멀티미디어 서비스를 위한 코덱 기반 무선 스케줄러

Codec-based Wireless Scheduler for Multimedia Services

김 지 수 · 오 성 민 · 김 재 현
Kim Ji-Su · Oh Sung-Min · Kim Jae-Hyun

본 논문에서는 4G 광대역 무선접속 네트워크에서의 스케줄러들을 조사 및 분석하고 멀티미디어 서비스 제공시 고려사항들을 제시한다. VoIP(Voice over Internet Protocol) 서비스나 영상통화 서비스와 같은 경우 패킷 크기나 패킷 생성주기와 같은 트래픽 패턴이 응용계층에 적용된 코덱에 의해서 결정되는 특징이 있다. 이런 이유에 의하여 무선 네트워크에서 응용계층에 적용된 코덱을 기반하여 자원을 할당할 경우 무선 자원을 더욱 효율적으로 사용할 수 있다. 이에 본 논문에서는 자원의 효율성을 향상시키기 위하여 멀티미디어 서비스 코덱 기반 스케줄러를 제안한다. 분석결과에 의하면 제안한 VoIP 스케줄링 방안은 ertPS(extended real-time Polling Service) 보다 최대 지원 가능한 VoIP 사용자 수를 50% 향상시킬 수 있었고 제안한 영상통화 스케줄링 방안은 무선 자원 사용률을 최대 50% 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

주제어: 멀티미디어, 서비스, VoIP, 스케줄러, 코덱, LTE, WiMax, 4G

This paper investigates scheduling algorithms and presents several considerations for providing multimedia services in 4G broadband wireless access networks. In VoIP and video services, traffic pattern (e.g. packet size and packet generation interval) can be determined by a codec applied in the application layer. For this reason, the resource efficiency can be improved if wireless resource can be allocated by using features of a codec applied in the application layer. Therefore, this paper proposes a codec-based wireless scheduler in order to improve the resource efficiency. Performance analysis results show that the proposed VoIP scheduling scheme can improve the VoIP capacity by 50 % compared to that of ertPS and the proposed video scheduling scheme can increase the resource utilization by 50 % compared to other scheduling schemes.

Keywords: Multimedia, Service, VoIP, Scheduler, Codec, LTE, WiMax, 4G

I. 서 론

최근 VoIP (Voice over Internet Protocol) 서비스 및 영상통화, 그리고 비디오 스트리밍 서비스와 같은 멀티미디어 서비스에 관한 무선 네트워크 사용자의 수요가 급증하고 있다. 이러한 사용자의 요구를 충족시키기 위하여 3GPP(Third Generation Partnership Project) LTE(Long-Term Evolution)/LTE-Advanced와 IEEE 802.16e/m과 같은 고속의 4G 광대역 무선접속 시스템들이 개발되고 있다.

4G 광대역 무선접속 시스템은 대역폭 효율성을 향상시키기 위하여 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access)를 적용한다. OFDMA 기반의 프레임 구조에서는 시간 축으로는 심볼 단위로 정의되고 주파수 축으로는 부반송파(Subcarrier) 단위로 정의된다. 또한 프레임 내의 자원을 사용자들에게 할당

논문번호: TR11-060, 논문접수일자:2011.07.13, 논문수정일자:2011.09.16, 논문게재확정일자:2011.09.23
김지수, 오성민, 김재현: 아주대학교

표 1. 4G 광대역 무선접속 시스템에서의 대표적인 스케줄러 정리

구분	스케줄러		장점	단점
무선 채널 상황 기반 [1]	Max C/I		시스템 처리율 최대화	QoS 및 공평성 보장 불가능
	PF		장기 공평성 (long-term fairness)	QoS 성능 저하 현상 가능
	M-LWDF		처리율 및 지연 보장 가능	-
트래픽 특성 기반	IEEE 802.16e 시스템 [10]	UGS	오버헤드 없음. 지연 요구조건 보장 가능	트래픽 패턴이 가변일 경우, 할당된 자원의 낭비 발생
		ertPS	지연 및 오버헤드 측면 최적	트래픽의 생성주기 가변일 경우, 할당된 자원의 낭비 발생
		rtPS	가변 패킷 크기에 적합	패킷 전송시마다 지연 및 오버헤드 발생
		nrtPS	비실시간 서비스에 효율적	-
		BE	BE 트래픽에 효율적	QoS 보장 불가능
	LTE 시스템 [16] ~ [18]	Dynamic	BE 트래픽에 효율적	제어 채널 오버헤드 큼
		Persistent	제어 채널 오버헤드 없음.	HARQ 지원 어려움
		Semi-persistent	HARQ 지원 가능	-

시 여러 심볼과 부반송파로 구성된 블록 단위로 자원을 할당한다. 이로 인하여 시스템 처리율을 향상시키기 위하여 자원 할당시 블록 단위별 사용자들의 무선 채널 상황을 고려하여 사용자를 선택하는 스케줄링 방안들이 고려되었다[1] ~ [5]. 또한 무선 채널 상황에 따라 패킷 전송시 신뢰성과 자원의 효율성을 향상시키기 위한 링크 적응(Link Adaptation) 기술을 스케줄링 방안과 함께 적용한다[6] ~ [9].

4G 광대역 무선접속 시스템에서는 자원 효율성 향상과 더불어 QoS(Quality of Service) 성능 향상도 중요한 고려사항이다. 이를 위하여 4G 광대역 무선접속 시스템에서는 서비스별 QoS 요구조건을 기반으로 서비스 클래스를 분류하고 서비스 클래스별 트래픽 특성을 고려하여 스케줄링 방안들을 정의하였다. 특히 VoIP 서비스는 지연에 민감하면서도 패킷 생성주기 및 패킷 크기가 일정한 패턴을 형성하는 특징이 있기 때문에 4G 광대역 무선접속 시스템에서는 이러한 VoIP 서비스 특징을 고려하여 주기적으로 자원을 할당함으로써 시그널링 오버헤드 및 대역폭 요청 지연시간을 감소시키는 스케줄링 방안을 정의하였다[10] ~ [12]. 하지만 기존의 VoIP 스케줄링 방안들은 주기적으로 자원을 할당하는 방식이기 때문에 G.7xx과 AMR(Adaptive Multi-Rate) 코덱과 같이 패킷 생성주기가 변화할 경우 할당한 자원이 낭비될 수 있는 문제점을 지니고 있다[13],[14].

영상통화 서비스는 일반적으로 응용계층에서 MPEG4 (Moving Picture Experts Group 4) 코덱에 의하여 생성된다[15]. MPEG4는 트래픽 생성시 프레임의 용도에 따라 I 프레임, B 프레임, 그리고 P 프레임이 하나의 그룹을 형성하여 반복적으로 생성되는 특징이 있다. 이렇게 발생되는 트래픽의 패턴을 GOP(Group of Pictures)라고 한다. 하지만 영상통화 서비스를 지원하기 위하여 고려된 기존 스케줄러는 일정한 주기로 생성되는 패킷의 크기가 다양하게 변화하는 점만을 고려하였다. 이로 인하여 패킷 전송시마다 대역폭을 요청하는 과정이 필요하게 되는 비효율적인 측면이 있다.

앞서 기술한 바와 같이 4G 광대역 무선접속 시스템에서는 자원 효율성과 멀티미디어 서비스의 QoS 성능을 향상시키기 위하여 다양한 스케줄링 방안들이 고려되고 있다. 하지만 응용 계층에서 생성되는 VoIP와 영상통화 트래픽의 세부 특성을 고려할 경우 기존 스케줄링의 문제점이 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 멀티미디어 코덱 기반 스케줄링 방안에 관하여 논의하도록 한다.

II. 4G 광대역 무선접속 시스템에서의 스케줄링 방안

본 장에서는 4G 광대역 무선접속 시스템에서 고려하는 스케줄링 방안들에 관하여 기술한다. 4G 광대역 무선접속 시스템에서의 스케줄링 방안들은 전송 우선순위 기준에 따라 무선채널 상황 기반 스케줄링 방안과 트래픽 특성 기반 스케줄링 방안으로 구분할 수 있다.

1. 무선채널 상황 기반 스케줄링 방안

무선 네트워크에서는 통신 환경, 단말의 이동, 그리고 셀간 간섭 등에 의하여 무선 채널 상태가 변화한다. 4G 광대역 무선접속 시스템에서는 무선 채널 변화에 따라 변조방식과 코딩율을 조절하여 패킷 전송 신뢰성

과 시스템 처리율을 향상시키는 AMC(Adaptive Modulation and Coding) 기술을 적용하고 있다[6]~[9]. AMC 기술에 의하여 무선 채널 상황이 좋은 경우에는 변조방식과 코딩 모드를 높게 설정함으로써 시스템 처리율을 향상시킬 수 있다. 이에 4G 무선접속 시스템에서는 시스템 처리율을 향상시키기 위하여 무선 채널 상황이 가장 좋은 사용자를 선택하는 스케줄링 방안을 고려할 수 있다(표 1 참조).

- Max C/I (Carrier to Interference): Max C/I는 자원 할당시 사용자별 무선 채널 상황을 고려하여 식 (1)과 같이 무선채널 상황이 가장 높은 사용자에게 전송기회를 할당한다.

$$i = \max R_i(t), \tag{1}$$

여기서 i는 사용자 인덱스를 의미하고 $R_i(t)$는 t 초인 순간에 사용자 i의 전송률(바이트/블록)을 나타낸다. AMC 기술이 적용되기 때문에 무선 채널 상황에 따라 $R_i(t)$가 변화하다. 따라서 Max C/I는 시스템 처리율을 최대화할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 Max C/I는 무선 채널 상황만을 고려하기 때문에 무선 채널 상황이 일정하게 유지될 경우 전송기회가 불공평하게 할당되는 문제점이 발생할 수 있다. 또한 무선 채널 상황이 지속적으로 나쁠 경우 해당 사용자는 전송기회를 할당받지 못하기 때문에 전송 지연이 증가하여 QoS 성능이 급격하게 저하될 수 있다.

- PF(Proportional Fair): PF는 Max C/I의 불공평한 전송기회 할당을 해결하기 위하여 현재 전송률과 더불어 장기간 동안의 평균 처리율을 추가적으로 고려하여 전송기회를 할당한다.

$$i = \max \frac{R_i(t)}{\overline{R_i}(t)}, \tag{2}$$

여기서 $\overline{R_i}(t)$는 정의된 일정시간 동안의 평균 처리율을 의미하며지수 평균으로 계산한다. PF는 공평성과 시스템 처리율 측면에서 최적의 성능을 보이지만 Max C/I와 유사하게 QoS 성능을 보장하지 못하는 단점이 있다.

- M-LWDF(Modified-Largest Weighted Delay First): M-LWDF는 최소 처리율과 QoS 보장을 제공하기 위하여 자원 할당시 식 (3)과 같이 사용자별 채널 용량과 큐 i(사용자 i에 상응하는 큐)에서의 HOL(Header of Line) 패킷 지연을 고려하여 전송기회를 할당한다.

$$i = \max \rho_i W_i(t)\, r_i(t), \tag{3}$$

여기서 ρ_i는 양의 정수이고 서비스 클래스에 따라 정의될 수 있다. $W_i(t)$는 t초에서의 큐 i의 HOL 패킷 지연을 나타내고 $r_i(t)$는 t초에서의 사용자 i의 채널 용량을 의미한다.

2. 트래픽 특성 기반 스케줄링 방안

4G 광대역 무선접속 시스템에서는 시스템 효율성과 QoS 성능향상을 위하여 트래픽 특성 기반 스케줄링 방안들을 정의하고 있다. 여기서 트래픽 특성은 서비스 클래스별 QoS 요구조건과 응용 계층에서 생성되는 패킷들의 생성주기 및 크기를 의미한다.

IEEE 802.16e 시스템에서는 제어 채널이 정의되어 있지 않기 때문에 상향링크 패킷 전송시 자원 요청 및 할당 과정에서 오버헤드 및 전송 지연이 발생할 수 있다. 이에 IEEE 802.16e 시스템에서는 다음과 같은 스케줄링 유형들을 정의하고 있다.

- UGS(Unsolicited Grant Service): UGS는 무음구간에서 압축기술이 적용되지 않는 VoIP 서비스와 같이 일정한 크기의 패킷들이 주기적으로 생성되는 실시간 서비스를 지원한다. 즉 세션 생성시 자원 할당 크기와 주기를 설정하고 단말기에서 자원요청이 없어도 자원 할당주기마다 일정한 크기의 자원을 할당한다. 이로 인하여 자원 요청시 오버헤드나 지연이 발생하지 않는 장점이 있다. 하지만 무음구간에서 압축기술이 적용된 VoIP 서비스와 비디오 서비스와 같이 패킷 크기가 변화하는 경우에는 할당된 자원이 낭비될 수 있다.
- rtPS(real-time Polling Service): rtPS는 비디오 스트리밍 서비스와 같이 가변 크기의 패킷들이 주기적으로 생성되는 실시간 서비스를 지원한다. 비디오 스트리밍 서비스는 생성되는 패킷 크기의 변화가 심하기 때문에 패킷 전송시 필요한 자원을 요청하여야 한다. 하지만 상향링크에서 자원 요청시 경쟁방식을 적용하면 자원요청 메시지간 충돌에 의하여 지연이 증가할 수 있으므로 매 자원 할당주기마다 폴링방식을 적용한다. 폴링방식은 기지국이 단말기에게 대역폭 요청 메시지를 전송하기 위한 자원을 할당하는 방식을 의미한다. 여기서 대역폭 요청 메시지에는 큐에 쌓인 패킷의 크기 (바이트 수)를 포함한다. 그리고 기지국에서는 무선 채널 상황을 고려하여 할당할 자원의 크기를 계산하고 단말기에게 자원을 할당한

다. 이런 이유에 의하여 rtPS는 할당된 자원의 낭비가 발생하지 않는다는 장점이 있다. 하지만 rtPS는 패킷 전송시마다 폴링방식을 적용해야 하기 때문에 이로 인한 지연 및 오버헤드가 발생하는 단점이 있기 때문에 VoIP 서비스를 지원하기에는 적합하지 않다.

- ertPS(extended real-time Polling Service): ertPS는 가변 크기의 패킷들이 무음구간에서 압축기술이 적용된 VoIP 서비스와 같이 유/무음구간에서 가변 크기의 패킷들이 주기적으로 생성되는 실시간 서비스를 지원한다. ertPS 역시 세션 생성시 자원할당 크기와 주기를 설정한다. 패킷 크기가 변화하지 않을 경우에는 UGS와 유사하게 자원 할당주기마다 기지국이 단말기로 일정한 크기의 자원을 할당한다. 하지만 유/무음구간에서 패킷 크기가 변화하는 경우 할당된 자원을 이용하거나 피기백방식을 통하여 패킷 크기의 변화된 정보를 기지국으로 전송한다. 이런 이유에 의하여 ertPS는 VoIP 서비스 지원시 자원 효율성 및 오버헤드 측면에서 UGS와 rtPS보다 적합한 스케줄링 방안으로 고려되고 있다.
- nrtPS(non-real-time Polling Service): nrtPS는 파일전송과 같이 지연에 둔감하지만 최소 전송률을 요구하는 서비스를 지원한다. nrtPS는 rtPS와 유사하게 기지국에서 폴링을 수행하기 위한 자원을 주기적으로 할당함으로써 단말기들이 필요한 자원을 요청하도록 설계되었다. 하지만 nrtPS의 폴링주기는 rtPS보다 길다.
- BE(Best Effort) 서비스: BE는 웹 브라우징과 이메일과 같은 일반적인 데이터 서비스를 지원한다. BE는 지연에 둔감한 서비스를 지원하기 때문에 경쟁방식을 통하여 자원을 요청한다.

LTE 시스템에서는 제어 채널이 단말기마다 할당되기 때문에 IEEE 802.16e 시스템과 같이 자원 요청 및 할당방식을 서비스 클래스별로 구분하여 설계하지 않는다. 하지만 LTE 시스템에서는 제어 채널 수가 제한되어 있기 때문에 VoIP 서비스와 같이 일정한 패턴으로 트래픽이 발생하는 경우 할당된 제어 채널 수를 감소시키기 위한 스케줄링 방안들이 고려되고 있다. LTE 시스템에서는 다음과 같이 세가지 스케줄링 방안들이 정의된다.

- Dynamic scheduling: 매 패킷 전송시마다 단말기가 PUCCH(Physical Uplink Control Channel)를 통하여 기지국에게 필요한 자원을 요청하고 기지국은 무선 채널 상황을 고려하여 할당할 자원을 계산한다. 그리고 기지국은 PDCCH(Physical Downlink Control Channel)를 통하여 단말기에게 자원을 할당한다. 패킷 전송시마다 무선 채널 상황을 고려하여 자원을 할당하기 때문에 시스템 처리율 측면에서 유리하다.
- Persistent scheduling: Persistent 스케줄링 방안은 VoIP 트래픽과 같이 일정한 크기의 패킷들이 주기적으로 생성되는 서비스를 지원한다. Persistent 스케줄링 방안은 세션 생성시 할당되는 자원 할당주기 및 자원의 크기와 프레임 위치(심볼 및 부반송파 인덱스)를 설정하고 기지국에서 PDCCH를 통한 자원 할당없이도 주기적으로 패킷을 전송할 수 있도록 설계되었다. 이로 인하여 Persistent 스케줄링은 제어 채널 오버헤드를 감소시킬 수 있는 장점이 있다. 하지만 패킷의 크기 및 무선 채널의 상황이 변화할 경우 자원 효율성이 급격하게 저하될 수 있는 단점이 있다.
- Semi-persistent scheduling: Semi-persistent 스케줄링 방안은 persistent 스케줄링과 dynamic 스케줄링 방안의 혼합 형태로 다음과 같이 동작한다.
  - 유음구간 첫번째 전송: persistent 스케줄링
  - 유음구간 HARQ(Hybrid Auto Repeat Request): dynamic 스케줄링
  - 무음구간: dynamic 스케줄링
  - 스케줄링 우선순위: 유음구간 첫번째 전송, 유음구간 재전송, 무음구간 패킷 전송

Ⅲ. 멀티미디어 스케줄링 방안 고려사항

앞장에서는 4G 광대역 무선 네트워크의 스케줄링 방안들에 관하여 기술하였다. 멀티미디어 서비스를 위한 대표적인 스케줄링은 IEEE 802.16e 시스템의 UGS, ertPS, rtPS와 LTE 시스템의 persistent, semi-persistent 스케줄링 등이 있다. 멀티미디어 스케줄링 방안들의 공통점은 멀티미디어 서비스의 트래픽 특성을 고려했다는 점이다. 여기서 앞서 기술한 멀티미디어 스케줄링 방안들이 다양한 멀티미디어 트래픽 특성을 모두 반영하고 있는지 검토해 볼 필요가 있다. 그 이유는 멀티미디어 서비스의 트래픽 특성은 응용계층에 적용된 코덱에 따라 결정되는데 현재 고려되고 있는 코덱의 종류가 매우 다양하기 때문이다. 이에 본 장에서는 대표적인 VoIP 서비스 코덱과 영상통화 서비스 코덱에 관하여 분석하고 기존 멀티미디어 스케줄링 방안의 비효율적인 측면에 관하여 기술하도록 한다.

1. VoIP 서비스 제공시 고려사항

그림 1은 일반적인 VoIP 트래픽 패턴을 나타낸다. VoIP 트래픽 모델은 VoIP 사용자의 행동 패턴에 의하여 유음구간과 무음구간이 반복해서 구성된다. 유음구간에서는 음성신호를 PCM(Pulse Code Modulation), LPC(Linear Prediction Coding), 그리고 CELP (Code-excited Linear Prediction)와 같은 인코딩 기술들에 의하여 압축된다[19] ~ [23]. 이로 인하여 인코

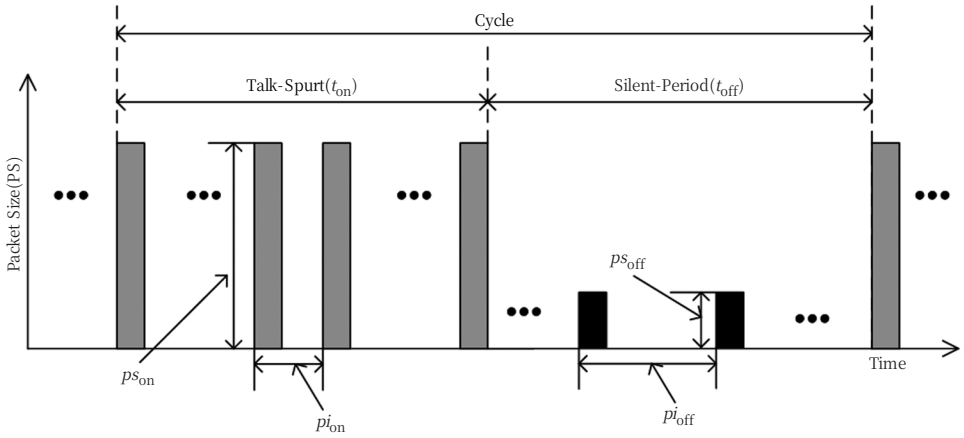


그림 1. VoIP 트래픽 패턴 모델

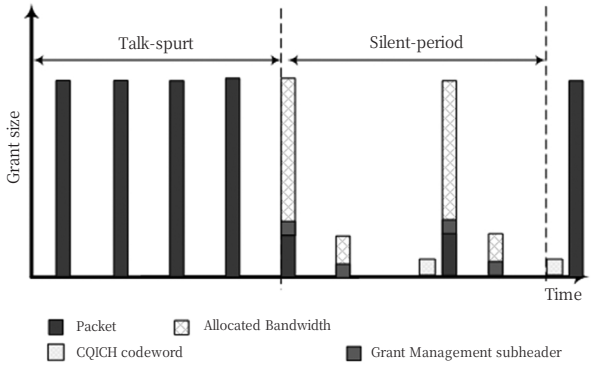


그림 2. VoIP 서비스 제공시 무음구간에서 ertPS의 문제점

표 2. VoIP 코덱별 트래픽 특성

코덱	패킷 크기 (bytes)		패킷 생성주기(msec)	
	유음	무음	유음	무음
G.711	160	2	20	랜덤
G.723.1	19.88	2	30	랜덤
G.729	10	2	10	랜덤
EVRC	21.375	2	20	20
AMR	11.875, 12.875, 14.75, 16.75, 18.5, 19.875, 25.5, 30.5	5	20	160

딩 기술들에 의하여 패킷 크기와 패킷 생성주기가 다양해 질 수 있다. 또한 무음구간에서는 음성신호가 발생되지 않지만 음성 품질을 향상시키기 위하여 배경 잡음을 생성한다. VoIP 코덱들은 개별적으로 인코딩 기술이나 무음구간에서 배경 잡음을 생성하는 방안들을 정의한다. 표 2는 VoIP 코덱별 트래픽 특성을 나타낸다. 표 2에서와 같이 트래픽 특성은 코덱에 따라 다양하다는 것을 분석할 수 있다. 특히 G.7xx 계열의 코덱들에서는 무음구간에서 패킷 생성주기가 랜덤하게 생성된다.

이러한 VoIP 코덱에 따른 트래픽 특성의 다양성은 주기적인 자원 할당이 기본인 기존의 스케줄링에서 할당된 자원의 낭비를 초래할 수 있다. 그림 2는 무음구간에서 패킷 생성주기가 변화하는 경우 IEEE 802.16e

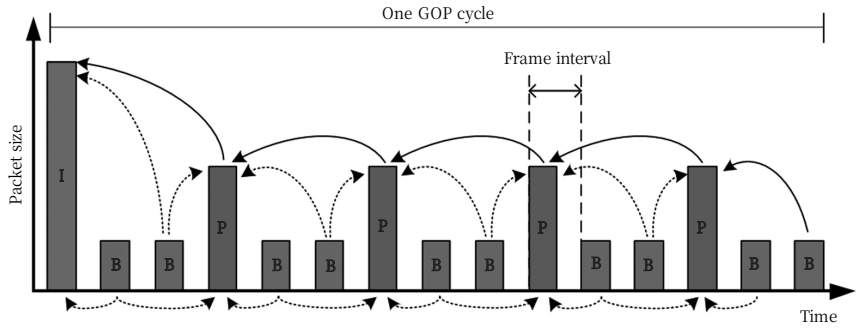


그림 3. MPEG4 코덱의 트래픽 패턴

표 3. MPEG4 트래픽 특성

트래픽 속성	값
I 프레임 크기 분포	lognormal(μ = 4742byte, σ = 178byte), Max = 5184byte, Min = 4034byte
P 프레임 크기 분포	lognormal(μ = 259byte, σ = 134byte), Max = 1663byte, Min = 100byte
B 프레임 분포	B frame size: lognormal(μ = 147byte, σ = 74byte), Max = 882byte, Min = 35byte
초당 프레임 수	초당 25프레임
GOP 패턴	IBBPBBPBBPBB

시스템에서 VoIP 서비스를 제공하기 위하여 설계된 ertPS의 문제점을 나타낸다. ertPS에서는 무음구간에서 패킷 생성주기가 변하여 자원을 할당하였음에도 불구하고 전송할 패킷이 없을 경우 단말기에서는 그림 2에서와 같이 할당된 자원을 통하여 대역폭 요청 메시지를 전송한다. 이 때 대역폭 요청 메시지의 대역폭 요청 필드에는 ‘ 0 바이트 ’로 설정하게 된다. 이로 인하여 다음 자원 할당주기가 되더라도 기지국은 해당 단말기로 자원을 할당하지 않게 된다.

하지만 응용 계층에서 배경 잡음을 포함하는 패킷이 생성될 경우 단말기는 기지국에게 전송할 패킷이 있음을 알려주어야 한다. 이 때 주기적으로 할당되는 자원이 없기 때문에 단말기는 경쟁방식으로 필요한 대역폭을 요청하게 된다. 이럴 경우 대역폭 요청 메시지간 충돌이 발생할 수 있기 때문에 패킷 전송 지연이 증가하여 서비스 품질에 영향을 미칠 수 있다. 이런 이유에 의하여 ertPS에서는 무선 채널 상황 정보를 단말기에서 기지국으로 전송하기 위하여 정의된 CQICH(Channel Quality Indicator Channel) 코드워드를 이용하여 비경쟁방식으로 대역폭을 요청한다. 여기서 6비트인 CQICH 코드워드는 대역폭 요청 필드를 정의할 수 없기 때문에 기지국에서 CQICH 코드워드를 수신할 경우 서비스 플로우의 최대 전송률을 기반한 자원을 할당한다. 이로 인하여 그림 2와 같이 무음구간에서 전송할 패킷의 크기보다 큰 자원을 할당하게 되므로 자원의 낭비가 발생할 수 있다.

이와 같은 무음구간에서의 자원낭비를 줄이기 위한 연구로 CB-ertPS(Contention-Based ertPS)가 제안되었다[24]. CB-ertPS는 무음구간에 단말에게 자원을 할당하지 않고 단말의 무음구간에서 정기적으로 전송할 데이터가 생성되거나 유음구간으로 변하면서 데이터가 발생하면 경쟁방식의 Random access를 통하여 기지국으로부터 다시 주기적인 자원을 획득한다. CB-ertPS는 무음구간에서의 주기적인 자원 할당을 제거하여 자원 효율성을 높였지만 새로운 자원을 확보하기 위해 Random access 방식을 사용하여 Random access slot이 충분하지 않을 때에는 전송 실패에 따른 제어 메시지의 재전송으로 무선 자원 이용효율이 감소할 수 있다.

2. 영상통화 서비스 제공시 고려사항

영상통화 서비스 제공시 일반적으로 응용계층에 MPEG4 코덱이 적용된다. MPEG4 코덱에서는 네트워크에서의 패킷 전송률을 감소시키기 위하여 메인 프레임인 I 프레임과 프레임간 연관성을 고려한 P 프레임과 B 프레임으로 영상을 압축하여 전송한다. 압축된 프레임들은 GOP 패턴으로 그림 3과 같이 주기적으로 생성된다.

MPEG4 트래픽 모델은 IEEE 802.16m 시스템의 성능 평가 문서를 참고하여 표 3과 같이 나타낼 수 있다[25]. I 프레임은 모든 화면 정보를 담고 있어 독립적인 재생이 가능하며 가장 큰 크기의 트래픽을 생성한다.

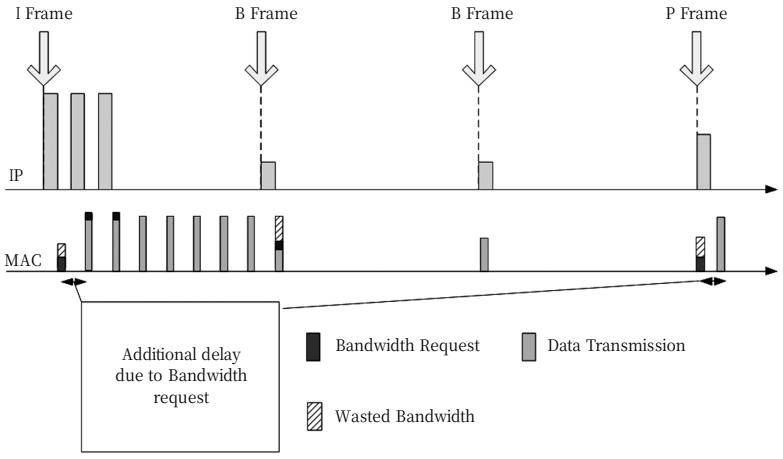


그림 4. 영상통화 서비스 제공시 ertPS의 문제점

P 프레임은 이전 I 프레임을 참고하여 재생되고 그 사이의 이미지의 차이 값을 담고 있어 다소 작은 크기의 트래픽을 생성한다. B 프레임은 이전 I 혹은 P 프레임을 참고하여 재생되고 그 사이의 이미지 차이 값만을 담고 있어 일반적으로 가장 작은 크기의 트래픽을 생성한다.

IEEE 802.16e 시스템에서는 영상통화 서비스 제공을 위한 스케줄링 방안이 명확하게 정의되어 있지 않다. 이로 인하여 실시간 서비스를 지원하기 위하여 설계된 스케줄링 방안들을 영상통화 서비스의 트래픽 패턴에 관하여 장점과 단점을 분석해 보면 다음과 같다.

UGS가 영상통화 서비스를 지원할 경우 서비스 플로우의 최대 전송률을 기반으로 자원을 할당하기 때문에 가장 패킷의 크기가 큰 I 프레임을 기준으로 자원을 할당하게 된다. 이로 인하여 P 프레임과 B 프레임 전송시 무선 자원의 낭비로 인하여 시스템 효율성이 급격하게 저하될 수 있다. 따라서 UGS는 영상통화 서비스를 지원하는 스케줄링 방안으로 부적합하다.

rtPS가 영상통화 서비스를 지원할 경우 응용 계층에서 프레임 생성주기에 맞추어 기지국이 단말기에게 필요한 자원을 요청할 수 있도록 자원을 할당한다. 단말기는 할당된 자원을 통하여 필요한 자원을 기지국에 요청하고 기지국으로부터 데이터 패킷을 전송하기 위한 자원을 할당받은 후 패킷을 전송한다. 이로 인하여 rtPS는 UGS에 비해 할당된 자원의 낭비는 발생하지 않지만 대역폭 요청 과정에서 지연이 발생할 수 있기 때문에 지연에 민감한 영상통화 서비스에 적용하기 쉽지 않다.

ertPS는 UGS와 같이 기지국이 단말에게 주기적인 자원을 할당하여 패킷 전송 지연을 줄이고 rtPS와 같이 할당 자원의 양을 고정하지 않고 동적으로 크기를 변경하여 무선 자원의 낭비를 줄인다. 하지만 영상통화 서비스 지원시 이전 프레임 크기에 기반하여 자원을 할당하기 때문에 현재 프레임 크기와 이전 프레임의 크기가 다른 경우 그림 4와 같이 무선 자원을 낭비하고 추가적인 지연이 발생할 수 있다.

IV. 코덱 기반 멀티미디어 스케줄링 방안

본 장에서는 III장에서 제시한 멀티미디어 스케줄링 방안들에 관한 문제점들을 해결하기 위한 방안에 관하여 기술한다. 기존 멀리미디어 스케줄링 방안들은 다음과 같은 트래픽의 일반적인 특징을 고려하였기 때문에 자원의 낭비 및 지연 증가와 같은 문제점들이 발생하였다.

- VoIP 트래픽: 일정한 패턴으로 생성
- 영상통화 트래픽: 랜덤한 패킷 크기

이에 본 논문에서는 트래픽의 세부적인 특징을 이용하여 위하여 응용 계층에 적용된 코덱에 따라 트래픽 패턴이 변화하는 점을 고려하여 코덱 기반 멀티미디어 스케줄링 방안을 제안한다. 제안한 코덱 기반 멀티미디어 스케줄링 방안은 응용 계층에 적용된 코덱 정보를 획득하는 방안과 트래픽 특성 기반 자원 요청 및 할당 방안을 포함한다.

1. 코덱정보 획득 방안

본 논문에서는 멀티미디어 서비스 세션 생성 프로토콜로 SIP(Session Initiation Protocol)를 고려한다[26]. SIP에서는 세션의 QoS 정보를 전달하기 위하여 SDP(Session Description Protocol)을 정의하고 있다. SDP에서는 미디어 유형, 포트넘버, 전송 프로토콜, 그리고 미디어 포맷을 포함하는 ‘ m ’ 필드가 정의되어 있다. 예를들어 ‘ m = audio 49170 RTP/AVP 0 ’은

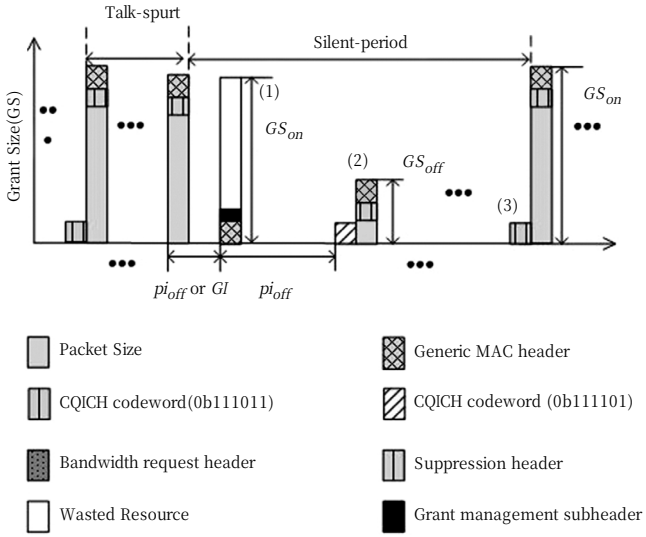


그림 5. 제안한 VoIP 스케줄링 방안

세션 미디어는 음성이고 49170의 포트 넘버를 사용하며 전송 프로토콜은 RTP(Real Time Protocol)이 적용됨을 의미한다. 또한 ‘ 0 ’은 음성 코덱으로 G.711 코덱이 적용됨을 나타낸다. 따라서 본 논문에서는 응용 계층에 적용된 코덱정보를 획득하기 위하여 SDP의 ‘ m ’ 필드를 이용하도록 정의한다.

비디오의 경우도 SDP의 ‘ m ’필드를 이용하여 코덱 종류를 구분하고 미디어 특성을 포함하는 ‘ a 필드의 ‘ profile-level-id ’ 필드를 참고하여 현재 발생하는 비디오 트래픽의 특성을 파악한다[27]. ‘ profile-level-id ’는 MPEG 코덱 기반의 미리 정의된 bit rate, B frame의 존재 여부, Buffer size등의 인코딩 세부사항을 나타낸 프로파일의 지표이다[28]. GOP 순서와 I, B, P 프레임의 크기는 앞서 획득한 인코딩 세부사항을 이용하여 예측하여 사용할 수 있다.

획득된 코덱정보는 시스템내 프리미티브를 통하여 MAC 계층으로 전달 가능하거나 시스템내에 QoS 정보 공유를 위한 메모리를 할당하여 MAC 계층에서 공유할 수 있다[29].

2. 자원요청 및 할당 방안

MAC 계층에서는 표 2와 표 3과 같은 코덱별 정보를 미리 갖고 있고 전달된 코덱 정보를 통하여 멀티미디어의 패킷 크기 및 패킷 전송주기 정보를 생성한다. 이러한 코덱 정보를 이용하 자원 요청 및 할당 방안은 다음과 같다.

2.1. VoIP 스케줄링 방안

VoIP 트래픽에서는 표 2에서와 같이 패킷 크기 및 패킷 생성주기가 유/무음구간에 따라 다르다. 특히 G.7xx 계열 코덱에서는 유음구간에서는 주기적으로 패킷을 생성하는 반면, 무음구간에서는 패킷이 랜덤하게 생성된다. 이런 이유에 의하여 III장에서 언급하였듯이 ertPS의 문제점이 발생한다. ertPS 문제점의 요인은 CQICH 코드워드가 필요한 대역폭 정보를 포함할 수 없다는데 있다. 이에 본 논문에서는 무음구간에서 두 가지 CQICH 코드워드를 정의한다. CQICH 코드워드 0b111011은 무음구간에서 유음구간으로 전환시 이용하고 0b111101은 무음구간에서 배경잡음 패킷 전송을 위한 대역폭을 요청하기 위하여 이용된다. 제안한 VoIP 스케줄링 방안의 세부 동작 설명은 다음과 같다.

- 유음구간: 기지국이 단말기에게 주기적으로 자원을 할당한다. 패킷 크기 변화시 단말기에서는 피기백 또는 할당받은 자원 중 남는 자원을 통하여 필요한 자원을 기지국에게 요청한다.
- 무음구간: 기지국이 주기적으로 자원을 할당한다. 자원을 할당 받았음에도 불구하고 전송할 패킷이 없는 경우 그림 5의 (1)에서와 같이 할당받은 자원을 통하여 필요한 대역폭이 없음을 기지국에게 알린다. 이 후 전송할 패킷이 발생할 경우 단말기는 그림 5의 (2)에서와 같이 CQICH 코드워드(0b111101)를 기지국에게 전송한다. 기지국은 배경잡음 패킷을 전송하기 위한 대역폭을 단말기에게 할당한다. 무음구간에서 유음구간으로 전환될 경우 단말기는 그림 5의 (3)에서와 같이 CQICH 코드워드(0B111011)를 기지국에게 전송한다. 기지국은 유음구간에서의 패킷 크기를 전송하기 위한 자원을 할당한다. 따라서 ertPS에서 발생했던 무음구간에서의 자원낭비 문제

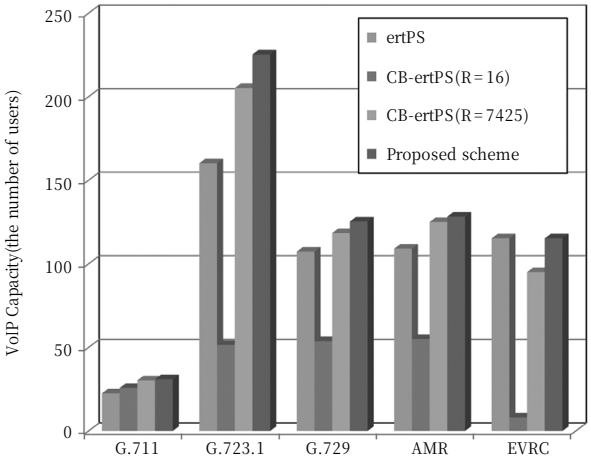


그림 6. 스케줄링 방안에 따른 코덱별 VoIP 용량

를 해결할 수 있다.

2.2. 비디오 스케줄링 방안

비디오 트래픽은 GOP 패턴 순서에 의하여 일정한 주기로 패킷들이 생성된다. 이에 본 논문에서는 할당되는 자원의 양 GOP 패턴의 순서에 따라 프레임별로 가변하는 스케줄링 방안을 제안한다. 제안하는 방식에서는 비디오 코덱의 정보를 기지국으로 전달하기 위해 링크 연결시 사용되는 DSA-REQ 메시지에 GOP 필드와 I frame size, P frame size, B frame size를 정의 하였다. 이는 총 4byte로 표현이 가능하고 최초 한번의 메시지에만 추가되는 것으로 제안하는 방식의 스케줄러를 위한 오버헤드는 무시할 수 있다. DSA-REQ 메시지를 통해 코덱정보를 획득한 기지국은 I 프레임, P 프레임, B 프레임에 따라 정해진 최소 프레임 크기를 기준으로 자원을 할당한다. 예를들어 "IBP"의 GOP 패턴을 갖는 경우 기지국은 세션연결 직후 I 프레임에 해당하는 크기의 자원을 단말에게 할당하고 프레임 발생 간격 후에 단말의 자원 요청 없이도 B 프레임 크기의 자원을 할당한다. 그 후 프레임 발생 간격 후에 기지국은 P 프레임 크기의 자원을 단말에게 할당한다. 이와 같이 기지국은 GOP 순서를 인지하여 차례로 프레임 종류에 맞는 자원을 단말에게 할당한다. 만약 할당받은 자원양보다 프레임 크기가 클 경우 피기백방식을 통하여 추가 자원양을 요청하고 할당받은 자원양에 맞추어 트래픽을 분할하여 전송한다. 또한 예측된 GOP 순서가 실제 생성된 GOP 순서와 다를 경우 현재 플로우의 서비스 특성 변경을 요청하는 DSC-REQ 메시지에 GOP 필드 정의하여 GOP 순서를 보내도록 한다.

비디오 스케줄링 방안에서는 물리 계층의 패킷 전송 실패 및 지연 등으로 인하여 응용 계층에서 발생되는 프레임의 GOP 순서와 기지국에서 할당하는 자원의 순서의 동기가 어긋나는 것을 방지하기 위한 방안을 포함한다. 제안하는 방식에서는 피기백 메시지(e.g. Grant Management subheader)에 GOP sequence 필드를 새롭게 정의하고 현재 GOP 순서를 실어서 보낸다. 피기백 메시지를 통해 GOP 순서를 획득한 기지국은 GOP 순서와 최근 할당한 자원 할당 순서를 비교하여 다음 자원 할당 순서를 조정한다.

단말에서 기지국으로 GOP 순서를 알려주기 위해서는 단말의 MAC 계층에서 상위 계층의 정보를 획득하여야 한다. 그러나 MAC 계층에서는 분할된 IP datagram을 내려 받기 때문에 현재 패킷이 어떤 GOP 순서를 갖는지 알 수 없다. 따라서 제안하는 방식에서는 MAC에서 프레임 정보를 얻기 위하여 IP 헤더의 ToS(Type-of- Service) 필드를 이용하여 MAC 계층에서 비디오 프레임을 구분하는 Cross-layer 설계 방안을 도입하였다[30]. ToS 필드에 I 프레임, B 프레임, P 프레임에 따라 다른 값을 할당하고 MAC 계층에서 이를 이용하여 패킷이 담고 있는 비디오 프레임을 구분 가능하다고 가정한다.

제안하는 방식에서는 MAC 계층에서 GOP 순서를 세어야 한다. 이를 위해 IP 헤더의 Fragment offset 필드를 이용한다. Fragment offset 필드가 패킷이 더 이상 분할되지 않음을 나타내면 스케줄러는 GOP 순서 카운터를 증가시키고 I 프레임에 이르면 GOP 순서를 초기화한다.

V. 성능 분석

본 장에서는 VoIP 스케줄링 방안에 관해서는 VoIP 용량에 관하여 ertPS와 비교 · 분석하고 비디오 스케줄

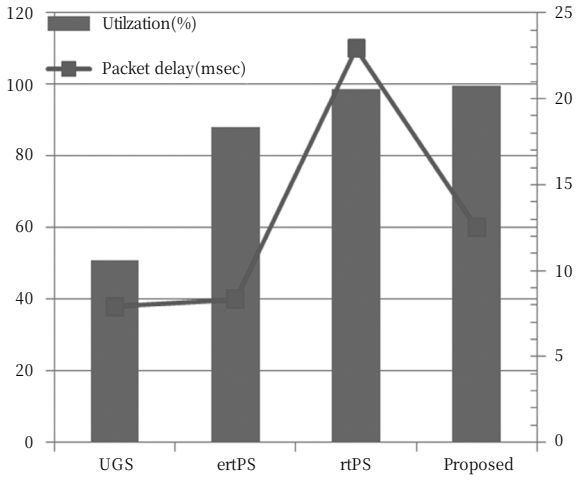


그림 7. 스케줄링 방안에 따른 무선 자원 활용율 및 평균 패킷 지연시간

링 방안에 관해서는 자원 이용률과 전송 지연에 관하여 기존 스케줄링 방안과 비교 · 분석한다. 본 논문에서는 VoIP 용량을 최대 지원 가능한 VoIP 사용자 수로 정의하며 평균 접속 지연을 패킷을 단말기에서 기지국으로 전송하는데 소요되는 시간으로 정의한다.

1. VoIP 스케줄링 방안 성능 분석

본 논문에서는 자원의 단위를 [10]에서 정의한 슬롯의 수로 정의한다. 한명의 VoIP 사용자에게 매 주기마다 할당되는 평균 자원 수 ($\overline{S}$)는 다음과 같다.

$$\overline{S} = \frac{\overline{S_{on}}}{GI_{on}} \cdot \alpha + \frac{\overline{S_{off}}}{pi_{off}} \cdot \beta, \quad (4)$$

여기서 $\overline{S_{on}}$과 $\overline{S_{off}}$는 유음구간과 무음구간에서 자원 할당주기마다 할당된 슬롯의 평균 수를 의미하고 GI_{on}은 유음구간에서의 자원 할당주기를 나타내며 pi_{off}는 무음구간에서의 자원 할당주기를 나타낸다. 유음구간에서는 자원 할당주기가 일정하기 때문에 GI_{on}는 상수인 반면 무음구간에서는 랜덤한 경우도 있으므로 pi_{off}는 평균값이다. α와 β는 유음구간과 무음구간의 비율을 의미한다.

VoIP 스케줄링 알고리즘에 대한 VoIP 용량 (m)을 정의하면 식 (5)와 같다.

$$m = \frac{T_{GI}}{T_{MF}} \times \frac{S_{TOT}}{\overline{S}_{Scheduler}}, \quad (5)$$

여기서 T_{MF}는 MAC 프레임의 크기를 나타내고 S_{TOT}는 MAC 프레임 내에서 사용 가능한 상향링크 슬롯의 총 개수를 나타낸다. $\overline{S}_{scheduler}$는 각 VoIP 스케줄링 알고리즘에 대해서 한 명의 VoIP 사용자가 매 전송주기마다 필요한 평균 슬롯 수를 의미한다.

그림 6은 스케줄링 방안에 따른 VoIP 코덱별 VoIP 용량을 나타낸다. 성능 분석은 10MHz 1024 FFT(Fast Fourier Transform)인 IEEE 802.16e 시스템을 고려하였다. 또한 MCS(Modulation and Coding Scheme) 레벨은 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 1/2로 가정하였으며 α와 β는 각각 0.4와 0.6으로 설정하였다. R은 CB-ertPS 방식에서의 Random access slot의 수를 나타낸다. 성능 분석 결과에 의하면 제안한 스케줄링 방안은 무음구간에서 패킷전송주기가 변화하는 G.7xx 코덱과 AMR 코덱에서 ertPS 보다 10~50% 정도 VoIP 용량을 향상시킬 수 있다. EVRC(Enhanced Variable Rate Codec)가 적용되는 경우에는 제안한 스케줄링 방안과 ertPS가 성능이 유사하다. 그 이유는 EVRC는 패킷 전송주기가 유/무음구간 동안 일정하기 때문이다. 동일하게 무음구간에서의 자원효율성을 높인 CB-ertPS의 경우, Random access slot 수에 따라 성능에 큰 차이가 발생하였다. 따라서 이는 일반적인 무선통신 시스템에 적합하지 않을 수 있다.

2. 영상통화 스케줄링 방안 성능 분석

본 논문에서는 제안한 자원 할당 기법의 성능 평가를 위하여 무선 자원이용 효율성과 평균 패킷 지연시간을 측정하였다. 무선 자원 이용 효율성은 기지국이 할당한 무선 자원양과 실제 전송된 데이터 패킷 전송량의 비로 나타내었고 평균 패킷지연시간은 IP 계층에서 단

말에서 기지국으로 패킷이 도착하는 시간을 측정하였다.

그림 7의 왼쪽 세로축을 따르는 바 그래프는 스케줄러에 따른 무선 자원 이용 효율성을 나타낸다. UGS의 경우 51%의 무선 자원 이용 효율성을 나타낸다. 이는 발생되는 최대크기의 패킷 크기에 맞추어 주기적으로 할당하기 때문에 I 프레임의 크기로 자원을 할당하여 P 또는 B 프레임 전송시 많은 자원을 낭비하기 때문이다. ertPS를 사용하는 경우에도 기지국이 단말의 요청으로 이전 자원의 변화를 인지하여 주기적 자원 할당량을 변화시키지만 지속적으로 큰 폭으로 변화하는 영상통화 코덱 특성을 반영하지 못하여 88%의 무선 자원 이용효율성을 갖는다. 반면 rtPS의 경우 매 프레임마다 필요한 자원만을 요청하지만 Polling 메시지 오버헤드로 인해 98%의 무선자원 이용효율성을 가진다. 제안한 자원 할당 기법 또한 주기적으로 영상통화 프레임의 최소 사이즈의 자원을 할당하고 작은 오버헤드로 부족한 부분은 추가 요청하여 보내어 99%의 무선 자원 이용효율성을 갖는다.

그림 7의 오른쪽 세로축을 따르는 꺽은선 그래프는 스케줄러에 따른 평균 패킷 지연시간을 나타낸다. UGS의 경우 매 프레임 최대 크기의 자원을 할당하여 자원 요청에 따른 대기시간 및 패킷 분할 전송에 의한 지연의 영향을 덜 받게 되어 7.92msec의 가장 작은 지연시간을 나타낸다. ertPS는 현재 할당된 자원보다 보낼 자원이 많을 경우 자원 요청 메시지를 보내어 할당받은 후 자원을 보내기 때문에 약간의 지연이 추가되어 8.33msec의 지연시간을 갖는다. rtPS는 매 프레임마다 BS로부터 Polling 메시지를 받은 후 자원 요청 메시지를 보낸 다음 프레임에 데이터를 전송한다. 이에 따라 매 프레임마다 약 2프레임 정도의 지연을 더 갖는다. 따라서 비교 스케줄러 중 가장 큰 지연시간인 22.91msec을 나타낸다. 제안한 자원 할당 기법은 UGS와 같은 주기적인 자원 요청으로 지연을 최소화하였지만 패킷 분할 전송에 따른 지연으로 UGS보다 조금 큰 12.50msec의 평균 패킷 지연시간을 나타낸다. 하지만 UGS의 경우에도 패킷 크기가 큰 I 프레임의 경우 분할전송을 하기 때문에 제안한 기법의 평균 패킷 지연은 패킷 크기가 작은 B 프레임과 P 프레임에서 주로 차이가 나므로 이는 서비스 품질에 비교적 적은 영향을 준다.

VI. 결 론

본 논문에서는 4G 광대역 무선접속 네트워크에서의 스케줄링 방안들에 관하여 조사 및 분석하였다. 또한 4G 광대역 무선접속 네트워크에서의 멀티미디어 스케줄링 방안에 관한 고려사항들을 제시하였고 멀티미디어 서비스 제공시 자원 효율성과 서비스 품질을 향상시킬 수 있는 코덱 기반 스케줄링 방안을 제안하였다. 성능 분석 결과에 의하면 제안한 스케줄링 방안은 기존 스케줄링 방안보다 VoIP 용량을 10 ~ 50 % 향상시킬 수 있다. 또한 비디오 서비스 이용시 무선 자원 효율을 1 ~ 50% 향상시킨다. 제안한 코덱 기반 스케줄링 방안은 응용계층의 정보를 MAC 계층에서 연동하는 Top-down cross-layer 기술을 기반하고 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 방안은 스케줄링 방안 뿐만 아니라 AMC, MIMO, 그리고(H)ARQ와 같은 무선 네트워크 기술에도 활용 가능하다.

감사의 글

본 연구는 방송통신위원회의 차세대통신네트워크원천기술개발사업의 연구결과로 수행되었습니다. (KCA-2011-09913-04003)

[참고문헌]

[1] C. So-In, R. Jain, and A. K. Tamimi, "Scheduling in IEEE 802.16e Mobile WiMAX Networks: Key Issues and a Survery," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, Vol. 27, No. 2, Feb. 2009.

[2] M. Alasti, B. Neekzad, and J. Hul, "Quality of Service in WiMAX and LTE Networks," *IEEE Commun. Mag.*, May 2010.

[3] H. W. Lee, T. S. Kwon, D. H. Cho, S. Choi, J. Kim, S. Cho, S. Yun, W. Y. Park, and K. Kim, "Design and implementation of a simulator based on a cross-layer protocol between MAC and PHY layers in a WiBro compatible IEEE 802.16e OFDMA system," *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 43, No. 12, Dec. 2005, pp. 136-146.

[4] Q. Chen, Q. Zhang, and Z. Niu, "QoS-aware cooperative and opportunistic scheduling exploiting multiuser diversity for rate-adaptive Ad Hoc networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol. 57, No. 2, 2008, pp. 1113-1125.

[5] V. Singh and V. Sharma, "Efficient and Fair Scheduling of Uplink and Downlink OFDMA Networks," in *Proc. WCNC '06*, 2006.

[6] M. S. Alouni and A. J. Goldsmith, "Adaptive modulation over Nakagami fading channel," *Wireless Personal Commun.*, 2000, pp. 119-143.

[7] X. Wang, Q. Liu, and G. B. Giannakis, "Analyzing and optimizing adaptive modulation and coding jointly with ARQ for QoS-guaranteed traffic," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol. 56, No. 2, 2007, pp. 710-720.

[8] T. Kwon and D. H. Cho, "Adaptive-modulation-and-coding-based transmission of control messages

for resource allocation in mobile communication systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol. 58, No. 6, Jul. 2009, pp. 2769-2782.

[9] S. Z. Q. Liu and G. B. Giannakis, "Cross-layer combining of adaptive modulation and coding with truncated ARQ over wireless networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol. 3, No. 5, Sep. 2004, pp. 1746-1755.

[10] IEEE Std 802.16e™-2005, IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, Feb., 2006.

[11] H. W. Lee, T. S. Kwon, and D. H. Cho, "An efficient uplink scheduling algorithm for VoIP services in IEEE 802.16 BWA systems," in *Proc. IEEE VTC*, Vol. 5, pp. 3070 - 3074.

[12] H. W. Lee, T. S. Kwon, and D. H. Cho, "An enhanced uplink scheduling algorithm based on voice activity for VoIP services in IEEE 802.16d/e system," *IEEE Commun. Lett.*, Vol. 9, Aug. 2005, pp. 691-693.

[13] S. M. Oh, S. Cho, J. H. Kwun, and J. H. Kim, "VoIP scheduling algorithm for AMR speech codec in IEEE 802.16e/m system," *IEEE Commun. Lett.*, Vol. 12, No. 5, May 2008, pp. 374 -376.

[14] S. M. Oh, S. Cho, J. H. Kim, and J. Kwun, "An efficient uplink scheduling algorithm with variable grant-interval for VoIP service in BWA systems," *IEICE Trans. Commun.*, Vol. E91-B, 2008.

[15] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N4030, MPEG-4 Overview - (V.18 -Singapore Version), Mar., 2001.

[16] 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #47, R1-063275, "Discussion on control signaling for persistent scheduling of VoIP," Riga, Latvia, Nov. 6-10, 2006.

[17] 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #47bis, R1-070098, "Persistent Scheduling in E-UTRA," Sorrento, Italy, Jan. 15-19, 2007

[18] 3GPP TSG RAN WG2 #54, R2-062164, "Uplink resource allocation scheme," Tallinn, Estonia, Aug. 28-Sep. 1, 2006.

[19] ITU-T Recommendation G.711 - appendix II: a comfort noise payload definition for ITU-T G.711 use in packet-based multimedia communication systems, ITU-T, Feb. 2000.

[20] ITU-T Recommendation G.723.1 - annex A: silence compression scheme, ITU-T, Nov. 1996.

[21] 3GPP TS 26.092 V5.0.0 - adaptive multi-rate (AMR) speech codec - comfort noise aspects (Release 5), 3GPP, Jun. 2002.

[22] 3GPP TS 26.201 V5.0.0 - AMR Wideband Speech Codec - Frame Structure, 3GPP, Mar. 2001.

[23] ITU-T Recommendation G.729 - Coding of Speech at 8kbit/s using Conjugate-Structure Algebraic-Code-Excited Linear Prediction (CS-ACELP), ITU-T, Jan. 2007.

[24] S.-M. Oh, S. Cho, J.-H. Kwun, and J.-H. Kim, "VoIP scheduling algorithm for AMR speech codec in IEEE 802.16e/m system," *IEEE Commun. Lett.*, Vol. 12, No. 5, May 2008, pp. 374-376.

[25] IEEE 802.16m-08/004r5, Evaluation Methodology Document, Jan., 2009.

[26] M. Handley and V. Jacobson, RFC 2327 - session Description Protocol (SDP), Apr. 1998.

[27] Y. Kikuchi, T. Nomura, S. Fukunaga, Y. Matsui and H. Kimata, RFC 3016 -RTP Payload Format for MPEG-4 Audio/Visual Streams, Nov., 2000.

[28] ISO/IEC 14496-2:2004, Information technology - Coding of audio- visual objects - Part2: Visual., Jun. 2004.

[29] V. Srivastava and M. Motani, "Cross-layer design: A survey and the road ahead," *IEEE Commun. Mag.*, Dec. 2005, pp. 112-119.

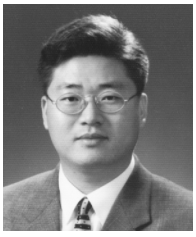
[30] E. Haghani, S. Parekh, D. Calin, E. Kim, and N. Ansari, "A Quality-Driven Cross-Layer Solution for MPEG Video Streaming Over WiMAX networks," *IEEE Trans. Multimedia*, Vol.11, No.6, Oct. 2009, pp. 1140-1147.

김 지 수
(Ji-Su Kim)

2006. 8: 아주대학교 전자공학부 학사
2006. 9 ~ 현재: 아주대학교 전자공학과 석박사통합과정
관심분야: MAC 프로토콜, 핸드오버, 다중경로통신
E-mail: soo@ajou.ac.kr
Tel: +82-31-219-2474
Fax: +82-31-212-9531

오 성 민
(Sung-Min Oh)

2004.2: 아주대학교 전자공학부 학사
2006.2: 아주대학교 전자공학과 석사
2011.8: 아주대학교 전자공학과 박사
2011.9 ~ 현재: 한국전자통신연구원 선임연구원
관심분야: QoS 성능 분석, VoIP, 4G 네트워크
E-mail: smoh@etri.re.kr
Tel: +82-42-860-6244



김 재 현
(Kim Jae-Hyun)

1991. 2: 한양대학교 전자계산학과 학사
1993. 2: 한양대학교 전자계산학과 석사
1996. 8: 한양대학교 전자계산학과 박사
1996. 1 ~ 1996. 2: Visiting Scholar, Communication Research Laboratory. Tokyo, Japan.
1997. 4 ~ 1998. 6: Post-Doctoral Fellow. Dept. of Electrical Engineering. University of California. Los Angeles
1998. 11 ~ 2003. 2: Member of the Technical Staff. Bell Laboratories. Lucent Technologies. Holmdel. NJ
2003. 3 ~ 현재: 아주대학교 정보통신대학 전자공학부 부교수
관심분야: 다계층 QoS 최적화, MAC 프로토콜, L2/L3 핸드오버
E-mail: jkim@ajou.ac.kr
Tel: +82-31-219-2477
Fax: +82-31-212-9531