

광대역 무선네트워크에서 스트리밍 서비스의 QoE 향상을 위한 적응적 전송률 제어기법

정회원 구 자 현*, 종신회원 정 광 수*

Adaptive Rate Control for Improving the QoE of Streaming Service in Broadband Wireless Network

Jahon Koo* *Regular Member*, Kwangsue Chung* *Lifelong Member*

요 약

최근 들어 다양한 휴대 단말과 광대역 무선네트워크의 보급으로 인해 인터넷을 통한 다양한 멀티미디어 스트리밍 서비스에 상당한 관심과 수요가 증가하고 있다. 하지만, 단말 이동시 연속적인 멀티미디어 스트리밍 데이터 전송이 어려운 문제를 가지고 있다. 그래서, 광대역 무선네트워크내 Mobile IPTV 서비스 보급에 있어, 효율적인 무선 자원 활용 및 사용자에게 원활한 QoE (Quality of Experience)를 제공하는 것은 중요한 이슈이다.

본 논문에서는 무선 채널 상태를 인지하여 비디오의 전송률과 품질을 조절하는 네트워크 기반의 품질 적응 스트리밍 기법인 Mobile Adaptive Rate Control (MARC) 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 스트리밍 서비스의 품질 향상 이외에도 단말의 이동환경에서 끊김 없는 비디오 재생을 보장 할 수 있도록 무선 채널 상태를 인지하여 현재 무선 채널 및 단말 위치에 적합한 스트리밍 비디오를 전송한다. 제안한 MARC 기법은 광대역 무선 네트워크에서 비디오 재생의 불연속성을 제거하고 안정된 버퍼 할당을 보였다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안한 방법의 유효성을 확인하였다.

Key Words : IPTV, MARC(Mobile Adaptive Rate Control), Rate Control, Broadband Wireless Network, QoE

ABSTRACT

Recently, due to the prevalence of various mobile devices and broadband wireless networks, a significant interests and demands for multimedia streaming services over the Internet have been increasing. However, it is difficult to transmit continuous multimedia stream when mobile terminals are moving. Therefore, in order to deploy mobile IPTV service in the broadband wireless network, efficient wireless resource utilization and seamless QoE (Quality of Experience) offers to the users are an important issue.

In this paper, we propose a network based adaptive streaming scheme, called MARC (Mobile Adaptive Rate Control), which controls the quality of the video and rate of the video based on the status of the wireless channel. The proposed scheme uses awareness information of the wireless channel status and controls transmitting streaming video which is suitable for the wireless channel status and mobile station location, in order to provide a seamless video playback for mobile environment in addition to improving the quality of a streaming service. The proposed MARC scheme alleviates the discontinuity of video playback and allocates suitable client buffer in broadband wireless network. Simulation results demonstrate the effectiveness of our proposed scheme.

※ 본 연구는 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 전략기술인력양성사업과 지식경제부의 전략기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구 결과임

* 광운대학교 전자통신공학과 컴퓨터통신 연구실 (jhkoo@cclab.kw.ac.kr, kchung@kw.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-12-647, 접수일자 : 2009년 12월 30일, 최종논문접수일자 : 2010년 2월 3일

I. 서 론

최근 들어 다양한 휴대 단말과 광대역 네트워크의 보급으로 인해 사용자들은 인터넷을 통한 다양한 멀티미디어 스트리밍 서비스에 상당한 관심과 수요를 보이고 있다. 특히 IPTV (Internet Protocol TeleVision) 서비스는 IT 시장에서 주요응용으로 자리매김하고 있으며, 이동 단말을 통해 IPTV 서비스를 언제 어디서나 사용하고자 하는 Mobile IPTV 서비스 요구가 증가할 것이라 예상된다^{[1], [2]}. Mobile IPTV 서비스를 원활히 지원할 수 있는 대표적인 광대역 무선 네트워크로는 WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) 네트워크를 들 수 있다. WiMAX 네트워크는 IP 기반 광대역 무선 표준으로 높은 데이터 전송률, 서비스 별 차등화된 QoS (Quality of Service) 지원, 그리고 MBS (Multicast and Broadcast Service)를 제공한다. WiMAX 네트워크는 기존 Wi-Fi, WCDMA와 같은 무선 네트워크에 비해 높은 데이터 전송률을 제공할지라도 유선 네트워크와 (VDSL, HFC, Gigabit Ethernet 및 FTTH) 비교하면 상대적으로 대역폭이 부족하다.

WiMAX 네트워크는 효율적인 무선 자원 활용을 위해 단말의 채널 상태에 따라 AMC (Adaptive Modulation and Coding), Zone Boosting 등 다양한 PHY 계층의 채널 적응 기법을 제공한다^{[2], [3]}. 대표적인 채널 적응 기법인 AMC는 단말 위치 및 무선 채널 상태에 따라 차등적인 MCS (Modulation and Coding Scheme) 등급을 부여한다. 이는 PHY 영역 내 할당된 slot 당 전송할 수 있는 데이터의 크기를 제한하여 단말 이동시 연속적인 멀티미디어 스트리밍 데이터 전송이 어렵다. 이로 인해 WiMAX 네트워크 내 Mobile IPTV 서비스 보급에 있어, 효율적인 무선 자원 활용 및 사용자에게 원활한 QoE (Quality of Experience)를 제공하는 것은 중요한 이슈이다. 따라서, 광대역 무선 네트워크에 단말 적응적 전송률 조절 (Rate Control) 기법이 필요하다.

본 논문에서는 무선 채널 상태를 인지하여 비디오의 전송률과 품질을 조절하는 네트워크 기반의 품질 적응 스트리밍 기법인 Mobile Adaptive Rate Control (MARC) 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 스트리밍 서비스의 품질 향상 이외에도 단말의 이동환경에서 끊김 없는 비디오 재생을 보장할 수 있도록 무선 채널 상태를 인지하여 현재 무선 채널 및 단말 위치에 적합한 비디오 스트리밍을 전송한다.

이후 단말 이동에 따른 채널 및 위치 변화에 적응적으로 전송률을 조절한다. 본 논문의 2장에서는 멀티미디어 전송기법에 대한 기존 연구를 분류 및 기술하였다. 3장에서는 제안하는 MARC 기법을 운영하기 위한 멀티미디어 스트리밍 시스템을 소개하였고, 제안하는 MARC 기법의 알고리즘에 대해 상세히 기술하였다. 4장에서는 시뮬레이터를 이용하여 제안하는 알고리즘의 성능을 검증하고, 기존 스트리밍 전송기법과의 성능 비교 결과를 기술하였으며, 마지막으로 5장에서 결론을 맺었다.

II. 관련 연구

광대역 무선 인터넷 환경에서의 효율적인 비디오 스트림 전송을 위해 기존의 여러 가지 기법들이 제안이 되었다. 본 장에서는 기존에 제안된 품질 적응 기법들을 크게 두 가지로 분류하여 각각에 대하여 기술하고, 기존 연구들이 가지는 문제점에 대하여 설명하도록 한다.

2.1 네트워크 기반 품질 적응 기법

스트리밍 서비스의 품질 향상을 위한 연구로 인터넷을 통한 비디오 스트리밍에서 네트워크의 안정성을 향상시키면서 사용자에게 제공되는 서비스 품질의 향상을 위해 품질 적응 기법이 제안 및 연구되었다. 품질 적응 기법은 혼잡제어 메커니즘에 의해 수시로 변화하는 네트워크의 가용 대역폭에 적합하도록, 서비스되는 비디오 스트림의 품질을 결정하는 동시에 높은 품질의 서비스를 가능한 오랫동안 제공하는 것을 목적으로 한다. 이러한 네트워크 상태 기반 품질 적응 기법은 오래 전부터 연구되었던 주제로서, 이와 관련하여 여러 연구들이 수행되었다^{[4]-[6]}.

무엇보다도 광대역 무선 인터넷 환경에서 효율적인 비디오 스트리밍을 서비스하기 위해서는 네트워크 상태를 기반으로 하는 TCP 친화적인 전송률 조절 기법만으로는 한계가 있다. 이는 네트워크의 안정성 향상이 사용자에게 서비스되는 비디오 스트림의 품질 향상을 보장하지는 않기 때문이며, 이러한 한계를 극복하기 위해 TCP 친화적인 전송률에 맞추어 서비스되는 비디오 스트림의 품질을 결정하는 품질 적응 기법들이 필요하다.

네트워크 기반 품질 적응기법은 인코딩된 비디오 스트림의 품질을 조절하는 방법에 따라 몇 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째는 네트워크 상태에 적합한

전송률을 가지는 데이터 전송을 위해, 이미 인코딩된 비디오 스트림을 디코딩 후, 양자화 파라미터를 수정하여 다시 인코딩하여 전송하는 방법으로, 디코딩과 인코딩을 다시 수행하는 과정에서 CPU 부하가 크고 다수의 클라이언트에 대한 서비스가 어렵다는 문제를 갖는다^[4]. 다른 방법으로는 여러 버전으로 인코딩된 스트림들을 준비한 상태에서, 네트워크 가용 대역폭의 변화에 따라 적절한 데이터율을 가지는 스트림을 선택하여 전송하는 방법이다. 하지만 이는 다양한 종류의 단말 자원과 콘텐츠 관리의 어려움이 있다. 또 다른 방법으로 계층적인(Hierarchical) 인코딩을 사용하는 방법에서 서버는 계층적으로 인코딩된 비디오 스트림을 갖는다^{[5], [6]}. 네트워크 대역폭에 여유가 있을 경우, 서버는 비디오 스트림의 더 높은 레이어까지 전송을 하며, 네트워크 대역폭이 줄어들 경우, 현재 활성화된 레이어를 제거하여 전송함으로써 네트워크 상태변화에 적응적으로 전송률을 조절하게 된다. 계층적인 인코딩을 사용하는 품질 적응 기법은 최소한의 비디오 스트림 품질을 보장하는 기본 레이어(Base-Layer) 데이터의 클라이언트 측 버퍼 언더플로우를 예방하는 동시에 적절한 상위 레이어(Enhancement-Layer) 데이터의 추가 및 제거를 통해 사용자에게 제공되는 비디오 스트림 품질의 최대화를 목적으로 한다. 최근 들어 대표적인 계층적인 인코딩 방법인 SVC(Scalable Video Coding) 기법을 기반으로 하는 품질 적응 기법들이 활발히 연구되고 있다^[2]. 하지만, 이러한 품질 적응 기법은 네트워크 상태만을 고려하여 재생의 연속성과 같은 콘텐츠 재생 특성을 고려하지 않아 사용자에게 QoE(Quality of Experience)를 제공하지 못하는 문제점을 가지고 있다.

2.2 링크 적응 기법

일반적으로 수신측에 오류가 있는 데이터 패킷이나 비디오 프레임을 받는다면 오류들을 수정할 방법이 없다. 그러나, 데이터 전송전 데이터 보다 더 많은 수의 잉여 Bit들을 추가해서 전송한다면 에러 검출뿐 아니라 오류 정정 기능까지도 가능하다. 이러한 오류 정정 능력은 사용하는 채널 코딩 방법인 FEC(Forward Error Correction) Code의 종류와 코딩 길이에 따라 다르다. 일반적인 FEC 방법인 Block Codes의 패킷 복구 확률(PRP: Packet Restore Probability) p 는 식(1)과 같다^[7]. 그리고, 채널 디코딩 이후 bit 유실 확률 b 는 식(2)와 같다. 여기서, N 은 데이터 bit 크기, M FEC Code bit 수,

b_p 는 채널 디코딩 이전 bit 유실 확률이다.

$$p = (1 - b)^{(M+N)} \quad (1)$$

$$b = \sum_{i=M+1}^{M+N} \binom{M+N}{i} b_p^i (1 - b_p)^{M+N-i} \frac{i}{M+N} \quad (2)$$

단말 이동 및 채널 상태의 변화에 따라 b_p 는 변화한다. 단말이 기지국 경계(Edge) 구간에 근접 할 경우 SIR(Signal-to-Interference Ratio)이 낮아져 b_p 는 증가하고, 식(2)에 따라 b 도 증가한다. 따라서, 수신측의 적정 p 값을 유지하기 위해 기지국은 데이터 Bit 크기를 줄이거나, FEC Code Bit 크기를 늘려야 하며 이러한 동작을 링크 적응 기법이라고 한다^{[3],[8]}.

최근 광대역 무선 네트워크 시스템에서는 무선링크의 효율적인 사용을 위해서 링크 적응기법이 사용된다. 기존의 대표적인 링크 적응 기법은 전력제어(Power Control: PC) 기법이다. 전력제어 기법은 무선 링크에 따라 전력을 제어하여 타겟 SIR로 전송품질을 유지시키는 방법으로 음성과 같은 데이터 전달시 링크의 품질을 보장하기 위한 시스템에 효율적인 방식이다. 반면, 멀티미디어 데이터는 서비스 종류 및 응용에 따라 다양한 전송률, 다양한 전송 품질 등을 요구하므로 기존의 음성 위주의 서비스 제공과는 다른 개념의 링크 적응 기법이 요구되었다. 이를 충족하기 위해 WiMAX 네트워크에서는 데이터 전송에 효율적인 링크 적응 기법인 AMC(Adaptive Modulation and Coding) 기법을 사용한다. 이 기법은 채널의 특성에 따라 적절한 전송률을 조절하는 방법으로 미리 정의된 변조 및 채널 코딩 조합에 대한 레벨인 MCS(Modulation and Coding Scheme) 레벨로 전송률을 조절한다. 일반적으로 MCS 레벨은 수신 SIR에 따라 결정되며, 그림 1과 같이 기지국과 단말의 위치 및 채널 상태에 따라 가장 높은 효율의 MCS 레벨이 선택된다.

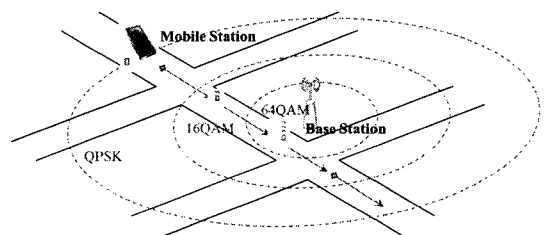


그림 1. 채널 상태 기반의 링크 적응 기법

링크 적응 기법에 따라 MCS 레벨로 전송률을 조절할 경우 그림 2와 같이 PHY 영역 내 할당된 slot 당 전송할 수 있는 데이터의 크기가 제한되어 연속적인 멀티미디어 스트리밍 데이터 전송의 어려움과 급격한

품질 변화를 야기 시킬 수 있다⁹⁾. 따라서, WiMAX 네트워크 내 원활한 스트리밍 서비스에 있어 링크 적응기법 등 다양한 무선 채널 변화에 대한 고려가 필요하다. 이를 위해, 본 논문에서는 네트워크와 단말 상태를 인지 할뿐만 아니라 무선 채널 상태도 인지하여 비디오의 전송률과 품질을 조절하는 인지 기반의 적응적 스트리밍 전송률 제어 기법을 제안하였다.

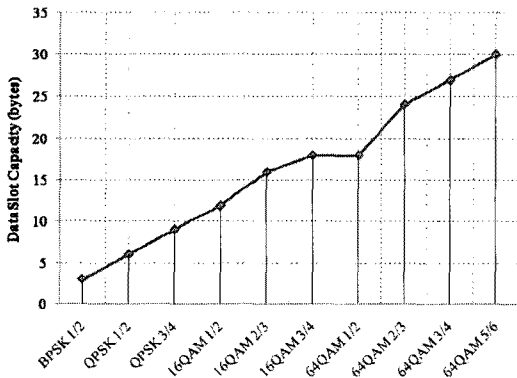


그림 2. WiMAX 네트워크에서 MCS (Modulation and Coding Scheme) 별 데이터 Slot 크기

III. 모바일 스트리밍 전송률 제어기법

본 논문에서 제안하는 모바일 스트리밍 전송률 제어 시스템인 Mobile Adaptive Rate Control (MARC) 기법의 동작 구조는 그림 3과 같다. RTP (Real Time Protocol) 기반의 스트리밍 서비스를 받는 모바일 단말은 유·무선 네트워크를 통해 전달된 RTP 패킷의 수신 상태를 분석하여 네트워크 상태 정보와 비디오 플레이어의 버퍼링 상태를 분석한 클라이언트 정보, 그리고 WiMAX 네트워크의 SIR 및 MCS 레벨 등 무선 채널 정보를 RTCP (RTP Control Protocol) RR (Receiver Report) 메시지를 통해 피드백 한다. 피드백 받은 정보를 기반으로 스트리밍 서버는 전송 비디오의 전송률과 비디오의 품질을 조절하여 네트워크, 클라이언트, 무선 채널 상태 등에 적응적인 스트리밍 서비스를 제공한다.

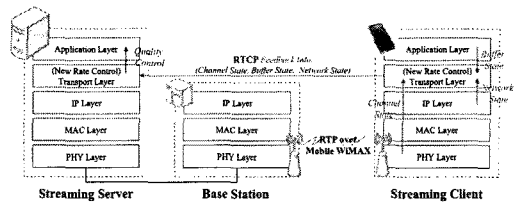


그림 3. 무선 채널 및 위치 인지형 스트리밍 전송률 제어

모바일 적응적인 스트리밍 서비스를 위한 MARC 시스템은 그림 4와 같이 네트워크와 클라이언트의 상태에 따라 동작하는 NCAR (Network and Client aware Rate Control) 모듈과 무선 채널 및 단말 위치에 따라 동작하는 CLAR (Wireless Channel and Location aware Rate Control) 모듈로 구성되어 있다.

3.1 NCAR (Network and Client Aware Rate Control) 모듈 동작

NCAR 모듈의 혼잡제어 동작은 다음과 같이 동작한다. 먼저, 클라이언트는 네트워크 상태를 감시하고 그와 관련된 정보를 수집한다. 서버는 클라이언트가 수집한 정보들을 이용하여 현재 네트워크의 가용 대역폭을 예측하고 그 대역폭에 적합한 전송률을 조절한다. 서버는 수집한 정보를 기초로 Padhye가 제안한 TCP 전송률 모델링 공식인 식 (3)을 이용하여 현재 네트워크의 가용 대역폭 ($Rate_{ABW}$)을 예측한다. 여기서, $Packet Size$ 세그먼트 크기, p 패킷 손실률, RTT 종단간 지연, t_{RTO} 재전송 타임아웃이다¹⁰⁾.

$$T = \frac{Packet\ Size}{RTT \sqrt{\frac{2p}{3}} + t_{RTO} \left(3 \sqrt{\frac{3p}{8}} \right) p (1 + 32p^2)} \quad (3)$$

예측한 가용 대역폭을 이용하여 그림 5와 같은 방법으로 네트워크 혼잡 여부를 판단하여 혼잡을 제어한다. 전송률 변화의 폭을 줄이기 위해 새로운 혼잡제어 알고리즘인 AIHD (Additive Increase Heuristic Decrease)를 제안하였다. 제안한 알고리즘은 TCP의 AIMD (Additive-Increase/Multiplicative-Decrease) 방법과 비교하여 동일 혼잡상황에 대해서 낮은 전송률 변화를 보인다. 제안한 알고리즘의 전송률 증가 (Increase: I)와 감소 (Decrease: D)는 다음 수식 (4), (5)을 따른다.

$$I: R_n = R_C + \left(\frac{Packet\ Size}{RTT} \right) U_f \quad (4)$$

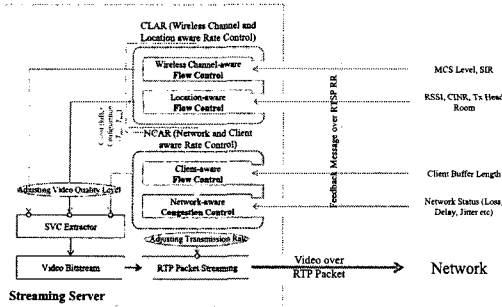


그림 4. 모바일 스트리밍 전송률 제어 MARC 시스템 구조

$$D: R_n = \beta \times R_t + (1 - \beta) \times R_c \quad (5)$$

여기서, R_c 는 현재 서버가 전송하는 전송률, R_n 는 증가와 감소 동작을 통해 결정되는 새로운 전송률, R_t 는 TCP model을 기반으로 현재 시점에서 피드백 정보를 통해 예측되는 가용대역폭, β 는 AIHD 알고리즘의 파라미터 ($0 < \beta < 1$), 피드백 정보의 간격에 따른 업데이트 가중치 $U_f = \Delta T / RTT$ 이다.

AIHD의 전송률 증가와 감소의 동작은 그림 6과 같이 동작한다. AIHD 알고리즘의 전송률 증가는 보통 R_{min} 부터 최대 지속 전송률 (Maximum Sustainable Rate) 인 R_{st} 를 지나 증가한다. 그리고, 패킷 유실, 혼잡상황 인지를 통해 R_{max} 로부터 R_{min} 로 휴리스틱하게 전송률을 감소 시킨다.

스트리밍 서버가 전송률 변화 없이 안정된 상태로 전송률을 전송하기 위해서는 현재 전송률 R 이 R_{st} 를 초과하는 데이터량 (Excess Load)과 R 이 R_{st} 보다 낮은 구간의 이용하지 못하는 데이터량 (Underutilized Load)이 같아야 한다. 그래서, 최대 지속 전송률은 식 (6)을 만족해야 한다.

$$R_{st} > \frac{R_{min} + R_{max}}{2} \quad (6)$$

식 (5)을 이용하여 식 (7)과 같이 정의 할 수 있다.

```

Calculating RateARR
if (RateARR > RateCurrent) {
    Slow Start - Increase (I)
    if (qlen > qmaxth)
        min (QualitySVC (Levelmod), QualitySVC (Level - 1))
} else if (RateARR < RateCurrent) {
    Congestion Control - Decrease (D)
    if (qlen < qminth)
        Max (QualitySVC (Levelmod), QualitySVC (Level - 1))
} else
    Steady State
    
```

그림 5. NCAR 모듈의 의사코드

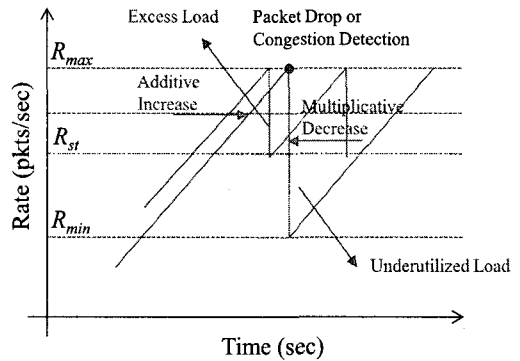


그림 6. AIHD 알고리즘의 전송률 변화

$$R_{st} > R_{max} - \beta \times \left(\frac{R_{max} - R_t}{2} \right) \quad (7)$$

AIMD보다 전송률 변화를 줄이기 위해서는 $R_{st}(AIHD) > R_{st}(AIMD)$ 를 만족시켜야 하므로 식 (8)과 같은 조건을 충족 시켜야 한다.

$$\frac{R_{max}}{4} > \beta \times \left(\frac{R_{max} - R_t}{2} \right) \quad (8)$$

전송률은 $R_{max} > R_t$ 를 만족 시키므로, 식 (8)을 만족 시키기 위해서는 식 (9)을 충족해야 한다.

$$1 < \frac{2\beta}{(2\beta - 1)} \quad (9)$$

따라서, AIHD 알고리즘의 β 는 식 (9)과 같은 조건을 만족 시켜야 한다.

$$\beta > 0.5 \quad (10)$$

AIHD 혼잡제어 방법은 식 (10)을 만족 시킬 경우 기존 AIMD 기법을 이용하는 혼잡제어 방법 보다 낮은 전송률 변화폭을 가진다. 그리고, 이를 통해 버퍼크기와 영상 품질의 변화를 최소화 시킬 수 있다.

NCAR 모듈의 다른 기능으로 그림 4와 같이 멀티미디어 스트리밍 서비스 중 서버와 클라이언트 사이의 전송되는 비디오 스트림의 품질을 관리하기 위해 클라이언트의 수신 버퍼 상태와 수신된 비디오의 품질 특성에 따라 SVC 비트스트림 Extractor를 이용하여 전송 영상의 품질을 조절하는 흐름제

어 기법을 가지고 있다. 이를 통해 클라이언트 버퍼의 오버플로우나 언더플로우 상황에서도 연속적이고 부드러운 재생이 가능하도록 미디어 재생의 불연속성을 제거하고 안정된 버퍼할당과 낮은 재생 지연 시간 특성을 제공한다.

NCAR 모듈의 흐름제어 동작은 다음과 같이 동작한다. 먼저, 클라이언트는 수신 버퍼의 상태를 감시하고 그와 관련된 정보를 수집한다. 서버는 클라이언트가 수집한 정보들을 이용하여 앞으로의 버퍼 상태의 변화를 예측하고 비디오 재생의 연속성을 유지시키기 위해 전송 영상의 품질 등급을 조절한다. 버퍼 상태의 변화는 현재 버퍼의 길이 ($qlen_c$), 전송 영상의 비트스트림 품질 등급 그리고 품질 등급 별 버퍼의 최대 ($qmax_{th}$), 최소 ($qmin_{th}$) 임계값을 이용하여 예측한다. 품질 등급의 변화를 선택하는 최대, 최소 임계 값은 식 (11), (12)와 같다.

$$qmax_{th} = \int_{t_0}^{t_0 + T_{max}} \frac{R_{svc}(t)}{Packet\ Size} dt \quad (11)$$

$$qmin_{th} = \int_{t_0}^{t_0 + T_{min}} \frac{R_{svc}(t)}{Packet\ Size} dt \quad (12)$$

여기서, $R_{svc}(t)$ 은 현재 시간 (t_0) 서비스하는 SVC 비트스트림의 전송률, 클라이언트에서 기대하는 최대 수용 가능한 버퍼링 시간 T_{max} 와 기대하는 최소 요구 버퍼링 시간 T_{min} 이다. 이 최대, 최소 버퍼링 시간은 미디어의 특성 및 제공하는 서비스 사업자의 요구 사양에 따라 선택된다. 이 값은 그림 5와 같이 버퍼 상태에 따라 T_{max} 는 영상의 품질을 올리고 T_{min} 은 영상의 품질을 내리며 표 1과 같은 품질과 연속성 특징을 가지고 있다.

NCAR 모듈은 그림 7과 같이 버퍼의 오버플로우

표 1. T_{max} 와 T_{min} 에 따른 품질과 연속성 비교

	값이 클 경우	값이 작을 경우
T_{max}	<ul style="list-style-type: none"> - 충분히 비디오 Data가 버퍼링되어 서비스의 연속성이 좋아짐 - 영상의 품질 등급을 천천히 높여 화질 개선이 지연됨 	<ul style="list-style-type: none"> - 서비스 연속성을 보장하기 위한 비디오 Data 버퍼링 시간이 크지 않음 - 영상의 품질 등급을 빠르게 높여 화질 개선이 빠름
T_{min}	<ul style="list-style-type: none"> - 비디오 Data가 어느 정도 버퍼링된 상태에서의 조절이 되므로 연속성이 좋아짐 - 영상의 품질 등급을 빠르게 낮춰 화질이 빨리 떨어짐 	<ul style="list-style-type: none"> - 비디오 Data가 충분히 버퍼링된 상태가 아니기에 연속성 보장이 어려움 - 영상의 품질 등급을 천천히 낮춰 화질이 천천히 나빠짐

상황이 감지(OB Ind.) 되면 비디오의 품질 등급을 올려, $QualitySVC (Level + 1)$, 서비스에 요구되는 대역폭을 올린다. 그래서, 클라이언트에서 소비하는 데이터의 크기는 증가되고 오버플로우를 해결된다. 또한, 현재 서비스하는 비디오 등급보다 높은 등급의 비디오를 서비스하여 좋은 화질을 제공하고, 이를 통해 멀티미디어 스트리밍 서비스의 화질에 대한 QoE를 향상시킬 수 있다. 반대로 언더플로우 상황을 감지(UB Ind.)하면 비디오의 품질 등급을 내려, $QualitySVC (Level - 1)$, 서비스에 요구되는 대역폭을 줄인다. 그래서, 클라이언트에서 소비하는 데이터의 크기는 감소되고 언더플로우 문제는 해결된다. 또한, 언더플로우 현상을 해결하여 미디어 재생의 불연속성을 제거하고, 이를 통해 멀티미디어 스트리밍 서비스의 연속 재생에 대한 QoE 를 향상시킬 수 있다.

3.2 CLAR (Wireless Channel and Location Aware Rate Control) 모듈 동작

모바일 스트리밍의 품질 저하는 단말 이동에 따

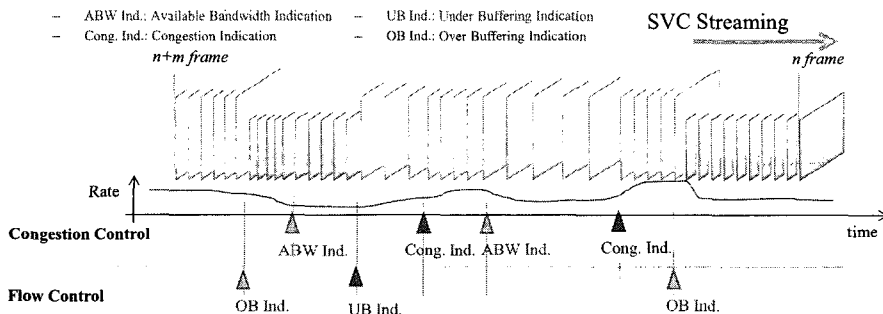


그림 7. 모바일 스트리밍 전송률 제어 MARC의 NCAR 모듈 동작 예시

른 무선 채널의 변화와 핸드오버 시 발생하는 일시적인 연결 끊어짐에 따라 발생한다. 본 논문에서 제안한 CLAR 모듈은 SIR 정보를 이용하여 무선 채널 상태와 RSSI, Tx Head Room를 이용하여 단말 위치를 예측한다. 무선 채널 상태는 AMC (Adaptive Modulation and Coding)로 인해 변하는 MCS (Modulation and Coding Scheme) 레벨에 따라 PHY 영역의 할당된 Slot 변화에 적응적으로 동작하도록 비디오 품질을 조절하며 단말 위치는 핸드오버 등 비디오 재생의 연속성을 보장하기 위한 품질 제어 시점과 범위를 조절한다.

그림 8과 같이 CLAR 모듈은 단말과 기지국 사이의 위치에 따라 기지국과 단말이 근접하고 무선 채널 상태가 좋은 중심(Core)구간과 기지국과 단말의 사이가 멀고 무선 채널 상태가 좋지 않은 외곽(Edge)구간을 구분하여 처리한다.

중심 구간은 서비스 셀 중심지역으로 HO 발생 확률이 낮고 채널 품질의 변화가 적기 때문에 일반적인 혼잡제어와 흐름제어동작을 수행한다. 이를 통해 좋은 품질의 영상과 네트워크의 안정성을 유지시킬 수 있다. 반대로 외곽 구간은 셀 외곽지역으로 HO 발생 확률이 높거나 채널 품질의 변화가 많기 때문에 혼잡제어 이외에도 서비스 연속성 측면의

흐름제어가 필요하다. 이를 통해 서비스의 단절율을 줄이고 무선 접속 네트워크의 PHY 자원 사용 효율을 개선시킬 수 있다.

그림 9와 같이 무선 채널 상태가 좋지 않거나 HO 이벤트 발생 가능성이 높은 외곽 지역(Edge Ind.)의 흐름제어 기법은 전송하는 영상의 품질을 낮춰, Bitstream_Quality(n - 1), 비트스트림의 비트율을 감소시키고 클라이언트 버퍼의 T_{max} 와 T_{min} 의 임계 값의 크기를 조절하여 클라이언트의 수신 버퍼링 데이터를 증가시킨다. 이를 통해 HO 나 무선 채널의 품질 변화 시 서비스의 단절을 최소화 시킨다. 그리고, 전송 비트스트림의 요구 대역폭 크기를 감소시켜 무선 접속 네트워크의 PHY 자원 할당의 공정성을 개선시킨다.

CLAR 모듈은 그림 10과 같이 기지국과의 물리적인 거리 변화 이외에도 무선 채널의 품질에 따라 변화하는 AMC의 MCS 레벨에 따라 중심과 외곽지역을 구분하여 비디오의 품질 등급과 버퍼 임계값을 조절한다.

단말이 AMC를 사용하는 경우, 서버는 무선 채널의 상태에 따라 변화하는 MCS 레벨 ($MCSLevel_{Current}$)과 임계값 $MCSLevel_{Section_{th}}$ 을 비교하여 단말의 상태를 중심과 외곽 지역으로 구분하여 전송률 제어를 수행한다. 이를 통해 무선 채널의 품질이 나쁜 지역에서도 서비스의 연속성을 제공할 수 있다.

그리고, CLAR 모듈은 그림 11과 같이 RSSI (Received Signal Strength Indication)와 CINR (Carrier to Interference-plus-Noise Ratio), Tx Head Room을 이용하여 단말의 물리적 위치를 예측하여 비디오의 품질 등급과 버퍼 임계값을 조절한다.

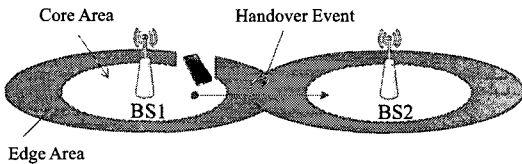


그림 8. CLAR 모듈의 영역 구분

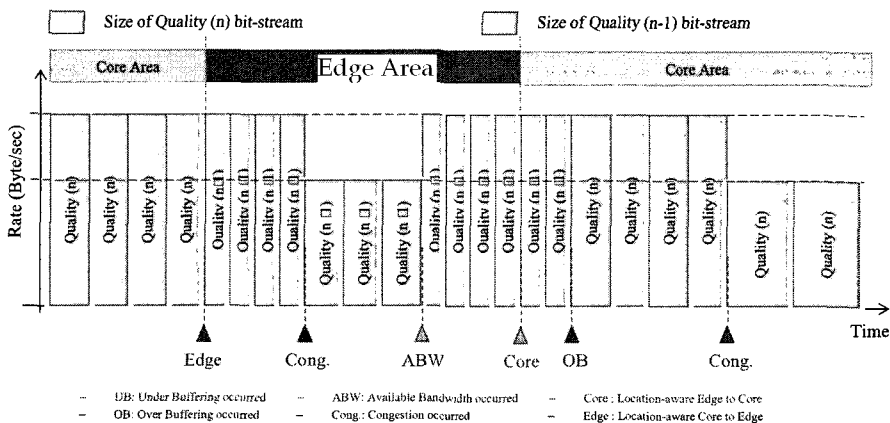


그림 9. 모바일 스트리밍 전송률 제어 MARC의 CLAR 모듈 동작 예시

```

if (AMC Changed) {
    if (MCSLevelcurrent > MCSLevelSectionn and Edge Area) {
        Area Section: Core Area
        Tmax = Tmax / 1.5, Tmin = Tmin / 1.5
    } else if (MCSLevelcurrent < MCSLevelSectionn and Core Area) {
        Area Section: Edge Area
        Max (QualitySVC (Levelmax), QualitySVC (Level - 1))
        Tmax = 1.5 * Tmax, Tmin = 1.5 * Tmin
    }
}
}
    
```

그림 10. CLAR 모듈의 의사코드 1

```

if (RSSI going down && Core Area) {
    if (CINRcurrent < CINRSectionn and TxHeadRoomcurrent < TxHeadRoomSectionn) {
        Area Section: Edge Area
        Max (QualitySVC (Levelmax), QualitySVC (Level - 1))
        Tmax = 1.5 * Tmax, Tmin = 1.5 * Tmin
    }
} else if (Edge Area) {
    if (CINRcurrent > CINRSectionn and TxHeadRoomcurrent > TxHeadRoomSectionn) {
        Area Section: Core Area
        Tmax = Tmax / 1.5, Tmin = Tmin / 1.5
    }
}
}
    
```

그림 11. CLAR 모듈의 의사코드 2

일반적으로 단말과 기지국과의 물리적인 거리가 멀어질 경우 RSSI와 CINR 이외에도 단말의 Tx Power의 여유 증가분인 Tx Head Room 값이 감소한다. 이를 통해 단말과 기지국사이의 물리적인 거리를 예측하여 단말의 상태를 중심과 외곽 지역으로 구분하여 전송률 제어를 수행한다. 이를 통해 HO 이벤트가 발생하거나 인접 셀의 무선 채널 간섭환경에서도 서비스 연속성을 보장 할 수 있다.

VI. 모바일 스트리밍 전송률 제어기법

MARC 기법의 성능을 평가하기 위해 LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory)[11]와 WiMAX 포럼의 ns-2 (Network Simulator)^[12]를 이용하여 시험 및 평가하였다. 그리고, 시험을 위해 "SOCCER_352x288_30_orig_02_yuv" 영상을 JSVM (Joint Scalable Video Model)^[13]을 이용하여 표 2 와 같이 4개의 Quality Layer를 가지는 SVC 비트

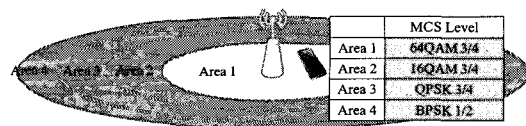


그림 12. 링크 적응 기법 기반의 시뮬레이션 네트워크 환경

스트림 영상을 구성하였다.

성능 평가를 위해 그림 12와 같은 링크 적응 기법을 사용하는 네트워크를 구성하여 시뮬레이션 동안 단말을 임의의 Area로 이동하며 시험하였다.

표 2. 시험 SVC 비트스트림의 특성

JSVM Layer	Bitrate (Kbps)	Spatial Layer	Temporal Layer	Quality Layer
Layer20	594.8	1	4	0
Layer33	813.5	1	4	1
Layer34	955.3	1	4	2
Layer35	1083.4	1	4	3

4.1 단말 이동환경에서의 성능평가

MARC 기법의 동작 특성에 따른 성능 평가를 위해 그림 12와 같은 시험 네트워크에서 각 전송률 제어 기법을 비교 시험하였다. 시뮬레이션은 총 200 초 동안 진행되며 비디오 세션 종료는 0초부터 200초 구간까지 전송된다. 시뮬레이션 시작 15초 후 단말이 Area 1에서 Area 2로 이동하고 다시 10 초 후 Area 3로 15초 후 Area 2로, 그리고 5초 후 Area 1으로 복귀하는 동작을 총 2회 반복하였다. 비디오 세션에 할당된 WiMAX CID (Connection ID)의 최대 대역폭은 2Mbps로 설정하였다. 시험을 위해 클라이언트 버퍼는 800 packets, 초기 버퍼링 시간은 2초로 설정하였다. 그리고, MCSLevel_{Section_n}은 16QAM3/4로 설정하였다. MARC의 성능 평가하기 위해 제안한 기법 (Proposed)과 무선 채널의 변화를 인지하여 흐름 제어를 하는 WLRC 모듈을 제외한 NCAR 모듈만 사용한 경우 (NCAR), 일반적인 네트워크 인지형 전송률 기법 (RC), 전송률 기법을 사용하지 않는 (no RC) 경우 4가지 방법에 대해서 비교하였다. 시험 결과는 그림 13, 14, 15와 같다.

그림 13과 같이 본 논문에서 제안한 MARC 기법은 단말의 이동에 따른 MCS 레벨의 변화에 대해서 서비스 연속성을 보장하고 있다. MARC와 NCAR 기법은 그림 14와 같이 안정된 버퍼 사용을 보이고 있다. 또한, 그림 15와 같이 전송률 제어기법을 사용하는 MARC, NCAR 그리고 RC 기법은 CID에 할당된 대역폭을 효율적으로 사용하는 것을 확인 할 수 있다. 본 논문에서 제안한 MARC는 단말 이동에 따른 무선 채널 변화를 인지하여 영상의 품질과 클라이언트 버퍼의 임계값을 효율적으로 관리하여 안정된 버퍼 사용과 효율적인 네트워크 이

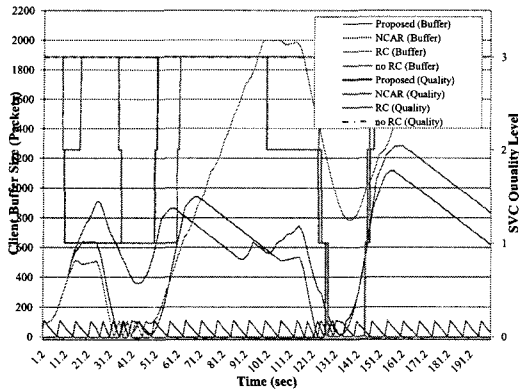


그림 13. 클라이언트 버퍼크기 변화와 SVC 품질 등급

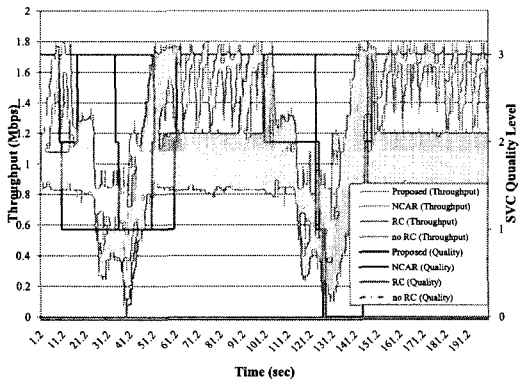


그림 14. 전송률 변화와 SVC 품질 등급

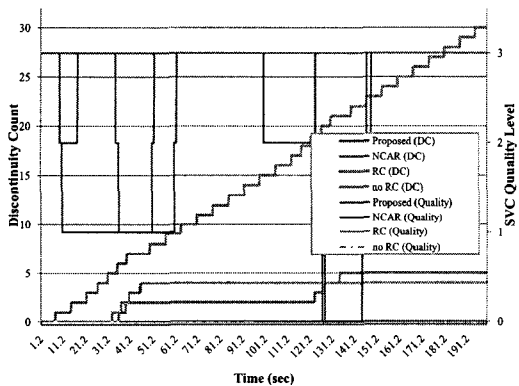


그림 15. 서비스 불연속성과 SVC 품질 등급

용, 그리고 시뮬레이션 전 구간 스트리밍 서비스의 끊어짐 없이 비디오 재생의 연속성을 보장하였다. 이는 Mobile IPTV와 같은 실시간성을 요구하는 멀티미디어 스트리밍 서비스 사용자의 서비스 연속성에 대한 QoE를 개선하고 보장시켜준다.

4.2 클라이언트 버퍼 크기에 따른 성능 비교

MARC 기법은 무선 채널의 변화와 HO 이벤트의 발생 가능성에 대하여 미리 예측하여 클라이언트 수신 버퍼 내 비트스트림의 데이터가 충분히 저장되도록 흐름제어를 수행한다. 이러한 동작은 클라이언트 수신 버퍼의 크기에 따라 민감한 특성을 보인다. 본 절에서는 클라이언트의 버퍼 크기에 따른 성능을 평가하기 위해 MARC와 NCAR 기법을 비교하였다. 시험 환경은 4.1절과 동일하며 충분한 버퍼 사용을 위해 시뮬레이션 시작 후 35초 이후에 Area 2로 이동하도록 설정하였다. 클라이언트 버퍼의 크기는 700 packets에서 1300 packets까지 조절하여 시험하였다. 시험 결과는 그림 16, 17과 같다.

MARC 기법은 그림 16, 17과 같이 NCAR 기법보다 적은 버퍼를 이용하는 환경에서도 낮은 패킷 유실과 안정된 서비스 연속성을 제공하였다. 적은 클라이언트 버퍼의 사용은 실 시간 서비스를 제공하는 측면에서 중요한 요소이며, Mobile IPTV 서비스의 중지 및 채널 전환 등 수신된 버퍼 데이터를 폐기하는 동작에서 발생하는 에너지 효율성 측면에서도 중요한 요소이다^[14].

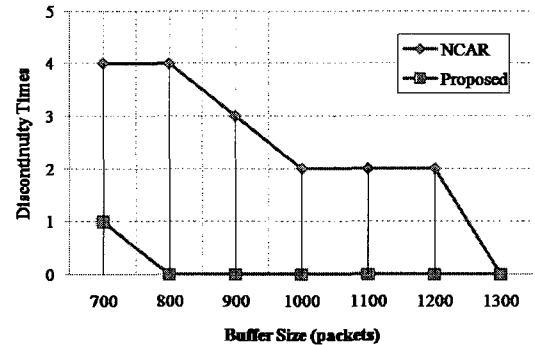


그림 16. 버퍼 크기에 따른 서비스 불연속성

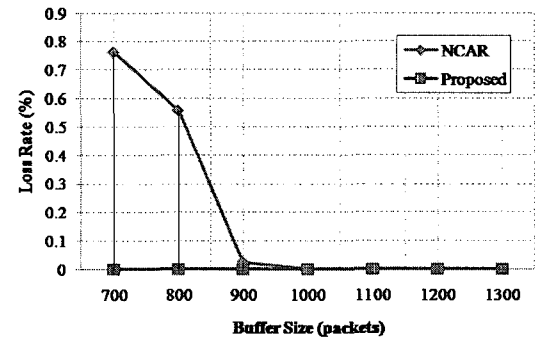


그림 17. 버퍼 크기에 따른 패킷 유실률

4.3 단말 이동에 따른 성능 비교

MARC 기법은 무선 채널이 불안정하거나 외곽 구간으로 이동한 단말에 서비스 연속성을 제공하는 기법이다. 이 동작은 중심 지역에서 외곽 지역 구간으로 이동시 단말이 빠져 나오는 시간에 따라 다른 특성을 보일 수 있다. 본 절에서는 그림 12와 같은 환경에서 단말이 외곽 구간에서 머무는 시간에 따라 MARC의 동작 특성을 비교 평가하였다.

시험 환경은 4.2절과 동일하며 클라이언트 버퍼의 크기는 800 packets으로 설정하였다. Area 3, 4 공간에 머무는 시간을 조절하여 시험하였으며 시험 결과는 그림 18, 19와 같다.

그림 18, 19에서 볼 수 있듯이 MARC 기법은 단말이 외곽 구간에 머무는 시간에 대해서 안정된 서비스 연속성과 낮은 패킷 유실률을 보장하고 있다. 이는 무선 채널 품질의 변화를 빠르게 인지하여 흐름제어를 수행할 뿐만 아니라 클라이언트의 버퍼 내 임계값인 T_{max} 와 T_{min} 를 함께 조절하여 외곽 구간에서는 클라이언트의 수신 버퍼내 비트스트림 데이터를 충분히 저장하기 때문이다.

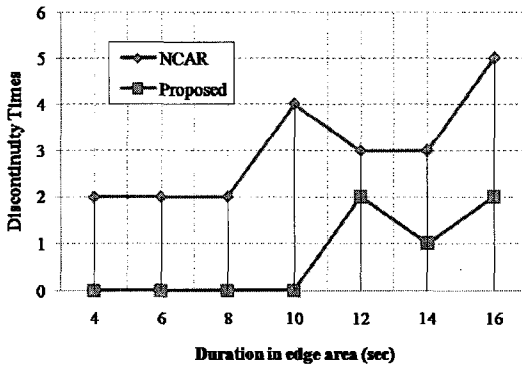


그림 18. Edge에 머문시간에 따른 서비스 불연속성

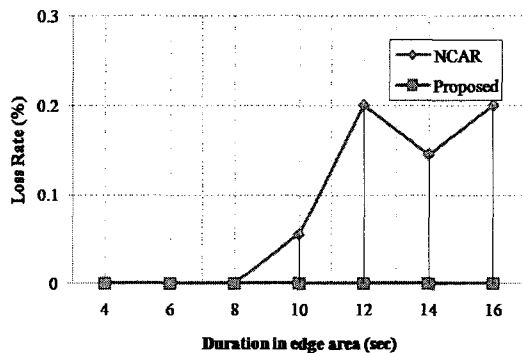


그림 19. Edge에 머문시간에 따른 패킷 유실률

V. 결론

광대역 무선네트워크내 Mobile IPTV 서비스 활성화에 있어, 효율적인 무선 자원 활용 및 사용자에게 원활한 QoE (Quality of Experience)를 제공하기 위한 단말 적응적인 전송률 조절 (Rate Control) 기법이 필요하다.

본 논문에서는 무선 채널 상태를 인지하여 비디오의 전송률과 품질을 조절하는 네트워크 기반의 품질 적응 스트리밍 기법인 Mobile Adaptive Rate Control (MARC) 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 스트리밍 서비스의 품질 향상 이외에도 단말의 이동환경에서 끊김 없는 비디오 재생을 보장 할 수 있도록 무선 채널 상태를 인지하여 적은 클라이언트 버퍼를 사용하면서도 현재 무선 채널 및 단말 위치에 적합한 스트리밍 비디오를 전송한다. 이를 통해 Mobile IPTV와 같은 실시간성을 요구하는 멀티미디어 스트리밍 서비스 사용자의 서비스 연속성에 대한 QoE를 개선하고 보장하였다.

향후 연구로는 이기종 네트워크 간 HO시 발생하는 상황을 예측하여 서비스 연속성을 보장하는 전송률 제어 기법과 이동 단말 특성을 고려한 에너지 효율을 높이는 전송률 제어 기법에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] A. Harris and G. Ireland, "Enabling IPTV: What Carriers Need to Know to Succeed," International Data Corporation, White paper, 2005.
- [2] J. She, F. Hou, P.H. Ho and L.L. Xie, "IPTV over WiMAX: Key Success Factors, Challenges, and solutions," IEEE Communications Magazine, 2007.
- [3] M. Chatterje, S. Sengupta and S. Ganguly, "Feedback-based Real-time Streaming over WiMax," IEEE Wireless Communications, 2007.
- [4] W. Tan and A. Zakhor, "Error Resilient Packet Video for the Internet," IEEE Image Processing, 1998.
- [5] J. Lee, T. Kim, and S. Ko, "Motion Prediction based on Temporal Layering for Layered Video Coding," ITC-CSCC, 1998.

[6] H. Schwarz, D. Marpe, and T. Wiegand, "Overview of the Scalable Video Coding Extension of the H.264/AVC Standard," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2007.

[7] B. Sklar, Digital Communications, 2nd ed., Prentice Hall.

[8] F. Hou, L.X. Cai, J. She, P. Ho, X. Shen, J. Zhang, "Cooperative Multicast Scheduling Scheme for IPTV over IEEE 802.16 Networks," in Proc. IEEE International Conference on Communications, 2008.

[9] H.S. Kim, H.M. Nam, J.Y. Jeong, S.H. Kim and S.J. Ko, "Measurement based Channel Adaptive Video Streaming for Mobile Devices over Mobile WiMAX," IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2008.

[10] 구자현, 정광수, "인터넷 혼잡상황에서 멀티미디어 스트리밍 서비스의 QoE 향상을 위한 전송률 제어기법," 한국 정보과학회 논문지(I), 2009.

[11] The Network Simulator ns-2, <http://www.isi.edu/nanam/ns/>

[12] The WiMAX Forum ns-2 Simulator, http://members.wimaxforum.org/kws/ns2_download/

[13] Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG, ITU-T VCEG, "Joint Scalable Video Model JSVM-9," JVT-V202, 2007.

[14] Y. Shan, "Cross-Layer Techniques for Adaptive Video Streaming over Wireless Networks," EURASIP Journal on Applied Signal Processing, 2005.

구 자 현 (Jahon Koo)

정회원



1999년 2월 광운대학교 전자통신공학과

2001년 2월 광운대학교 전자통신공학과 석사

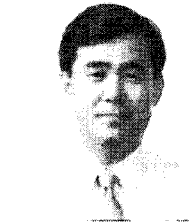
2003년 3월~2008년 12월 (주) 이노와이어리스 정보통신연구소 과장

2001년 3월~ 현재 광운대학교 전자통신공학과 박사과정

<관심분야> 인터넷 QoS, 유.무선 비디오 스트리밍, 광대역 무선 네트워크

정 광 수 (Kwangsue Chung)

종신회원



1981년 2월 한양대학교 전자공학과

1983년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사

1991년 2월 University of Florida 전기공학과 박사

1983년 3월~1993년 2월 한국전자통신연구원 선임연구원

1993년 3월~현재 광운대학교 전자통신공학과 교수

<관심분야> 인터넷 QoS, 유.무선 비디오 스트리밍, 센서 네트워크