

# IEEE 802.16e 시스템에서 VoIP 트래픽을 고려한 혼합 전원 절약 모드

이 정 룬<sup>\*</sup>

## 요 약

본 논문에서는 음성 억제 기술이 지원되는 VoIP 트래픽에 비 실시간 트래픽을 위한 전원 절약 모드와 실시간 트래픽을 위한 전원 절약 모드를 동시에 적용하는 혼합 전원 절약 모드를 제안한다. 제안한 방법은 사용자가 통화를 하고 있는 구간에서는 제 2종 전원 절약 모드를 적용하고 상호 침묵 구간에서는 BTE (binary truncated exponent) 알고리즘 혹은 PSID (probabilistic sleep interval decision) 알고리즘을 적용하여 휴지 구간 (sleep interval)의 길이와 위치를 결정한다. 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 평균 버퍼링 지연 시간, 단말의 에너지 소비 효율, VoIP 패킷의 손실률 등을 고려한다. 시뮬레이션 결과로부터 혼합 전원 절약 모드는 VoIP 서비스의 최대 허용 패킷 손실률을 만족시키면서 단말의 에너지 소비를 제 2종 전원 절약 모드보다 25%까지 낮출 수 있다는 것을 보여준다.

## Hybrid Power-Saving Mode Considering VoIP Traffic in IEEE 802.16e Systems

Jung-Ryun Lee<sup>\*</sup>

## ABSTRACT

In this paper, we propose the method to use power-saving mode (PSM) applicable to non real-time traffic and PSM applicable to real-time traffic simultaneously, for VoIP traffic with silence suppression. The proposed method uses PSC II during talk-spurt interval of parties A and/or B and uses PSC I or probabilistic sleep interval decision (PSID) method during mutual silence interval, respectively. To evaluate the performance of hybrid PSM (HPSM) based on PSC II or PSID method, we present average buffering delay, energy consumption of mobile station and VoIP packet drop probability with simulation runs. Results shows that proposed HPSM decreases energy consumption of mobile station up to 25 % while satisfying the packet drop probability within QoS requirement in case of end-to-end VoIP connection.

**Key words:** VoIP(VoIP), IEEE 802.16e(IEEE 802.16e), Power Conservation(전원 절약), Hybrid Power-Saving Mode(혼합 전원 절약 모드)

## 1. 서 론

이동 통신 네트워크에서 전원 절약 모드는 단말의 이동성을 지원하고 제한된 통신 시간을 연장하기 위한 매우 중요한 요소 기술 중의 하나이다. 일반적인

무선 네트워크에서 단말의 전원 절약 모드는 휴지 모드에 있는 단말이 기지국과 미리 정해진 시간에 활성화되어 자신에게 전달되어야 하는 패킷의 유무를 확인하고 해당 패킷이 존재하지 않으면 다시 휴지 구간으로 진입함으로써 단말의 에너지 소모를 줄이

※ 교신저자(Corresponding Author) : 이정륜, 주소 : 인천광역시 남구 도화동 177 공학관 725호(402-749), 전화 : 032)770-8429, FAX : 032)764-2371, E-mail : jungryunlee@incheon.ac.kr

접수일 : 2006년 10월 19일, 완료일 : 2007년 1월 23일

<sup>\*</sup> 정회원, 인천대학교 전자공학과

※이 논문은 인천대학교 2006년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음.

는 절차를 따른다. 단말의 휴지 구간 동안에 기지국에 도착한 패킷은 단말이 활성 구간에 진입할 때까지 버퍼링되어야 하므로, 전원 절약 모드는 필연적으로 기지국에서의 패킷 버퍼링 지연 시간을 수반하게 된다. 따라서 전원 절약 모드는 지연 시간에 민감하지 않는 web-browsing 과 같은 비 실시간 트래픽에 한해 적용되어 왔다. 하지만 최근에 정의된 IEEE 802.16e 시스템에서는 이러한 전원 절약 모드를 실시간 트래픽에 적용하는 방안을 제시하고 있다 [1]. 제 2종 전원 절약 모드 (Power Saving Class II)가 바로 그것으로, 비 실시간 트래픽에 적용되는 제 1종 전원 절약 모드와는 몇 가지 면에서 구분된다. 첫째로 제 1종 전원 절약 모드에서는 휴지 구간의 길이가 최대치에 도달하기 전까지는 두 배씩 증가하는 BTE (Binary Truncated Exponent) 알고리즘을 채택하고 있는 반면에 제 2종 전원 절약 모드에서는 보통 주기적으로 생성되는 실시간 트래픽의 특성을 고려하여 '고정된' 길이의 휴지 구간을 설정한다. 두 번째로 제 1종 전원 절약 모드에서는 휴지 구간 사이에 존재하는 활성 구간 (wake-up interval) 동안에 기지국으로부터 해당 단말로 전송되어야 하는 패킷의 유무를 알려주는 트래픽 지시 메시지 (traffic indication message)를 기지국과 단말 간에 상호 교환하여야 하는 반면, 제 2종 전원 절약 모드는 이를 생략하여 메시지 교환으로 인해 발생하는 부가적인 시그널링 부하를 줄인다. 이러한 특성을 고려할 때, 실시간 트래픽의 일종인 VoIP 트래픽에 전원 절약 모드를 적용 시에는 VoIP 트래픽의 생성 주기에 맞추어 고정된 휴지 구간을 정할 수 있는 제 2종 전원 절약 모드를 사용하는 것이 바람직하다.

한편, VoIP 트래픽은 패킷을 생성하는 코덱의 종류에 따라서 생성 주기, 압축 유무, 데이터 전송 속도 등에서 다른 특성을 보인다. 이 중에서 G.723.1, G.729, GSM AMR (Adaptive Multi Rate) 등과 같은 코덱은 시스템의 대역폭을 효율적으로 사용하기 위하여 사용자가 음성 신호를 보내고 있지 않는 침묵 구간에서는 VoIP 패킷을 전송하지 않는 묵음 억제 (silence suppression) 기술을 채택하고 있다. 이러한 묵음 억제 기술을 채택하고 있는 코덱을 사용하는 VoIP 트래픽에 전원 절약 모드를 적용한다고 하자. 이 경우, VoIP 트래픽은 주기적으로 생성되는 실시간 트래픽이므로 제 2종 전원 절약 모드를 사용하는

것이 바람직하다. 그러나 묵음 억제 기술이 이루어지고 있는 구간, 다시 말해서 두 사용자가 침묵하고 있는 구간에서는 VoIP 트래픽이 생성되지 않으므로 이 경우에는 휴지 구간의 길이가 고정되어 있는 제 2종 전원 절약 모드를 사용하는 것보다 상호 침묵 구간의 길이에 따라서 탄력적으로 휴지 구간의 길이를 변경할 수 있는 전원 절약 모드를 사용하는 것이 단말의 에너지 보존 측면에서 더 좋은 효과를 기대할 수 있을 것이다. 따라서 본 논문에서는 묵음 억제 기술이 채택된 VoIP 트래픽에서 사용할 수 있는 두가지 방식의 혼합 전원 절약 모드를 제안한다. 제안하는 혼합 전원 절약 모드는 두 사용자 모두 혹은 한 사용자가 음성 신호를 보내고 있는 구간에는 제 2종 전원 절약 모드를 적용하고 두 사용자 모두 음성 신호를 보내고 있지 않는 상호 침묵 구간에는 제 1종 전원 절약 모드 혹은 확률 기반의 휴지 구간 결정 방법을 채택한다. 앞서 기술한 바와 같이 제 1종 전원 절약 모드는 BTE 알고리즘을 기반으로 휴지 구간의 길이를 결정하는 반면 확률 기반의 휴지 구간 결정 방법은 상호 침묵 구간의 길이에 대한 확률 분포를 고려하여 휴지 구간의 길이를 결정한다. 아래 그림 1은 본 논문에서 제안하는 두 가지 혼합 전원 절약 모드에 대한 대략적인 개념을 보여주고 있다.

효율적인 전원 절약 모드에 관한 연구는 지금까지 광범위하게 수행되어 왔다. 전원 절약 모드의 동작은 휴지 구간을 반복함으로써 단말의 전원 소비량을 줄이는 것이므로, 그 알고리즘의 핵심은 휴지 구간의 길이와 그 위치를 선정하는 것이라 할 수 있다. 근래까지의 전원 절약 모드 관련 연구는 지연시간과 같은 서비스 관련 지표 (Quality of Service, QoS)를 크게 희생시키지 않으면서 단말의 에너지 소비량을 최대한 줄이는 것에 초점이 맞추어져 왔다[2-4]. [3]에서 저자는 IEEE 802.11 무선 랜 시스템에서 사용 가능한 지능형 전원 절약 모드 (smart power-saving mode)를 제안하였다. 지능형 전원 절약 모드는 각 사용자 별로 허용 가능한 지연 시간을 만족시키면서 최소의 전원 소비를 보장하는 알고리즘을 채택하였다. 이 알고리즘은 각 사용자의 지연 시간 한계를 표현하기 위해 벌칙 함수 (penalty function)를 채택하여 주어진 최대 허용 지연 시간 내에서 최소 에너지 소비량을 결정한다.

무선 환경에서 VoIP 서비스를 효율적으로 지원하

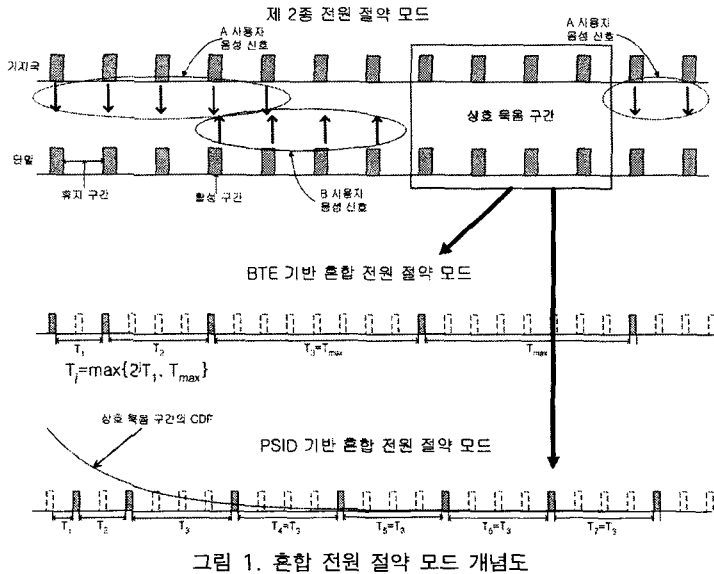


그림 1. 혼합 전원 절약 모드 개념도

고자 하는 연구 역시 여러 가지 방식으로 수행되어 왔다. [5]에서는 무선 랜 환경에서 AP (Access Point)가 단말들에게 VoIP 패킷을 송신 시, 각 단말에 VoIP 패킷을 전송하지 않고 이를 하나의 큰 패킷으로 묶어서 multicast 함으로써 좀 더 효율적으로 VoIP 패킷을 전송할 수 있는 방안을 제시하였다. [6]에서는 무선 랜 환경에서 단말이 상향 VoIP 패킷을 전송한 후, AP에 저장되어 있는 하향 VoIP 패킷을 한꺼번에 수신함으로써 휴지 구간의 길이를 최대화 시키려는 UPSD (Unscheduled Power Save Delivery)가 제시되었다. [7]에서 저자는 VoIP 사용자마다 가상 ID를 부여함으로써 VoIP 트래픽의 우선 순위를 보장하고, 충돌이 없는 매체 접근 방법을 제시하였다. [8]에서는 일반 셀룰러 망과 무선 랜 망과의 연동하는 경우, 무선 랜에서 VoIP 서비스를 수행하기 위한 페이징 메시지를 일반 셀룰러 망으로부터 수신함으로써 휴지 모드에서의 에너지 소비를 감소시키는 알고리즘에 대해서 설명하고 있다.

## 2. Brady 모델

이 장에서는 [9]에서 소개된 Brady 모델을 간략히 소개한다. Brady는 대화를 하고 있는 두 사용자의 음성 신호 발생 패턴을 분석하여 대화 중 각 사용자의 침묵 구간과 대화 구간을 4단계로 구분하고, 이를 6단계 마르코프 체인으로 분석하였다. 그림 2는 A,

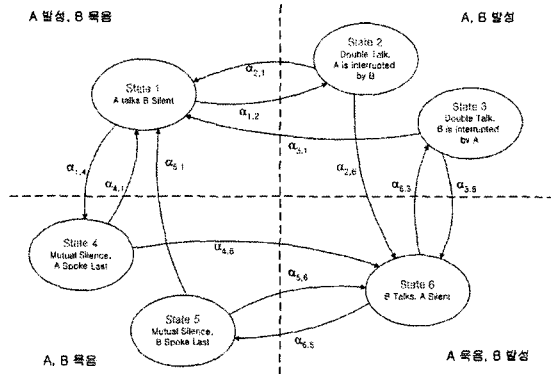


그림 2. 6 상태를 가진 마르코프 체인에 의거한 Brady 모델

B 두 사용자의 침묵, 대화 여부에 따라서 4사분면으로 구분되어진다. 각각의 사분면은 대화를 하고 있는 A, B 사용자의 각각 다른 상태를 나타낸다. 2사분면 (A 사용자가 말하고 있고 B 사용자가 침묵인 경우)과 4사분면 (B 사용자가 말하고 있고 A 사용자가 침묵인 경우)은 하나의 상태(state)를 포함하고 있는 반면, 1사분면 (A, B 사용자들이 모두 침묵인 경우)과 2사분면 (A, B 사용자들이 모두 말하고 있는 경우)은 어느 사용자가 마지막으로 말을 했는지를 구분하기 위해서 두 개의 상태를 포함하고 있다. 변수  $\alpha_{i,j}$ 는 마르코프 체인의 상태  $i$ 에서 상태  $j$ 로 천이되는 천이를 나타낸다. 예를 들어서  $\alpha_{1,4}$ 는 A 사용자가 말하고 있고 B 사용자는 침묵하는 상태에서 A 사용자가 말을 마치고 침묵 상태로의 천이를 의미한다.

표 1. Brady 모델의 상태 전이 변수

$\alpha_{1,4}, \alpha_{6,5}$	$\alpha_{3,1}, \alpha_{2,6}$	$\alpha_{2,1}, \alpha_{3,6}$	$\alpha_{4,1}, \alpha_{5,6}$	$\alpha_{5,1}, \alpha_{4,6}$	$\alpha_{1,2}, \alpha_{6,3}$
0.79411	2.1572	2.3245	2.2222	1.0438	0.27853

표 1은 구체적인  $\alpha_{i,j}$  값을 보여주고 있다.

상태 전이 변수  $\alpha_{i,j}$ 로부터 상태 전이 확률을 구하기 위해서는 작은 시간 단위  $dt$ 을 고려해야 한다.  $dt$  동안의 시간동안  $i$  상태에서  $j$  상태로 전이되는 확률은 다음과 같이 구해진다.

$$P\{dt\text{동안 } i\text{ 상태에서 } j\text{ 상태로 전이될 확률}\} = \alpha_{i,j} \cdot dt$$

상호 침묵 구간의 길이는 고정된 값이 아니라 발생 때마다 서로 다른 값을 가지게 되는 확률 변수이다. 이를  $Y$ 라 하자. Brady 모델의 정의에 의하여  $Y$ 의 누적 확률 밀도 함수는 아래와 같이 표현된다.

$$F_Y(t) = 1 - e^{-\lambda t} \tag{1}$$

여기서  $\lambda = \alpha_{4,1} + \alpha_{4,6}$ 이다.

그림 2에서 정의된 상태 전이 변수를 나타내는 행렬을  $M = (\alpha_{i,j})$ 으로 정의한다. 각 상태  $i$ 가 전체 시간 중에서 차지하고 있는 비율을  $\pi_i$ 라 하면,  $\Pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_6)$ 는 마르코프 체인의 평형 방정식  $\Pi = \Pi \cdot M$ 을 계산함으로써 구해진다. 표 1에서 주어진 값에 의하여 계산하면  $(\pi_4 + \pi_5) = 0.19$ 가 된다. 이는 전체 대화 시간 중에서 상호 침묵 상태에 있는 시간이 19%에 달한다는 것을 의미한다.

### 3. 혼합 전원 절약 모드 알고리즘

VoIP 사용자의 음성 코덱이 묵음 억제 기술을 사용하는 경우, 대화 구간에서는 VoIP 음성 신호 패킷이 주기적으로 생성되나, 묵음 구간에서는 VoIP 음성 신호 패킷이 생성되지 않는다. 대신 묵음 구간의 시작 시점에 침묵 삽입 지시자 (Silence Insertion Descriptor, SID) 패킷이 생성되어 전송된다. 이러한 침묵 삽입 지시자 패킷의 수신 여부를 기지국에서 활용하기 위해서는, 실제 전원 절약 모드를 제어하고 있는 기지국의 데이터 링크 계층에서 침묵 삽입 지시자 패킷 수신 정보를 인지하여야 한다. 가장 간단한 방법으로는 VoIP 패킷의 크기를 비교하는 것을 들 수 있다. 삽입 지시자 패킷의 크기는 일반 음성 패킷

에 비해서 그 크기가 상대적으로 작은 편이다. 예를 들어, G.723.1 음성 코덱에서 RTP/UDP/IP 계층의 헤더를 제외한 VoIP 음성 신호 패킷의 크기는 20 bytes 임에 반해, 침묵 삽입 지시자 패킷은 4 bytes의 크기를 가지고 있다 [10]. 따라서 본 논문에서는 기지국에서 VoIP 패킷을 수신한 후 패킷의 크기를 통하여 침묵 삽입 지시자의 수신 유무를 판단하고, 침묵 삽입 지시자가 수신되는 경우 이를 데이터 링크의 제어 영역 (control part)로 전송함으로써 묵음 구간의 시작 정보를 데이터 링크에서 활용할 수 있다고 가정한다.

혼합 전원 절약 모드 알고리즘의 기본 개념은 각 VoIP 사용자의 음성 신호의 발생 유무에 따라서 서로 다른 전원 절약 모드를 적용하는 것이다. 두 사용자가 동시에 혹은 한 사용자만 음성 신호를 발생하는 경우에는 실시간 트래픽에 적합한 제 2종 전원 절약 모드를 적용한다. 두 사용자가 모두 음성 신호를 발생하고 있지 않는 상호 침묵 구간에는 BTE 알고리즘과 PSID 알고리즘을 각각 고려한다. 본 논문에서는 상호 침묵 구간에서 BTE 알고리즘을 적용하고 나머지 구간에서는 제 2종 전원 절약 모드를 적용한 알고리즘을 'BTE 기반 혼합 전원 절약 모드'라 칭하고, 상호 침묵 구간에서 확률 기반의 휴지 구간 결정 (Probabilistic Sleep Interval Decision) 알고리즘을 적용한 방법을 'PSID 기반 혼합 전원 절약 모드'라 칭하기로 한다.

여기서 몇 가지 변수를 정의하기로 한다. 상호 침묵 구간에서  $j$ 번째 휴지 구간의 길이를  $T_j$ , 활성 구간의 길이를  $T_1$ 라 정의한다.  $j$ 번째 휴지 구간의 길이와 활성 구간의 길이를 합한 것을  $\bar{T}_j = T_j + T_1$ 이라 정의한다. 상호 침묵 구간이 시간 0에서 시작한다고 가정하면  $j$ 번째 휴지 구간과 활성 구간은 아래와 같이 표현된다.

$$\bar{S}_1 = [0, \bar{T}_1], \tag{2}$$

$$\bar{S}_j = \left[ \sum_{i=1}^{j-1} \bar{T}_i, \sum_{i=1}^j \bar{T}_i \right] \text{ for } j \geq 2. \tag{3}$$

상호 침묵 구간이 아닌 곳에서는 제 2종 전원 절약 모드를 사용하게 되며, 이때 고정된 휴지 구간의 크기는  $T_j$ 로 표현한다.

3.1 BTE 기반 혼합 전원 절약 모드 알고리즘

BTE 알고리즘에서 초기 휴지 구간의 길이는 미리 정해진 최소값으로 정하고 연속된 다음의 휴지 구간의 길이는 그 전 휴지 구간 길이의 두 배가 된다. 이러한 휴지 구간의 증가는 미리 정의된 휴지 구간의 최대값에 도달할 때까지 계속된다. 다시 말해서 BTE 기반 알고리즘 상에서 휴지 구간은 다음과 같이 기술된다.

$$T_1 = T_{max}, \tag{4}$$

$$T_j = \max(T_{max}, 2^j T_{min}) \text{ for } j \geq 2. \tag{5}$$

$T_j$ 의 크기는  $j$ 가 증가할수록 두 배씩 증가하나,  $T_j$ 의 크기가 증가할수록 기지국에 도착하는 패킷이 단말로 전달되는데 걸리는 패킷 전송 지연 시간(packet buffering delay)이 증가한다 [1,13]. 따라서 과도한 패킷 전송 지연 시간을 방지하기 위해서 각 휴지 구간의 크기는 미리 정해진 휴지 구간의 최대값을 넘지 않도록 제어된다 (그림 3 a) 참조) 여기서 휴지 구간의 길이가  $k$ 번만큼 두 배씩 증가한다고 가정하자. 다시 말해서  $2^k T_{min} = T_{max}$ 가 성립한다고 가정한다. 이 경우, 휴지 구간이 시간 0에서 시작한다고 가정하면, 휴지 구간의 크기의 증가가 허용되는 구간은  $[0, \sum_{j=1}^k T_j]$ 으로 표현된다. 이렇게 점진적인 휴지 구

간의 크기가 허용되는 구간을 ‘확장 허용 구간’이라 정의하기로 한다.

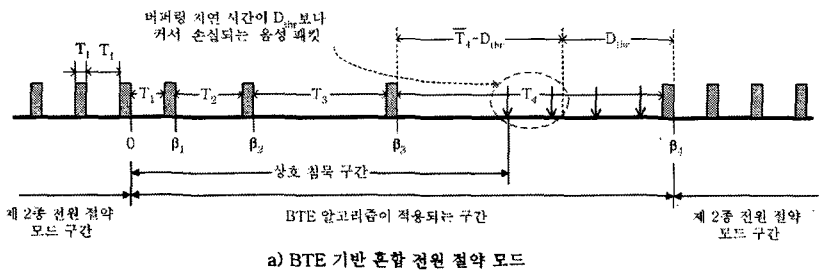
3.2 PSID 기반 혼합 전원 절약 모드 알고리즘

PSID 기반 혼합 전원 절약 모드 알고리즘은 식 (1)에서 구해진 상호 침묵 구간 길이의 누적 확률 밀도 함수를 기반으로 하여 휴지 구간의 길이를 결정한다. PSID 기반 알고리즘의 주된 개념은 확장 허용 구간 내의 각 휴지 구간 안에서 상호 침묵 구간이 종료 (다시 말해서 A 혹은 B 사용자가 음성 신호를 재개)하는 확률이 모두 동일하도록 각 휴지 구간의 길이를 정하는 것이다. 아래에서 좀 더 상세한 알고리즘을 살펴보도록 한다.

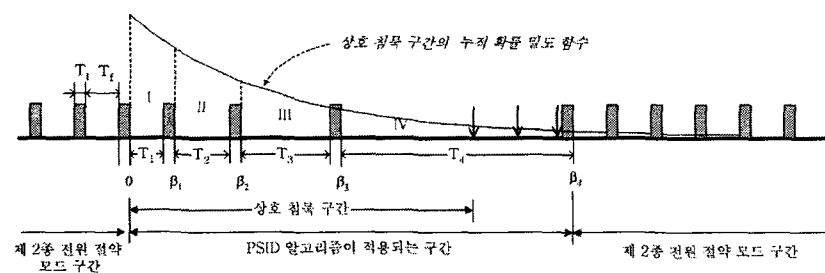
BTE 기반 알고리즘과 마찬가지로 PSID 기반의 알고리즘도 기지국에서의 과도한 패킷 전송 지연 시간을 방지하기 위하여 확장 허용 구간을 결정하여야 한다. 확장 허용 구간의 길이를 결정하기 위해서 목표 확률을 먼저 결정한다. 여기서 목표 확률은 상호 침묵 구간의 길이를 나타내는 랜덤 변수  $Y$ 의 평균 ( $E\{Y\}$ )과 표준 편차( $\sigma_Y$ )에 의하여 다음과 같이 정의한다.

$$P_{tar,k} = F_Y(E\{Y\} + k \cdot \sigma_Y) \tag{6}$$

먼저 상호 침묵 구간이 시간 0에서 시작한다고 가



a) BTE 기반 혼합 전원 절약 모드



b) PSID 기반 혼합 전원 절약 모드 (N=4)

그림 3. BTE/PSID 기반 혼합 전원 절약 모드 동작 예

정한다. 확장 허용 구간은 상호 침묵 구간이 시작되는 시점에서 시작되어야 하므로 역시 0에서 시작한다. 확장 허용 구간이 시간  $\beta$ 에서 끝난다고 가정했을 때,  $\beta$ 의 값은 확장 허용 구간은  $[0, \beta]$ 로 표현된다. 확장 허용 구간의 끝점  $\beta$ 는 식 (6)으로부터 아래와 같이 정의한다.

$$\beta = E\{Y\} + k \cdot \sigma_Y \quad (7)$$

$Y$ 의 평균과 표준 편차는 모두  $\frac{1}{\lambda}$ 이므로  $\beta = \frac{1+k}{\lambda}$ 로 표현된다. 식 (6)과 식 (7)로부터, 상호 침묵 구간이 확장 허용 구간의 길이와 같게 될 확률이 목표 확률  $P_{tar,k}$ 가 된다는 것을 알 수 있다.

다음 단계로, 식 (6)과 식 (7)에서 정의된 확장 허용 구간을 다수개의 휴지 구간으로 나누도록 한다. 확장 허용 구간이  $N$ 개의 휴지 구간으로 구성되어 있다고 하자. 다시 말해서 확장 허용 구간  $[\alpha, \beta]$ 를  $N$ 개의 서로 다른 휴지 구간  $\bar{s}_1, \bar{s}_2, \dots, \bar{s}_N$ 으로 나누어진 다.  $\bar{s}_i = [\alpha_i, \beta_i]$ 라 하자. PSID 기반의 알고리즘은  $\beta_i$ 을 다음과 같은 식에 의하여 결정한다.

$$F_Y(\beta_i) = i \frac{P_{tar,k}}{N}, i = 1, 2, \dots, N. \quad (8)$$

정의에 의하여  $\alpha_1 = 0$ 가 성립한다. 각 휴지 구간  $\bar{s}_j$ 는 상호 겹치지 않아야 하므로  $\beta_j = \alpha_{j+1}$ 이 성립된다. 식 (6), 식 (7)과 식 (8)에 의하여  $\beta_N = \beta$ 가 성립한다. 따라서 모든  $\alpha_i, \beta_i$ 가 정해진다.

여기서  $P_{tar,k} = 1$ 인 경우  $\beta$ 가 무한대가 되기 때문에  $Y$ 가 확장 허용 구간 안에 항상 포함되는 것은 아니다. 다시 말해서 상호 침묵 구간이 확장 허용 구간보다 클 확률이 0가 아닌 값  $(1 - P_{tar,k})$ 을 가지기 때문에 상호 침묵 구간이 확장 허용 구간보다 큰 시간 내에서 끝날 수 있다. 이와 같이 상호 침묵 구간이 확장 허용 구간보다 큰 경우, 휴지 구간의 크기를 적절히 조절하기 위해서  $T_{N+j} = T_N (j \geq 1)$ 으로 정의한다. 그림 4는 위에서 기술한 PSID 기반 혼합 전원 절약 모드 알고리즘의 순서도와 관련 변수 및 수식을 정리하였다.

상호 침묵 구간의 분포는 지수 분포를 따르기 때문에  $T_i$ 의 크기는  $i$ 가 커짐에 따라서 증가하게 된다. 따라서  $T_N$ 의 크기는 확장 허용 구간 내에 정의된  $N$ 개의 휴지 구간 중에서 가장 큰 값을 가지며, 확장 허용 구간 밖에 존재하는 모든 휴지 구간의 크기는

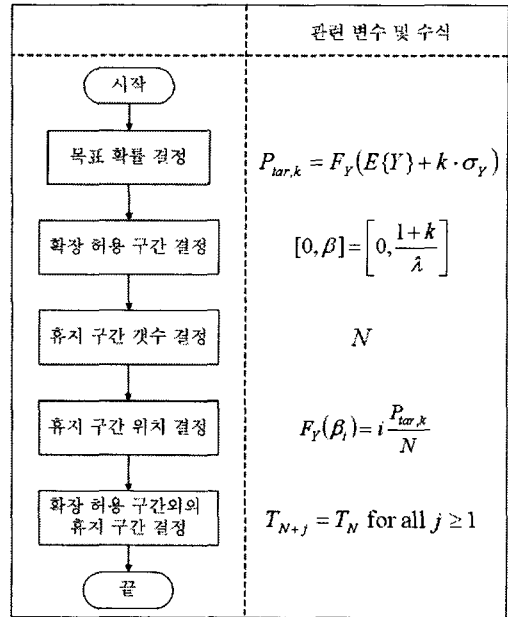


그림 4. PSID기반 혼합전원절약모드 순서도

$T_N$ 과 동일하다. 따라서 위와 같은 PSID 기반의 휴지 구간 결정 방법은 BTE 기반의 휴지 구간 결정방법과 유사하다고 할 수 있다. 하지만 BTE 기반의 전원 절약 모드 알고리즘 상에서 각 휴지 구간의 위치와 크기는 미리 정해진 휴지 구간의 최대값, 최소값에 의하여 결정됨에 반해, PSID 기반의 전원 절약 모드 알고리즘은  $P_{tar,k}$ 와  $N$ 에 의하여 결정된다는 사실에 주의하여야 한다.

식 (8)에서 상호 침묵 구간이  $j$ 번째 휴지 구간,  $\bar{T}_j$ 에서 끝나게 되는 확률은 아래와 같이 표현된다.

$$P\{Y \in \bar{s}_j\} = F_Y(\beta_j) - F_Y(\alpha_j) = F_Y(\beta_j) - F_Y(\beta_{j-1}) = \frac{P_{tar,k}}{N} \quad (9)$$

식 (9)에서 볼 수 있듯이 상호 침묵 구간이  $j$ 번째 휴지 구간에서 끝나게 되는 확률은  $j$ 와 상관없는 상수 값이 된다. 다시 말해서 각각의 휴지 구간 내에서 상호 침묵 구간이 끝나서 두 사용자 중 적어도 한 사용자가 음성 신호를 발생하는 확률은  $\frac{P_{tar,k}}{N}$ 으로 동일하다는 의미이다. 그러나 상호 침묵 구간이 각 휴지 구간에서 끝나는 확률은 동일하지만, 지수 분포를 따르는 상호 침묵 구간 길이의 확률적 특성으로 인하여 각 휴지 구간의 길이는 동일하지 않고 점차 증가하는 모습을 가지게 된다. 그림 3 b) PSID 기반의

표 2. PSID 알고리즘 적용 시 상호 침묵 구간에서 휴지 구간의 위치 (단 휴지 구간은 시간 0에서 시작한다고 가정, 단위 : ms)

$P_{tar,k}$	$N$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$\beta_6$	$\beta_7$	$\beta_8$	$\beta_9$	$\beta_{10}$
0.637 $k=0$	2	120	310	500	690	880	1070	1260	1450	1640	1830
	3	75	170	310	450	590	730	870	1010	1150	1290
	4	55	120	200	310	420	530	640	750	860	970
	5	45	90	150	220	310	400	490	580	670	760
	6	35	75	120	170	230	310	390	470	550	630
	7	30	65	100	140	185	240	310	380	450	520
	8	30	55	85	120	155	200	250	310	370	430
	9	25	50	75	105	135	170	210	255	310	365
	10	20	45	65	90	120	150	180	220	260	310
	0.866 $k=1$	2	175	615	1055	1595	1935	2375	2815	3255	3695
3		105	265	615	965	1315	1665	2015	2365	2715	3065
4		75	175	325	615	905	1195	1485	1775	2065	2355
5		60	130	25	365	615	865	1115	1365	1615	1865
6		50	105	175	265	395	615	835	1055	1275	1495
7		45	90	145	210	295	415	615	815	1015	1215
8		40	75	125	175	240	325	435	615	795	975
9		35	70	105	150	205	265	345	450	615	780
10		30	60	95	130	175	225	285	365	465	615

혼합 전원 절약 알고리즘 ( $N=4$ )에서 영역 I, II, III, IV의 크기는 모두 동일하다.

#### 4. 성능 분석

##### 4.1 시뮬레이션 환경

본 논문은 제한한 두 가지의 혼합 전원 절약 모드 알고리즘을 IEEE 802.16e 시스템 상에서 성능 분석을 수행한다. 먼저 휴지 구간의 최소 단위는 IEEE 802.16e 시스템의 frame 길이<sup>1)</sup>에 의거하여 5ms로 정의한다. 고정된 활성 구간의 길이  $T_1$ 는 프레임의 최소값인 5ms로 정한다. VoIP 패킷의 생성 주기는 20ms로 정하며,  $T_1$ 의 값과 VoIP 패킷 생성 주기를 함께 고려하여 제 2종 전원 절약 모드가 적용되는 구간에서의 휴지 구간 길이  $T_2$ 는 15ms로 정한다. VoIP 트래픽의 종대종 최대 허용 가능한 지연 시간이 270ms일 때[11], 기지국에서의 최대 허용 가능한 지연 시간 값  $D_{thr}$ 은 197ms로 정해진다[12]. BTE 기반 혼합 전원 절약 모드를 적용 시 상호 침묵 구간에

적용되는 휴지 구간의 최소값은 4·5ms로 정한다. PSID 기반의 혼합 전원 절약 모드를 적용 시 상호 침묵 구간에 적용되는 휴지 구간의 길이는  $P_{tar,k}$ 와  $N$ 의 값에 의해 결정되어진다. 표 2은  $P_{tar,k}$ 와  $N$ 에 따른 실제 휴지 구간의 길이를 보여주고 있다. 시뮬레이션은 몬테 카를로 (Monte Carlo) 방법에 의하여 10,000번의 수행을 한다.

제안하는 혼합 전원 절약 모드를 사용하지 않고 모든 대화구간에서 PSC II 방법을 사용하게 되는 경우, 평균 버퍼링 지연 시간은 대화 구간 혹은 묵음 구간에 관계없이  $\frac{T_T + T_1}{2} = 10ms$ 가 된다. 반면 혼합 전원 절약 모드를 사용하는 경우, 대화 구간에서의 평균 버퍼링 지연 시간은 역시 10ms가 되는 반면 묵음 구간에서의 평균 버퍼링 지연시간은 사용되는 알고리즘에 따라 변한다.

##### 4.2 평균 버퍼링 지연 시간 결과

그림 5는 BTE 기반의 혼합 전원 절약 모드를 적용하는 경우,  $T_{max}$ 의 변화에 따른 묵음 구간에서의 VoIP 패킷 평균 지연 시간 결과를 보여주고 있다.

$T_{max}$ 가 증가함에 따라서 보다 큰 휴지 구간의 개수가 늘어나기 때문에, 평균 버퍼링 지연 시간은 증가한다. 그러나  $T_{max}$ 가 256·5ms보다 큰 경우 이러한 평균 버퍼링 지연 시간은 거의 증가하지 않는다. 그 이유는 대부분의 상호 침묵 구간의 크기는 256·5ms보

1) OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기반 IEEE 802.16e 시스템에서 정의하고 있는 가능한 프레임 길이는 2ms, 2.5ms, 4ms, 5ms, 8ms, 10ms, 12.5ms, 20ms이며, 현재 TTA에서 정의하고 있는 WiBro 시스템은 IEEE 802.16e의 TDD OFDMA 기술을 기반으로 5ms의 프레임 길이를 정의하고 있다.

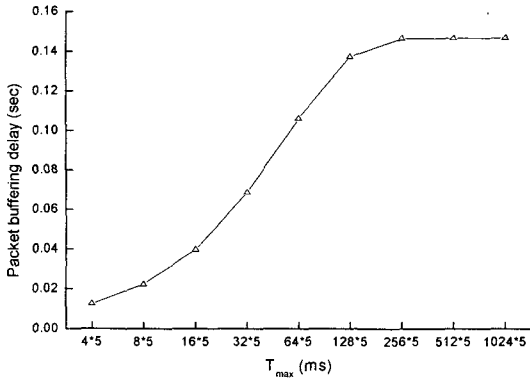


그림 5. BTE 기반 혼합 전원 절약 모드 사용 시,  $T_{max}$ 의 변화에 따른 평균 패킷 버퍼링 지연 시간

다 작은 값을 가지기 때문에 휴지 구간이 이보다 큰 시간에서 적용되는 확률이 매우 작기 때문이다<sup>2)</sup>.

그림 6은 PSID 기반의 혼합 전원 절약 모드를 적용할 때,  $k=0,1$  각각의 경우  $N$ 의 변화에 따른 묵음 구간에서의 평균 패킷 버퍼링 지연 시간을 나타낸다. 각각의  $k$ 에 대해서  $N$ 이 증가하게 되면 정해진 확장 허용 구간 내 휴지 구간의 수가 증가하기 때문에 평균적인 휴지 구간의 길이와 평균 버퍼링 지연 시간이 감소한다.  $k=0$ 인 경우와  $k=1$ 인 경우를 비교하였을 때,  $k$ 의 값이 커짐에 따라서 확장 허용 구간의 길이가 커지기 때문에 같은 숫자의 휴지 구간이 존재한다고 하면  $k=1$ 인 경우의 휴지 구간의 길이는  $k=0$ 인 경우의 휴지 구간의 길이보다 커진다. 따라서  $k$ 가 크면 평균 버퍼링 지연 시간도 커진다는 것을 확인할 수 있다.

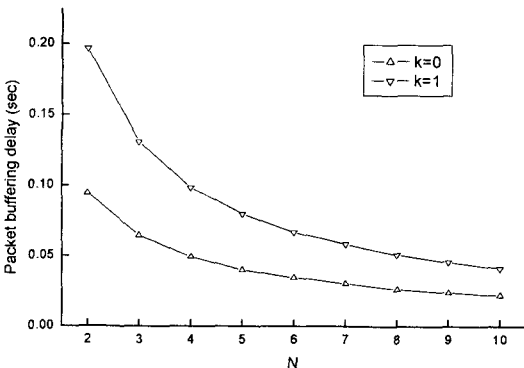


그림 6. PSID 기반 혼합 전원 절약 모드 사용 시,  $N$ 의 변화에 따른 평균 패킷 버퍼링 지연 시간

$$2) P\{Y \leq 256 \cdot 5ms\} = F_Y(256 \cdot \frac{5}{1000}) \approx 0.984$$

### 4.3 단말의 에너지 소비 효율 결과

전원 절약 모드에서 단말의 에너지 소비 유형은 크게 단말이 휴지 구간에 있었을 때의 에너지 소비와 활성 구간에 있었을 때의 에너지 소비로 나누어진다. 단말의 단위 시간당 휴지 구간의 에너지 소비량을  $E_{slp}$ 이라 하고, 단위 시간 당 활성 구간의 에너지 소비량을  $E_{act}$ 라 하자.  $E_{slp}$ 과  $E_{act}$ 의 값은 각각 0.045W, 1.5W로 정한다 [13].

본 논문에서는 대화 구간에서 혼합 전원 절약 모드를 사용하지 않고 PSC II만을 사용하는 경우의 에너지 소비량과 혼합 전원 절약 모드를 사용하는 경우의 에너지 소비량을 각각 구하고, 그 비에 의하여 혼합 전원 절약 모드의 에너지 소비 효율 (energy consumption efficiency) 을 측정한다. 즉 단말의 에너지 소비 효율은 아래와 같은 식으로 나타낸다.

에너지 소비 효율 =

$$\frac{\text{혼합 전원 절약 모드를 사용시 에너지 소비량}}{\text{PSC II 만을 사용시 에너지 소비량}}$$

정의에 의해서 에너지 소비 효율이 0에 가까울수록 혼합 전원 절약 모드의 에너지 절약 효과가 크고 1에 가까울수록 에너지 절약 효과가 작다고 판단할 수 있다.

그림 7은 BTE 기반 혼합 전원 절약 모드를 사용하였을 때의 단말의 에너지 소비 효율을 나타내고 있다.  $T_{max}$ 가 증가함에 따라서 휴지 구간의 크기가 커지므로, 단말이 겪어야 하는 활성 구간의 횟수가 줄어들는다. 따라서 단말의 에너지 소비량은 감소한다. 그림 6은 BTE 기반 혼합 전원 절약 모드를 사용하

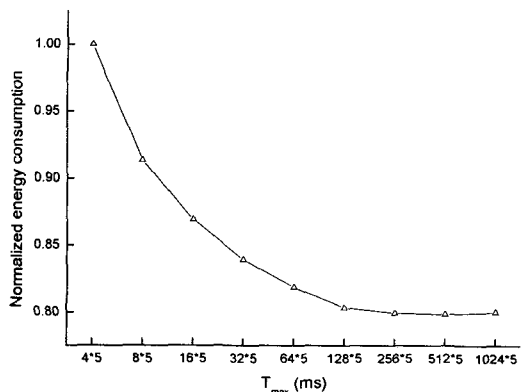


그림 7. BTE 기반 혼합 전원 절약 모드 사용 시,  $T_{max}$  변화에 따른 단말의 에너지 소비 효율



면 제 2종 전원 절약 모드만을 사용하는 경우보다 단말의 에너지 소비량이 최대 20% 가량 감소하게 된다는 것을 보여주고 있다. 평균 버퍼링 지연 시간의 경우와 마찬가지로,  $T_{max}$ 의 크기가  $256 \cdot 5ms$ 보다 크게 되는 경우, 대부분의 상호 침묵 구간이  $256 \cdot 5ms$ 보다 작은 범위 내에서 종료되기 때문에  $T_{max}$ 의 크기의 증가에 따른 에너지 소비량의 감소는 거의 발생하지 않는다.

그림 8은 PSID 기반 혼합 전원 절약 모드를 사용하였을 때의 단말의 에너지 효율을 나타내고 있다. 각각의  $k$ 에 대하여,  $N$ 이 증가함에 따라서 단말이 겪게 되는 활성 구간의 횟수가 증가하므로 단말의 에너지 소비량은 증가한다.  $N$ 이 고정되어 있을 때,  $k$ 의 값이 증가할수록 확장 허용 구간의 길이가 커지므로 휴지 구간의 길이 역시 커진다. 따라서 단말이 겪게 되는 활성 구간의 횟수가 감소하므로 단말의 에너지 소비는 감소한다. 따라서  $k=1$ 인 경우의 에너지 소비량이  $k=0$ 인 경우의 에너지 소비량보다 작게 된다. 그림 8은 PSID 기반 혼합 전원 절약 모드를 사용하면 제 2종 전원 절약 모드만을 사용하는 경우보다 단말의 에너지 소비량이 최대 25% 가량 감소하게 된다는 것을 보여준다.

4.4 VoIP 패킷 손실률

본 절에서는 제안한 알고리즘의 성능 분석에 집중하기 위해서 VoIP 패킷의 유실은 네트워크 간 전송 시에는 발생하지 않고 혼합 전원 절감 모드의 휴지 구간에 의해 발생하는 패킷 버퍼링 지연 때문에 발생한다고 가정한다. 따라서 제안한 혼합 전원 절감 모

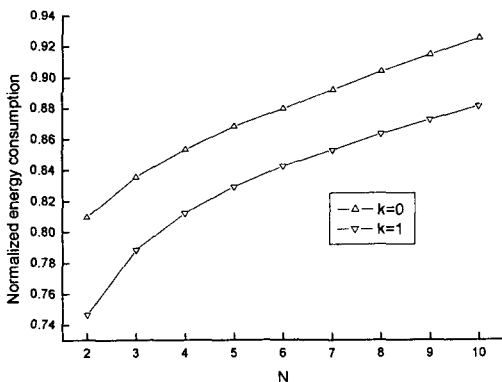


그림 8. PSID기반 혼합 전원 절약 모드 사용 시,  $N$  변화에 따른 단말의 에너지 소비 효율

드를 사용하지 않고 PSC II 만 사용하는 경우의 패킷 손실률은 0가 된다. 그림 9는 BTE 기반 혼합 전원 절약 모드를 적용하는 경우  $T_{max}$ 의 변화에 따른 VoIP 패킷의 손실률을 나타내고 있다. BTE 기반의 알고리즘에서 가장 큰 휴지 구간의 길이는  $T_{max}$ 가 되므로,  $T_{max}$ 가  $D_{thr}$ 보다 작은 경우 지연 시간으로 인하여 유실되는 패킷은 존재하지 않는다. 따라서 그림 9에서 볼 수 있듯이,  $T_{max}$  값이  $32 \cdot 5 = 160ms$  ( $< 197 = D_{thr}$ )보다 같거나 작은 경우에는 패킷 손실률이 0이다.  $T_{max}$  값이 증가할수록 패킷 손실률은 증가하게 되나,  $T_{max}$  값이  $256 \cdot 5ms$ 보다 크게 되는 경우 상호 침묵 구간이 그 보다 작은 범위에서 대부분 종료되기 때문에 패킷 손실률은 수렴한다.

그림 10은 PSID 기반의 혼합 전원 절약 모드를 적용하였을 때 패킷 손실률을 나타내고 있다.  $k=0$ 이고

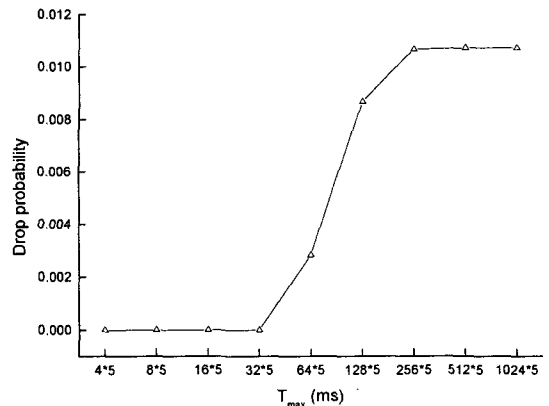


그림 9. BTE 기반 혼합 전원 절약 모드 사용 시,  $T_{max}$  변화에 따른 패킷 손실률

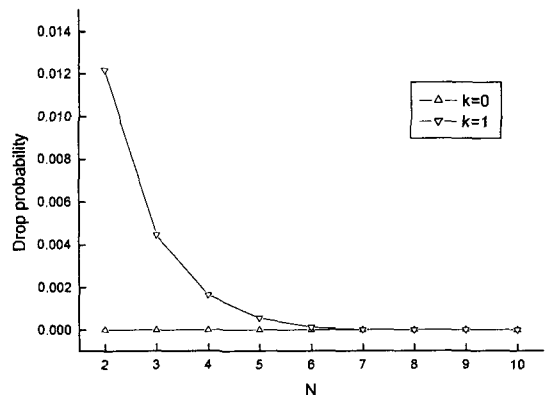


그림 10. PSID 기반 혼합 전원 절약 모드 사용 시,  $N$  변화에 따른 패킷 손실률

$N=2$ 인 경우 휴지 구간의 길이는 각각  $120ms$ ,  $190ms$ 가 되므로 (표 2 참조)  $D_{thr}$ 보다 작다. 따라서 이 경우, 패킷 손실률은 0이 된다.  $k=0$ 이고,  $N \geq 2$ 인 경우,  $N$ 이 증가할수록 휴지 구간의 길이는 줄어들기 때문에 패킷 버퍼링 지연 시간에 의하여 손실되는 패킷은 존재하지 않는다. 따라서  $k=0$ 인 경우 모든  $N$ 에 대하여 패킷 손실률은 0이 된다. 반면,  $k=1$ 인 경우 확장 허용 구간의 길이가  $k=0$ 인 경우보다 커지게 되고,  $N$ 의 값이 작을수록 휴지 구간의 크기는 커지게 되므로 패킷 손실률은 커진다. 하지만  $N$ 의 값이 커져서 확장 구간 내의 모든 휴지 구간의 길이가  $D_{thr}$ 보다 작게 되면 ( $N \geq 7$ 인 경우) 패킷 손실률은 0이 된다.

#### 4.4 평균 패킷 버퍼링 지연 시간과 단말의 에너지 소비 효율과의 상관관계

그림 11은 각각의 혼합 전원 절약 모드 사용 시, 제 2종 전원 절약 모드를 사용하는 경우와 비교하여 단말의 에너지 소비 효율과 패킷 버퍼링 지연 시간간의 상관관계를 보여주고 있다. 그림 11에서 BTE 기반의 혼합 전원 절약 모드를 사용하는 경우를 나타내는 그래프의 각 점은  $T_{max}$ 가 4부터 1024까지 증가하는 경우에 각각 해당된다. PSID 기반의 혼합 전원 절약 모드를 사용하는 경우를 나타내는 그래프의 각 점은  $N$ 이 2부터 10까지 증가하는 경우에 각각 해당된다. 4.2, 4.3 절에서 논의된 바와 같이 BTE 알고리즘이 적용되는 경우,  $T_{max}$  값이  $32 \cdot 5 = 160ms$ 보다 크게 되면 한 점으로 수렴한다. 반면  $k=0$ 인 PSID 알고리즘을 적용하는 경우, 대부분의 점에서 BTE 알고리즘을 적용하는 경우보다 더 나은 성능을 보여

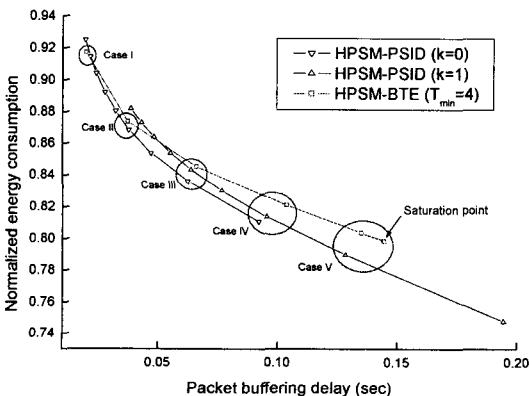


그림 11. 평균 패킷 버퍼링 지연 시간과 에너지 소비 효율

주고 있다. 그리고  $k=1$ 인 PSID 알고리즘을 적용하는 경우에는  $N$ 이 4보다 크면 BTE 알고리즘보다 더 나은 성능을 보인다. 반면, 그림 11의 case I, II에서는 BTE 알고리즘은 PSID 알고리즘과 거의 비슷한 성능을 보인다. 따라서 전반적으로 PSID 알고리즘이 BTE 알고리즘보다 더 나은 성능을 가진다고 할 수 있다.

#### 4.5 VoIP 패킷 손실률과 단말의 에너지 소비 효율과의 상관관계

그림 12에서는 제 2종 혼합 전원 절약 모드와 비교하여 BTE 혹은 PSID 기반의 혼합 전원 절약 모드가 사용되는 경우의 단말의 에너지 소비 효율과 VoIP 패킷 손실률을 동시에 나타내고 있다. 패킷 손실률은 가장 최악의 경우 ( $k=1$ 인 PSID 기반 알고리즘을 적용 시) 1.2%까지 증가할 수 있으나, 이 때 단말의 에너지 소비량은 제 2종 전원 절약 모드만을 사용하는 경우와 비교하여 25%까지 감소함을 확인할 수 있다. 보통 VoIP 연결 서비스에서 허용 가능한 패킷 손실률이 2~4% 이내이기 때문에 [12], 1.2%의 패킷 손실률은 VoIP 서비스에 크게 영향을 끼치지 않는다고 볼 수 있다. 결론적으로 제안한 혼합 전원 절약 모드를 사용하는 경우, 제 2종 전원 절약 모드만을 사용하는 경우와 비교하여, VoIP 서비스의 패킷 손실률을 허용 범위 내에서 만족시키면서 단말의 에너지 소비량을 최대 25% 가량 줄일 수 있다.

### 5. 결론

본 논문에서는 목음 억제 기술을 채택하고 있는 VoIP 서비스에 적용할 수 있는 혼합 전원 절약 알고

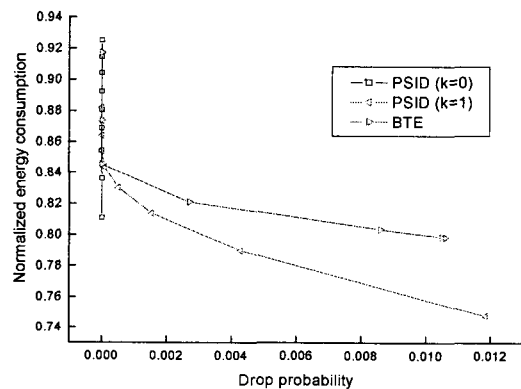


그림 12. 패킷 손실률과 단말의 에너지 소비량

리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 서로 대화 상태에 있는 두 사용자 모두 음성 신호를 발생시키지 않는 상호 침묵 구간에서는 BTE 기반 혹은 PSID 기반의 휴지 구간 결정 방법을 사용하였고, 두 사용자 모두 혹은 두 사용자 중 하나의 사용자만이 음성 신호를 발생하고 있는 구간에서는 제 2종 전원 절약 모드를 사용하였다. 제안한 방식의 성능을 평가하기 위해서 평균 패킷 버퍼링 지연 시간, 단말의 에너지 소비량, 패킷 손실률 등에 대한 성능 분석을 수행하였다. 시뮬레이션 결과는 BTE 기반 혼합 전원 절약 모드는 사용 시, 성능 지표들이 모두 한 점으로 수렴한다는 것을 보여준다. PSID 기반 혼합 전원 절약 모드는 BTE 기반 혼합 전원 절약 모드보다 대체적으로 나은 성능을 보여주고 있다. 특히, 두 가지 방식의 혼합 전원 절약 모두 제 2종 전원 절약 모드만을 사용하는 경우에 비해서, 패킷 손실률을 최대 허용치 내로 만족시키면서 단말의 전원 소비량을 감소시키는 효과를 얻을 수 있으며, 특히  $k=1$ 인 PSID 기반 혼합 전원 절약 모드 사용 시, 에너지 소비량을 최대 25%까지 줄일 수 있다는 것을 보여준다.

### 참 고 문 헌

- [1] IEEE Std 802.16e-2005, *Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems*, Feb. 2006.
- [2] R. Krashinsky and H. Balakrishnan, "Minimizing energy for wireless web access with bounded slowdown," *MobiCom 2002*, Atlanta, Georgia, USA, pp. 119-130, Sep. 2002.
- [3] D. Qiao and K. G. Shin., "Smart Power-Saving Mode for IEEE 802.11 Wireless LANs," *IEEE INFOCOM*, Miami, FL, Mar. 2006.
- [4] C. E. Jones, K. M. Sivalingam, P. Agrawal, and J. C. Chen., "Survey of energy efficient network protocols for wireless networks," *ACM Wireless Networks*, Vol. 7, No. 4, pp. 343-358, July 2001.
- [5] W. Wang, S. C. Liew, and Li, V.O.K., "Solutions to performance problems in VoIP over a 802.11 wireless LAN," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol. 54, No. 1, pp. 366-384, Jan. 2005.
- [6] Y. Chen, N. Smaivatku, and S. Emeott, "Power management for VoIP over IEEE 802.11 WLAN," *IEEE WCNC 2004*, Vol. 3, pp. 1648-1653, Mar. 2004.
- [7] G. H. Hwang and D. H. Cho, "New access scheme for VoIP packets in IEEE 802.11e wireless LANs," *IEEE Commun. Letters*, Vol. 9, No. 7, pp. 667-669, Jul. 2005.
- [8] Shiao-Li Tsa and E-Cheng Cheng, "Reducing idle mode power consumption of cellular/VoWLAN dual mode mobiles," *IEEE GLOBECOM 05*, Vol. 5, pages. 5, Nov. 2005.
- [9] P. T. Brady, "A model for generating on-off speech patterns in two-way conversation," *Bell System Technology Journal*, Vol. 48, No. 7, pp. 2445-2472, Sep. 1969.
- [10] R. Estepa, A. Estepa, and J. Vozmediano, "Accurate prediction of VoIP traffic mean," *IEE Electronics Letters*, Vol. 41, No. 17, pp. 985-987, Aug. 2005.
- [11] ITU-T Recommendation G.114, *One-way transmission time*, May, 2003.
- [12] M. Yavuz, et al., "VoIP over cdma2000 1xEV-DO Revision A," *IEEE Commun. Magazine*, Vol. 44, No. 2, pp. 88-95, Feb. 2006.
- [13] E. S. Jung and N. H. Vaidya, "An energy efficient MAC protocol for wireless LANs," *IEEE INFOCOM 2002*, Vol. 3, pp. 23-27, Jun. 2002.
- [14] Yang Xiao, "Energy Saving Mechanism in the IEEE 802.16e Wireless MAN," *IEEE Commun. Letters*, Vol. 9, No. 7, pp. 595-597, July 2005.
- [15] Salkintzis, A. K. and Chamzas, C., "Performance analysis of a downlink MAC protocol with power-saving support," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol. 49, No. 3, pp. 1029-1040, May. 2000.



이 정 룬

- 1995년 서울대학교 수학과 졸업  
(학사)
- 1997년 서울대학교 수학과 졸업  
(석사)
- 2006년 한국과학기술원 전자전  
산학과 졸업 (박사)
- 1997년~2005년 LG전자 중앙 연

구소 (선임연구원)

2005년~2006년 LG-Nortel 연구소 (책임연구원)

2006년~현재 인천대학교 전자공학과 전임강사

관심분야 : 이동통신 네트워크, 센서 네트워크, 저전력  
이동통신 프로토콜 등