

IEEE 802.16j System의 VoIP 서비스를 위한 MAC Layer에서 효율적인 업링크 스케줄링 기법 및 성능 분석에 관한 연구

이승도^{1,2}, 이태진¹

¹성균관대학교 정보통신공학부 네트워크 시스템 연구실

{sdlee01, tjlee}@ece.skku.ac.kr

²삼성전자 네트워크 사업부 와이브로 개발팀

sdlee01@samsung.com

An efficient Uplink Scheduling Scheme and Performance Analysis of MAC Layer for VoIP Service in
IEEE 802.16j System

Seung-Do Lee^{1,2}, Tae-Jin Lee¹

¹Network System Lab, School of Information and Communication Engineering
Sungkyunkwan University, Korea

²WiBro R&D Team, Telecommunication Systems Division
Samsung Electronics, Co., Ltd., Korea

요 약

최근 4G 이동통신 시스템의 진화를 위한 단계로 기존의 이동통신 시스템을 유지하면서 효율 극대화를 통한 비용 절약 측면과 고 주파수 대역을 이용한 셀 간격의 협소화로 인해 나타나는 문제점에 대한 대안으로 커버리지 확대와 데이터 처리율 향상을 위한 IEEE 802.16j 표준화 작업이 진행 중에 있다. 향후 VoIP 서비스를 위한 업링크 스케줄링 기법으로 몇 가지가 IEEE 802.16e에 제시되어 있으나, 본 논문에서는 보이스 트래픽 특성 및 수학적 모델링을 통하여 기존 방법들보다 더 효율적인 대역 이용을 통해 같은 대역폭 대비 성능과 용량 면에서 개선된 스케줄링 기법인 eertPS를 제시하여 IEEE 802.16j Multi-Hop 환경 하에서도 대역 효율적인 VoIP 서비스를 이용할 수 있도록 한다.

I. 서 론

최근 차세대 이동통신 시스템에서 기지국 증설 비용(CapEX)과 백홀(Backhaul) 통신망의 유지 비용(OpEX)을 줄이는 동시에 커버리지 확대와 데이터 처리율 향상을 위한 다양한 논의가 활발히 진행 중에 있다. 이러한 개념은 현재 표준화가 진행중인 IEEE 802.16j Relay Task Group에도 적용되어 IEEE 802.16 MMR Study Group에서 준비해 왔던 모바일 멀티홉 릴레이(MMR, Mobile Multihop Relay) 개념을 도입하게 된다[1]

음영지역 해소를 통한 커버리지(Coverage) 확대와 데이터 처리율(Throughput) 향상을 해결하기 위해 가장 쉬운 방법으로는 기지국의 수를 증가시키는 방법이 있다. 하지만 현재 우리나라나 선진국 등의 여건 하에선 기지국 증설에 따른 가입자 수가 선형적인 증가나 그 이상의 효과를 얻기는 힘들 것으로 예상된다. 이에 중계기(Relay Station)을 활용한 방식은 고주파 대역의 사용이 두드러지고 있는 차세대 이동통신 시스템에서 도심 지역의 음영 지역(shadowing zone)의 증가[2]와 비용 절감을

고려해 볼 때 매우 효과적이고 효율적인 시스템을 구성할 수 있을 것으로 보인다. 현재 모든 무선통신망에 적용되는 중계기들은 Amplify-and-forward 방식으로 중계기 개수가 증가함에 따른 역방향 Noise Figure 상승, Multipath Fading에 의한 기지국 신호 왜곡 발생 및 건물 내부 상황에 따른 케이블 길이와 분기로 인한 급전선 손실 등으로 인한 시스템 용량 저하가 기존 중계기 사용으로 인한 문제점으로 야기되고 있다. IEEE 802.16 표준은 인터넷 중심의 대용량 데이터 전송을 지원해야 하므로 이러한 시스템 용량 저하에 따른 대책이 필요한 상황이다.

중계기(Relay Station)는 기존의 이동통신 시스템에서 음영 지역 해소를 위해 도입되어 현재 사용 중인 기술이다. 중계기 기술은 크게 세 가지로 분류할 수 있는데, 단순히 증폭 후 전달(amplify-and-forward)방식에서 디코딩 후 전달(decoding-and-forward), 재구성/재조합 후 전달(reconfiguration/reallocation -and-forward) 방식으로 점차 진화해 가는 추세이다. IEEE 802.16j Relay TG에서는 기존의 아날로그 RF 중계기에서 탈피해 기지국 신호의 복조 및 재변조 기능이 지원되는 Regenerated Type의 디지털 스마트 중계기 방식을 채택하였다. 기지국(BS, Base Station)에서 단말(MS, Mobile Station/SS, Subscriber Station)로 정

보를 전달하거나 혹은 전달 받을 때 Infra 또는 Client노드를 중계기(RS, Relay Station)로 이용하여 목적지까지 정보를 주고 받는다. 멀티홉에서 각 홉의 전송은 독립적인 전송기술이나 채널을 통해 이뤄질 수 있다. MMR을 이용함으로써 송수신단 간의 거리를 단축하는 효과를 얻어 채널 상태의 향상을 얻을 수 있고 제한된 전력으로 전송거리를 증대하여 셀 커버리지를 확대할 수 있다.

IEEE 802.16에서 지원하는 네트워크 토폴로지(Topology)는 PMP 모드와 Mesh 모드가 있다. IEEE 802.16-2004와 IEEE 802.16e-2005 에서 필수사항으로 명시된 PMP 모드는 기지국을 중심으로 다수의 단말이 접속하는 트리 구조를 가지며 모든 Traffic은 기지국(BS)을 통해서만 내부 또는 외부로 전달된다. 이에 반해, Mesh 모드는 IEEE 802.16-2004의 OFDM 모드에서만 사용될 수 있는 선택적 사항으로, 단말간(Inter-MS)의 통신이 기지국을 거치지 않고 이웃 단말들에 의해 라우팅되어 직접적으로 이루어지는 구조를 가진다[3],[4]. 그림1은 MMR과 Mesh 네트워크의 차이점을 정리한 것이다[3]. MMR은 PMP 모드를 따름으로 트리 구조를 가지지만 Mesh 모드는 이웃하는 다수의 노드들 간에 네트워크가 형성되는 구조를 가진다. MMR 시스템은 PMP 모드에서 기지국과 단말 사이에 위치하여 커버리지 확대와 데이터 처리를 향상할 목표로 한다. 이에 비해 Mesh 모드는 기지국간(Inter-BS)의 통신이 있어 백홀(Backhaul)망을 거치지 않고 단말들간의 직접 통신이 가능하게 하는 데 목표를 두고 있다. 물론 MMR 네트워크에서 다수의 RS를 거쳐 신호가 전달되는 경우 RS간(Inter-RS)의 통신이 발생하지만, 반드시 기지국을 통해서 상대방(destination)에게 전달되므로 Mesh 네트워크와는 분명한 차이점이다. IEEE 802.16 MMR 기술은 IEEE 802.16j Relay TG으로 정식 승인을 받아 표준화 작업을 진행 중에 있다. 트리 구조의 MMR 링크 구조는 OFDM 기반의 Mesh 모드와는 차별성을 가지며, PMP 모드와의 후 방향 호환성(Backward Compatibility)을 유지해야 한다. 향후 표준화 단계에서 단말기 구조의 변경은 없으나 중계기와 기지국에 관한 물리 계층의 향상된 프레임 구조와 MAC 계층에서의 새로운 프로토콜 제안이 필요하다.

VoIP 서비스를 위한 MAC 계층에서의 신뢰성 있는 Uplink Scheduling 기법을 제안하여 MAC 계층에서의 신뢰성 있는 Scheduling 기법을 제안하여 기존 Scheduling 방법들과 비교하고 IEEE 802.16j에 맞는 통신서비스의 성능향상과 지연감소를 제공하고자 한다.

본 논문의 구성은 II장에서는 IEEE 802.16e MAC과 IEEE 802.16j의 현재까지 작업이 완료된 MAC 프로토콜에 대해 간단히 살펴보고 기존 Scheduling 방법에 대한 관련 연구들을 확인해 본다. III장에서는 본 논문에서 제안하고자 하는 Scheduling 기법을 설명하고 IV장에서 Numerical Analysis와 기존 Scheduling 기법과의 성능 비교 분석을 한다. 마지막으로 V장에서는 결론을 맺고 향후 추가적으로 연구할 방향을 제시한다.

II. 관련 연구

2.1 UGS(Unsolicited Granted Service)

UGS는 silence suppression이 없는 VoIP나 T1/E1처럼 일정 크기의 데이터 패킷을 주기적으로 발생시키는 실시간 상향링크 서비스 플로우를 지원하기 위하여 설계되었다. 서비스에서는 실시간이면서 일정한 크기의 grant를 주기적으로 제공하며 단말 요구의 오버헤드와 지연을 없애고, grant가 플로우 실시간 요구를 만족시킬 수 있도록 보장한다. 기지국에서는 서비스 플로우의 Maximum Sustained Traffic Rate에 근거하여 단말에게 Data Grant Burst IE를 주기적인 interval로 제공한다. 이 grant들의 크기는 서비스 플로우와 관련된(일반 MAC 헤더와 Grant 관리 서브헤더 포함) 일정한 길이의 데이터를 유지하기에 충분해야 하지만, 기지국 스케줄러의 결정에 따라 달라질 수도 있다. 이 서비스가 제대로 동작되도록 요구/전송 정책 설정에서는 단말이 현재 연결을 위하여 어떤 경쟁 기반의 요구 기회도 이용하지 못하도록 금지하고 있다. 이 스케줄링 서비스를 위한 필수 QoS 서비스 플로우 파라미터로는 Maximum Sustained Traffic Rate, Maximum Latency, Tolerated Jitter, Uplink Grant 스케줄링 타입 및 요구/전송 정책 등이 있다. 여기에서, Minimum Reserved Traffic Rate 파라미터가 있으면 이 파라미터가 Maximum Sustained Traffic Rate 파라미터와 같은 값을 갖는다.

Grant 관리 서브헤더는 UGS 단말에서 기지국으로 서비스 플로우의 상태와 관련된 상태 정보를 전달하는 데 사용된다. Grant Management 필드의 MSB는 SI(Slip Indicator)비트이다. 단말은 이 서비스 플로우의 Tx queue depth가 초과된 것을 감지하면 즉시 이 플래그를 설정한다. 즉, 서비스 플로우의 Tx queue가 임계값의 범위에서 역으로 진행되는 것을 단말에서 감지하면 해당 단말은 즉시 SI 플래그를 리셋시킨다. 이 플래그에 의해 기지국에서는 grant들을 추가로 발생하여 손실 댐이나 클록 속도 등의 조건에 대한 장기적인 보상(long term compensation) 기능을 제공한다. PM(Poll-Me)비트는 다른 연결, 즉 non-UGS connection을 위해 폴링을 신청할 때 사용된다.

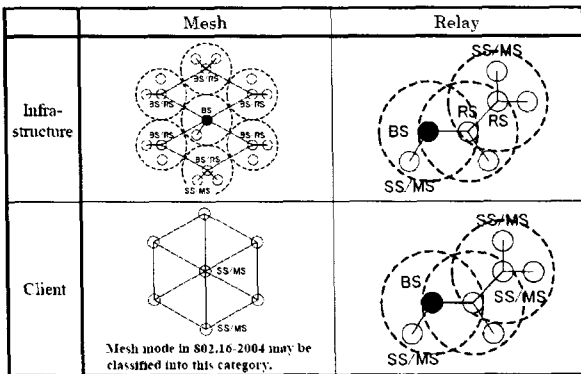


그림 1. Mesh vs. Relay

이에 본 논문에서는 IEEE 802.16j Relay TG 표준화 작업 중

기지국에서는 Grant 관리 필드의 SI 비트가 설정되는 경우를 제외하고 Active QoS Parameter Set의 Maximum Sustained Traffic Rate 파라미터보다 더 많은 대역폭을 할당하지 않는다. 이 경우에는 기지국이 클록 속도의 불일치 보상을 위해 1% 추가 대역폭까지만 허용한다.

FL와 FLI 필드는 UGS/Extended rPS 서비스 플로우와 관련된 데이터를 주기적으로 발생하는 단말 애플리케이션의 동기화를 기지국에서 제공할 때 사용되기도 한다. 단말에서는 현재 서비스 플로우에서 발생한 대기 시간이 일정 한계치(예, single frame duration)를 초과하는 지를 알아보기 위해서 이 필드를 사용한다. FL을 통해서 지나친 지연이 발생되었음을 감지하면, 기지국은 현재 서비스 플로우를 지원하기 위한 스케줄 된 grant들을 미리 앞당길 수도 있다.

2.2 rtPS(real-time Polling Service)

rtPS는 MPEG 비디오와 같이 가변 길이의 데이터 패킷들을 주기적으로 발생시키는 실시간 상향링크 서비스 플로우 기능을 지원하도록 설계되었다. 서비스는 실시간 주기적인 unicast 요구 기회들을 제공하고 플로우의 실시간 필요 조건을 만족시키며 이를 바탕으로 단말에서 원하는 grant 크기를 지정하는 것이 허용된다. 이 서비스는 UGS보다 더 많은 요구 오버헤드를 요구하지만 최적의 데이터 전송 효율을 위해 가변 길이의 grant를 지원한다.

기지국에서는 주기적인 unicast 요구 기회를 제공 해야만 한다. 이 서비스가 올바르게 동작될 수 있도록 요구/전송 정책 설정에서는 단말이 해당 연결을 위한 contention 요구 기회들을 이용하지 못하도록 한다. 기지국에서는 이전에 발생된 요구를 현재 이행하지 않고 있어도 이 서비스에서 미리 규정한 unicast 요구 기회들을 발생시킬 수도 있다. 이를 수행하면 상향링크에서의 전송 기회를 획득하기 위해 unicast 요구 기회와 데이터 전송 기회만 단말에서 이용하게 된다. 요구/전송 정책의 그 밖의 모든 비트들은 이 스케줄링 서비스의 기본 동작과는 상관없으며 통신망 정책에 따라 설정된다. 이 스케줄링 서비스를 위한 필수 QoS 서비스 플로우 파라미터들은 Minimum Reserved Traffic Rate, Maximum Sustained Traffic Rate, Maximum Latency, Uplink Grant Scheduling Type 및 요구/전송 정책 등이 있다.

2.2.1 Extended rPS

확장된 rPS는 UGS와 rPS의 효율성을 모은 스케줄링 메커니즘이다. 기지국은 UGS와 같은 비요구 방식의 unicast grant를 제공하며, 또한 대역폭 요구의 Latency를 줄일 수 있다. 그러나 UGS 할당은 고정된 크기인 반면, eertPS 할당은 동적이다. 기지국은 데이터 전송에 필요한 만큼의 대역폭 요구에 사용될 주기적인 UL 할당을 제공할 수도 있다. 기본 할당의 크기는 연결의 현재 Maximum Sustained Traffic Rate 값과 일치한다. 단말은 Grant 관리 서브헤더의 확장된 Piggyback 요구 필드를 사용하거나, MAC 시그널링 헤더의 BR필드를 사용하거나 CQICH을

통한 코드워드(codeword)의 전송을 통해 UL 할당에 대한 크기 변경을 요구할 수도 있다. 기지국에서는 단말로부터 다른 대역폭 변경 요구를 수신할 때까지 UL 할당의 크기를 변경하지 않아야만 한다. 만약 대역폭 요구 크기가 0이면, 기지국은 할당을 전혀 하지 않거나 오직 대역폭 요구 헤더만을 위한 할당을 제공할 수도 있다. 유니캐스트 대역폭 요구 기회가 가용하지 않은 경우에 단말은 그 연결에 대한 경쟁 요구 기회를 사용할 수도 있고, 전송할 데이터를 가진 기지국을 알리기 위해 CQICH 코드워드를 전송할 수도 있다. 기지국에서 CQICH 코드워드를 수신하면, 현재의 Maximum Sustained Traffic Rate 값과 일치하는 UL grant에 대한 할당을 시작해야만 한다. 키 서비스(Key Service) IE는 Maximum Sustained Traffic Rate, Minimum Reserved Traffic Rate, Maximum Latency, 그리고 요구/전송 정책이다. 확장된 rPS는 silence suppression을 포함하고 있는 VoIP 서비스와 같은 주기적으로 다양한 크기의 데이터 패킷을 발생시키는 실시간 서비스 플로우를 지원하기 위해 생성된다.

III. eertPS(efficient extended-rtPS)

제안하는 eertPS(efficient extended-rtPS)기법은 기존의 방법들과는 달리 VoIP 서비스의 Silence Characteristic을 이용한 묵음 제거 방식을 적용하여 Toff 시간대의 효율적인 대역 사용을 위한 VoIP 서비스를 위한 실시간 서비스로 유니캐스트 폴링을 특정 조건하에서만 적용을 한다.

그리고 본 논문의 제안된 알고리즘은 기존의 묵음 제거 방식을 활용하여 제안된 multi-polling scheme [5]의 문제점을 지적하고 개선된 알고리즘을 제안하며, IEEE 802.16j의 Multi-Hop(Hop수: K) 방식의 RS(Relay Station)을 적용 시 K>1 일 때의 경우에도 적용 가능하게 구현한다.

본 논문에서 제안하는 eertPS 알고리즘은 크게 기지국(BS: Base Station)과 단말(MS: Mobile Station)간의 MAC Layer상의 동작 정의와 IEEE 802.16j에서 정의된 중계기(RS: Relay Station)의 동작을 설명한다.

3.1 시스템 모델

Voice 트래픽은 mean on-time $1/\lambda$ (= T_{ON}) 과 mean off-time $1/\mu$ (= T_{OFF}) 을 가진 exponentially distributed ON-OFF 시스템으로 모델링 될 수 있다[6]. 그림2와 같이 N명의 독립적인 Voice 유저를 생각할 때, 시스템 모델은 one-dimensional Markov chain 으로 나타낼 수 있다[7].

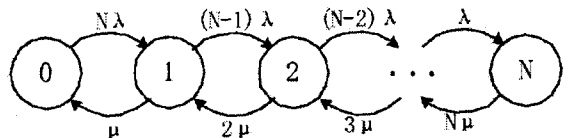


그림 2. System Model

각 상태는 ON-state 동안의 Voice 유저수를 정의한다. 이 시스템 모델의 steady-state probability P_N 은 (1)과 같다.

$$P_N(n) = \binom{N}{n} \left(\frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}} \right)^n \left(\frac{T_{OFF}}{T_{ON} + T_{OFF}} \right)^{N-n} \quad (1)$$

On-state 의 Voice 유저들의 평균 수는 (2)와 같다.

$$\bar{n} = \sum_{n=1}^N n \cdot P_N(n) \quad (2)$$

IEEE 802.16e system의 PHY는 OFDMA로 6 OFDM Symbol (Time Domain)과 1 OFDM subchannel (Frequency Domain)으로 1 resource unit을 정의한다. 전체 업링크 Capacity(R_{TC})는 40 resource unit 이고 1 resource unit(R_{BU})은 QPSK와 1/3 코딩을 이용한 경우의 8 bytes 와 동일하다. 다른 시스템 파라미터는 표1과 같다[5].

표1. 시스템 파라미터

Parameter	Value	Parameter	Value	Parameter	Value
T_{ON}	352ms	T_{OFF}	650ms	T_{MF}	5ms
T_{VC}	20ms	L_{VC}	22Bytes	L_{UH}	2Bytes

기지국은 generic MAC header의 reserved bit 2 bit 중 1 bit을 GM (Grant Me) bit으로 정의된 bit으로 사용하고 1 bit을 EF(Examine T_{OFF}) bit으로 정의하여 다음과 같이 동작하게 한다. 동작은 voice state가 'on' 상태일 때, GM bit을 '1'로 설정하고 반대인 경우에 '0'으로 설정되며, EF bit은 Next Period의 voice state 상태가 'on'일 때 '1'로 설정되고 반대인 경우 '0'으로 설정된다.

3.2 기지국의 동작

- (1) EF bit = 0; GM bit를 확인하여 만약 그 값이 0이면 바로 전 grant 사이즈의 반이 minimum grant 사이즈보다 크면 이전의 grant 사이즈 반을 grant하고 그 반대의 경우이면 minimum grant 사이즈를 grant한다.
- (2) EF bit = 1; Next Period가 T_{OFF} 기간이므로 grant 하지 않게 된다.

단말(MS/SS)에서의 동작은 그림 3과 같이 VoIP 서비스 사용 시 GM bit와 EF bit의 Generic MAC header의 설정대로 진행을 한다.

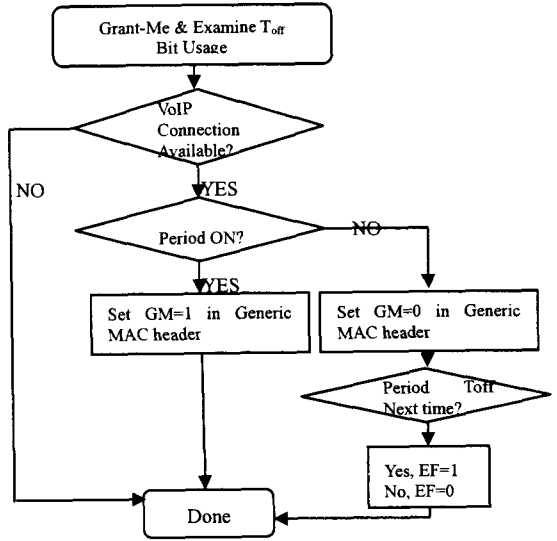


그림 3. Grant-Me & Examine Toff bits usage in SS

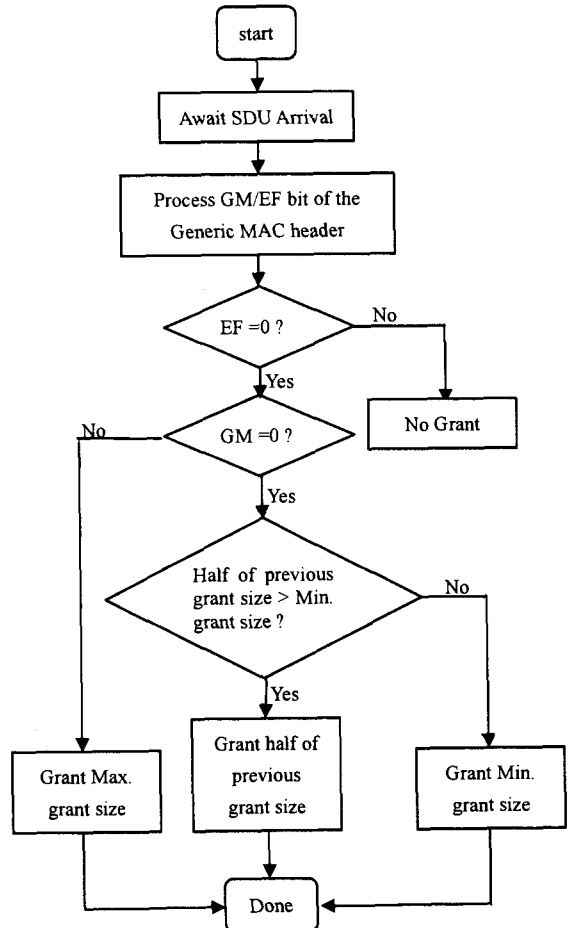


그림 4. Operation of BS according to GM/EF bit

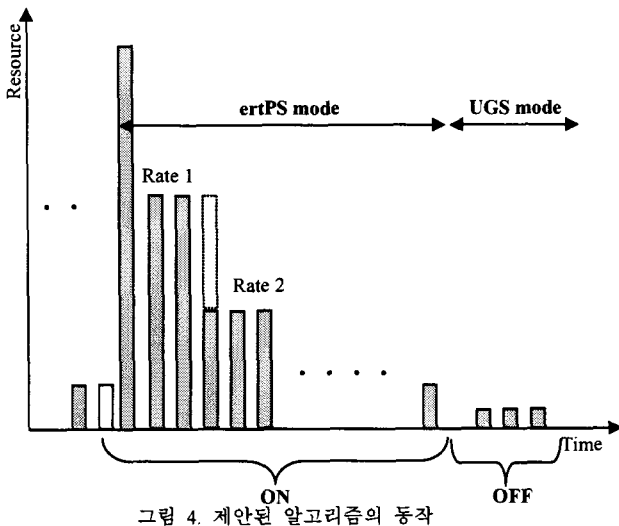


그림 4. 제안된 알고리즘의 동작

기존의 제안되었던 multi-polling scheme[5] 은 Group 별로 T_{OFF} 시간대에서 Bandwidth Request Resource를 하나로 공유하다가 T_{ON} 으로 갈 수 있는 확률 치를 통해 Throughput을 이전의 알고리즘보다 개선을 했다고 볼 수 있으나 이미 시스템 모델을 정의할 때, 독립적인 Voice 유저들을 가정해 놓고 Group별로 T_{OFF} 시간대의 자원 공유하여 활용한다는 것은 전체해 놓았던 논리에 위배되므로 옳지 않다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 T_{OFF} 시간대의 자원을 거의 grant 되지 않는 알고리즘을 사용을 하게 되기 때문에 자원의 비효율적인 측면을 절감하여 자원 이용(Resource Utilization)을 증대시킬 수 있다.

IV. 성능 분석

제안된 알고리즘은 기존의 scheme 들과 비교해 볼 때 크게 두 가지 Factor 로 성능 비교, 분석이 가능하다.

4.1 Throughput

각각 다른 알고리즘들이 서비스할 수 있는 최대 수용 가능한 유저 수를 $N_{M_Algorithm}$ 이라고 할 때,

$$N_{M_Algorithm} = \left(R_{TC} \times \frac{T_{VC}}{T_{MF}} \right) \times \frac{T_{ON} + T_{OFF}}{R_{ON} \times T_{ON} + R_{OFF} \times T_{OFF}} \quad (3)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 R_{ON} 과 R_{OFF} 는 각각 ON 상태와 OFF 상태에서의 요구되는 Bandwidth Resource 를 나타낸다.

그렇다면 기존의 알고리즘이 수용하는 최대 유저 수를 구하면, 아래와 같이 나타난다.

$$N_{M_UGS} = \left(R_{TC} \times \frac{T_{VC}}{T_{MF}} \right) \times \frac{T_{ON} + T_{OFF}}{R_{VP} \times T_{ON} + R_{VP} \times T_{OFF}} = 40$$

$$N_{M_rtPS} = \left(R_{VC} \times \frac{T_{VC}}{T_{MF}} \right) \times \frac{T_{ON} + T_{OFF}}{(R_{VP} + R_{BU}) \times T_{ON} + R_{BU} \times T_{OFF}} \approx 66$$

$$N_{M_ertPS} = \left(R_{VC} \times \frac{T_{VC}}{T_{MF}} \right) \times \frac{T_{ON} + T_{OFF}}{R_{VP} \times T_{ON} + R_{BU} \times T_{OFF}} \approx 77$$

본 논문에서 제안된 ertPS는 T_{OFF} 시간대의 RBU를 없애고, generic MAC header를 이용하여 SS에서 OFF 상태에서 ON 상태로의 Transition을 미리 파악하고 자원당 최대 유저 수를 아래와 같이 증가시킬 수 있다.

$$N_{M_ertPS} = \left(R_{TC} \times \frac{T_{VC}}{T_{MF}} \right) \times \frac{T_{ON} + T_{OFF}}{R_{VP} \times T_{ON}} \approx 114$$

즉, 타 알고리즘 중 제일 많은 자원당 유저 수를 확보한 확장된 알고리즘에 비해 약 1.5배 정도의 최대 유저 수를 확보 가능하다.

4.2 Access Delay

UGS 업링크 스케줄링 알고리즘의 경우 단말(SS)의 access delay는 $5ms(T_{MF}; \text{MAC frame duration})$ 이다[8]. 본 논문에서 제안된 알고리즘의 access delay는 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$T_{M_ertPS} = T_{UGS} \times \frac{1}{1 - P_{N_{M_ertPS}}(n > N_{UGS})}$$

$P_{N_{M_ertPS}}(n > N_{UGS})$ 는 On 상태에서 N_{UGS} 보다 제안된 알고리즘의 유저 수가 더 많은 확률이다. 계산하여 보면,

$$T_{M_ertPS} \approx T_{UGS}$$

위의 값이 나오므로, 실제 access delay는 제안된 알고리즘과 UGS 업링크 스케줄링 알고리즘 access delay와 거의 유사하다고 볼 수 있다.

V. 결론

기존에 제안된 group 별 multi-polling service를 구현한 알고리즘과 IEEE 802.16e 규격에 정의된 Extended-nPS 알고리즘을 개선하여 본 논문에서 제시된 ertPS 알고리즘은 IEEE 802.16e 규격에 더하여 IEEE 802.16j System에도 적용 가능한 MAC header의 bit를 사용하여, VoIP 서비스에서의 업링크 스케줄링 방식에 대한 자원 효율성을 극대화하였다.

VI. 참고문헌

- [1] IEEE 802.16mmr-06/005, "802.16 Mobile Multihop Relay Tutorial," Mar. 2006.
- [2] Ralf Pabst et al., "Relay-Based Deployment Concepts for Wireless and Mobile Broadband Radio.", IEEE Comm. Magazine, Vol.42, Issue 9, Sep. 2004, pp.80-89
- [3] IEEE Standard 802.16-2004, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access System," Mar. 2004.
- [4] IEEE Standard 802.16e-2005, "IEEE Standard for Local Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems," Feb. 2006.
- [5] Hanfeng Zhang et al., "A New Extended rtPS Scheduling Mechanism Based on Multi-Polling for VoIP Service in IEEE 802.16e System", Communication Technology, 2006. ICCT'06. International Conference on, pages 1-4, Nov. 2006.
- [6] P. T. Brady. "A model for generating ON-OFF speech patterns in two way conversations," Bell Syst. Technology Journal, vol. 48, pp. 2445-2472, Sept., 1969.
- [7] S. Z. Ozer and S. Papavassiliou. "Performance analysis of CDMA systems with integrated services," IEEE Trans. Vehic. Technol. vol. 52, pp. 823-836, July. 2003.
- [8] Howon LEE, Taesoo Kwon and Dong-Ho Cho. "An efficient uplink scheduling algorithm for VoIP services in IEEE 802.16 BWA systems," VTC 2004-Fall. Vol.5, pp. 3070-3074, Sep. 2004.
- [9] Howon LEE, Taesoo Kwon and Dong-Ho Cho, "Extended-rtPS Algorithm for VoIP Services in IEEE 802.16 systems", Communications, 2006 IEEE International Conference on Vol.5 June 2006 pages 2060-2065