

# Mobile WiMAX에서 IPTV 및 VoIP 음성서비스 품질을 고려한 수면구간 길이와 지터버퍼 크기의 상관관계 분석

김형석<sup>\*</sup>·김태현<sup>\*\*</sup>·황호영<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

IPTV 및 VoIP 서비스는 높은 이동성과 전송 속도를 보장하는 Mobile WiMAX 네트워크 상에서 제공할 수 있는 유용한 응용 서비스들이다. IPTV의 오디오 전송이나 VoIP의 통화 품질에 영향을 미치는 요소 중 전송 경로의 잦은 변경이나 경로간 전송 시간의 차이에 따라 발생하는 지터에 의한 패킷 손실은 지터 버퍼를 이용하여 완화할 수 있다. 본 논문에서는 Mobile WiMAX 네트워크 상에서 이동 단말의 전력 소모 절감을 위해 사용되는 PSC-II 모드를 사용할 때의 오디오 및 음성 서비스의 품질(Quality of Service)과 지터 버퍼 크기의 상관관계에 대해 연구, 분석한다. 이를 위해 절전 모드 사용으로 인해 추가로 발생하는 지연 시간을 포함한 서비스의 종단간 지연시간 모델과 종단간 지연시간을 기준으로 한 서비스 품질 기준을 제시하였다. 또한, 제시한 모델의 다양한 파라미터에 따른 시뮬레이션 분석 결과를 통해 절전 모드를 사용할 경우에는 지터 버퍼의 크기 증가에 따른 지연으로 인한 패킷 손실이 오히려 오디오 및 VoIP 서비스 품질 측면에서 좋지 않은 영향을 미칠 수 있음을 보였다.

키워드 : VoIP, IPTV, 서비스 품질, Mobile WiMAX, 수면 구간, 지터 버퍼

## Analysis of Correlation between Sleep Interval Length and Jitter Buffer Size for QoS of IPTV and VoIP Audio Service over Mobile WiMax

Hyungsuk Kim<sup>\*</sup> · Taehyoun Kim<sup>\*\*</sup> · Hoyoung Hwang<sup>\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

IPTV and VoIP services are considered as killer applications over Mobile WiMAX network, which provides high mobility and data rate. Among those which affect the quality of voice in those services, the jitter buffer or playout buffer can compensate the poor voice quality caused by the packet drop due to frequent route change or differences among routes between service endpoints. In this paper, we analyze the correlation between the sleep interval length and jitter buffer size in order to guarantee a predefined level of voice quality. For this purpose, we present an end-to-end delay model considering additional delay incurred by the WiMAX PSC-II sleep mode and a VoIP service quality requirement based on the delay constraints. Through extensive simulation experiments, we also show that the increase of jitter buffer size may degrade the voice quality since it can introduce additional packet drop in the jitter buffer under WiMAX power saving mode.

Keywords : VoIP, IPTV, QoS, Mobile WiMAX, Sleep Interval, Jitter Buffer

### 1. 서 론

VoIP (Voice over IP)의 음성 서비스나 IPTV의 오디오 서비스 품질에 영향을 미치는 요소들로는 종단간 지연시간,

지연시간의 지터 (jitter), 패킷 손실 등이 있다. 이 요소들 중에서 잦은 경로 변경이나 경로 상의 여러 라우터들간 서로 다른 대기 시간 때문에 생기는 지터에 따른 손실은 수신단의 지터 버퍼 (jitter buffer)를 이용하여 완화할 수 있다. 지터 버퍼를 이용하면 종단간 전체 지연시간이 증가할 수 있으나 짧은 시간 동안 연속적이거나 대량으로 발생할 수 있는 패킷 손실을 막음으로써 매끄러운 통화 품질을 제공할 수 있다 [1]. 그러나, 지터 버퍼의 크기를 너무 크게 설정할 경우 종단간 전체 지연시간이 임계값보다 커져서 오히려 대량의 패킷 손실을 초래할 수 있으므로 적절한 지터 버

\* 이 논문은 정부의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-331-2007-1-D00391)

† 정 회 원 : ㈜ 지씨티 리서치 주임연구원

\*\* 중신회원 : 서울시립대학교 기계정보공학과 부교수

\*\*\* 중신회원 : 한성대학교 멀티미디어공학과 조교수(교신저자)

논문접수 : 2010년 4월 6일

수정일 : 1차 2010년 4월 27일

심사완료 : 2010년 4월 27일

퍼의 크기 설정이 필요하다. 또한, 오디오 서비스의 품질은 지연시간 외에도 패킷 손실률 (packet error rate)에 민감하며 [2], 패킷 손실은 무선 채널의 급격한 상태 변화에 따른 손실 외에도 단말의 재생 동기화 메커니즘에 따른 지터 버퍼에서의 손실 (packet drop)까지 포함한다. 무선 채널 상에서의 패킷 손실은 사용자 이동 속도, 기상 상태 등의 여러 가지 요인에 의해 예측하기 힘든 형태로 자주 변할 수 있어 사실상 제어가 힘들다. 따라서, 전체 패킷 손실률을 줄이기 위해서는 지터 버퍼에서의 패킷 손실을 줄이는 것이 중요하며 지연시간과 지터 버퍼에서의 패킷 손실간의 연관 관계를 분석해 적절한 VoIP 서비스 품질을 보장하는 방법에 관한 연구가 필요하다.

VoIP 및 IPTV 서비스는 최근 주목 받고 있는 Mobile WiMAX (World Interoperability for Microwave Access) 네트워크에서 가장 주요한 응용 서비스 중 하나로 고려되고 있다. Mobile WiMAX 기술은 이동성을 가진 단말에서 전력 소모를 줄이기 위해 PSC (Power Saving Class)라는 절전 동작 모드를 제공하고 있다 [3]. 기본적으로 Mobile WiMAX에서 제공되는 PSC 모드는 세 가지가 있는데, 이 중 VoIP 및 IPTV 오디오 서비스와 같이 전송지연에 민감하고 주기적인 데이터 전송 특성을 가진 서비스를 위해서는 PSC-II가 사용된다. PSC-II에서는 (그림 1)과 같이 기지국 (BS: Base Station)과 단말 (MS: Mobile Station) 간에 미리 협상된 일정 길이 주기마다 고정된 길이의 수면 구간( $T_S$ )과 청취 구간( $T_L$ )을 반복하도록 하고, 수면 구간 사이에 존재하는 짧은 길이의 청취 구간 동안에만 단말과 기지국이 서로 데이터를 교환할 수 있도록 하여 단말의 전력 소모를 줄이도록 한다.

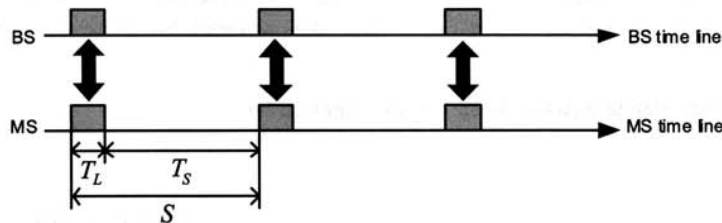
지터 버퍼의 크기와 오디오 서비스 품질 간의 상관관계에 관한 기존 연구들을 통해 볼 때 일반적으로 특정 임계점 이하까지는 지터 버퍼의 크기를 늘릴수록 오디오 서비스의 품질이 향상됨을 알 수 있다 [1, 4]. 그러나, 기존의 연구들은 최근의 무선 네트워크 서비스가 이동성을 가진 단말 상에서 이루어지는 점을 고려하지 않아 Mobile WiMAX의 PSC와

같은 전력 절감 기법의 사용에 따른 추가 지연 시간까지 고려한 분석과 실험은 제시하지 않고 있다. 본 논문에서는 Mobile WiMAX 상에서 제한된 배터리 용량을 가진 이동형 단말에서 전력 절감을 위해 PSC-II 모드를 사용할 때 추가적으로 발생하는 지연 시간과 지터 버퍼와의 상관 관계를 고려한 종단간 오디오 서비스 지연 시간 모델과 지연 시간 모델을 기준으로 오디오 서비스 품질 요구 조건을 설정하였다. 또한, 시뮬레이션을 통해 종단간 지연 시간 모델에서 다양한 파라미터 설정에 따른 오디오 서비스 품질과 지터 버퍼 크기의 상관 관계에 대한 분석을 수행하였다. 실험 분석 결과 기존의 연구와는 달리 주기적인 수면 모드를 가지는 이동형 단말에서는 전력 절감을 위해 긴 수면 구간을 사용할 경우에는 수면 알고리즘에 의한 지연 시간의 영향으로 지터 버퍼 내부에서 버려지는 패킷의 수가 많아져 지터 버퍼의 크기를 늘리는 것이 오디오 서비스의 품질 향상에 도움이 되지 않음을 알 수 있다.

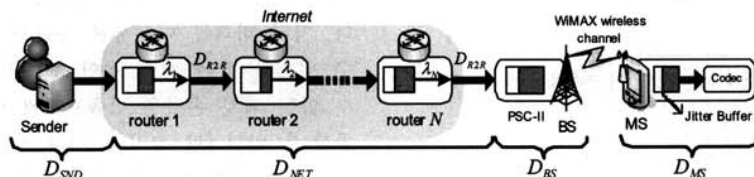
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존 인터넷 망을 사용하는 유선 사용자와 WiMAX 네트워크를 사용하는 이동 사용자 간의 오디오 서비스의 종단간 지연시간 모델을 제시한다. 3장은 오디오 서비스의 품질을 보장하는 기준에 대해 간단하게 설명한다. 4장에서는 2장과 3장에서 제시한 모델을 바탕으로 시뮬레이션을 수행하여 얻은 결과의 분석 내용을 제시하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 종단간 지연 모델

본 논문에서는 분석의 용이성을 위해 오디오 서비스를 사용하는 양 종단의 사용자를 각각 기존 유선 인터넷을 사용하는 송신 단말과 Mobile WiMAX 네트워크에 연결된 수신 단말로 가정하였다. (그림 2)에서와 같이 오디오 서비스의 종단간 지연시간은 송신단에서의 지연시간  $D_{SND}$ , 네트워크 상에서의 전송 지연시간  $D_{NET}$ , 기지국에서의 지연시간  $D_{BS}$ ,



(그림 1) WIMAX의 PSC-II 동작



(그림 2) 오디오 서비스의 종단간지연시간 모델

그리고 수신단에서의 지연시간  $D_{MS}$ 로 구성된다. 이를 정리하면 식 (1)과 같다.

$$D_{E2E} = D_{SND} + D_{NET} + D_{BS} + D_{MS} \quad (1)$$

2.1 송신단에서의 지연시간 ( $D_{SND}$ )

송신단에서 오디오 패킷을 수신단으로 전달하기 위해서는 먼저 송신단의 코덱에서 오디오 데이터를 인코딩(encoding)하고, 전송을 위한 데이터 패킷의 형태로 만들어 주어야 한다. 코덱(codec)에서의 인코딩 지연시간  $D_{enc}$  는 사용하는 코덱의 종류에 따라 달라지고, 오디오 데이터를 전송용 패킷으로 만드는 지연시간  $D_{pack}$  은 일반적으로 20ms로 일정하다고 가정하여 식 (2)와 같이 정리할 수 있다.

$$D_{SND} = D_{enc} + D_{pack} \quad (2)$$

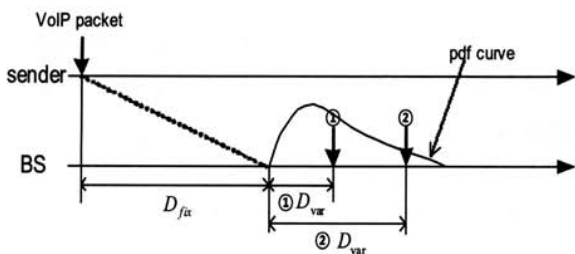
2.2 네트워크 지연시간 ( $D_{NET}$ )

송신단에서 인터넷 상의 첫 번째 라우터로 패킷이 보내진 다음부터 네트워크 지연시간이 시작된다. 송신단과 기지국 사이에는  $N$ 개의 라우터가 존재하고, 각 라우터는 요청 도착률  $\lambda$ 의 지수분포를 따르는 큐잉 지연 시간을 가지며 각 라우터간 전송지연은  $D_{R2R}$ 로 일정하다고 가정한다 [5]. 일반적으로 송신단으로부터 기지국까지의 유선 인터넷 구간에서 발생하는 전송 지연시간  $D_{NET}$  은 식 (3)과 같이 고정 지연시간  $D_{fix}$ 와 가변 지연시간  $D_{var}$ 로 나눌 수 있으며, 전체 지연시간은 hypo-exponential 분포를 따른다는 것이 실험적으로 증명되어 있다[6]. 본 논문에서 제안하는 모델에서 고정 지연시간은 네트워크 상의  $N$ 개의 라우터를 거치면서 각 라우터의 대기 큐에서 발생하는 지연시간이 없다고 가정했을 때의 이상적인 최소 지연시간으로, 가정에 따라 식 (4)와 같다.

$$D_{NET} = D_{fix} + D_{var} \quad (3)$$

$$D_{fix} = ND_{R2R} \quad (4)$$

(그림 3)은 고정 지연시간과 가변 지연시간으로 구분된 송신단과 기지국간 네트워크 전송 지연시간을 나타낸 것이



(그림 3) 오디오 서비스의 유선망 구간 네트워크 지연시간

다. (그림 3)의 확률 밀도 함수 (probability density function: pdf) 곡선은 각 라우터 내에서 패킷 도착률  $\lambda_i (1 \leq i \leq N)$ 에 의해 결정되는 가변 지연시간  $D_{var}$ 의 확률적 분포를 나타낸다.

또한, 본 논문에서 제안하는 모델에서는 VoIP등의 대표적인 음성 트래픽 소스 모델인 ON-OFF 대화 모델 [7]을 사용하여 대화 구간 내에서의 각 음성 패킷에 대해서만 지연 시간을 모델링하고 최적화하도록 한다. ON-OFF 모델을 고려한 각 대화 구간 내의  $n$  번째 패킷에 대한 지연 시간의 누적 확률 밀도 함수 (cumulative distribution function: cdf)는 식 (5)와 같이 모델링할 수 있다. 식 (5)의  $T_{talk}$ 는 ON-OFF 대화 모델에서 대화 구간에 머무는 평균 지속 시간을 나타낸다. 송신단의 코덱은 대화 구간 동안 동일한 주기  $T$ 마다 음성 패킷을 생성하므로  $T_{talk}$ 시간 동안 생성되는 음성 패킷의 개수는  $\lfloor T_{talk} / T \rfloor$ 가 된다.

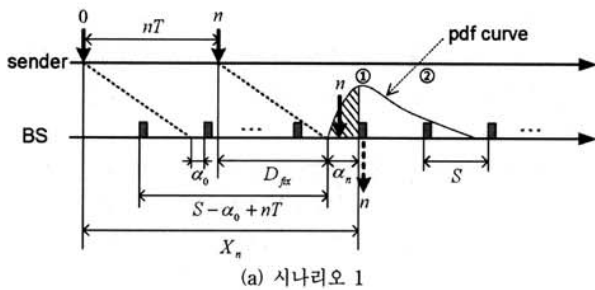
$$cdf_n(t) = \begin{cases} 1 - \sum_{i=1}^N C_{i,N} e^{-\lambda_i(t-nT-D_{fix})}, & t \geq nT + D_{fix} \\ 0, & t < nT + D_{fix} \end{cases} \quad (5)$$

$$C_{i,N} = \prod_{j=1, j \neq i}^N \frac{\lambda_j}{\lambda_j - \lambda_i}, \quad 0 \leq n < \left\lfloor \frac{T_{talk}}{T} \right\rfloor$$

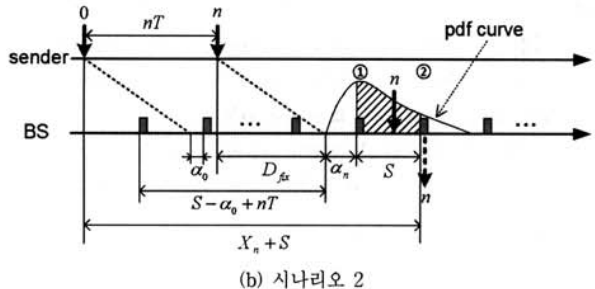
2.3 기지국에서의 지연시간 ( $D_{BS}$ )

기지국에서의 지연시간은 기지국 내부의 큐잉 버퍼에서 발생하는 큐잉 지연시간과 패킷 스케줄링 지연 시간 등 여러 가지 요소로 구성될 수 있지만 본 논문에서는 PSC-II의 수면 구간에 의한 지연시간만을 고려하도록 한다. 기지국에 전달된 음성 패킷은 수면 구간 중에 도착하면 바로 다음 청취 구간에서 단말로 전달되며, 기지국과 단말간 대역폭은 수면 구간 동안 전달된 모든 음성 패킷을 담을 정도로 크다고 가정한다.

(그림 4)는 각 음성 패킷이 송신단에서 단말에 전달될 때까지의 지연시간을 나타낸다. 대화 구간 내의  $n$  번째 음성 패킷이 (그림 4)-(a)의 시나리오 1과 같이 최소 지연시간 ( $D_{fix}$ ) 이후 ①번 청취 구간 전에 도착하면 ①번 청취 구간에서 바로 단말에 전달된다. 만약  $n$  번째 패킷이 ①번과 ②번 청취 구간 사이에 도착하면 (그림 4)-(b)의 시나리오 2와 같이 ②번 청취 구간에서 단말에 서비스된다. 대화 구간 내의 음성 패킷이 최소 지연시간으로 기지국에 도착했다고 가정했을 때,  $\alpha_n (0 \leq n < \lfloor T_{talk} / T \rfloor)$ 는 음성 패킷 도착 시점과 가장 가까운 청취 구간까지의 시간 간격을 나타낸다. 대화 구간의 첫 번째 패킷이 도착한 수면 구간을 0번째 수면 구간이라고 할 때,  $n$  번째 패킷이 도착하는 수면 구간은  $\lfloor (S - \alpha_n + nT) / S \rfloor$  번째 수면 구간임을 알 수 있다. 송신단에서 대화 구간이 시작되는 시점부터  $n$  번째 음성 패킷이 가장 빨리 단말에 전해지는 청취 구간까지의 시간  $X_n$ 은 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.



(a) 시나리오 1



(b) 시나리오 2

(그림 4) 수면구간을 고려한 송신단에서 단말까지의 패킷 전송 시나리오

$$X_n = D_{fx} + \alpha_0 + S \cdot \left\lfloor \frac{S - \alpha_0 + nT}{S} \right\rfloor \quad (6)$$

따라서, 기지국의 PSC-II에 의한 지연시간까지 포함한 지연시간  $D_{NET-BS}$ 는 식 (7)과 같이 유선 네트워크 상에서의 지연시간  $D_{NET}$ , 기지국에서의 지연시간  $D_{BS}$ 의 합으로 네트워크와 기지국에서의 가변 지연시간까지 포함하여 표현할 수 있다. (그림 4)-(a)의 시나리오 1의 경우 ①번 청취 구간에서 음성 패킷이 단말에 전해지면 이때의  $D_{NET-BS}$ 는  $(X_n - nT)$ 가 되고, 이에 대한 확률은  $cdf_n(X_n)$ 이 된다. 시나리오2는 ②번 청취 구간에서 단말에 서비스되므로  $D_{NET-BS}$ 는 수면 구간을 한번 더 거쳐서  $(X_n - nT + S)$ 가 되며 이러한 경우가 발생할 확률은  $cdf_n(X_n + S) - cdf_n(X_n)$ 이다. 마찬가지로 이후의 모든 청취 구간에서도 식 (8)과 같이 송신단에서부터 기지국까지의 패킷 지연시간과 이에 대한 확률을 구할 수 있다.

$$D_{NET-BS} = D_{NET} + D_{BS} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \Pr\{D_{NET-BS} = X_n - nT\} &= cdf_n(X_n) \\ \Pr\{D_{NET-BS} = X_n - nT + S\} &= cdf_n(X_n + S) - cdf_n(X_n) \\ \Pr\{D_{NET-BS} = X_n - nT + 2S\} &= cdf_n(X_n + 2S) - cdf_n(X_n + S) \\ \Pr\{D_{NET-BS} = X_n - nT + 3S\} &= cdf_n(X_n + 3S) - cdf_n(X_n + 2S) \\ &\dots \end{aligned} \quad (8)$$

2.4 단말에서의 지연시간 ( $D_{MS}$ )

단말에 음성 패킷이 도착하면 먼저 패킷 형태의 데이터를

코덱에서 사용할 수 있는 데이터로 바꿔주는 지연시간 (de-packetizing delay)이 필요하며 이 값은 송신단의  $D_{pack}$ 와 동일하다. 또한, 부드러운 음성 재생과 패킷 손실을 최소화하기 위한 지터 버퍼 지연시간  $D_{jit}$ 와 코덱에서의 디코딩에 소요되는 지연시간  $D_{dec}$ 이 추가로 필요하다. 이들 지연시간 요소들을 식으로 나타내면 식 (9)와 같다.

$$D_{MS} = D_{pack} + D_{jit} + D_{dec} \quad (9)$$

3. 오디오 서비스의 품질 만족 기준

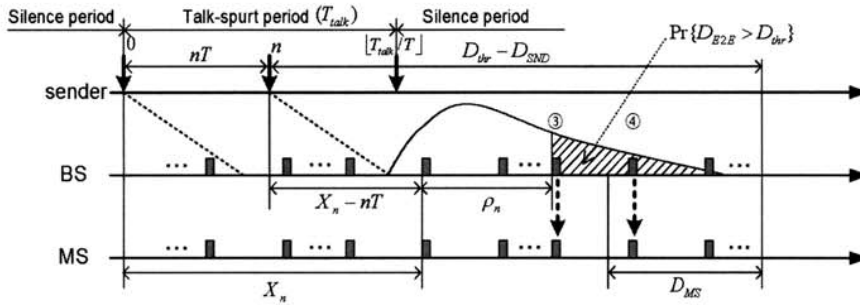
일반적으로 VoIP 와 같은 음성 서비스의 품질은 종단간 지연시간과 전송 채널, 코덱에 따른 왜곡에 의해 좌우된다 [8]. 특히, 음성 서비스는 정해진 시간 내에 서비스가 이루어져야 하는 실시간 서비스의 특성을 가지며 이에 따라 데이터의 종단간 지연시간이 미리 설정된 품질 기준에 따른 지연 시간 상한값보다 작을 때 품질 기준을 만족시킨다고 할 수 있다. 본 논문에서는 다중 VoIP 사용자 환경에서 각 사용자가 서로 다른 서비스 품질 기준을 가질 것을 가정하여, [9]에서와 같이 음성 패킷의 종단간 지연시간  $D_{E2E}$ 이 특정 상한값  $D_{thr}$ 보다 커질 확률이 특정 사용자 서비스 품질 기준의 하나로 정의한 충분히 작은 상수  $\delta$  보다 작거나 같을 때 오디오 서비스 품질이 만족된다고 설정하였다.

$$\Pr\{D_{E2E} > D_{thr}\} \leq \delta \quad (10)$$

(그림 5)에서 ③번 청취 구간 전에 기지국에 도착한 패킷들은  $D_{thr}$ 보다 작은  $D_{E2E}$ 을 가지므로 패킷이 손실되지 않는다. 반면 ③번과 ④번 청취 구간 사이에 기지국에 도착한 패킷은 ④번 청취 구간에서 단말에 전달되므로 패킷이 손실되고, 그 이후에 도착한 패킷들도 마찬가지로 손실된다. 즉, (그림 5)의 빗금 부분이 지터 버퍼 사용에 따른 패킷 손실을 나타낸다.  $n$ 번째 음성 패킷이 손실될 확률을 식으로 나타내면 식 (11)과 같다.  $\rho_n$ 은  $X_n$  시간부터 단말에 전달되는 청취 구간까지의 시간이다. 따라서,  $(X_n - nT + \rho_n)$  시간이 종단간 지연시간의 상한값  $D_{thr}$ 에서 송신단 지연시간  $D_{SND}$ 와 단말에서의 지연시간  $D_{MS}$ 을 뺀 시간보다 작을 때는  $n$ 번째 음성 패킷이 오디오 서비스 품질을 만족하지만 클 경우에는 서비스 품질을 보장하지 못함을 알 수 있다.

본 논문에서는 대화 구간 동안의 음성 패킷들의 통화 품질을 측정하므로 식 (12)와 같이  $\lfloor T_{talk}/T \rfloor$ 개의 음성 패킷들에 대한 평균 패킷 손실률을 구하도록 하였다.

$$\begin{aligned} \Pr_n\{D_{E2E} > D_{thr}\} &= 1 - cdf_n(X_n + \rho_n) \\ \rho_n &= S \cdot \left\lfloor \frac{(D_{thr} - D_{SND}) - (X_n - nT) - (T_L + D_{MS})}{S} \right\rfloor \end{aligned} \quad (11)$$



(그림 5) WIMAX의 PSC-II 를 사용할 때 VoIP 서비스 품질 기준

$$\Pr\{D_{E2E} > D_{thr}\} = \frac{1}{[T_{talk}/T]} \sum_{n=0}^{[T_{talk}/T]} \{1 - cdf_n(X_n + \rho_n)\} \quad (12)$$

4. 시뮬레이션 분석

본 논문에서 제안한 모델에 따라 Mobile WiMAX의 PSC-II 모드 하에서 오디오 서비스 품질 보장을 위한 지터 버퍼의 크기를 구하기 위해 사용된 시뮬레이션 실험 환경은 <표 1>과 같다.

식 (10)에서 나타낸 오디오 서비스 품질 요구 사항에서  $D_{thr}$ 와  $\delta$  값은 각각ITU-T G.114 에서 추천하는 285ms와 0.03을 사용하였다 [10]. PSC-II 모드에서 청취 구간의 길이  $T_L$  은 WiMAX 물리계층의 1 프레임 길이인 5 ms로 고정 하였으며, packetizing 지연과 de-packetizing 지연은 20 ms로 동일하다고 가정한다 [3]. 라우터간의 전파 지연  $D_{R2R}$ 은 10ms로 가정하였고, ON-OFF 대화 모델의 대화 구간의 평균 지속 시간  $T_{talk}$ 은 352 ms로 가정하였다 [7]. 오디오 패킷의 생성 주기  $T$ 와 인코딩 지연시간  $D_{enc}$ , 디코딩 지연시간  $D_{dec}$  은 코덱에 따라 다르므로 코덱별 비교를 위해<표 2>를 사용하였다[11].

시뮬레이션 실험에서는 먼저 2장에서 제시한 모델의  $\alpha_0$  값이 지터 버퍼에 대해 미치는 영향을 코덱 종류별로 알아보았다. 코덱은 ITU-T의 G.711, G.723.1, G.729A 코덱과 ETSI 의 GSM 코덱을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. G.711 코덱은 PLC (Packet Loss Concealment) 알고리즘을 사용하고, G.723.1과 G.729A 코덱은 VAD (Voice Activity

<표 1> 시뮬레이션 환경

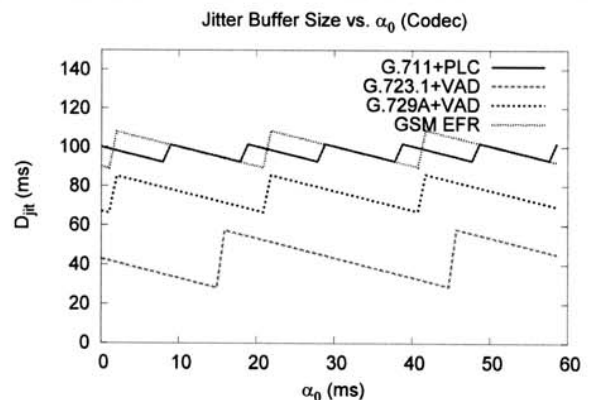
Parameter	Value
$D_{thr}$	285 ms
$\delta$	0.03
$T_L$	5 ms (1 frame)
$D_{pack}$	20 ms
$D_{R2R}$	10 ms
$T_{talk}$	352 ms

<표 2> 코덱별 파라미터 비교

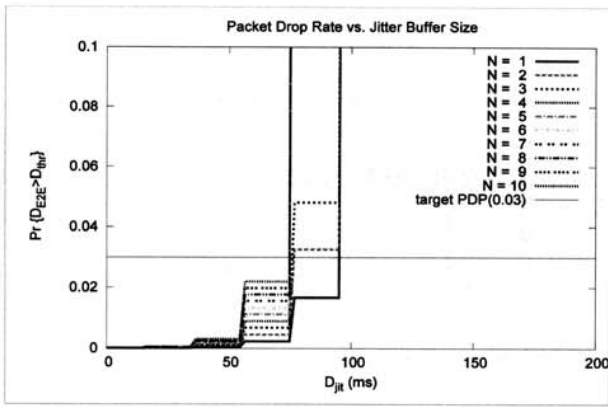
Codec	$T$ (ms)	$D_{enc}$ (ms)	$D_{dec}$ (ms)
G.729A+VAD	20	15	7.5
G.723.1+VAD	30	37.5	18.75
G.711+PLC	10	0	0
GSM EFR	20	0	0

Detection) 알고리즘을 사용하며 GSM 코덱은 EFR (Enhanced Full Rate) 알고리즘을 사용하도록 설정하였다. 라우터 개수는 5개, 패킷 도착률  $\lambda$ 은 0.1, 수면 구간 길이  $S$ 는 60 ms로 고정하였다. (그림 6)의 결과를 보면, 패킷 생성 주기가 큰 G.723.1 코덱은 지터 버퍼 크기 요구량의 변화 폭이 크고, 인코딩과 디코딩 지연시간이 다른 코덱에 비해 커져 전체적으로 오디오 서비스 품질을 만족하기 위한 지터 버퍼의 크기가 작음을 알 수 있다. 즉, G.711은 지터 버퍼의 크기를 92 ms, GSM은 89 ms, G.729A는 66 ms, G.723.1은 28 ms로 설정하였을 때 최소한의 오디오 품질을 보장함을 알 수 있다.

(그림 7)은 네트워크 상의 라우터 개수가 지터 버퍼 크기에 미치는 영향을 알아본 결과이다. 패킷 도착률  $\lambda$ 은 0.1, 수면 구간 길이는 60 ms로 설정하였다. 그리고 이때의  $\alpha_0$  값은 최악 경우를 가정하여, (그림 6)의 결과에서 최소 지터



(그림 6) 코덱별 지터 버퍼 크기에 미치는  $\alpha_0$  값의 영향

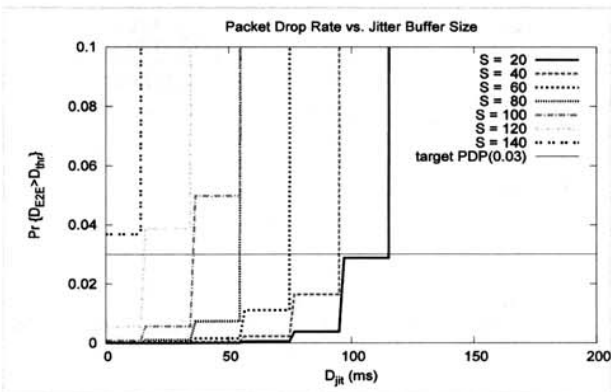


(그림 7) 지터 버퍼에 대한 라우터 개수의 영향

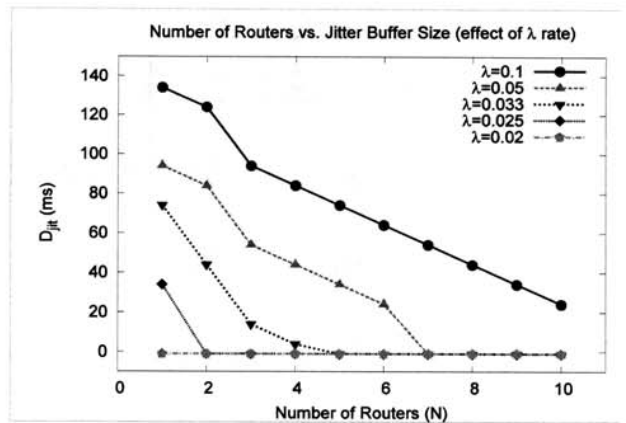
버퍼 크기를 가지는  $\alpha_0$  값 32 ms를 사용하였다. 분석 결과, 오디오 품질을 보장하기 위해서는 패킷 손실률이 0.03 이하가 되어야 하므로 라우터 개수가 2개 이상일 때는 지터 버퍼 크기를 최대 75 ms로 설정할 수 있지만 2개 미만일 경우엔 최대 95 ms까지 늘릴 수 있음을 알 수 있다. 라우터의 개수가 늘어나면 라우터간의 전파 지연시간과 라우터 내부의 큐잉 지연시간이 증가하여 전체적인 종단간 지연시간도 증가한다. 따라서 종단간 라우터 개수가 증가할수록 단말의 지터 버퍼 크기를 줄여야만 오디오 서비스 품질 기준을 만족시킬 수 있다는 것을 알 수 있다.

(그림 8)은 수면 구간 길이에 대한 지터 버퍼 크기를 나타낸 그래프이다. 이때 라우터의 개수는 5개, 패킷 도착률  $\lambda$ 는 0.1,  $\alpha_0$  값은 (그림 7)의 실험에서와 동일한 값을 사용하였다. 또한, (그림 7)과 (그림 8)은 코덱 G.729A를 사용하였으며 그래프가 계단 형태를 띠는 것은 기지국에서의 PSC-II 알고리즘 때문이다. 분석 결과 수면 구간 길이가 길어질수록 전체적인 지터 버퍼 요구량은 줄어들며 수면 구간 길이가 140 ms이상일 때는 오히려 지터 버퍼를 사용하지 않는 것이 서비스의 품질을 더 높인다는 것을 알 수 있다.

(그림 9)에서 라우터의 개수와 패킷 도착률  $\lambda$ 가 지터 버퍼 크기에 미치는 영향을 알 수 있다. 시뮬레이션의 파라미터는 수면 구간 길이를 60 ms로 설정하고,  $\alpha_0$  값을 32ms,



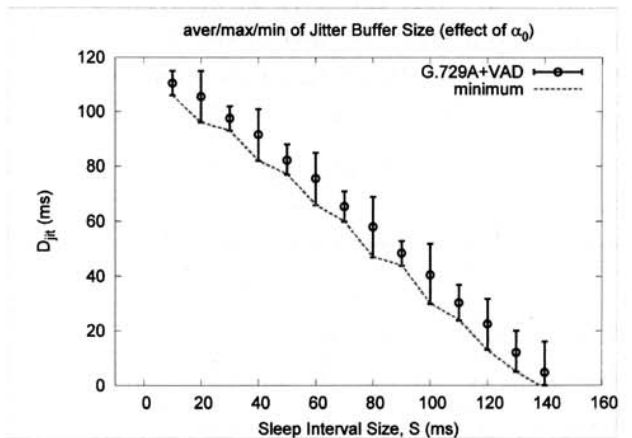
(그림 8) 수면 구간 길이에 따른 지터 버퍼 크기



(그림 9) 라우터 개수와 패킷 도착률  $\lambda$ 가 지터 버퍼 크기에 미치는 영향

코덱은 G.729를 사용하였다. (그림 9)의 그래프를 보면 패킷 도착률  $\lambda$ 가 0.02일 때는 지터 버퍼를 사용하지 않는 것이 유리하며, 0.025에서 0.1까지는 라우터 개수가 많아질수록 지터 버퍼 크기를 줄여야 함을 알 수 있다. 라우터에서의 큐잉 지연시간이 크고 변화량인 지터가 클수록 큰 지터 버퍼를 사용하는 것이 오디오 서비스 품질 향상에 도움이 되지 않음을 알 수 있다.

(그림 10)은 10 ms ~ 140 ms 사이의 각 수면 구간 길이에 대해  $\alpha_0$  값에 따른 지터 버퍼 크기의 변화를 나타낸 것이다. 최악 경우를 알아내기 위해  $\alpha_0$  값을 변화시키면서 오디오 서비스 품질을 만족시키는 지터 버퍼 크기의 평균값과 최소값, 최대값을 각각 표시하였다. 그래프를 통해서 수면 구간 길이가 길어질수록 오디오 서비스 품질을 보장하기 위해서는 지터 버퍼 크기를 줄여야 함을 알 수 있다. 그래프의 최소값들을 연결한 선은 각 수면 구간의 길이 값에서 최악 경우에서도 오디오 서비스 품질을 보장할 수 있는 지터 버퍼의 크기를 나타낸다. 해당 지터 버퍼 크기로 설정했을 때 (그림 10)에서 수면 구간 길이가 0 ms인 경우는 WiMAX에



(그림 10) 수면 구간 길이별  $\alpha_0$  값에 따른 지터 버퍼의 최대, 최소 크기

서 PSC- II 수면 모드를 사용하지 않는 것과 같으며, 이 때는 지터 버퍼 크기를 늘리는 것이 전체 통화 품질을 향상시킬 수 있다는 것을 알 수 있다. 이는 WiMAX의 PSC-II 수면 모드 하에서는 기지국에서 일정 시간 동안 음성 패킷들을 모아서 청취 구간에 단말에 한번에 전달해 주기 때문에 지터 버퍼와 비슷한 역할도 하기 때문이다.

### 5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 WiMAX 상에서 PSC-II의 전력 감소 알고리즘을 사용하고 오디오 서비스를 사용하는 경우, 최소 통화 품질을 보장하는 최적의 지터 버퍼 크기에 대해서 알아보았다. 기존 모델에 WiMAX의 PSC-II와 지터 버퍼의 특징을 반영하는 새로운 종단간 지연 모델을 제안하고, 이 모델을 토대로 여러 네트워크 파라미터가 지터 버퍼에 미치는 영향을 알아보았다. 이를 위해 수면 구간 길이와 코덱 종류에 따른 최적의 지터 버퍼 크기를 구하여 각 상황에 맞게 버퍼 크기를 조절함으로써 오디오 서비스의 QoS를 보장하는 방법을 제시하였다. 시뮬레이션 분석 결과 절전모드를 사용할 경우에는 지터 버퍼의 크기 증가에 따른 지연으로 인한 패킷 손실이 오히려 음성서비스의 품질면에서 좋지 않은 영향을 미칠 수 있음을 보였으며, 수면 구간의 길이가 140ms 이상일 때는 지터 버퍼를 사용하지 않는 것이 음성서비스의 품질을 더 높인다는 결과를 도출하였다.

향후 과제로는 지터 버퍼 언더플로우(Underflow)에 의한 패킷 손실까지 고려하여 지터 버퍼 크기를 최적화시키는 연구와 WiMAX 상에서 PSC-II를 사용할 때 적합한 적응적 지터 버퍼 크기 조절 알고리즘 개발이 있다.

### 참 고 문 헌

[1] M. Narbutt and L. Murphy, "VoIP Playout Buffer Adjustment using Adaptive Estimation of Network Delays," Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Teletraffic Congress (ITC-18), pp.1171-1180, 2003.

[2] S. Sengupta, M. Chatterjee, S. Ganguly, and R. Izmailov, "Improving R-Score of VoIP streams over WiMAX," Proceedings of IEEE ICC 2006, Vol.2, pp.866-871, 2006.

[3] IEEE Std 802.16e-2005, "Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems," Feb., 2006.

[4] J. H. Nam, W. J. Hwang, J. G. Kim, S. H. Lee, J. W. Jang, K. H. Jin, and J. T. Lee, "Adaptive Playout Algorithm Using Packet Expansion for the VoIP," Lecture notes in Computer Science, Vol. 2662, pp.563-572, Feb., 2003.

[5] J. R. Lee, "Energy Efficient Sleep Interval Decision Method Considering Delay Constraint for VoIP Traffic," Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4003, pp.142-151, Sep., 2006.

[6] T. Yensen, J. P. Lariviere, I. Lambadaris, and R. A. Goubran, "HMM Delay Prediction Technique for VoIP," IEEE Transactions on Multimedia, Vol.5, Issue 3, pp.444-457, Sep., 2003.

[7] W. Jiang and H. Schulzrinne, "Analysis of On-Off Patterns in VoIP and Their Effect on Voice Traffic Aggregation," Proceedings of 9<sup>th</sup> International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN 2000), pp.82-87, 2000.

[8] J. Janssen, D. D. Vleeschauwer, M. Büchli, and G. H. Petit, "Assessing Voice Quality in Packet-Based Telephony," IEEE Internet Computing, Vol.6, No.3, pp.48-57, May/June, 2002.

[9] M. Andrews, K. Kumaran, K. Ramanan, A. Stolyar, P. Whiting, and R. Vijayakumar, "Providing Quality of Service over a Shared Wireless Link," IEEE Communications Magazine, Vol.39, No.2, pp.150-154, Feb., 2001.

[10] ITU-T Recommendation G.114: "Oneway transmission time," May, 2003.

[11] M. Hanssan and A. Nayandoro, "Internet Telephony: Services, Technical Challenges, and Products," IEEE Communications Magazine, Vol.38, No.4, pp.96-103, April, 2000.

[12] Y. Jung, J. W. Atwood, and H. J. Zepernick, "Improving VoIP quality using silence description packets in the jitter buffer," IEICE Transactions on Communications, Vol.E91-B, No.11, pp.3719-3721, Nov., 2008.

[13] W. J. Stewart, Probability, Markov Chains, Queues, and Simulation: The Mathematical Basis of Performance Modeling, Princeton University Press, 2009.



김형석

e-mail : hubertkim@gctsemi.com

2007년 서울시립대학교 기계정보공학과(학사)

2010년 서울시립대학교 기계정보공학과(공학석사)

2010년~현 재 ㈜지씨티 리써치 주임연구원  
관심분야: 임베디드시스템, 이동통신



김태현

e-mail : thkim@uos.ac.kr

1994년 서울대학교 컴퓨터공학과(학사)

1996년 서울대학교 컴퓨터공학과(공학석사)

2001년 서울대학교 전기컴퓨터공학부(공학박사)

2001년~2005년 ㈜지씨티 리써치 책임연구원  
2005년~현 재 서울시립대학교 기계정보공학과 부교수  
관심분야: 임베디드시스템, 이동통신



## 황 호 영

e-mail : [hyhwang@hansung.ac.kr](mailto:hyhwang@hansung.ac.kr)

1993년 서울대학교 컴퓨터공학과(학사)

1995년 서울대학교 컴퓨터공학과(공학석사)

2003년 서울대학교 전기컴퓨터공학부(공학박사)

2003년~2007년 안양대학교 디지털미디어공학과 조교수

2007년~현 재 한성대학교 멀티미디어공학과 조교수

관심분야: 멀티미디어, 정보통신, 이동통신