제5회
정보통신표준화
우수논문집

장 려 상

WiMAX QoS 프레임워크 표준의 구현과 mobile VoIP 품질 및 용량 검증

Implementation of the standard WiMAX QoS framework and the verification of quality and capacity of mobile VoIP service

설순욱, 조성수, 김형수 / KT 중앙연구소

Soonuk Seol, Sungsoo Cho, and Hyoungsoo Kim
Central R&D Laboratory, KT

WiMAX QoS 프레임워크 표준의 구현과 mobile VoIP 품질 및 용량 검증

Implementation of the standard WiMAX QoS framework and the verification of quality and capacity of mobile VoIP service

설순욱, 조성수, 김형수 / KT 중앙연구소

Soonuk Seol, Sungsoo Cho, and Hyoungsoo Kim
Central R&D Laboratory, KT

요 약

최근 와이브로와 같은 무선 인터넷 망에서 VoIP, IPTV 등의 서비스를 제공하기 위한 연구, 개발 및 표준화가 진행되고 있다. 부족한 자원 상황과 상대적으로 전송 오류가 높은 무선 환경에서는 서비스의 품질을 보장하기 위한 방법이 중요한 이슈가 되어 왔다. 본 논문에서는 3GPP와 WiMAX Forum에서 정의하고 있는 서비스별 QoS 제공 프레임워크인 Policy and Charging Control (PCC) 표준을 소개하고 실제 구현사례를 소개한다. 또한, 구현된 3GPP 및 WIMAX PCC 구조를 기반으로 와이브로 기반의 mobile VoIP 서비스를 적용하여 품질 개선 정도를 확인하고, 동시에 수용 가능한 가입자 수를 분석하여 서비스 가능성을 검증해 본다.

Ⅰ. 서론

최근 유선 인터넷전화 (VoIP) 사용자의 증가와 다양한 무선인터넷 단말의 출시로 인해 이동 중에도 무선의 인터넷을 통한 음성 통화 서비스에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히, 무선랜 (WiFi)보다 넓은 커버리지를 대상으로 이동성까지 제공하는 휴대인터넷 (와이브로 [1]) 망에서의 mobile VoIP (m-VoIP) 서비스 제공에 대한 연구, 개발, 및 표준화가 활발히 진행되고 있다.

와이브로 (WiBro) 표준인 IEEE 802.16e [2]은 물리 계층과 매체접근제어 계층에서의 무선 접속 및 전송 기술을 정의하고 있으며, 표준 초기부터 VoIP와 같은 실시간 서비스를 고려하여 다양한 QoS 파라미터와 무선자원할당 방식을 정의하였다. 단말 및 시스템 장비의 인증과 상호운용성 제공을 위해 설립된 국제 사실 표준 단체인 WiMAX Forum은 IEEE 802.16(e) [2, 3]에서 정의하지 않는 네트워크 장비의 기능, 구조, 연동 규격을 표준화하고 있다. 특히 m-VoIP 서비스를 위하여 3GPP IMS의 Policy and Charging Control (PCC) 구조 [4]를 기반으로 WiMAX PCC 구조 [5]를 정의하고 있다. PCC 프레임워크는 VoIP와 같은 IMS 서비스와 스트리밍과 같은 non-IMS 서비스 제공 시에 동적으로 QoS를 설정하여 장비에 실행하고, 서비스 및

플로우 기반의 다양한 과금 모델을 유동적으로 적용할 수 있도록 한다.

다른 표준도 그러하지만 m-VoIP 서비스와 같이 물리계층으로부터 서비스계층까지 전 계층의 프로토콜들이 유기적으로 동작하여 안정적이면서도 실시간으로 제공되어야 하는 서비스의 경우, 표준의 실현 가능성 (feasibility)이 표준화 과정에서 중요하게 고려해야 하는 요소 중의 하나이다. 실현 가능성이 높은 표준은 대상 전체를 기술하여 결여된 부분이 없어야 한다. 특히, 정상적인 동작뿐만 아니라 실패, 오류, 예외 상황에 대한 동작을 포함해야 한다. 본 논문은 세계 최초로 와이브로를 상용화한 경험을 바탕으로 WiMAX PCC 표준을 보다 실현성 있도록 기여하고, 이 WiMAX PCC 표준을 구현하고, m-VoIP 서비스를 위한 품질과 수용량을 검증한 결과를 소개한다.

M-VoIP 서비스를 위해서는 표준의 구현 및 검증에 관한 연구가 중요하지만, 지금까지는 주로 이론적 연구나 컴퓨터 시뮬레이션 위주의 연구가 대부분이었다. 따라서 본 논문에서는 표준화 내용과 함께 실제 표준의 구현과 검증 및 분석에 관한 내용에 집중하고자 한다.

첫 번째로 검증하고자 하는 부분은 와이브로 m-VoIP의 품질 보장에 관한 내용이다. 표준적으로는 m-VoIP를 위하여, 3GPP IMS와 WiMAX 네트워크간의 연동 방법 및 절차, 동적 QoS 제공 프레임워크, 그리고 무선 구간에서의 QoS 차별화 기술이 정의되어 있지만, 실제 구현을 통하여 검증된 사례가 부족하며, 지침서도 미흡한 실정이다. 본 논문의 결과를 토대로, 스카이프(Skype), MSN, 네이트온 폰과 같은 기존의 VoIP 소프트웨어를 단순히 와이브로 단말에서 이용하는 경우에 겪게 되는 Best Effort의 통화 품질과 QoS를 설정한 경우의 통화품질의 차이를 예측해 볼 수 있을 것이다.

무선 환경에서 QoS를 제공하여 m-VoIP 서비스의 품질을 확보하는 것과 더불어 또 한 가지 중요한 요소는 기지국당 얼마나 많은 가입자를 수용할 수 있는가이다. 이 부분을 본 논문의 두 번째 검증에서 다루고자 한다.

M-VoIP 트래픽은 양방향이 동일한 대역폭을 소모하고, 실제 음성 프레임을 전달하기 위한 대역폭에 비해 네트워크 오버헤드에 의해 소모되는 대역폭이 크며, 고품질을 제공하기 위해 실시간의 패킷 전송 및 낮은 손실율 등을 보장해야 한다는 특성을 가지고 있다. 이러한 트래픽 특성 때문에, 와이브로 망에서 m-VoIP 서비스의 품질과 수용량을 동시에 향상시키는 것이 중요한 과제가 되어 왔다. 기본적으로 품질과 수용량은 tradeoff 관계에 있기 때문이다. WiMAX 망에서 m-VoIP 수용량을 분석한 연구가 있었지만 [6], 이론적이고 이상적인 경우의 수용량에 대해서 분석하였고, 분석 방법도 실제 자원 할당 기준인 슬롯(slot) 단위가 아닌 이 보다 작은 심볼 단위로 계산되어서 수용량이 높게 나오는 오차가 존재했다. 따라서 본 논문에서는 와이브로 표준과 더불어 실제 구현 방식과 여러 가지 환경변수들을 반영하여 보다 정확한 이론적 m-VoIP 서비스의 수용량을 분석하고, 실제 와이브로 테스트베드 망에서 수용량을 직접 측정함으로써 실제 서비스에서 어느 정도 차이가 발생할 수 있는지 가늠해 본다. 또한, m-VoIP 서비스의 품질을 적정 수준으로 유지하면서 수용량을 높이기 위한 환경변수 값을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서는

WiMAX QoS 프레임워크 개요와 WiMAX PCC 구조와 관련하여 표준화한 사례를 소개한다. Ⅲ장에서는 실제 WiMAX PCC 구현에 대한 내용과 이를 기반으로 상용망 필드에서 m-VoIP 품질 측정 결과를 설명한다. 여기서는 BE와 QoS 간의 품질 차이를 제시한다. Ⅳ장에서는 와이브로 망에서 m-VoIP서비스의 수용량을 이론적으로 분석 및 고찰하고, Ⅴ장에서는 실제 와이브로 테스트베드 망에서의 m-VoIP 서비스 수용량 측정 결과를 분석한다. 그리고 Ⅵ장에서는 앞의 결과들을 토대로 하여 m-VoIP서비스의 수용량을 높이기 위한 여러 가지 환경변수들의 값을 제시하고, 끝으로 Ⅶ장에서 본 논문의 내용을 전체적으로 요약하고 향후 연구에 대하여 언급한다.

Ⅱ. WiMAX QoS 프레임워크 표준화

1. IEEE 802.16(e)의 QoS 개요

IEEE 802.16(e) [2, 3]은 무선망에서 자원을 효율적으로 사용하고 서비스 플로우별로 품질을 차별화 할 수 있도록 연결 기반 (connection-oriented)의, 그리고 기지국 중심의 자원 할당 방식을 정의하였다. 사실 이 방식은 케이블모뎀 네트워크에서 정의된 방식으로 IEEE 802.16 및 802.16e에서도 수용하고 있다. 비교를 위해, 잘 알려진 기술인 이더넷 (802.3)과 무선랜 (802.11)은 각각 Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection (CSMA/CD) 방

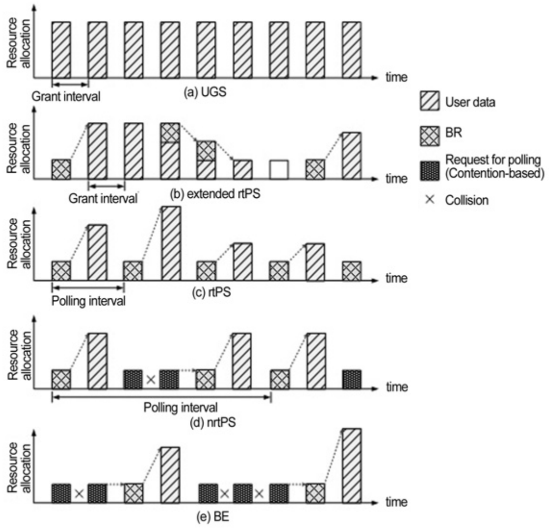
〈표 Ⅱ-1〉 (Uplink) QoS의 종류와 세부 파라미터

<table>
<tr><th>QoS category
(Scheduling Type)</th><th>Applications</th><th>Common parameters</th><th>Specific QoS parameters</th></tr>
<tr><td>Unsolicited Grant Service (UGS)</td><td>VoIP without silence suppression</td><td rowspan="5">Maximum sustained traffic rate

Request/Transmission policy
- broadcast BR request
- piggyback request
- fragment data
- suppress payload header
- pack multiple SDU
- CRC in MAC PDU</td><td>Minimum reserved traffic rate (=Maximum sustained traffic rate)
Maximum latency
Tolerated jitter
Traffic priority
Unsolicited grant interval
SDU size if fixed length SDU</td></tr>
<tr><td>Extended real-time Polling Service (ertPS)</td><td>VoIP with silence suppression</td><td>Minimum reserved traffic rate
Maximum latency
Tolerated jitter
Traffic priority
Unsolicited grant interval</td></tr>
<tr><td>Real-time Polling Service (rtPS)</td><td>Streaming audio or video</td><td>Minimum reserved traffic rate
Maximum latency
Traffic priority
Unsolicited polling interval</td></tr>
<tr><td>Non-real-time Polling Service (nrtPS)</td><td>File Transfer Protocol (FTP)</td><td>Minimum reserved traffic rate
Traffic priority</td></tr>
<tr><td>Best Effort Service (BE)</td><td>Data transfer, Web browsing</td><td>Traffic priority</td></tr>
</table>

식과 Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance (CSMA/CA) 방식을 사용한다. 두 방식 모두 비연결 (connectionless), 경쟁 기반, 그리고 단말이 중심이 되어 자원을 활용한다. 즉, 단말은 네트워크 상에서 신호를 감지한 후 데이터 전송을 하며, 충돌이 발생되거나 예상되는 경우 임의의 시간을 기다리는 방식을 사용한다. 무선랜의 경우 액세스 포인트 (AP)와 통신하는 제 3의 단말의 신호를 감지할 수 없는 경우가 있기 때문에 충돌 회피 (Collision Avoi - dance) 를 위한 별도의 신호를 AP와 주고받는 절차가 정의된다. 이더넷과 무선랜 모두 개별 단말이 중심이 되기 때문에 특정 데이터에만 우선순위를 부여하면서 전체 망의 자원을 효율적으로 사용하기 어렵다. 반면, Orthogonal Freq - uency Division Multiple Access (OFDMA)에 기반한 802.16(e)에서는 연결 기반으로, 단말의 자원 요청과 기지국의 자원 할당 (Request & Grant) 단계를 통하여 데이터 처리를 하기 때문에 기지국 중심의 다양한 QoS 제어가 가능하다. 즉, 기지국이 전체 단말의 무선신호 환경과 요청된 자원량에 따라 각 단말에게 적절한 주파수 (부반송파)와 시간 (심볼) 영역을 지정함으로써 대역폭 (bandwidth)과 지연 (latency)과 같은 QoS 파라미터를 실시간으로 제어할 수 있다. 〈표 Ⅱ-1〉은 802.16(e)에서 제공되는 QoS 스케줄링 방식과 파라미터를 보여준다. 표에서 보인 것과 같이 BE와 nrtPS의 두 가지 비실시간 서비스와 rtPS, ertPS, UGS의 세 가지 실시간 서비스의 QoS 스케줄링 방식을 정의하고 있다. VoIP 서비스를 위해서는 UGS 혹은 ertPS 방식의 스케줄링이 사용될 수 있다. 모든 스케줄링 방식에서 공통적으로 적용되는 파라미터로는 최대 트래픽 속도를 제어하기 위한 maximum sustained traffic rate 파라미터와, MAC의 커넥션 상에서 요청과 전송에 관련한 설정을 제어하기 위한 request and transmission policy 파라미터가 있다. Traffic priority 파라미터는 다른 모든 QoS 파라미터가 동일한 서비스 플로우간의 우선순위를 구분하기 위해 사용된다. nrtPS 방식은 BE와 비교하여 최소 대역폭을 보장해 줄 수 있도록 minimum reserved traffic rate 파라미터가 존재한다. rtPS 방식은 실시간 서비스를 고려하여 최대 허용 가능한 지연시간을 지정할 수 있도록 maximum latency 파라미터가 추가된다. 기지국의 스케줄러는 unsolicited polling interval 파라미터에 의해 설정된 값을 이용하여 단말이 고정적으로 자원요청을 할 수 있는 간격을 보장하여 상향 트래픽의 실시간성을 보장할 수 있다. UGS는 패킷 전송 지연의 변화를 최소화 할 수 있도록 tolerated jitter 파라미터를 추가적으로 지원한다. UGS는 그 이름이 말해주는 것처럼 단말이 자원을 요청하지 않아도 주기적으로 고정된 크기의 데이터를 전송할 수 있도록 자원을 할당한다. 따라서 VoIP와 같이 일정한 간격으로 일정한 크기의 데이터를 보내야 하는 서비스에 적합하다. 이를 위해 실제 스케줄러는 unsolicited grant interval 파라미터와 Service Data Unit (SDU) size 파라미터를 사용한다. ertPS는 UGS와 rtPS의 특성을 모두 반영하고 있다. 기본적으로 UGS처럼 동작하지만 전송할 데이터가 없거나 변경되는 경우, 그리고 그런 경우만, 이를 기지국에 알려주어 자원 낭비를 줄이는 방식이다. VoIP에서 Voice Activity Detection (VAD)를 사용하는 경우에 유용하게 활용될 수 있는 스케줄링 방식이다. 이러한 스케

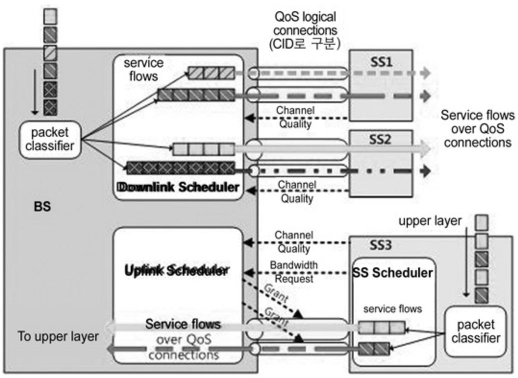
줄링 방식별 자원 할당 개념을 (그림 Ⅱ-1)에 나타내었다. 각각의 방식은, 데이터 전송을 위해 매번 자원 요청 (Bandwidth Request, BR)이 필요한지 여부, BR을 보내야 하는 경우 BR 자체의 전송에 필요한 자원 할당 방식 (폴링 주기), 그리고 폴링이 없는 경우 경쟁 기반으로 폴링을 요청하는 절차에 의해 특징지어 진다.



(그림 Ⅱ-1) 상향 자원 요청 및 할당 방식

다섯 가지 스케줄링 방식에서 나타난 자원 요청 및 할당 개념은 용어 자체에서 알 수 있는 것처럼 상향 트래픽에 적용된다는 점을 유의해야 한다. 하향 트래픽의 경우 단말이 기지국에 요청하거나 기지국이 상대 단말에게 요청하는 것이 아니기 때문이다. 기지국은 단지 코어 망으로부터 (혹은 다른 단말로부터) 수신한 패킷을 언제까지 수신 단말에게 전송할 것인지에만 관여할 수 있다. 따라서 기지국의 하향링크 스케줄러는 커넥션을 생성할 때 파악한 정보인 QoS 스케줄링 방식이 실시간인지 비실시간인지에 따라, 그리고 실시간인 경우 허용된 지연시간 (maximum latency)이 얼마인지를 참고하여 패킷을 얼마나 빨리 대기열 (queue)에서 처리할지 결정하게 된다.

지금까지 IEEE 802.16(e) 네트워크 상에서 어떤 품질을 차별화할 수 있는지 살펴보았다. 즉, 최소 보장 속도, 최대 허용 속도 제한, 패킷 지연 시간, 지터, 플로우별 우선순위 등이다. 이러한 QoS 차별화는 커넥션 기반 혹은 서비스 플로우별로 제공된다고 설명하였다. (그림 Ⅱ-2)는 이러한 플로우별 QoS 스케줄링 개념을 보여준다. 단말과 기지국 사이에는 논리적인 커넥션을 만들어 통신을 하게 되는데, 이 때 패킷 분류를 위한 구분자 (classifier)와, QoS 파라미터 집합으로 정의되는 서비스 플로우 (service flow, SF)와 연관 (association)지어 진다. 전송할 패킷이 도착하면 먼저 SF를 구분하여 해당 커넥션으로 전송하기 위해 식별자 (CID)를 확인한다. 하향 트래픽의 경우 기지국은 해당 서비스 플로우에 정의된 QoS 수준을 만족시킬 수 있도록 스케줄링 하여 단말로 전송한다. 상향 트래픽의 경우 단말은 해당 서비스 플로우에서 정의된 방식에 따라 자원을 요청하고 해당 커넥션에 자원이 할당되는 경우 데이터를 전송한다. 앞서 설명한 것과 같이 UGS의 경우 자원 요청을 하지 않아도 해당 커넥션에 상향 트래



(그림 Ⅱ-2) 하향, 상향 스케줄링 개념

픽을 전송할 수 있는 자원이 확보된다.

IEEE 802.16(e)에서는 서비스 플로우를 생성할 때기지국이 개시하는 방법과 단말이 개시하는 방법을 정의하고 있다. 이때 사용되는 MAC 메시지는 Dynamic Service Add (DSA)이다. 서비스 플로우를 수정하고 삭제하는 메시지는 각각 DSC와 DSD이며, 전체를 DSx로 표현하기도 한다.

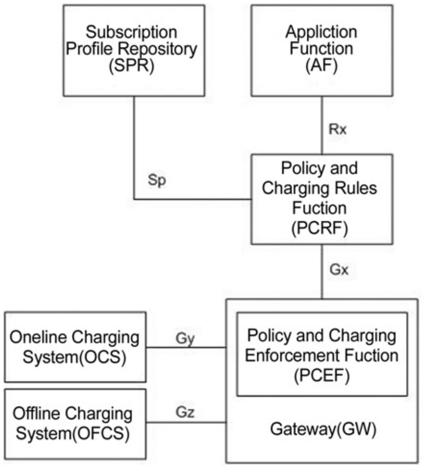
2. Policy and Charging Control

지금까지는 와이브로의 물리계층과 매체접근제어계층에서의 QoS 제공방식을 살펴보았는데, 이러한 QoS를 가입자별, 서비스별로 적용하기 위한 구조가 PCC라고 할 수 있다. 특히 PCC 구조는 동적으로 QoS를 제공하는데 필요한 구조이다. 예를 들어 m-VoIP 통화 중에만, 그리고 해당 패킷 플로우에 대해서만 QoS를 적용할 수 있다.

WiMAX PCC 구조는 3GPP의 PCC 구조를 재사용하고 있으며, WiMAX 망을 위한 확장을 포함하고 있다. 3GPP PCC 프레임워크가 서로 다른 IP connectivity access network (IP-CAN)에 대하여 액세스 독립적으로 서비스를 제공할 수 있도록 정의된 표준이지만, 실제로는 WiMAX 망 고유의 요구사항으로 인한 추가적인 기능 때문에 바로 적용될 수는 없는 구조이다. 본 절에서는 우선 3GPP Release 7 PCC 구조를 살펴보고, 다음으로 WiMAX Release 1.5 PCC 구조의 개요 및 3GPP와의 차이점을 소개한다. 세 번째로 WiMAX PCC 구조에서 VoIP와 같은 서비스에 어떻게 동적으로 QoS를 제공하는지 절차를 설명한다. 마지막으로 WiMAX PCC 표준화에서 실현 가능성을 높이기 위해 본 논문에서 기여한 표준화 내용을 간략히 소개한다.

2.1 3GPP Release 7 PCC 구조

(그림 Ⅱ-3)은 WiMAX Release 1.5 PCC [5]가 기반하는 3GPP Release 7의 PCC 구조 [4]를 보여준다.



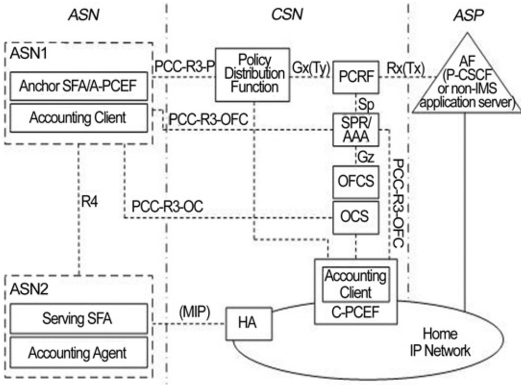
(그림 Ⅱ-3) 3GPP Release 7 PCC 구조

Policy and Charging Rules Function (PCRF)는 Policy and Charging Enforcement Function (PCEF)으로 하여금 서비스 데이터 플로우를 구분하고, 게이팅 (gating), QoS, 플로우별 과금 기능을 어떻게 수행할지 제어하는 역할을 담당한다. PCRF는 이러한 규칙을 결정하는데 필요한 정보를 Application Function (AF), Subscription Profile Repository (SPR), 그리고 PCEF로부터 얻는다. AF는 동적인 QoS 및 과금 제어를 필요로 하는 응용으로서 IMS의 경우 P-CSCF에 해당한다. AF는 PCRF와 연동하여 응용에서 요구되는 QoS 정보와 서비스 세션의 상태 정보를 제공하고, 제어 결과 및 이벤트 정보를 수신한다. SPR은 PCRF가 가입자별, 서

비스별 정책을 결정할 수 있도록 가입자 정책 정보를 관리한다. PCEF는 실제 QoS 및 과금 규칙을 수행하며 GGSN과 같은 무선 접속망의 게이트웨이에 위치한다. PCEF는 PCRF가 제공한 QoS 클래스를 접속망 고유의 QoS 파라미터로 매핑하는 역할을 수행한다. 또한 PCEF는 과금 제어를 수행하여 데이터 사용량, 사용시간 등을 측정하여 온라인 과금 시스템 (OCS) 및 오프라인 과금 시스템(OFCS)에게 제공한다. 온라인 과금은 선불과금과 같이 실시간으로 잔액을 확인하여 차감하는 절차가 필요하며, 오프라인 과금은 주기적으로 사용량만 전달하는 후불과금을 지원한다. Rx와 Gx 인터페이스는 Diameter 프로토콜을 사용하며 Sp는 미정인 상태이다.

2.2 WiMAX Release 1.5 PCC 구조

3GPP PCC가 WiMAX 망의 특성을 반영할 수 있도록 WiMAX PCC가 표준화 되었다. 현재 WiMAX Rel 1.5의 PCC 구조는 (그림 Ⅱ-4)와 같다. 전체 WiMAX 망은 크게 Access Service Network (ASN)과 Connectivity Service Network (CSN)으로 나누어지며, CSN은 Application Service Provider (ASP) 망과 연동한다. ASP에는 여러 가지 서비스가 있지만 그림에서는 대표적으로 PCC 기반의 서비스를 제공하는 IMS AF를 도시하고 있다. ASN은 기지국과 ASN 게이트웨이로 구성된다. 와이브로에서는 RAS와 ACR에 대응된다. ASN에서 제공하는 기능은 2계층 접속, AAA 클라이언트, DHCP 프락시/릴레이, Foreign Agent (FA), PCC 적용(실행) 등이 있다. CSN은 IP 연결 서비스를 제공하며 AAA 서버, DHCP 서버, HA, PCC제어 요소, C-PCEF가 존재한다. AAA 서버는 가입자의 접속 인증, 권한 검증, 과금 기능을 수행한다.



(그림 Ⅱ-4) WiMAX PCC 구조

WiMAX PCC는 전체적으로 3GPP PCC의 구성요소를 모두 포함하고 있으며, 주요 차이점은 아래와 같다.

- 3GPP는 특정 IP 세션이 유지되는 동안 하나의 PCEF만 코어망에 존재한다고 가정한다. (IP 세션별 모든 트래픽이 코어망에 있는 하나의 PCEF를 경유). 반면, WiMAX는 Release 1.0 때부터 QoS 및 과금 기능을 액세스망에서 수행해 옴에 따라 PCEF 기능이 액세스망에 존재한다. 이로 인해 코어망과 액세스망 사이에 새로운 프로토콜을 개발할 필요가 없는 장점이 있다.
- WiMAX는 PCEF가 액세스망에 존재하기 때문에 동일 IP 세션 상에서 액세스망 장치가 변경되는 것 (PCEF relocation)을 지원하기 위해 PCRF와 PCEF 사이에 Policy Distribution Function (PDF)를

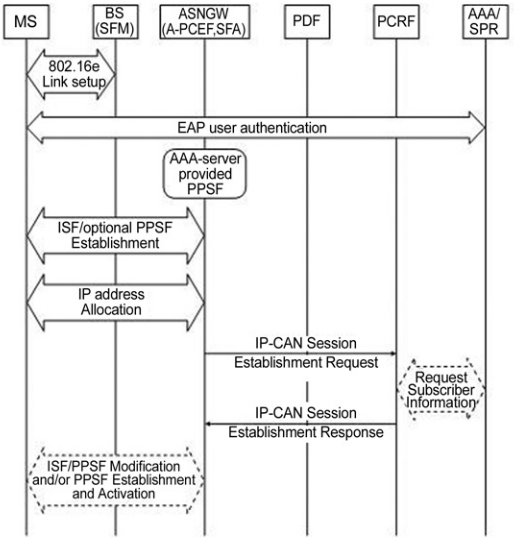
정의하고 있다. WiMAX 망이 3GPP PCRF와 연동하는 경우에 있어서 PDF는 3GPP Rel 7 Gx 인터페이스를 WiMAX 고유의 PCC-R3-P 인터페이스로 매핑하는 역할을 수행한다. PDF는 망에 독자적으로 존재하거나 PCRF에 통합될 수 있다.

- 코어망에서도 정책 및 과금 제어를 수행하는 경우를 위해서 C-PCEF를 정의하고 있다. C-PCEF는 Home Agent (HA)나 기타 다른 코어망 장치에 위치할 수 있으며 선택 요소이다.
- QoS 실행 측면에서, WiMAX는 3GPP가 선호하는 PULL 방식 대신 PUSH 모델을 따른다. PUSH 방식에서는 PCRF가 AF로부터 서비스 정보를 받으면 액세스 망의 QoS 수행을 트리거한다. 따라서 PULL 방식과는 달리 단말이 QoS 예약을 수행할 필요가 없다. 또한, 네트워크에 의해 전체적인 QoS를 최적화 할 수 있고, 단말 응용프로그램에 별도 프로그램 개발을 하지 않아도 된다. 이런 이유 때문에 WiMAX Forum은 네트워크 개시 (network-initiated)의 QoS 적용 절차를 필수 방식으로, 단말 개시 (terminal-initiated) 방법은 선택사항으로 결정하였다.
- WiMAX 망에서 PCEF는 AAA를 통하여 오프라인 과금 시스템과 연동한다.
- 단말의 접속 인증을 처리하는 AAA로부터 접속 성공 메시지와 함께 초기 QoS 및 과금 규칙을 전달하는 것을 기본으로 하며, 이후 PCC 절차에 따라 PCRF가 초기 서비스 플로우 (Initial Service Flow, ISF) 및 사전 제공 서비스 플로우 (Pre-provisioned Service Flow, PPSF)에 대한 수정/생성을 할 수 있도록 한다. 반면, 3GPP에서는 AAA가 없으며 PCRF가 IP-CAN 세션 생성시에 최초의 베어러에 해당하는 Primary PDP Context를 만드는데 필요한 정책 및 과금 규칙을 내려준다.

2.3 PCC 기반 동적 QoS 처리 절차

WiMAX PCC 절차는 WiMAX의 네트워크 접속 절차와 연계되어 있다. (그림 Ⅱ-5)에서 보인 것과 같이 단말이 접속하면 AAA를 통하여 접속 인증 과정을 거치며, 이 때 AAA가 제공한 QoS 및 과금 규칙에 따라 초기 베어러에 해당하는 Initial Service Flow (ISF)를 생성하여 IP 통신이 가능한 상태가 된다. 단말은 이 ISF를 통하여 IP 주소 할당 요청을 한다. 필요에 따라 선택적으로 ISF 이외에 추가적인 서비스 플로우 (PPSF)를 생성하여 다른 QoS 및 과금 규칙을 따르는 트래픽 처리를 할 수도 있다. 즉, 지정된 특정 서버 혹은 단말과 통신하는 트래픽을 무과금 처리하거나 보다 높은 QoS 등급을 할당할 수 있다. 하지만 VoIP와 같이 통신 대상 단말의 IP 주소, 포트 번호, 혹은 QoS 요구사항을 알 수 없는 경우는 사전에 서비스 플로우를 생성할 수 없기 때문에, 서비스가 활성화되는 시점에 IMS P-CSCF로부터 획득한 서비스 정보를 기준으로 서비스 플로우를 동적으로 생성/삭제하는 절차가 필요하다. 특히, UGS 서비스 플로우를 사전에 설정해 놓는다면 단말이 자원을 요청하지 않아도 항상 고정적으로 무선 자원 할당이 일어나기 때문에 자원을 낭비하게 되는 문제가 있다. 따라서 서비스 시스템과 연동하여 무선 자원이 필요한 기간 동안만 동적

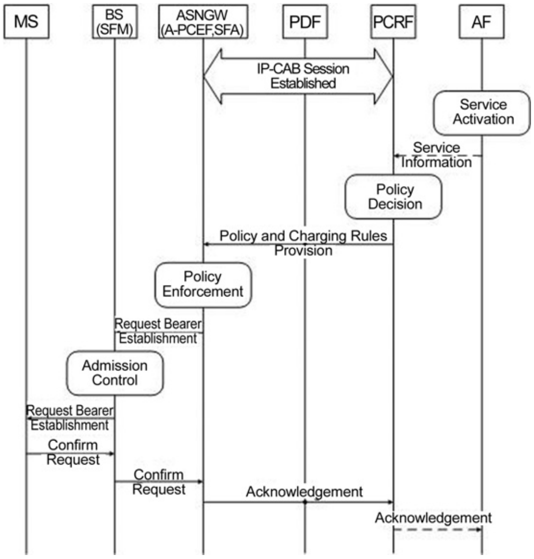
으로 서비스 플로우를 생성하고 삭제하는 절차가 필요하다.



(그림 Ⅱ-5) WiMAX 네트워크 접속 절차 (PCC IP-CAN 세션 설정 절차)

단말에 IP 주소 할당 과정이 끝나면, ASN-GW는 PDF를 거쳐 PCRF로 IP-CAN 세션 설정 요청 메시지를 보낸다. 이 메시지에는 AAA로부터 받은 QoS 프로파일이 포함된다. PCRF는 QoS 사용 권한을 재확인 하며, 가입자 식별, 가입자 서비스 정보, QoS 프로파일 등을 확인하기 위해 AAA/SPR과 연동할 수 있다. 만약 초기 설정된 베이러가 수정될 필요가 있는 경우 PCRF는 갱신된 QoS 및 과금 규칙을 IP-CAN 세션 설정 응답 메시지를 통해 내려줄 수 있다.

PCC에서 성공적으로 IP-CAN 세션 설정이 완료되면, 설정된 단말의 IP 세션 상에서 동적으로 QoS 처리가 가능하다. (그림 Ⅱ-6)는 PCC 기반의 동적 QoS 처리 절차를 보여준다. IMS의 P-CSCF와 같은 AF에서 특정 QoS 요구사항이 발생하면 PCRF로 서비스 정보를 전달한다. 이 서비스 정보에는 가입자 정보, 서비스 데이터 플로우를 구분하기 위한 정보, QoS 요구사항 등이 포함된다. PCRF는 해당 가입자의 QoS 프로파일과 기타 사업자 정책을 확인하여 최종 정책을 결정한다. QoS 권한이 확인된 경우 해당 QoS 및 과금 규칙을 PDF를 거쳐 PCEF로 제공하여 설정될 수 있도록 한다. PCEF는 수신한 규칙을 WiMAX 상의 QoS 파라미터와 과금 필터로 매핑한다. 최종적으로 BS는 무선 상에서 자원이 가용한지 확인하고 베어러를 설정한다.



(그림 Ⅱ-6) PCC 기반 동적 QoS 설정 절차

2.4 WiMAX PCC 표준화

WiMAX Forum은 Release 1.0에서 정적 QoS 모델만을 정의하였다. 즉, 단말이 접속하여 종료할 때 까지 지정된 패킷 플로우별로 특정 QoS를 제공하기 위해 서로 다른 서비스 플로우(커넥션)를 미리 설정한다 (PPSF 사용).

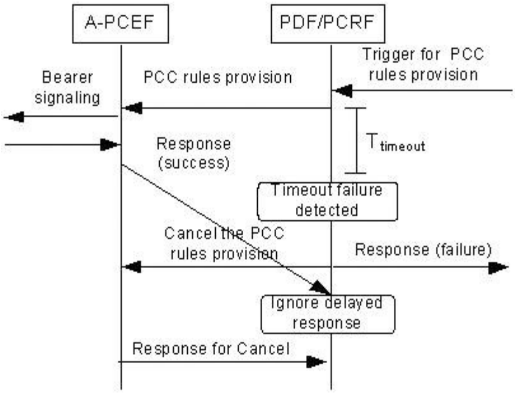
이후, WiMAX Release 1.5에서 동적 QoS 제공 방법이 정의되었다. 비록 WiMAX 망에서

다양한 QoS 기능이 있지만 서비스별 동적 QoS를 제공하기 위한 요구사항은 상대적으로 늦게 표준화된 것이다. 동적 QoS 기능 자체가 부가적인 성격이어서 상대적으로 표준화 우선순위가 낮은 부분도 있었지만, 3GPP 표준에서 접속망과는 독립적으로 적용 가능하리라고 생각했던 3GPP PCC 구조가 WiMAX 망에 바로 적용할 수 없었던 문제와, 무선 구간의 QoS 차별화 기능이 없거나 단순한 수준인 3GPP 망에서 실제 PCC 구조의 구현 사례도 부족하여 3GPP PCC 표준 자체의 완성도 또한 높지 않았기 때문이다.

본 논문에서 구현한 PCC 구조는 2004년 개발된 유선망의 QoS 제어 플랫폼을 근간으로 하며 2005년 와이브로 상용화와 함께 Release 1.5 PCC 표준화 이전부터 동적 QoS 제공 기능을 구현하여 자체 연동규격을 완성하였으며, 상용 수준의 플랫폼 개발과정에서 안정성과 성능을 높일 수 있도록 연동규격을 보완해왔다. WiMAX PCC 표준화가 시작되면서 자체 규격을 표준에 반영하였으며, 표준에서 새롭게 논의된 사항을 수용하기도 하였다. 본 논문에서는 구현과 검증에 지면을 할애하기 위하여 여기서는 일부 내용만 소개하기로 한다.

(1) 오류의 종류와 처리 원칙

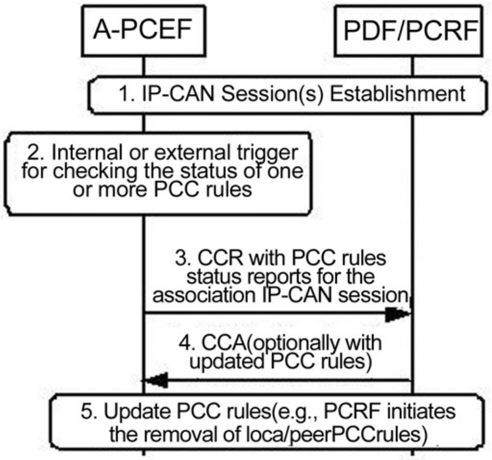
PCRF와 PCEF간 통신에 있어서 오류의 종류를 세 가지로 분류하고 각 오류 상황에서의 처리 원칙을 정의하였다. 첫 번째 유형은 네트워크가 단절되어 통신이 불가능한 경우로서 단절된 동안에 일어나는 이벤트 혹은 신규 요청을 처리하는 방법을 정의하며, 두 번째는 응답이 지연되는 경우로서 상태 불일치를 방지하기 위한 방법을 제시하며, 마지막은 처리 결과가 실패인 경우로서 경우에 따라 롤백 (rollback) 등의 처리 원칙을 정의한다. (그림 Ⅱ-7)은 두 번째 오류 유형의 처리 예제를 보여준다. PCRF가 PCEF에게 PCC 설정을 요청한 이후 지정된 시간 내에 응답을 받지 못하는 경우, 취소에 해당하는 동작을 취하도록 하여 상태의 불일치가 발생하지 않도록 정의하고 있다.



(그림 Ⅱ-7) 응답 지연 오류 유형의 처리 예제

(2) PCC 상태 동기화 방법

PCRF와 PCEF가 연동하는 동안에 다양한 오류에 의해서 PCC 정책 정보의 상태가 불일치되는 경우가 발생할 수 있으나 기존 3GPP 표준에서는 이런 상태를 확인하여 동기화 시키는 절차가 정의되어 있지 않다. WiMAX PCC에서는 기존 표준을 변경하지 않고 이벤트 코드값만을 추가하여 상태확인 및 동기화 처리가 가능하도록 하였다. (그림 Ⅱ-8)은 PCEF가 주기적으로 혹은 다른 트리거에 의해 의심되는 PCC 규칙을 발견하여 PCRF로 확인 요청하고 상태를 갱신하도록 하는 절차를 보여준다.



(그림 Ⅱ-8) PCC 상태 동기화 절차

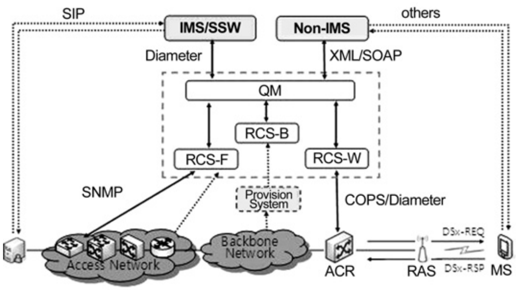
본 절에서 설명한 오류 처리 방법 및 동기화 절차는 모두 WiMAX Release 1.5 PCC 표준에 반영되어 있다. 본 논문에서 기술한 부분 이외에도 QoS 및 과금 제어에 필요한 연동 절차, 메시지, 세부 파라미터에 이르는 상당부분의 표준화에 기여하였다.

Ⅲ. PCC 표준의 구현 및 검증 (M-VoIP 이동 품질 측정)

본 장에서는 본 논문에서 구현한 PCC 구조에 대한 소개와 이를 기반으로 실제 m-VoIP에서 얼마나 품질 개선 효과가 있는지 확인해 보고자 한다.

(그림 Ⅲ-1)는 KT가 구현한 유무선통합 자원제어 플랫폼을 보여준다. 붉은색 박스로 표시한 부분이 PCC 구조에서 PCRF와 PDF 부분를 포함한다. 주요 특징은 아래와 같다.

- ㅁ AF인 서비스 시스템과 연동하고 전체 자원을 통합 중재하는 QoS Manager (QM)와, PCEF인 접속망 장비와 연동/제어하는 Resource Control System (RCS)의 두 계층으로 구성
- ㅁ 유선, 와이브로, 백본 망별로 특징을 고려하여 각각 제어/관리하는 구조
- ㅁ IMS와 non-IMS 서비스 모두에게 동적 QoS을 제공하는 구조로서 각각 Diameter Rx와 웹서비스(SOAP) 인터페이스를 제공
- ㅁ 와이브로의 ACR 제어를 위해 기존 3GPP Rel 6 기반의 COPS 프로토콜과, 현재 WiMAX PCC-R3-P의 Diameter 프로토콜을 모두 제공



(그림 Ⅲ-1) KT 유무선 통합 자원제어 플랫폼

본 논문에서 구현한 PCC 구조는 KT의 상용 인터넷전화 서비스인 SoIP 시스템과 연동하여 2008년 서울에서 개최된 OECD 장관회의 기간동안 국내외 주요 인사 200여명을 대상으로 m-VoIP 서비스가 시범 적용되었다. 이때 사용된 단말은 wave1 기술이 적용된 와이브로 스마트폰 이었으며, 음성통화는 와이브로 단말간 뿐만아니라 유선전화 (PSTN), 이동전화, 그리고 국제전화까지 서비스 하였다. PCC 기반의 동적 QoS 제공을 통하여 매 통화별로 자원을 할당하

〈표 Ⅲ-1〉 이동 중 BE와 UGS의 m-VoIP 품질 비교 - 500초 평균값, G.729, 지터버퍼 40ms

스케줄링 방 식	MOS 평균	R값 평균	End-to-End Delay 평균 (ms)	One-Way Delay 평균 (ms)	지터 평균 (ms)	패킷 손실 (%)	최대 연속된 패킷 손실 (개)	지터 버퍼의 패킷 손실 (개)
BE	2.13	41.05	185	110	25.741	0.304	33	3,466
UGS	3.82	75.17	130	55	6.905	0.668	75	191

여 (UGS 스케줄링 방식 적용) 전반적으로 만족스러운 평가를 받았으나 이동 중에 일부 품질저하 현상이 발견되기도 하였다.

〈표 Ⅲ-1〉은 wave2 기술이 적용된 상용망 필드에서 차량이동 중 BE와 UGS 방식의 m-VoIP 품질 평균값을 비교하고 있다. 실시간 품질 변화에 대한 그래프는 (그림 Ⅲ-2)에 나타내었으며 순서대로 Mean Opinion Score (MOS) [7], one-way delay, 패킷 손실, 지터 (jitter) 값을 보여준다. 여기서 MOS 값은 ITU-T G.107 E-Model [8] 방식으로 측정한 객관적 품질 지표이다.

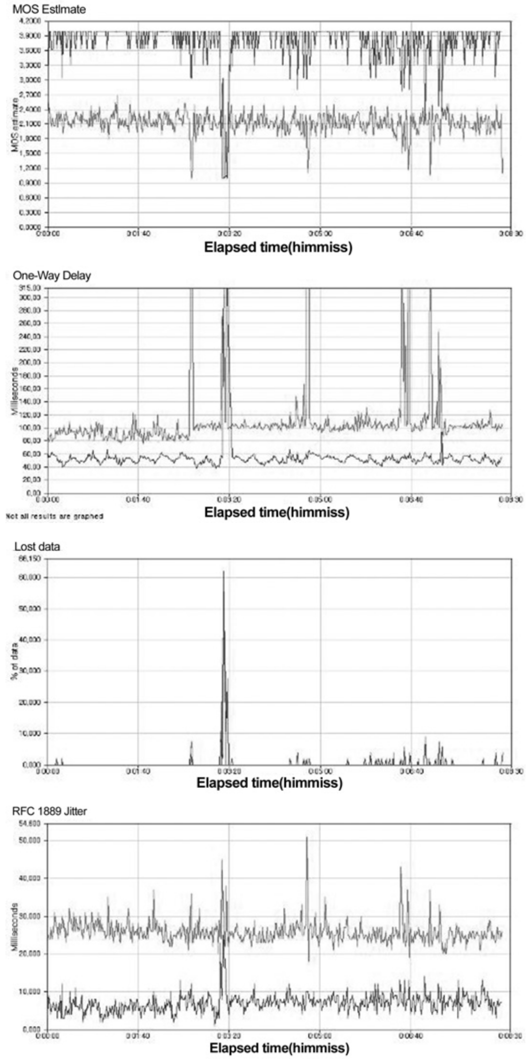
표에서 확인할 수 있듯이 UGS를 이용하는 경우 VoIP 품질이 높게 나오는 것을 확인할 수 있다. 다만, 본 실험에서는 측정의 편의를 위해 실제 m-VoIP 단말을 사용하지는 않았으며, 노트북에 와이브로 모뎀과 VoIP 측정 에이전트를 활용하여 네트워트 구간에 대한 품질 측정만 수행하였다.

BE의 MOS 점수가 2.13으로 UGS의 3.82보다 낮게 나온 원인은 end-to-end 지연과 지터가 높게 나왔기 때문이다. 참고로 유선 인터넷 전화에서는 MOS값 3.60 이상이 요구되고 있으며 (R값으로는 70점에 해당), end-to-end 지연은 150ms가 요구되고 있다 [9]. 시험에서 측정한 end-to-end 지연은 네트워크 상의 패킷 전송에 소요되는 one-way 지연과, 코덱별 패킷을 만드는데 소요되는 시간, 지터 버퍼 지연이 포함된다. 본 시험에서 사용된 코덱인 G.729는 25ms의 패킷 생성 지연을 갖는다 (G.711은 1.0ms). 또한 지터 버퍼는 40ms로 설정하였다.

지터가 높으면 실질적인 패킷 손실 효과로 보아야 하는 점을 유의해야 한다. 즉, 지터 버퍼가 모두 차있는 경우 패킷을 수신하더라도 폐기(discard)하게 된다. BE의 경우 네트워크상의 패킷 손실은 0.3%로 측정되어 큰 문제가 없는 것으로 생각할 수 있지만, 표의 가장 오른쪽에 나타낸 지터 버퍼의 패킷 손실 개수가 전체 3,466개로 측정되었다. 이것은 G.729 코덱이 초당 50개의 패킷을 전송하는 것을 고려하면 전체 500초 통화중에 69초(13.8%) 만큼의 패킷이 지터 버퍼 단에서 버려진 것을 의미한다.

네트워크 상의 패킷 손실의 경우 UGS가 0.7%로 BE의 0.3%보다 높은 이유는 UGS의 경우 BE에서 사용하는 ARQ 재전송 기능을 사용하지 않기 때문이다. 이것은 UGS 방식에서는 단말이 자원을 요청하지 않고 기지국이 고정적으로 자원을 할당해 주는데, 재전송을 위한 자원은 고려하지 않기 때문이다.

본 측정이 실시된 500초 동안 핸드오버가 10회 발생 하였다. (그림 Ⅲ-2)의 MOS, 지연, 손실 그래프 상에서 순간적으로 품질이 떨어지는 구간으로 보면 된다. 특히 3분20초 시점은 핑퐁현상으로 추정된다.



(그림 Ⅲ-2) 이동에 따른 BE와 UGS 품질 변화

--------- BE (붉은색) --------- UGS (파란색)

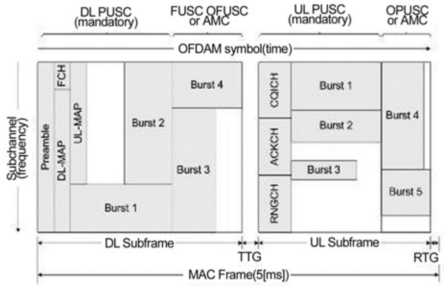
Ⅳ. 수용량 분석 (이론적 계산)

본 장에서는 와이브로 표준에서 조합 가능한 여러 환경변수를 분석하여 와이브로망에서 m-VoIP 서비스의 셀 수용량을 이론적으로 계산한다.

1. 분석 고려사항

1.1 와이브로 MAC 프레임 구조

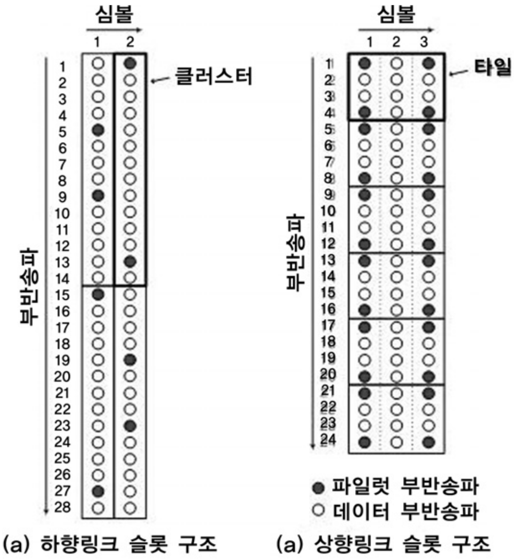
와이브로 MAC 프레임의 구조는 (그림 Ⅳ-1)과 같다 [1, 2]. 가로축은 심볼 시간 단위로서 와이브로규격 [2]에 따라 하향링크는 27개의 심볼, 그리고 상향링크는 15개의 심볼로 구성된다. 세로축은 OFDM 부반송파 단위로서, 본 글에서는 하향링크가 840개의 부반송파 (PUSC모드), 상향링크가 840개의 부반송파 (PUSC모드)로 동작한다고 가정한다. 하향링크의 심볼 및 부반송파 무선 자원은 프리앰블 (preamble), FCH, DL/UL-MAP 정보 등의 MAC 제어 메시지와 실제 하향링크로 전송될 데이터 버스트 (data burst)를 위해 할당되고, 상향링크에서는 Channel Quality Indicator Channel (CQICH), Acknowledgement Channel (ACKCH), 그리고 Ranging Channel (RNGCH) 등의 제어 채널과 실제 상향링크로 전송할 데이터 버스트를 위해 할당된다.



- ACKCH : Acknowledgement Channel
- AMC : Adaptive Modulation and Coding
- CQICH : Channel Quality Indication Channel
- FCH : Frame Contral Header
- FESC : Full Usage of Subchannel
- OP(F)USC : Optional P(F)USC
- PUSC : Partial Usage of Subchannel
- RNGCH : Ranging Channel
- RTG : Receive/transmit Transition Gap
- TTG : Transmit/receive Transition Gap

(그림 Ⅳ-1) 와이브로 OFDMA 프레임의 구조

와이브로 시스템에서 무선자원의 최소 할당 단위는 심볼/부반송파 단위가 아니라, 슬롯(slot)단위로 이루어진다. 슬롯의 개념은 하향링크와 상향링크에서 서로 다르게 정의된다. 하향링크 프레임의 경우, 1개의 슬롯은 4개의 클러스터 (cluster)로 구성되고, 각 클러스터는 1개의 시간 심볼 내에서 14개의 부반송파 (=2개의 파일럿 부반송파+12개의 데이터 부반송파)로 구성된다 (그림 Ⅳ-2(a)). 따라서 하향링크 프레임은 프리앰블을 제외하면 총 390개의 슬롯을 가지며, 각 슬롯은 총 48개의 데이터 부반송파를 가지게 된다. 반면, 상향링크 프레임의 경우, 1개의 슬롯은 6개의 타일 (tile)로 구성되고, 각 타일은 3개의 시간 심볼 내에서 12개의 부반송파 (=4개의 파일럿 부반송파+8개의 데이터 부반송파)로 구성된다 (그림 Ⅳ-1(b)). 따라서 상향링크 프레임은 데이터 버스트 전송 용도로 총 140개의 슬롯을 사용할 수 있으며, 각 슬롯은 총 48개의 데이터 부반송파를 가지게 된다.



(그림 Ⅳ-2) 와이브로 시스템의 슬롯 (slot) 구조

와이브로 OFDMA 프레임의 무선자원 사용량을 <표 Ⅳ-1>과 같이 정리할 수 있다. 하향링크 프레임에서 FCH는 15[bits], DL-MAP의 고정 오버헤드는 104[bits], UL-MAP의 고정 오버헤드는 56[bits], DL-MAP-IE는 52[bits], UL-MAP-IE는 32[bits]로서 그 절대적 크기가 비교적 작은 편이지만, 이들 오버헤드는 열악한 채널환경을 가진 모든 단말에게 오류없이 전송되어야 하므로 변조 및 코딩 기법 (Modulation and Coding Scheme)을 QPSK, 1/2, repetition=6을 사용하므로 차지하는 슬롯의 개수는 상대적으로 많은 편이라 할 수 있다. 이를 고려했을 때, 각각의 오버헤드가 차지하는 슬롯 개수는 *SFCH*=2, *SDL-MAP-FIXED*=13, *SUL-MAP-FIXED*=7, *SDL-MAP-IE*=7, *SUL-MAP-IE*=4로 정리할 수 있다. 여기서 *SDL-MAP-IE, SUL-MAP-IE*의 양은 각각 하향링크 데이터 버스트 개수 (NDL)와 상향링크 데이터 버스트 개수 (NUL)만큼 증가하게 된다. 따라서 전체 390개의 슬롯 중에서 하향링크 데이터 버스트를 전송하기 위해 사용할 수 있는 슬롯의 개수는 368 − *(NDL × SDL-MAP-IE ×*

<표 Ⅳ-1> 와이브로 OFDMA 프레임의 무선 자원

	하향링크	상향링크
전체[slots]	390(프리앰블 별도)	175
고정 오버헤드 [slots]	*SFCH* = 2 *SDL-MAP-FIXED* = 13 *SUL-MAP-FIXED* = 7	*SCQICH +SACKCH+SRNGCH* = 35
가변 오버헤드 [slots]	*SDL-MAP-IE* = 7 *(×NDL 개)* *SUL-MAP-IE* = 4 *(×NUL 개)*	n/a
가용자원 [slots]	*368 − (NDL × SDL-MAP-IE + NUL × SUL-MAP-IE)*	140

*NUL × SUL-MAP-IE)*개가 된다. 반면, 상향링크 프레임에서는 총 175개의 슬롯 중에서 CQICH, ACKCH, RNGCH이 3심볼(또는 35개의 슬롯)을 고정적으로 사용하므로 상향링크 데이터 버스트를 전송하기 위해 사용할 수 있는 슬롯의 개수는 140개가 된다.

1.2 Bandwidth Request Header (BRH) 크기 *(BBRH)*

(그림 Ⅱ-1)에서도 설명한 것과 같이 IEEE 802.16(e) 표준규격에서는 상향링크 무선자원 할당을 위해 5가지의 스케줄링 타입을 정의하고 있으며, 기존의 인터넷과 매우 다른 자원할당 방식을 사용한다. 먼저, 단말이 보내고자 하는 데이터 크기만큼 자원 요청을 하고 기지국은 자원 상황에 따라 할당 여부를 결정한다. 5가지 스케줄링 타입은 서로 다른 메커니즘을 이용해 상향링크 자원을 할당한다. 예를 들어, UGS 또는 ertPS의 경우에는 단말과 기지국간에 초기에 약속된 정보에 따라 Bandwidth Request Header (BRH)를 전송하지 않고 RAS가 단말에게 고정적으로 상향링크 자원을 할당할 수 있는 반면, rtPS, nrtPS, BE의 경우에는 단말이 데이터 버스트를 전송하기 위해 BRH를 먼저 전송해야 한다. BRH의 PDU크기는 *BBRH*=48[bits]로서 그 자체가 상향링크 대역폭을 많이 소모하는 것은 아니지만, BRH를 전송하기 위해서는 하향링크에 UL-MAP-IE (SUL-MAP-IE)를 포함시켜야 하므로 하향링크 대역폭을 소모하게 된다. BRH가 차지하는 슬롯의 개수 SBRH는 전송 시점의 상향링크 변조(μ_{UL}) 및 부호화(γ_{UL}) 기법에 따라 달라진다.

그리고, 뒤에서 언급하겠지만, BRH는 상향링크 슬롯 자원 뿐만 아니라 데이터 버스트 개수를 차지하게 하므로 m-VoIP수용량 분석에 있어서 반드시 고려되어야 한다.

$$S_{BRH} = \left\lceil \frac{B_{BRH}}{\mu_{UL} \times \gamma_{UL} \times 48} \right\rceil$$

1.3 와이브로망에서 m-VoIP MAC PDU 크기 (BV)

와이브로망에서 m-VoIP트래픽의 MAC PDU크기는 코덱의 종류 및 packetization interval (이하 ptime)에 따라 달라진다. 즉, 코덱의 종류에 따라 기본적으로 필요로 하는 대역폭의 양이 다르며, 동일 코덱이라 해도 ptime에 따라 RTP/UDP/IP헤더 첨가 빈도와 MAC/PHY 전송 빈도가 달라지기 때문에 이는 m-VoIP 수용량에 큰 영향을 미친다. MAC PDU크기 BV는 다음과 같은 수식으로 정의된다.

$$B_V = \left\lceil \frac{B_0}{I_0} \times I_{ptime} \right\rceil + 400 \quad [bits]$$

단, B_0 : 코덱의 음성프레임 크기 bits
I_0 : 코덱의 음성프레임 간격 ms
I_{ptime} : Packetization time(Ptime) ms
400 = RTP / UDP / IP헤더(320)+MAC헤더(48) + MAC CRC(32)

<표 Ⅳ-2>는 코덱 종류별, ptime 간격별 패킷의 크기와 MAC PDU크기를 계산한 예시이다. 만약 Packet Header Suppression (PHS)를 적용한다면 RTP/UDP/IP헤더의 크기가 320[bits]에서 96[bits]로, Robust Header Compression (RoHC)를 적용한다면 320[bits]를 24[bits] 정도로 감소하는 것으로 알려져 있다.

〈표 Ⅳ-2〉 MAC PDU 크기 계산 예시

	음성 프레임 크기(B_0) [bits]	음성 프레임 간격(I_0) [ms]	ptime (*Iptime*) [ms]	IP 패킷 [bits]	MAC PDU (*Bv*) [bits]
G.711 (64k)	640	10	10	960	1,040
			20	1,600	1,680
G.729 (8k)	80	10	10	400	480
			20	480	560

M-VoIP 트래픽의 MAC PDU가 차지하는 슬롯의 수 Sv는 전송 시점의 변조 (μ_{DL}) 및 부호화 (γ_{DL}) 기법에 따라 달라진다. 아래 수식은 하향링크에서 MAC PDU가 차지하는 슬롯의 개수를 계산하는 수식이다. 상향링크의 경우 μ_{UL} , γ_{UL} , 을 적용하면 된다.

$$S_V = \left\lceil \frac{B_V}{\mu_{DL} \times \gamma_{DL} \times 48} \right\rceil$$

1.4 Voice Activity Detection (VAD) (ν)

VoIP 트래픽의 주요한 특성 중 하나는 묵음(silence)구간이 존재한다는 점이다. VAD는 음성 활성도 (voice activity)를 감지 (detection)하여 묵음구간에 대해서는 프레임을 생성하지 않음으로써 m-VoIP 수용량을 향상시키는 기술이다(silence suppression mechanism). 본 글에서는 음성 활성도를 ν 로 정의한다. 값의 범위는 $0 < \nu \le 1$ 이며, 묵음구간이 많을수록 0에 가까워진다. 참고로, 일반적인 통화 시의 활성도는 약 50[%] ($\nu = 0.5$)정도 되는 것으로 알려져 있다.

2. 와이브로 m-VoIP 수용량 분석

앞에서 설명한 내용을 토대로 하향링크 용량 (N_{DL})과 상향링크 용량 (N_{UL})을 각각 다음 수식으로 정리할 수 있다. 앞에서 설명하였듯이, B_{BRH}와 B_V는 [bits]단위의 변수이므로 modulation order μ 와 channel code rate γ 를 적용한 뒤 48[bits]로 나눔으로써 [slots] 단위의 S_{BRH}와 S_V로 변환하였음에 유의한다.

$$N_{DL} = \left\lfloor \frac{368}{S_V + S_{DL\text{-}MAP\text{-}IE} + \beta \times S_{UL\text{-}MAP\text{-}IE}} \times \frac{1}{\nu} \right\rfloor \times \frac{I_{ptime}}{5}$$

$$N_{UL} = \left\lfloor \frac{140}{S_V + (\beta - 1) \times S_{BRH}} \times \frac{1}{\nu} \right\rfloor \times \frac{I_{ptime}}{5}$$

$$\text{단, } \beta = \begin{cases} 1, & UGS,\ ertPS\text{일 경우} \\ 2, & rtPS,\ nrtPS, BE\text{일 경우} \end{cases}$$

$$\mu = \begin{cases} 2, & QPSK\text{일 경우} \\ 4, & 16QAM\text{일 경우} \\ 6, & 64QAM\text{일 경우} \end{cases}$$

γ. *channel code rate*

최종적으로, 와이브로망에서 m-VoIP 수용량 (*N*)은 N_{DL}과 N_{UL}의 최소값에 의해 결정된다.

$$N = \min\left(N_{DL}, N_{UL}\right)$$

위 수식을 근거로 주요 환경변수에 따라 와이브로 m-VoIP의 수용량을 분석하면 〈표 Ⅳ-3〉과 같다. 단, PHS와 RoHC는 미적용, $\nu = 1$로 가정한다. 그리고 스케줄링 타입이 BE인 경우에는 m-VoIP서비스를 이용할 수 있는 단말의 수가 일정수준 이상 증가하면 m-VoIP서비스의 품질이 전체적으로 급격히 감소하기 시작하므로 그 순간의 m-VoIP 단말 수를 수용량으로 정의하도록 한다.

〈표 Ⅳ-3〉 와이브로 m-VoIP 수용량 분석 결과

무선 환경	스케줄링 타입	코덱	ptime (*lptime*) [ms]	*NDL* [ea]	*NUL* [ea]	*N* [ea]
(강전계) $\mu_{DL}=6$ $\gamma_{DL}=5/6$ $\mu_{UL}=4$ $\gamma_{UL}=3/4$	UGS	G.711	10	46	34	34
			20	80	44	44
		G.729	10	56	70	56
			20	104	140	104
	BE	G.711	10	36	30	30
			20	64	40	40
		G.729	10	42	56	42
			20	80	112	80
(약전계) $\mu_{DL}=2$ $\gamma_{DL}=1/2$ $\mu_{UL}=2$ $\gamma_{UL}=1/2$	UGS	G.711	10	22	12	12
			20	32	16	16
		G.729	10	34	28	28
			20	64	44	44
	BE	G.711	10	18	12	12
			20	28	12	12
		G.729	10	28	24	24
			20	52	40	40

쉽게 예상할 수 있듯이, UGS를 사용하면 별도의 BRH가 필요 없으므로 BE보다 더 큰 수용량을 얻을 수 있다. 그리고 ptime이 클수록 많은 음성 프레임을 한 개의 패킷에 전송할 수 있으므로 오버헤드의 양이 상대적으로 줄어들기 때문에 수용량이 증가함을 알 수 있다. 단, ptime이 지나치게 큰 경우, 지연, 패킷 손실, 지터에 의해 m-VoIP 서비스 품질에 상대적으로 많은 영향을 미치게 된다. 또한, 이 결과로부터 m-VoIP 수용량은 대부분의 경우 상향링크에 의해 결정됨을 알 수 있다. 물론 무선환경이 강전계이고, G.729 (8[kbps])와 같이 코덱의 기본 대역폭이 작은 경우에는 하향링크에 의해 수용량이 결정될 수 있지만, 실제로 1개의 셀 내에서 모든 단말이 강전계에 있을 가능성은 매우 낮으므로 이는 무시할 수 있다. 일반적으로, 이는 인터넷 트래픽이 하향링크에서 훨씬 더 큰 대역폭을 차지한다는 점과 매우 대조적이다.

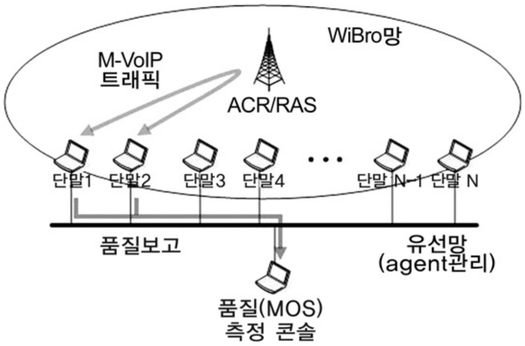
Ⅴ. 수용량 측정

본 장에서는 여러 가지 환경변수를 고려하여 와이브로 테스트베드 망에서 m-VoIP 서비스의 RAS 수용량을 실제 측정한다.

1. 시험망 구성 및 시험 방법

시험망 구성은 (그림 3)과 같이 1개의 와이브로 셀 내에서 N대의 단말을 접속시켜 통신이 가능하도록 하고, 품질 측정을 위하여 별도의 관리용 유선망을 구성하여 품질측정 콘솔과 통신할 수 있도록 한다. 실제로는 USB 모뎀 50개가 장착 가능한 멀티콜 시험 장비 2세트를 활용하였으며, 모든 슬롯 (단말)에는 Windows XP 운영체제가 탑재되어 있다. 또한, 각 단말에는 m-VoIP 서비스의 품질 측정을 위한 상용 소프트웨어 에이전트가 설치되어 있어서 단말이 m-VoIP 트래픽을 송수신하면서, 해당 트래픽의 품질 파라미터들 (예를 들어, Mean Opinion Score (MOS)[4], 지연, 패킷 손실, 지터 등)을 주기적 또는 일괄적으로 품질측정 콘솔에 보고한다. 품질 측정 콘솔은 전체 에이전트들을 제어, 관리하는 기능을 하며, 그들로부터 보고 받은 품질 파라미터들을 표시한다.

시험 방법은 단말 2대씩 짝을 구성하여 m-VoIP 트래픽을 양방향으로 생성시켜 품질을 측정하고, 차례대로 단말 2대씩 추가해 가면서 동일 시험을 반복적으로 수행한다. 하나의 셀은 한정된 무선자원을 가지고 있으므로 m-VoIP서비



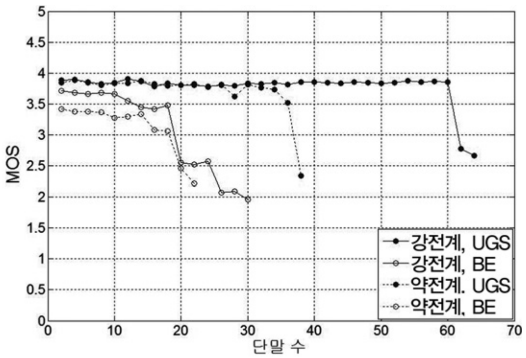
(그림 V-1) 수용량 측정을 위한 시험망 구성도

스를 이용하는 단말의 수가 일정 수준 이상 초과하면 m-VoIP서비스의 품질이 급격하게 감소할 것임을 예상할 수 있다. 따라서 본 글에서는 m-VoIP 서비스의 품질이 급격하게 떨어지는 시점까지의 m-VoIP 이용 단말 수를 와이브로 망에서의 m-VoIP 수용량으로 정의하도록 한다. 이때, 수용량을 판단하기 위한 품질지표로서 ITU-T G.107의 E-Model [8]을 기반으로 한 Mean Opinion Score (MOS)값을 사용하며, 앞서 품질측정에서 설명한 것처럼 3.6이상이 기준으로 권고된다 [9].

2. 와이브로 m-VoIP 수용량 측정

본 시험에서는 앞서 설명한 시험 환경에서 코덱이 G.729, ptime이 20[ms]인 경우에 대해 m-VoIP 수용량을 측정한다. 단, Ⅳ장과 마찬가지로, PHS와 RoHC는 미적용, VAD 미적용 (ν = 1)으로 두고, 단말의 지터 버퍼 크기는 40[ms]으로 설정한다.

(그림 V-2)는 m-VoIP 단말 수의 증가에 따라 측정한 전체 단말의 MOS값 평균을 나타낸다. M-VoIP 단말 수가 수용량을 초과하기 전에는 MOS값이 거의 일정하다가 수용량을 초과하는



(그림 V-2) 단말 수에 따른 MOS값 변화 측정

순간 MOS값이 급격하게 감소함을 알 수 있다. 스케줄링 타입이 UGS일 경우는 약 3.8 ~ 3.9의 MOS값을 유지하다가 강전계에서는 60대의 단말 수용 이후, 약전계에서는 34대의 단말 수용 이후 MOS 값이 급격히 감소한다. 하지만 강전계에서 m-VoIP 단말 수가 수용량을 초과했을 때 MOS 값이 감소하는 원인은 무선자원이 고갈되었기 때문이 아님에 유의해야 한다. 현재 와이브로 망에서는 1개의 MAC 프레임에 전송할 수 있는 데이터 버스트의 개수를 최대 16개까지 제한을 두어 설계하고 있기 때문에 ptime이 20[ms]인 m-VoIP 트래픽의 이론적 최대 수용량은 64[call]까지로 제한된다. 따라서 무선자원이 남아 있다 하더라도 사용 가능한 데이터 버스트 개수의 제한에 의해 전송 문제가 발생하여 MOS 값에 영향을 받은 것이다. 실제, 강전계, UGS 환경에서 60대의 m-VoIP 단말이 서비스를 받고 있는 상태에서 1대의 단말이 약 1.5 [Mbps]의 FTP 업로드 트래픽을 추가적으로 전송 가능함을 확인하였다. 반면, 스케줄링 타입이 BE일 경우는 약 3.3 ~ 3.6의 MOS값을 유지하다가 18대의 단말 수용 이후 MOS 값이 급격히 감소한다. 여기서, BE의 경우 UGS보다 수용량

이 훨씬 적은 이유는 매 ptime마다 BRH를 전송해야 하는데 이는 하향링크 대역폭, 상향링크 대역폭, 상향링크 데이터 버스트 개수를 동시에 소모하기 때문이다. 또한 BE의 경우에는 패킷 손실에 의한 재전송이 가능하므로 만일 패킷 손실이 발생하게 된다면 그만큼 자원소모를 많이 하게 되는 것이다. 한편, 단말이 18대 이하인 경우에도 BE의 MOS 값이 UGS의 MOS 값보다 낮은 이유는 UGS의 경우는 단말이 고정 할당(unsolicited grant) 받지만 BE의 경우는 매번 contention, polling, grant 과정을 거쳐야 하므로 지연과 지터가 증가하고, 또한 contention 과정에서 매번 단말이 자원을 할당 받는다는 보장을 할 수 없기 때문이다.

〈표 Ⅴ-1〉은 각 환경변수별 m-VoIP 수용량 및 수용량 도달 시 측정한 품질을 정리한 것이다. 전체적으로, 수용량 측정값이 이론적 분석값 (괄호 안의 값)과 차이를 보이고 있다. 그 이유는 다음 세 가지로 추정된다. 첫째, 이론적 분석 값은 MAC 프레임 내에 있는 무선자원을 부반송파 1개 단위로 버림없이 100[%]의 효율로 사용한다고 가정하였지만, 실제로는 서브채널 단위로 구성하므로 MAC 프레임 내에 있는 모든 부반송파를 100[%]의 효율로 사용할 수 없을 수도 있기 때문이다. 둘째, 앞서 설명하였듯이, 현재 와이브로망은 1개의 MAC 프레임에 최대 16개의 데이터 버스트를 전송하도록 설계되어 있기 때문에 무선자원이 남더라도 더 이상 데이터 버스트를 전송할 수 없다. 셋째, 특히 BE의 경우 측정값과 이론적 분석 값이 크게 차이나는 이유는 앞서 설명하였듯이, BE의 경우에는 BRH에 의한 상/하향링크 대역폭 소모, 상향링크 데이터 버스트 개수 소모 등에 의해 UGS의 경우보다 훨씬 적은 수용량을 갖게 되는 것이다.

〈표 Ⅴ-1〉 m-VoIP 수용량 및 품질 측정 결과

( ) : 이론적 분석값

무 선 환 경	스케줄링 타입	N [ea]	최대 수용량에서의 품질			
			MOS	Delay [ms]	Loss [%]	Jitter [ms]
(강전계) $\mu_{DL}=6$ $\gamma_{DL}=5/6$ $\mu_{UL}=4$ $\gamma_{UL}=3/4$	UGS	60 (104)	3.85	54	1.72	0.92
	BE	18 (80)	3.36	96	0.00	20.02
(약전계) $\mu_{DL}=2$ $\gamma_{DL}=1/2$ $\mu_{UL}=2$ $\gamma_{UL}=1/2$	UGS	34 (44)	3.73	57	1.69	1.66
	BE	18 (40)	3.06	145	0.66	26.09

한편, 〈표 Ⅴ-1〉로부터 전체적으로 강전계가 약전계보다, 그리고 UGS가 BE보다 수용량과 품질 측면에서 모두 우수함을 알 수 있다. 단, UGS의 경우 BE보다 패킷 손실이 많은 이유는 BE의 경우에는 패킷 손실이 발생하더라도 그 다음 MAC 프레임에 해당 패킷을 재전송할 수 있지만, UGS의 경우는 무선자원을 고정적인 크기로 할당하므로 손실된 패킷을 재전송할 추가적인 자원할당이 없기 때문이다. UGS의 이러한 단점을 보완하기 위해서는 PHY 계층에서 재전송 기술인 HARQ (Hybrid ARQ)를 적용할 필요가 있다.

Ⅵ. 수용량 개선을 위한 제언

본 장에서는 Ⅳ장의 분석결과와 Ⅴ장의 측정결과를 비교 분석하며, 이를 토대로 와이브로 망에서 m-VoIP 서비스의 수용량을 높이기 위한 각 환경변수들의 값을 제시하고자 한다. 아래 〈표 Ⅵ-1〉에는 사업자가 m-VoIP 서비스를 제공

하고자 할 때 고려할 수 있는 환경변수들과 개선 효과를 정리하였다. 또한, 수용량 개선에서 고려해야 하는 품질 영향 정도를 함께 나타내었다.

스케줄링 타입의 경우 BE에 비하여 UGS가 더 좋은 품질과 수용량을 얻을 수 있음을 볼 수 있었다. 이는 BRH에 의한 자원소모를 대폭 줄일 수 있기 때문이다. 향후, VAD기술이 적용될 경우에는 스케줄링 타입을 UGS에서 ertPS로 사용하면 수용량이 더욱 개선될 것임을 Ⅳ장의 분석 내용으로부터 예상할 수 있다.

〈표 Ⅵ-1〉 환경변수 선택에 따른 VoIP 수용량 개선효과와 품질 영향 정도

환경변수 선택 (주1), (주2)	이론적 수용량 개선효과 [배]	실측 수용량 개선효과 [배]	품질 영향
코덱: G.711 → G.729	3.00	–	• 음질(MOS) 조금 저하
ptime: 10[ms] → 20[ms]	1.83	–	• 10~20 [ms] delay 증가
스케줄링: BE → UGS	1.24	2.61(주4)	• 50[ms]이상 delay 감소 • jitter 감소 • 망혼잡 시에도 품질 양호
묵음처리(VAD): 50[%] 가정 (주3)	2.00	–	• 구현에 따라 클리핑 현상 가능 (말이나 단어가 잘림)
헤더압축 (RoHC): 적용	1.24	–	• 10 [ms]이상 delay 증가 • jitter 증가
위 변수 모두 적용 시 미적용 대비 효과	16.88	–	

(주1) 수용량 개선효과의 비교 대상 환경변수 기준 값: G.729, ptime=20[ms], UGS, VAD 없음, RoHC 없음
(주2) 무선환경은 평균적인 것으로 가정
(즉, μ_{DL} = 3, γ_{DL} = 2/3, μ_{DL} = 3, γ_{DL} = 2/3 로 가정)
(주3) 묵음처리 기능 적용 시 스케줄링 타입은 ertPS를 사용하여야 함
(주4) 강전계와 약전계에서의 개선 효과의 평균치임

특이한 부분은 〈표 Ⅴ-1〉의 결과와 같이 전체 수용량 측면에서는 BE 및 UGS 두 스케줄링 타입의 경우 모두 이론적인 수용량까지 도달하지는 못했지만, 〈표 Ⅵ-1〉에서 나타낸 것과 같이 개선효과 측면에서는 이론적인 개선효과보다는 실질적인 개선효과가 매우 뛰어난 것을 확인할 수 있었다. 이것은 실제 스케줄러 알고리즘의 구현 및 동작에서는 복잡성이 더욱 크게 작용한 것으로 추정할 수 있다.

코덱의 종류는 G.711보다 G.729를 사용하는 것이 효율적이다. 물론 G.711이 G.729보다 좀 더 좋은 품질을 제공할 수 있겠지만 이는 수용량 측면까지 고려해 보았을 때 큰 이점이 되지 못할 것으로 보여진다. 왜냐하면, Ⅴ장의 측정 결과에서 보였듯이, UGS 스케줄링의 경우 G.729도 충분히 좋은 품질 (MOS:약 3.8~3.9)을 제공하기 때문이다.

ptime은 10[ms]보다 20[ms]가 효율적이다. 이는 G.729 (또는 G.711) 코덱이 10[ms]마다 생성하는 음성 프레임을 2개씩 aggregation하여 1개의 IP 패킷으로 전송하면 RTP, UDP, IP 헤더 및 MAC 헤더에 의한 오버헤드를 크게 줄일 수 있기 때문이다. 무선랜 (802.11)에서는 ptime을 30[ms]까지 허용할 수 있는 것으로 연구되었으

나 [10], 와이브로 망의 경우 추가 연구 및 검증이 필요하다.

Ⅶ. 결론 및 향후 연구

본 논문은 와이브로 망에서의 mobile VoIP 서비스를 위한 표준화, 구현, 그리고 품질과 수용량 검증에 이르는 전 분야에 기여하고자 하였다.

첫 째, m-VoIP 서비스를 제공하는데 있어서 품질을 차별화하기 위한 전반적인 WiMAX 표준 QoS 프레임워크를 살펴보았다. 특히, 무선 구간에서 실제 어떻게 QoS가 보장될 수 있는지 분석하였고, 가입자별 동적 QoS 제어를 위한 표준인 Policy and Charging Control (PCC) 구조가 3GPP 망과 WiMAX 망에서 각각 어떤 차이가 있는지 알아보았다. 또한, WiMAX PCC 표준이 보다 완전하고 안정적으로 동작할 수 있도록 표준화 하였다.

두 번째, 유무선 통합망 사업자로서 WiMAX PCC를 어떻게 구현했는지 소개하고, 구현된 표준을 기반으로하여 실제 m-VoIP 서비스를 검증하였다. 특히 QoS가 적용된 경우와 그렇지 못한 경우에 있어서의 m-VoIP 서비스 품질 차이를 확인하였다.

마지막으로, 품질을 유지하면서 최대한 수용가능한 가입자 수를 알아보기 위하여 무선환경, 스케줄링 타입, 코덱의 종류, 헤더 압축 유무, 패킷 전송 간격 등 다양한 조건에서 이론적 수용량 분석과 실험망에서의 실측 결과를 비교 제시하였다. 또한, 와이브로 망에서 m-VoIP 서비스의 수용량을 높이기 위한 각 환경변수들의 값을 제시함으로써 m-VoIP 서비스의 설계에 활용할 수 있도록 하였다.

추후 연구에서는 이동통신에서 사용하는 품질 측정 방법으로 WCDMA 망의 음성통화품질과 와이브로 m-VoIP에서의 통화품질을 비교해 보고자 한다. 수용량과 관련해서는 이론적으로는 2배의 용량을 제공하는 MIMO 기술의 효과도 연구해볼 수 있다. 또한, 와이브로 m-VoIP 트래픽이 다른 인터넷 트래픽에 미치는 영향도 분석되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] TTA, "2.3GHz 휴대인터넷표준 - 물리계층 및 매체 접근제어 계층," June 2005.

[2] IEEE 802.16e-2005, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems," September 2005.

[3] IEEE 802.16Rev2/D4, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems," 2004..

[4] 3GPP TS23.203, Release 7, "Policy and Charging Control Architecture," 2008.

[5] WiMAX Rel 1.5, Draft-T33-109-R015v01-A (Working Group Approved Specification), "WiMAX Forum Network Architecture - Policy and Charging Control," December 2008.

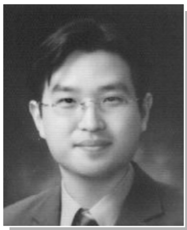
[6] Jeonghoon Mo, Shyam Parekh, "Evaluation of Maximum Number of VoIP Calls over WiBro/WiMAX Network," WiMAX Forum, July 16, 2006.

[7] ITU-T, Recommendation P.800, "Methods for Subjective Determination of Transmission Quality," 1996.

[8] ITU-T, Recommendation G. 107, "The E-Model, a computational model for use in transmission planning," 2002.

[9] TTA TTAS.KO-01.0077/R1, "인터넷전화 통화품질 지표," 2007.
[10] Soonuk Seol, Myungchul Kim, Chansu Yu, and Jong-Hyun Lee, "Experiments and Analysis of Voice over Mobile IP," the 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), September 2002.

저자소개



설 순 욱 (Soonuk Seol)
- Email: suseol@kt.com
- Tel: +82-42-870-8377
- Fax: +82-42-870-8279

- 1998.2: 한국기술교육대학교 정보통신공학과 학사
- 2000.2: 한국과학기술원 정보통신공학과 석사
- 2004.2: 한국과학기술원 정보통신공학과 박사
- 1998.3~1999.10: 한국전자통신연구원 위촉연구원
- 2004.2~현재: KT 중앙연구소 차장
- 주관심분야: 모바일 VoIP/IPTV, 모바일 컴퓨팅, 유무선 네트워크 QoS, 프로토콜 공학

조 성 수 (Sungsoo Cho)
- Email: nicecho@kt.com
- Tel: +82-42-870-8222
- Fax: +82-42-870-8279

- 2004.2: 경북대학교 전기및전자공학부 학사
- 2006.2: 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사
- 2006.2~현재 : KT 중앙연구소 사원
- 주관심분야: 차세대 이동통신망, 유무선 네트워크 QoS, 모바일 VoIP/IPTV

김 형 수 (Hyoungsoo Kim)
- Email: kimhsoo@kt.com
- Tel: +82-42-870-8213
- Fax: +82-42-870-8279

- 1985.2: 연세대학교 전자공학과 졸업
- 1987.2: 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사
- 1997.2: 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사
- 1987.2~현재: KT 중앙연구소 부장
- 주관심분야: 모바일 VoIP/IPTV, QoS, 네트워크 자원관리, 트래픽 엔지니어링