간 호(b)의 수락율

음성 VoIP 경우에는, GSM-AMR 7.95 codec 사용을 가정하여 이를 활성화와 비활성화의 2-state 마코브 체인으로 모델링하고 활성화 상태에서는 20 msec당 224 bit의 데이터 전송과 비활성화 상태에서는 묵음 기간을 나타내는 Silence Insertion Descriptor (SID)의 전송을 시뮬레이션 한다^[14]. 비디오 호의 경우, 32 Kbps의 소스 비디오 전송율을 가정하여, 초당 10 프레임 기준, 각 프레임마다 8개의 패킷을 전송한다. 이때 각 패킷 크기 분포는 최대 125 바이트, 평균 50 바이트의 크기를 갖는 truncated 파레토 분포를 따르며, 프레임 내 패킷 간 간격은 최대 12.5 ms, 평균 6 ms 간격을 가지는 truncated 파레토 분포를 가진다^[15].

웹과 FTP 트래픽의 경우, 하위 프로토콜로 TCP/Reno를 사용한다고 가정한다. 웹의 경우, 하나의 웹페이지가 여러 개의 오브젝트 들로 구성되고 각 페이지 다운로드 후 사용자 reading time이 있는 것을 가정한다. 이때 페이지당 오브젝트 개수는 Geometric 분포를 따르게 하고, 오브젝트 크기는 최대 1400 바이트, 최소 256 바이트 크기를 가지는 truncated pareto 분포를 사용한다. Reading time은

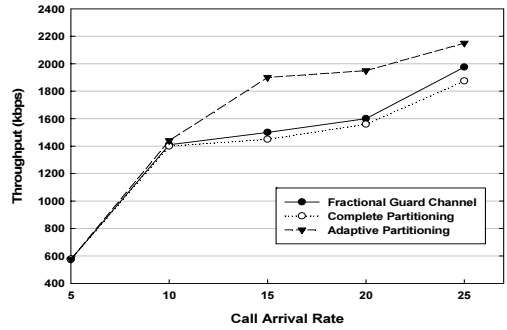


그림 6. 기지국 throughput 비교

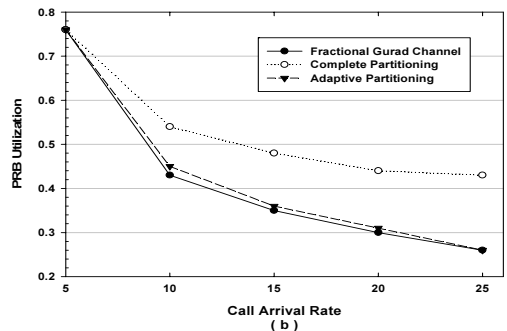
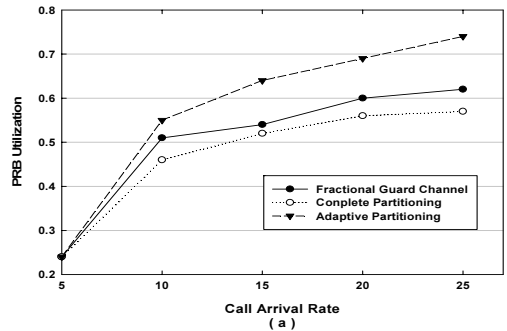


그림 7. 호 생성율 증가에 따른 실시간 호(a)와 비실시간 호(b)의 PRB utilization, μ

평균 5.5 초를 가지는 지수분포를 따르게 한다^[15]. FTP의 경우, 다운로드 받는 파일 크기 분포는 최대 5 Mbyte, 평균 2 Mbyte의 크기를 가지는 truncated lognormal 분포를 따르도록 하고, reading time의 경우 평균 180초를 가지는 지수분포를 따르게 한다^[15].

4.2. 시뮬레이션 결과 분석

그림 5는 호 생성율 증가에 따른 실시간 호(a)들과 비실시간 호(b)들의 수락율 변화를 보여준다.

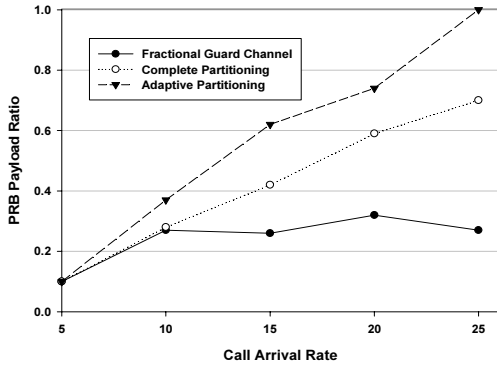


그림 8. 비실시간호의 PRB Payload Ratio, ρ_{nrt}

실시간 호 수락율의 경우, 그림 5(a)와 같이 제안하는 adaptive partitioning 방식이 가장 높은 수락율을 보여주어, 실시간 호 요청을 차별적으로 우대할 수 있음을 알 수 있다. 비실시간 호 수락율의 경우에는, 그림 5(b)와 같이 제안 방식은 complete partitioning 방식과 같이 거의 모든 비실시간 호들을 수락하지만, fractional guard channel의 경우 비실시간 호의 수락율이 상당히 낮다. 이러한 저조한 수락율은 fractional guard channel이 비실시간 호의 경우, 잉여 자원량에 비례하는 확률적 수락 결정을 하기 때문이다. 반면, 제안하는 adaptive partitioning 방식은 complete partitioning과 같이 비실시간 호의 경우에도 최대 사용 자원량을 지정하기 때문에 수락율의 저하를 피할 수 있다. 이 결과를 통해 제안 방식은 실시간 호의 수락율을 최대한 향상시키면서도, 비실시간 호의 수락율 감소를 최소화 할 수 있음을 알 수 있다.

제안 방식의 이러한 전반적인 호 수락율 증가는 기지국 자원 사용 효율성의 향상으로 이어진다. 그림 6은 다운로드 throughput을 보여준다. 제안 방식이 다른 두 방식보다 전체적으로 높은 throughput을 보여주어, 기지국 자원 효율성면에서도 우수함을 알 수 있다.

실시간 호의 신규 호 수락을 우대하는 제안 방식에서는 앞서 설명한 바와 같이 할당된 자원을 모두 소진했을 경우, 비실시간 호에 할당된 자원 중 잉여 자원의 양에 비례하여 확률적으로 수락을 결정한다. 이것은 그림 7(a)와 같이 실시간 호의 PRB utilization, μ_{rt} 의 증가로 나타난다. 반면 비실시간 호의 PRB utilization, μ_{nrt} 는 그림 7(b)와 같이 제안 방식의 경우, complete partitioning 방식보다 낮

아지게 되는데 이는 비실시간 호를 위한 할당자원의 일부가 실시간 호에 할당되기 때문이다. Fractional guard channel의 경우는 비실시간 호의 경우 무조건 확률적 수락을 기본으로 하기 때문에 μ_{nrt} 가 상대적으로 낮다.

제안방식의 경우, 그림 7에서와 같이 μ_{nrt} 는 낮아 졌지만 기지국 전체 throughput이나 비실시간 호의 throughput은 거의 영향을 받는다. 이는 할당받는 PRB 개수는 줄어되, 하나의 PRB를 이용해 전송하는 데이터양을 늘리기 때문이다. 그림 8은 비실시간 호의 PRB payload ratio, ρ_{nrt} 의 변화를 보여주는데, 제안방식의 경우 다른 두 방식보다 월등히 높은 ρ_{nrt} 를 나타내어, 하나의 PRB에 전송하는 데이터의 양이 다른 방식들보다 많음을 알 수 있다. 이와 같이 ρ_{nrt} 를 높임으로서 비실시간 호는 μ_{nrt} 감소에도 불구하고 일정 throughput을 유지할 수 있다.

ρ_{nrt} 를 높이기 위해서는 데이터를 발생 즉시 전송하기 보다는 일정량 이상이 될 때까지 큐 등에 정저장하는 것이 필요하다. 이런 점에서 제안 방식의 경우, 비실시간 호 데이터의 latency가 증가한다. 하지만 비실시간 트래픽은 지연에 민감하지 않기 때문에 어느 정도의 latency 증가는 허용가능하다.

결론적으로 제안방식을 사용하면 비실시간 호 데이터의 지연시간은 증가하지만, 반면 앞서 그림 4와, 7(a)에서와 같이 실시간 호의 성능은 향상되고, 기지국 전체 성능도 그림 6에서와 같이 향상되는 것을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 3G LTE 기지국의 adaptive partitioning 기반 다운로드 호 수락제어 방식을 제안했다. 무선 전송자원인 PRB의 사용에 있어 잉여 부분이 발생할 수 있다는 점에 착안하여, 낭비 부분을 최소화함으로써 통해 실시간 호의 수락요청을 차별적으로 우대하고, 동시에 기지국 전체 전송성능도 향상시킬 수 있었다.

제안 방식은 실시간과 비실시간 호 별로 최대 사용가능 자원량을 정해놓았지만, 한계 초과시 잉여자원상황에 비례하여 확률적으로 호를 수락하게 하였다. 자원 사용한계량을 유동적으로 조절하는 아이디어는 fractional guard channel 등 여러 호 수락제어 기법에서 사용하고 있지만, 이를 PRB의 특수성과 QoS 요구사항을 고려하여 3G LTE에 적용했다는 점과 PRB utilization과 payload ratio를 사용하여

기지국 자원 사용 현황을 측정하는 방안을 제시했다는 점에서 본 논문의 결과는 의미를 가진다.

시뮬레이션을 통해 제안방식의 성능을 complete partitioning과 fractional guard channel의 경우와 비교한 결과, 실시간 호 수락요구 우대 측면과 전체 시스템 성능 측면에서 우수한 것으로 확인되었다.

참 고 문 헌

[1] 3GPP, "Evolved UTRA and Evolved UTRAN (E-UTRAN); Overall description," TS 36.300 v0.5.0.

[2] Y.R. Haug, Y.B. Lin, and J.M. Ho, "Performance analysis for voice/data integration on a finite-buffer mobile system," IEEE Trans. Vehicular Technol., vol. 43, 2000.

[3] R. Ramjee, D. Towsley, and R. Nagarajan, "On optimal call admission control in cellular networks," ACM Wireless Networks, vol. 3, pp. 29 - 41, 1997.

[4] A. Aljadhari and T.F. Znati, "Predictive mobility support for QoS provisioning in mobile wireless networks," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 19, 2001.

[5] M. Naghshineh and M. Schwartz, "Distributed call admission control in mobile/wireless networks", IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 16, pp. 711 - 717, 1996.

[6] L. Yin, B. Li, Z. Zhang, and Y.-B. Lin, "Performance analysis of a dual-threshold reservation (DTR) scheme for voice/data integrated mobile wireless networks," Proc. IEEEWCNC, 2002.

[7] D. Levine, I. Akyildiz, and M. Naghshineh, "A resource estimation and call admission algorithm for wireless multimedia networks using shadow cluster concept," IEEE/ACM Trans. Networking, vol. 5, pp. 1 - 12, 1997.

[8] T. Zhang, E. Berg, J. Chennikara, P. Agrawal, J.C. Chen, and T. Kodama, "Local predictive resource reservation for handoff in multimedia wireless IP networks," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 19, 2001.

[9] 3GPP RAN WG1, R1-062714, "Further Investigations on Resource Block Size for E-UTRA,".

[10] 3GPP RAN WG1, R1-062819, "Considerations for minimum TTI size for downlink LTE,".

[11] 3GPP, "Physical layer aspects for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA)," TR 25.814 v7.1.0.

[12] 3GPP, "Physical Layer Aspects of UTRA High Speed Downlink Packet Access (Release 2000)," 3G TR25.848 V0.6.0, Mar. 2001.

[13] Recommendation ITU-R M.1225, "Guideline for evolution of radio transmission technologies for IMT-2000.".

[14] 3GPP RAN WG1, R1-063406, "E-UTRA DL VoIP Capacity -Further Results,".

[15] 3GPP2 C.R1002-0, "cdma2000 Evaluation Methodology," Revision 0.

[16] L. Wang, "Channel-adaptive fair queueing in wireless packet data networks," M.Phil. Thesis, The University of Hong Kong.

전 경 구 (Kyungkoo Jun)

정회원

한국통신학회 논문지 제31권 제4B호 참조

현재 인천대학교 멀티미디어시스템공학과 조교수