

3G LTE VoIP 트래픽 서비스를 위한 MAC 스케줄링 기법

정회원 전 경 구*

MAC Scheduling Scheme for VoIP Traffic Service in 3G LTE

Kyungkoo Jun* *Regular Member*

요 약

무선 성능 향상을 통해 다양한 이동 멀티미디어 서비스 제공을 목표로 하는 3G Long Term Evolution (3G LTE)은 Packet Switching (PS) 도메인에서 VoIP 기반 음성 서비스를 제안하고 있다. 패킷 지연과 손실에 민감한 VoIP 트래픽을 PS 도메인을 통해 처리할 경우 기존 3G 시스템의 CS 도메인 기반 음성 서비스와 달리 여러 가지 기술적 어려움이 예상된다. 더욱이 OFDM을 물리계층으로 채택한 3G LTE는 Physical Resource Block (PRB) 단위로 전송 자원을 관리함에 따라 새로운 자원관리 방식 개발도 필요하게 된다. 본 논문에서는 3G LTE의 VoIP 기반 음성 서비스를 위한 MAC 계층의 PRB 할당 스케줄링 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통한 검증 결과를 보인다. 알고리즘의 핵심은 VoIP 우선 모드를 동적으로 활성화하여 VoIP 서비스의 QoS를 보장하고, 이러한 우선 모드 적용으로 인한 시스템 자원효율성 저하를 최소화하기 위해 우선 모드 지속시간을 적응적 조절하는 것이다.

Key Words : MAC scheduling, VoIP, PRB, 3G LTE

ABSTRACT

3G Long Term Evolution, which aims for various mobile multimedia service provision by enhanced wireless interface, proposes VoIP-based voice service through a Packet Switching (PS) domain. As delay and loss-sensitive VoIP traffic flows through the PS domain, more challenging technical difficulties are expected than in Circuit Switching (CS) domain based VoIP services. Moreover, since 3G LTE, which adopts the OFDM as its physical layer, introduces Physical Resource Block (PRB) as a unit for transmission resources, new types of resource management schemes are needed. This paper proposes a PRB scheduling algorithm of MAC layer for VoIP service in 3G LTE and shows the simulation results. The proposed algorithm has two key parts; dynamic activation of VoIP priority mode to satisfy VoIP QoS requirements and adaptive adjustment of the priority mode duration in order to minimize the degradation of resource utilization.

I. 서론

3G Long Term Evolution (3G LTE)은 20 MHz 대역폭 기준 다운링크 최대 100 Mbps, 업링크 최

대 50 Mbps 전송속도 지원을 목표로 하는 이동통신 시스템 기술로서 다양한 이동 멀티미디어 서비스 제공을 가능하게 한다^[1]. 3G LTE에서는 여러 가지 새로운 기술적 도전이 예상된다. 그 중 하나는

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

논문번호 : KICS2006-12-543, 접수일자 : 2006년 12월 26일, 최종논문접수일자 : 2007년 6월 4일

음성 서비스에 관한 것이다. 기존 3G 이동통신 시스템의 경우 음성은 CS 도메인으로 따로 분류하여 서비스 하였으나, 3G LTE에서는 IP 기반 PS 도메인 하나로 모든 서비스를 제공한다. 따라서 음성 서비스 역시 VoIP에 기반을 둔 패킷 데이터로 처리하게 된다. 따라서 PS 도메인에서 지연과 패킷 소실에 민감한 VoIP 트래픽의 QoS 요구사항을 만족시키는 것은 쉽지 않다. 하지만 사용자들은 기존 CS 도메인 기반 음성 서비스 이상의 품질을 PS 도메인에서도 기대하기 때문에 VoIP기반 음성서비스의 QoS를 만족시키는 것은 절대적으로 중요하다.

CDMA200 1xEV-DO에서는 VoIP 기반 음성서비스의 QoS 충족을 위해 네트워크 QoS 지원 기술 외에도 음성처리 기술로 스마트 블랭킹과 적응적 지터소거 플레이백 버퍼 기법을 제안하여 CS 도메인 수준의 음성 서비스 QoS 지원이 가능함을 보이고 있다²⁾. 하지만 무선 환경 페이딩 등의 효과를 적극적으로 고려하지 않을 경우 VoIP기반 음성 서비스의 성능이 지나치게 낙관적으로 평가될 수도 있다는 지적이 있다³⁾. 이러한 무선 환경 특유의 동적 페이딩 효과와 지연과 패킷 소실에 민감한 VoIP 기반 음성 서비스의 QoS 특성을 모두 고려한다면 PS 도메인을 통한 만족스러운 음성 서비스 구현은 어렵다.

가장 쉽게 생각할 수 있는 해결책으로 VoIP 트래픽 패킷들을 우선적으로 처리하여 음성 서비스의 QoS를 만족시키는 것을 생각할 수 있다. 하지만 시스템 전체 자원 효율성면에서 바람직하지 않고, VoIP 우선처리로 인해 다른 멀티미디어 호들의 QoS 만족도가 저하되기도 하는 단점이 있다. 따라서 VoIP 트래픽 패킷들을 절대적으로 우선 처리하는 것보다는 상황에 따라, 적응적으로 하는 편이 바람직하며, 이러한 동적 우선처리 결정기술이 본 논문의 연구내용이다.

VoIP 트래픽 처리에서 또 다른 어려움은 달라진 3G LTE의 전송자원 모델링에서 기인한다. 기존 3G 시스템과는 달리 3G LTE의 MAC 계층 스케줄링은 Physical Resource Block (PRB)이라는 시간과 주파수 측면을 동시에 가지고 있는 전송자원을 Transmission Time Interval (TTI) 시간 단위로 진행 중인 호들에게 할당하게 된다. Evolved NodeB (eNodeB)라 불리는 3G LTE 기지국은 사용대역폭에 따라 미리 정해진 개수의 PRB를 가지고 있으며, TTI 시간 단위로 PRB의 할당과 해제를 반복적으로 수행한다⁴⁾.

본 논문은 이러한 3G LTE 자원 모델링에 적합

한 MAC 계층에서 동작하는 PRB 할당 스케줄링 알고리즘을 제안하여, VoIP기반 음성 서비스의 QoS 지원을 달성하고자 한다. 제안 기법은 VoIP 트래픽의 QoS를 보장하면서도 시스템 전체 성능 및 자원효율성, 특히 throughput에 끼치는 부정적인 영향을 최소화하는 것을 목표로 한다.

앞서 간단히 언급한 바와 같이, 제안 알고리즘의 핵심은 진행 중인 VoIP기반 음성 호에 우선적으로 PRB를 할당하도록 하는 VoIP 우선모드 개념을 도입하고, 이 모드의 활성화를 적응적으로 결정할 수 있도록 하여, VoIP호의 QoS를 만족시키면서도 시스템 전체 성능에 끼치는 부정적인 영향을 최소화시키는 방향으로, 상황에 따라 사용 혹은 비사용하도록 하는 것이다. 즉, VoIP 패킷들의 지연과 패킷 소실을 최소화하되, 이럴 경우 나타날 수 있는 시스템 효율성 저하문제를 VoIP 우선 모드의 적용 기간을 적응적으로 변화하여 해결한다. 제안 알고리즘은 VoIP 우선모드의 활성화 여부를 VoIP 패킷 drop율에 따라 판단한다는 특징을 갖는다. 그 결과, VoIP 기반 음성호의 경우 패킷 drop율 측면에서 QoS 요구사항을 만족시킬 수 있고, 반면에 시스템 전체 성능에 끼치는 부정적인 영향을 최소화할 수 있다.

다른 이동통신 네트워크의 VoIP 서비스 지원 스케줄링 알고리즘과 비교해 볼 때, 제안 알고리즘은 VoIP 패킷 drop율을 VoIP 우선모드의 활성화 결정 요소로 사용한다는 차이점이 있으며, VoIP 우선모드를 PRB를 전송자원으로 사용하는 3G LTE에서 구현하는 방법을 제안한다는 점에서는 독창적이라고 할 수 있다.

본 논문이 VoIP 서비스 관련 자원관리에 기여하는 핵심적인 부분들은 다음과 같다.

- 3G LTE의 eNodeB 자원관리 구조 제안
- VoIP 트래픽의 QoS 보장을 위한 MAC 계층의 VoIP 우선모드 기반 스케줄링 알고리즘 및 VoIP 패킷 drop율을 이요한 우선모드 활성화 결정 메커니즘 제안
- 시뮬레이션을 통한 제안 알고리즘의 VoIP QoS 보장에 관한 성능 평가와 시스템 throughput에 끼치는 영향 평가

II. PRB와 eNodeB

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 사용자 단말들과 이들을 서비스하는 기지국인 eNodeB를 대상으로 하며, 다운로드 전송 자원관리에 중점을 둔다.

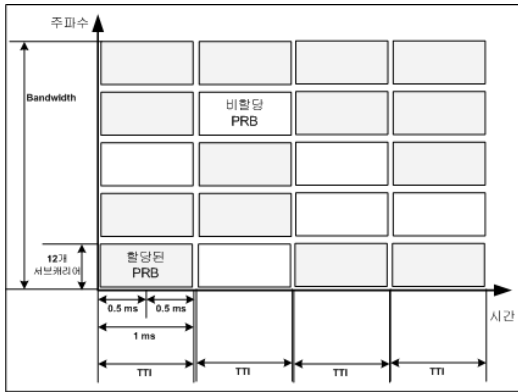


그림 4. eNodeB 전송자원 PRB 구조와 할당. The structure and allocation of the eNodeB transmission resource, PRBs.

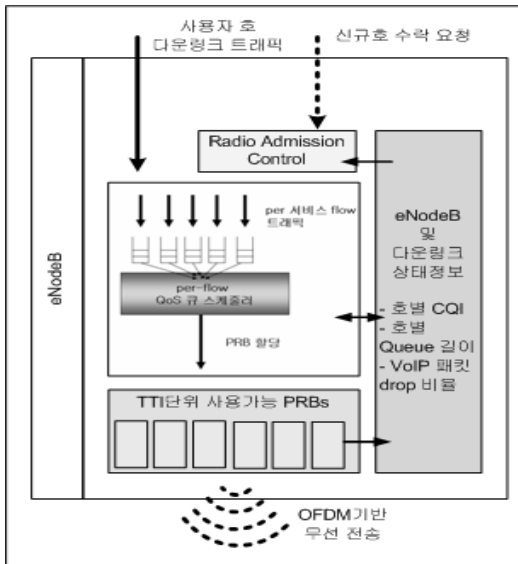


그림 5. 사용자 호별 큐를 가지는 eNodeB의 구조. The eNodeB structure with separate queues for user calls.

본 절에서는 전송자원인 PRB 특징과 eNodeB의 자원관리 구조에 대해서 설명한다.

그림 4은 eNodeB의 전송자원인 PRB의 구조와 할당 방식을 나타낸다. 앞서 설명한 바와 같이 PRB란 Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)를 기반으로 무선 시스템의 최소 전송단위를 말한다. 이것은 시간과 주파수 측면을 모두 가지고 있는 전송자원으로서, 주파수 측면에서는 m개의 서브캐리어와 시간 측면에서는 n개의 0.5 ms 서브 프레임 길이로 이루어져 있다. 3G LTE 표준 제안에서는 12개의 서브캐리어와 2개의 서브 프레임 시간을 하나의 PRB로 정의하고 있다^{[5][6]}.

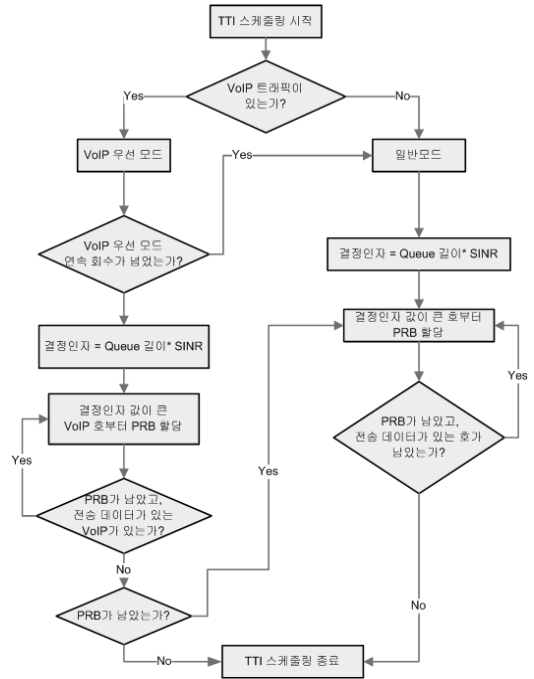


그림 6. TTI 단위 PRB 스케줄링 알고리즘. PRB scheduling algorithm per TTI.

하나의 PRB에 의해 전송할 수 있는 데이터 비트 수는 eNodeB와 사용자 단말간의 무선 링크 환경에 따라 달라진다. 이는 3G LTE는 기존 HSDPA기반 이동통신 시스템과 마찬가지로 무선 링크의 상황에 따라 모듈레이션 방식과 코딩율을 달리하기 때문이다.

그림 5에 보인 것과 같이 자원관리를 위한 eNodeB의 개략적인 구조는 신규 호의 수락 여부를 결정하는 Radio Admission Control (RAC) 기능과 진행 중인 호들에게 PRB를 할당하는 MAC 스케줄링 기능, 그 외의 여러 가지 상태정보 관리 기능으로 구성된다.

다운링크 MAC 스케줄러는 TTI 시간 단위로 진행 중인 호들에게 각각 몇 개씩의 PRB를 할당할지 결정한다. 본 논문은 하나의 PRB는 한 번에 한 개 호의 트래픽 데이터만 포함할 수 있다고 가정한다. 하나의 PRB에 여러 호의 트래픽을 함께 실는 멀티플렉싱의 경우 스케줄링 시그널링 방식이 복잡해진다는 단점이 있다. 하지만 효율적으로 PRB를 사용할 수 있기 때문에, 3GPP에서는 Virtual Resource Block (VRB)라는 개념을 이용하여 이를 지원하는 방식에 관한 논의가 진행 중이다^[4].

또한 그림 5에서와 같이 eNodeB는 각 다운링크 사용자 호 별로 독립된 전송 큐를 가지고 있다고 가정한다. MAC 스케줄러는 이들 전송 큐 각각에 대하여 PRB를 할당한다. 따라서 하나의 단말이 복수 개의 호를 동시에 진행 중이면 각 호는 독립적으로 스케줄링 된다. 이는 호의 트래픽 타입에 따라 달라지는 QoS를 지원하는데 유리하다.

상태정보 관리 기능은 RAC와 MAC 스케줄러의 동작에 필요한 정보들을 저장한다. 본 논문에서는 각 호별 다운링크 무선 상황을 나타내는 Channel Quality Indicator (CQI), 각 전송 큐별 평균 길이, 시간 지체로 인한 VoIP 패킷 drop율 등이 이 기능에 의해서 저장되어, 제안 알고리즘에서 사용된다고 가정한다.

III. 알고리즘 소개

논문에서 제안하는 알고리즘의 목적은 VoIP 호의 서비스 품질을 최대한 보장하도록 하는 동시에, 이로 인해 시스템 전체 성능에 끼치는 부정적인 영향, 즉 자원사용의 비효율화로 인한 throughput 감소를 최소화 하는데 있다.

제안 알고리즘의 핵심은 하나의 TTI 시간동안 VoIP 호 데이터만을 스케줄링 할 수 있는 VoIP 우선 모드를 도입하여 음성 호의 QoS를 보장하되, 이로 인해 발생할 수 있는 시스템 성능 저하를 막기 위해 이 모드의 연속 사용 횟수를 적응적으로 제한하는 것이다. VoIP 우선모드란 VoIP 호들에게 우선적으로 PRB를 할당하고, 여분의 PRB가 있을 경우에만 다른 호 들에게도 할당하는 모드를 말한다. 제안 알고리즘에서는 VoIP 우선 모드의 활성화 여부를 TTI마다 결정하며, 이것은 해당 TTI에 전송할 데이터를 가진 VoIP 호의 유무와 그동안 연속 적용 횟수가 제한 값에 도달했는지 따라 결정된다. 앞서 설명했지만, VoIP 우선 모드를 사용할 지라도 VoIP 호들에게 할당하고 남은 잉여 PRB들은 다른 호 들에게 할당하도록 하여 자원 낭비가 발생하지 않도록 한다.

VoIP 우선 모드를 연속해서 사용하는 횟수를 제한하는 이유는 기지국 자원이 과도하게 VoIP호 전송에만 집중되어 eNodeB의 throughput이 저하되고, 다른 타입의 호 데이터 전송이 중지되는 것을 막기 위해서이다. 제한 횟수는 미리 설정된 최소 횟수와 최대 횟수 사이에서 VoIP 패킷 drop율에 따라 적응적으로 결정된다. 즉, drop율이 높아지면 기지국

내에 많은 VoIP 호 들이 진행 중이라는 상황을 의미하므로 제한 값을 증가시켜 더 많은 연속 TTI동안 VoIP 트래픽을 서비스하도록 하고, drop율이 낮은 경우, VoIP QoS를 어느 정도 만족시키는 상황 이므로 다른 호들을 서비스하기 위해 제한 값을 감소시킨다. 관련된 자세한 알고리즘은 뒤에서 다시 소개한다.

스케줄링 대상이 되는 호들에게 PRB를 할당하는 방식은 Channel Adaptive Fair Queuing^[7]을 수정한 방식을 사용한다. 전송대상 호 들에게 Round-robin 방식으로 PRB를 할당하되, 할당 순서는 각 호별 큐 길이와 SINR을 고려한 결정인자 $D_j(i)$ 값의 크기순으로 결정된다. 예를 들어, 전송 데이터를 가진 n 개의 호들 중, i 번째 호의 $D_j(i)$ 를 계산하는 식은 (1)과 같다.

$$D_j(i) = Q_{len}(i) \times \gamma_i \quad (1)$$

여기에서 $Q_{len}(i)$ 는 i 번째 호의 큐 길이를 의미하고, γ_i 는 해당 SINR 값이다. 즉, 큐 길이가 길수록, 그리고 채널 상태가 양호할수록 먼저 PRB를 할당받게 된다. 이러한 $D_j(i)$ 에 따른 할당순서는 매 TTI마다 다시 계산한다.

또한 PRB는 한 번에 하나의 PRB 할당을 기본으로 하되, 두 개 이상의 PRB 할당도 가능하다. 예를 들어 한 개의 데이터 패킷을 segmentation없이 보내고자 하지만 패킷의 크기가 하나의 PRB 전송 용량보다 클 경우, 두 개 이상의 PRB를 할당받는다. Round-robin 할당 도중 사용가능한 PRB가 모두 소진되었을 경우, 스케줄링은 종료된다.

지금까지 제안 알고리즘의 개략적인 핵심 요소들을 설명했고, 세부 내용은 크게 두 부분으로 나뉜다. 첫 번째는 TTI 시간 단위로 동작하는 PRB 할당 알고리즘이고, 두 번째는 연속 VoIP 우선 모드 제한 횟수 조정 알고리즘이다.

PRB 할당 알고리즘의 순서도는 그림 3과 같다. TTI 시간 단위로 동작하는 스케줄링이 시작되면, 전송 데이터를 가진 VoIP 호의 유무에 따라 VoIP 우선모드 혹은 일반모드를 사용할 지 결정한다. 이때 VoIP 우선모드 연속 사용 횟수가 제한 값을 넘었을 경우에는 일반모드로 결정된다. 일반 모드를 사용하게 되면, 연속 사용 횟수가 0으로 초기화되기 때문에 다음 스케줄링에서는 VoIP 우선 모드를 선택할 수도 있게 된다. PRB 할당은 앞서 설명한 때

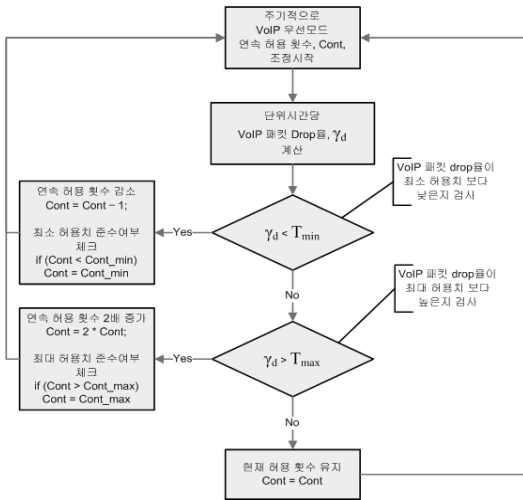


그림 7. VoIP 우선 모드 연속 가능 횟수 결정 알고리즘. Algorithm for determining the allowable number of the consecutive VoIP priority modes.

로 결정인자 $D_f(i)$ 값이 큰 순서대로 round-robin 방식에 의해 호 별로 최소 한 개 이상의 PRB를 할당 하게 되고, 이는 PRB가 소진되거나, 전송 데이터를 가진 호가 없을 때까지 계속된다.

다음으로, 연속 VoIP 우선모드 제한 횟수 조정 알고리즘은 그림 4와 같다. 제한 횟수는 eNodeB에서 측정된 전체 VoIP 호의 단위 시간당 평균 VoIP 패킷 drop율, γ_d 에 따라 증가 혹은 감소한다. eNodeB는 VoIP 패킷 drop율에 대해서 최소 임계치 T_{min} 와 최대 임계치 T_{max} 를 정해놓고, 만약 γ_d 가 T_{min} 보다 작다면, 이것은 VoIP 호 들이 충분한 스케줄링을 받고 있다는 것을 의미하므로 제한 횟수를 1만큼 linear 방식으로 감소하고, γ_d 가 T_{max} 보다 클 경우는 VoIP 호들에 더 많은 스케줄링이 필요하다는 의미이므로 제한 횟수를 exponential 방식으로 2배 증가 시킨다. 그리고 γ_d 가 T_{min} 과 T_{max} 내에 있다면 현재 제한 횟수를 유지한다.

제한 횟수의 증가폭과 감소폭이 서로 비대칭으로 다른 이유는 VoIP 트래픽의 경우 지연과 손실에 민감하므로 최대한 QoS를 보장하기 위해 conservative한 방식으로 제한 횟수를 조정하기 위한 것이다.

IV. 시뮬레이션을 통한 제안 알고리즘 평가

제안 알고리즘이 VoIP 호들의 QoS 만족도와 eNodeB 성능에 끼치는 영향을 시뮬레이션을 통해 분석한다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터. Simulation parameters

시뮬레이션 파라미터	파라미터 값
셀반경	1 Km
Bandwidth	5 Mhz
PRB 구성	12 subcarriers, 2 subframes
TTI	1 ms
사용가능한 PRB개수	6개
eNodeB가 허용하는 VoIP 패킷 최대지연시간	20 ms
최대 VoIP 패킷 drop율, T_{max}	4.5%
최대 VoIP 패킷 drop율, T_{min}	1.5%
AMC에서 사용하는 모뮬레이션	QPSK, 16QAM, 64QAM

Java 언어로 작성된 시뮬레이터는 3G LTE의 eNodeB와 사용자 단말을 시뮬레이션 대상으로 하며, eNodeB를 시뮬레이션 하기 위한 파라미터들은 표 1과 같다.

시뮬레이션에서는 제안 알고리즘의 핵심인 VoIP 우선 모드의 효과와 성능을 분석하기 위해, Channel Adaptive Fair Queuing메커니즘을 비교대상으로 삼는다. 또한 VoIP 트래픽의 QoS 만족여부와 eNodeB의 성능을 정량적으로 평가하기 위해 VoIP 호들과 다른 비실시간 타입의 호 들이 동시에 진행되는 상황에서 VoIP 호의 개수를 점차적으로 늘려 가면서 전체 VoIP 호들의 단위시간당 평균 패킷 drop율의 변화와 eNodeB의 throughput 변화를 측정한다. 시뮬레이션에 사용된 비 실시간 호들은 FTP 트래픽을 가정하였으며, 시뮬레이션 시작과 동시에 25개의 호가 진행된다. VoIP 패킷은 eNodeB

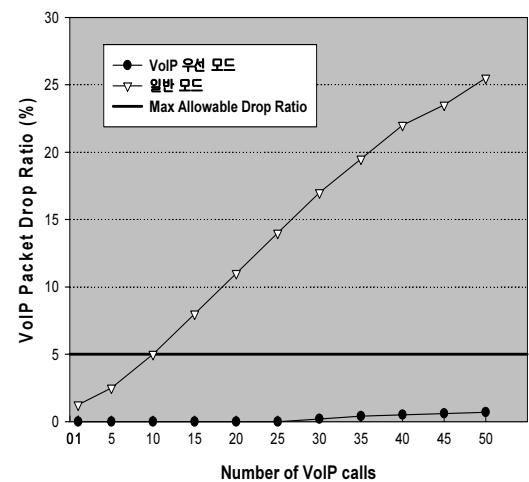


그림 8. VoIP 우선모드와 일반모드에서의 VoIP 패킷 drop율 비교. The VoIP packet drop ratio comparison between the VoIP priority mode and the normal mode.

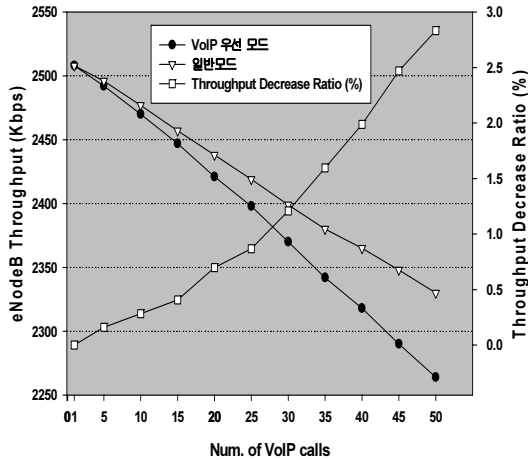


그림 9. VoIP 우선모드와 일반모드에서의 eNodeB throughput 비교와 throughput 감소비율. The eNodeB throughput comparison between the VoIP priority mode and the normal mode, and the plot of the throughput decrease ratio.

에 도착한 이후 최대 지연시간 (20 ms)이 경과할 때까지 전송되지 못할 경우 drop되는 것으로 가정한다.

시뮬레이션 결과 측정된 VoIP호들의 평균 패킷 drop율은 그림 8에서와 같이 VoIP 호의 개수를 1개부터 최대 50개까지 점차적으로 증가시켜가면서 측정하여 Y축에 백분율로 표시하였다. 특히, 패킷 drop율 5%는 VoIP 호들의 QoS를 만족시킬 수 있는 최대 허용 drop율이므로 그림에서 별도의 선으로 표시하였다.

모드에 따른 VoIP 패킷 drop율 결과를 분석하면, VoIP 우선 모드를 사용하지 않는 경우, drop율은 VoIP 호 개수가 늘어남에 따라 빠르게 증가하는 것을 볼 수 있다. 특히 VoIP 호 개수가 10개일 때 이미 최대 허용 drop율인 5%에 도달하였다. 반면, 제안한 VoIP 우선 모드를 사용하는 경우, drop율이 VoIP 호 개수의 증가에도 불구하고 낮은 수준에 머무르고 있는 것을 볼 수 있으며, 50개의 VoIP 호가 진행 중인 경우에도 1%이하의 drop율을 보인다. 이러한 시뮬레이션 결과를 통해 VoIP 우선모드가 VoIP 호들의 QoS 만족에 상당히 중요한 역할을 함을 알 수 있다.

VoIP 우선모드를 사용할 경우 앞선 그림 8 결과 처럼 음성 호의 QoS를 만족시킬 수 있지만, 앞서 설명한 바와 같이 부정적인 영향으로는 eNodeB의 자원사용 효율성을 감소시킬 수 있다. 왜냐하면 VoIP 호들은 패킷 크기가 작고, 전송 지체에 따른 패킷 drop으로 인해 전송 큐 내의 데이터양이 작기

때문에 일반적으로 할당받은 PRB 전송용량을 모두 사용하는 경우가 드물다. 물론, 서로 다른 호의 데이터를 하나의 PRB 안에 multiplexing하는 방법이 거론되고 있으나, 다운링크 스케줄링 정보 통지의 복잡성이 증가하는 문제가 있어, 여기서는 한 PRB는 한 호의 데이터만을 포함한다고 가정한다.

VoIP 우선 모드를 사용할 경우의 이러한 부정적 영향을 평가하기 위해 eNodeB의 다운링크 throughput을 측정하였으며, 그림 9은 VoIP 호의 개수를 증가 시켜가면서 eNodeB의 다운링크 throughput을 VoIP 우선 모드를 사용했을 경우와 그렇지 않을 경우에 대해 각각 측정된 결과를 보여준다. 또한 VoIP 우선 모드를 사용했을 경우, 사용하지 않았을 경우와 비교하여 어느 정도의 throughput 감소가 발생하는지를 보다 쉽게 알기 위해, 두 경우를 비교하여 throughput 감소를 백분율로 표시하였다.

그림 9을 보면, VoIP 우선 모드의 사용 여부와 상관없이 VoIP 호의 개수가 증가함에 따라 두 모드에서 모두 throughput이 감소하는 경향을 보인다. 왜냐하면 PRB 사용 효율이 낮은 VoIP 호들이 증가하기 때문이다.

이때 주목할 점은 VoIP 우선 모드를 사용하지 않았을 때 throughput 감소량이 더 작다는 점이다. 이는 PRB 전송 효율성이 좋은 비 실시간 호들이 더 많은 전송기회를 받기 때문이다. 즉, 큐 길이와 무선 링크 상황을 스케줄링의 결정 인자로 사용하기 때문에, 무선 링크 상황이 동일하다면, VoIP 호들보다 대체적으로 큐 길이가 긴 비 실시간 호들이 먼저 스케줄링 되고, 이러한 비 실시간 호들은 VoIP 호와 비교했을 때 PRB 사용 효율성이 높기 때문에 throughput 또한 향상된다. 비실시간 호들은 어느 정도 패킷 지체를 감내할 수 있으므로 PRB를 할당받을 때까지 큐에 패킷 들을 저장할 수 있으므로 큐 길이가 길어지게 된다. 이 경우, 하나의 PRB 안에 채울 수 있는 데이터양도 늘어나기 때문에 PRB 효율성도 증가하게 된다.

그럼에도 불구하고 VoIP 우선모드가 throughput 감소에 미치는 부정적인 영향은 극히 작다. 그림 9에 보인 바와 같이 VoIP 우선모드의 throughput을 우선 모드를 사용하지 않은 경우의 throughput 대비 백분율로 환산하여 감소비율을 계산 해보면, VoIP 호가 50개일 경우에도 감소비율은 3% 이내이다. 이는 제안 알고리즘이 VoIP 우선 모드의 연속 적용 횟수를 적응적으로 제한하여 throughput 저하를 최소화하기 때문이다. 또한 우선 모드를 사용할 지라

도 VoIP 호에 할당 후 남은 잉여 자원을 비실시간 호들의 서비스에 사용하여 낭비자원을 최소화하기 때문이다.

결론적으로, 제안 알고리즘은 eNodeB 성능에 끼치는 부정적인 영향을 최소 수준으로 유지하면서 VoIP 서비스의 QoS를 만족시킬 수 있음을 확인하였다. 특히, 제안알고리즘의 핵심 중 하나인 VoIP 우선 모드를 사용하지 않았을 경우 패킷 drop을 측면에서 극히 소수의 음성 호만을 수용할 수 있다는 점에서, 제안 알고리즘이 VoIP 서비스의 성공적 제공에 필수적인 역할을 함을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문은 3G LTE에서 VoIP 음성 호 서비스를 위한 효율적인 패킷 트래픽 스케줄링 알고리즘을 제안하였다. 제안 알고리즘의 핵심은 VoIP 우선모드의 도입과 이 모드의 연속 적용 횟수를 적응적으로 제한하는 것이다. 그 결과, VoIP 패킷들이 우선적으로 스케줄링 되어 음성 호 QoS를 만족시키면서도 시스템 throughput에 미치는 부정적인 영향을 최소화할 수 있었다. 시뮬레이션 실험을 통해, VoIP 호들의 패킷 drop율을 5% 제한 수준 이내로 유지하면서도 시스템 throughput은 기존 대비 3% 이내로 감소됨을 확인하여, 제안 알고리즘이 VoIP 서비스 제공에 중요한 역할을 하는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] 3GPP, "Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN)," TR 25.913 v7.3.0.
- [2] M. Yavuz, S. Diaz, R. Kapoor, M. Grob, P. Black, Y. Tokgoz, C. Lott, "VoIP over cdma2000 1xEV-DO Revision A," IEEE Communications Magazine, Feb. 2006.
- [3] O. Awoniyi, F. Tobagi, "Effect of Fading on the Performance of VoIP in IEEE 802.11a WLANs", Proceedings of IEEE International Conference on Communications 2004.
- [4] 3GPP, "Physical layer aspects for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA)," TR 25.814 v7.1.0.
- [5] NTT DoCoMo, NEC, Panasonic, Sharp, "Further Investigations on Resource Block Size for E-UTRA," R1-062714.
- [6] Nokia, "Considerations for minimum TTI size for downlink LTE," R1-062819.
- [7] L.Wang, Y.-K. Kwok, W. C. Lau, and V. K. N. Lau, Channel adaptive fair queueing for scheduling integrated voice and data services in multicode CDMA systems, Comput. Commun. 27(9):809 - 820 (June 2004).

전 경 구 (Kyungkoo Jun)

정희원

한국통신학회 논문지 제31권 제4B호 참조

현재 인천대학교 멀티미디어시스템공학과 조교수