

일반논문-08-13-5-16

# WiBro망에서의 다시점 비디오 스트리밍 서비스를 위한 계층 간 최적화 방식

손정현<sup>a)‡</sup>, 조예진<sup>b)</sup>, 서덕영<sup>a)</sup>, 박광훈<sup>a)</sup>, 김규현<sup>a)</sup>

## CLO (Cross Layer Optimization) Technique for Multi-view Video Streaming Service over WiBro Network

Jung Hyun Son<sup>a)‡</sup>, Yejin Cho<sup>b)</sup>, Doug Young Suh<sup>a)</sup>, Gwang-Hoon Park<sup>a)</sup>, Kyuheon Kim<sup>a)</sup>

### 요 약

본 논문은 WiBro 망을 통한 다시점 비디오 서비스의 품질을 향상시키기 위하여, 수신자가 느끼는 다시점 비디오 품질을 위한 QoE (Quality of Experience)를 정의하고, 이를 최대화할 수 있는 계층 간 최적화 방식(Cross-Layer Optimization: CLO)을 제안한다. 제안하는 계층 간 최적화 방식(이하 CLO) 알고리즘은 물리계층에서 비디오계층까지 포함한다. 시간과 장소에 따라 변화하는 무선망 상황에서, 다시점 비디오의 시점별 중요도와 시간적 중요도를 구분하여, 프레임 전송 우선순위와 순방향 오류 정정(Forward Error Correction : FEC) 수준을 결정한다. 핸드오버 상황에서 제안하는 CLO 방식을 사용하였을 때 최소의 자원으로 최고대의 QoE를 달성할 수 있음을 시뮬레이션을 통하여 보여준다.

### Abstract

This paper defines QoE (Quality of Experience) for multi-view video streaming service over WiBro and proposes the CLO (Cross-Layer Optimization) algorithm can maximize this. Proposal CLO algorithm contains from physical layer to video layer. Under the time-varying wireless channel condition, the CLO technique takes view-wise and the temporal priority of the multi-view video into consideration in order to decide the transmission of frames and its FEC level. At the handover situation, it is shown through computer simulation that the optimal quality of the multi-view video can be achieved using the minimum amount of resources if the proposed CLO technique is applied.

Keywords - QoS, cross layer optimization, IEEE 802.16e, WiBro, MVC, streaming

## 1. 서 론

IEEE 802.16e-2005를 기반으로 개발되어 상용화 단계에

있는 휴대 인터넷 서비스인 WiBro (Wireless Broadband Internet)를 통해 합리적인 가격으로 고속의 이동 환경 중에도 초고속으로 인터넷에 접속하여 다양한 서비스를 이용할 수 있다<sup>[1]</sup>. WiBro의 상용화가 가속화됨에 따라 WiBro를 통한 무선 채널 환경에서의 신뢰성 있는 비디오 전송에 대한 연구도 서비스의 특성에 맞추어 차별화 된 QoS (Quality of Service)를 제공한다는 측면에서 논의되어야 한다.

이와 함께 디지털 영상 분야에서는 실감 미디어 방송에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 실감 미디어의 대안으

a) 경희대학교 전자정보대학\*

College of Electronics and Information, Kyung Hee University\*

b) 삼성전자 정보통신총괄 통신연구소 모바일 소프트웨어 플랫폼 랩\*\*

Mobile S/W Platform Lab. Telecommunication R&D Center

Telecommunication Business SAMSUNG ELECTRONICS CO.,LTD\*\*

‡ 교신저자 : 손정현(son0007@khu.ac.kr)

\* 이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R0A-2005-000-10061-0)

로 홀로그래피(holography), 양안시점 시스템(stereoscopic system), 다시점 비디오(multi-view video)등과 같은 3차원 비디오 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 다시점 비디오 부호화(Multi-view Video Coding : MVC)에 관한 표준은 JVT에서 진행되어 마무리 단계에 있다. 실감 콘텐츠에 대한 사용자의 요구가 증가함에 따라 다시점 비디오의 실시간 전송은 다양한 사용자의 요구를 충족시킬 수 있는 좋은 대안이 될 수 있을 것이다<sup>[2]</sup>.

무선망에서 신뢰성 있는 비디오 전송을 위해 계층 간 최적화 방식(이하 CLO)을 적용한 네트워크 계층별 최적화에 대한 연구가 진행되어오고 있다. 물리계층에서는 채널 상황에 적합한 변조방식과 채널 부호화 방식을 선택하는 방법, MAC (Medium Access Control)에서는 재전송 및 스케줄러 관리, 응용계층의 SVC (Scalable Video Coding) 사용, 순방향 오류 정정(Forward Error Correcting : FEC)의 부호화를 최적화, 패킷 크기 조절 등이 이루어져 왔다.

CLO 방식을 이용하여 비디오 전송을 할 경우 전송하고자 하는 비디오의 특성에 맞추어 네트워크 자원을 효율적으로 사용할 수 있다는 장점이 있다. 헤더 정보 및 I 프레임은 P, B 프레임에 비하여 비디오 전송 서비스의 품질을 결정하는데 상대적으로 높은 중요도를 갖는다. 이러한 특성과 MAC계층 및 물리계층의 연동을 통해 차등 데이터 보호(Unequal Error Protection : UEP) 및 우선순위 기반 자동 재전송 요구(Priority-based Automatic Request : P-ARQ)의 적용을 통해 비디오 전송 지연을 최소화하는 CLO 알고리즘<sup>[3]</sup>, 계층융합적(crosslayer) 무선 채널 환경 모니터링(MAC 계층 손실률, 채널 유희 시간 예측)을 통해 채널 상황이 좋지 않게 판단될 경우 중요도가 낮은 RTP (Real-time Transfer Protocol) 패킷을 전송하지 않는 방법<sup>[4]</sup> 등이 제안되었다. 응용계층에서는 실시간 인코더를 통한 채널 환경에 적응적 전송률 조절<sup>[5]</sup>, SVC (Scalable Video Coding)을 이용한 무선 채널에 적응적인 비디오 전송 및 SVC 각 계층별 중요도에 따른 순방향 오류 정정의 적용<sup>[6][7][8]</sup>을 통하여 비디오 전송 품질을 향상시켰다. 적용적으로 MAC에서는 재전송 횟수를 제한하고, 응용계층에서는 SVC를 이용하면서 순방향 오류 정정 적용 및 패킷 크기를 최적화하는 방안<sup>[9]</sup>에 대한 연구<sup>[9]</sup>도 선행되었다.

이처럼 CLO가 적용된 비디오 전송에 대한 연구가 활발히 진행되고 있지만 WiBro 망에서 다시점 동영상 실시간 전송의 QoS 보장을 위한 CLO 방식에 대한 연구는 미흡하다. WiBro는 광대역에 초고속 인터넷 서비스를 합리적인 가격으로 제공할 수 있고 다시점 비디오는 사용자들에게 자유로운 시점 및 입체감 제공이라는 장점을 지니고 있다. 사용자에게 언제 어디서나 실감나는 비디오 스트리밍 서비스 제공을 위해 WiBro를 통한 다시점 비디오 전송은 디지털 영상분야와 초고속 인터넷 분야의 결합된 하나의 서비스로서 제공될 경우 좋은 시너지 효과를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 WiBro 상에서 다시점 동영상 전송을 위한 적응적인 CLO 알고리즘에 대해 제안하고자 한다. 2장에서는 다양한 계층의 변수(물리계층의 부호화 방법 및 채널 코딩, 전송계층의 차등 데이터 보호를 이용한 순방향 오류 정정, 응용계층의 다시점 동영상 패킷들의 우선순위 구분 등을 이용하여 안정적이고 효과적이며 다양한 서비스 사용자 및 시변적인 채널 환경에 능동적으로 적응이 가능한 스트리밍 서비스를 제공하는 CLO 시스템의 구조를 제안한다. 3장에서는 다수의 변수와 함수를 종합한 CLO 방식을 제안한다. 4장에서는 이를 다시점 동영상 서비스에 적용하여 WiBro 망에서 제공받는 사용자의 수신 비디오 품질을 향상시키는 실험결과를 보여주고 5장에서 실험 결과에 대한 논의를 하고, 6장에서 결론을 맺는다.

## II. 제안하는 CLO 시스템 구조

각각의 계층에서 정보를 주고받는 CLO 모듈을 중심으로 하는 구조를 가지며 각각의 계층은 다음과 같은 기능을 한다.

### 1. 비디오계층

비디오계층에서는 JMVM 2.3 (Joint Multi-view Video Model 2.3)을 이용하여 인코딩된 다시점 동영상 비디오를 다룬다. 압축된 다시점 동영상 비디오는 여러 개의 시점으로 구성되었으며 계층적 B화면 구조 및 시간 방향 우선 부호화 방식을 사용하여 압축된다. 여기서 시간 방향 우선 부호화

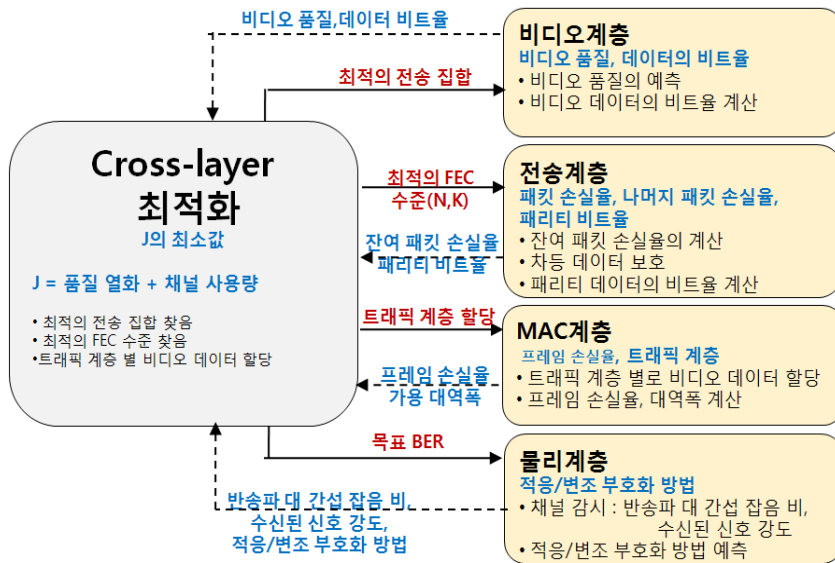


그림 1. CLO 방식 요약  
Fig. 1. CLO Outline

란, 시점(view) 방향을 부호화한 후에 시간 방향으로 부호화하는 방식이다. 가까운 장래에 WiBro 단말기에서 입체 시청이 가능하기 어려우므로, 유니캐스트 서비스를 받는 수신자가 하나의 시점을 선택하여 시청하는 것으로 가정한다. 수신자의 만족도(QoE, Quality of Experience)는 자신이 선택한 시점의 비디오에 얼마나 가까운 영상이 보이는가에 따라 정해지며 이를 위해 새로운 QoS 인자를 정의한다.

1.1 시점 및 시간적 중요도

다시점 비디오 부호화의 경우 그림 2와 같이 시점 간 참조를 통해 압축 효율을 증가시키므로 모든 시점은 서로 다

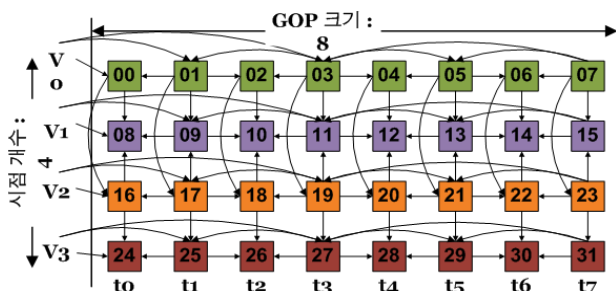


그림 2. 시점 및 시간적 중요도  
Fig. 2. View and Temporal Priority

른 중요도를 갖는다. 또한 계층적 B화면 구조를 통해 하나의 시점 안에서 프레임 간 서로 다른 중요도를 갖게 된다. 즉, V0(view 0, 시점 0)이 가장 중요한 시점이고, V2은 V0를 참조하여 부호화되고, V1은 V0과 V2를 양방향으로 참조하여 부호화되며, V3은 V2를 참조하여 부호화된다. 따라서 V0이 손실되면 모든 시점이 손실되는 반면에, V1과 V3의 손실은 다른 시점의 복호화에 영향을 미치지 않는다.

1.2 정량적 중요도 산출 및 전송 순서의 결정

GOP(Group of Picture) 크기가  $J_{GOP}$ 인  $I_{view}$  개의 시점으로 구성된 동영상은 다시점 비디오 부호화로 압축하여 전송하고자 할 때 시점 및 시간적 프레임 참조관계에 따라  $i$ 번 시점의  $j$ 번 프레임의 중요도  $\alpha_{ij}$ 는 다음과 같이 정할 수 있다.

$$\alpha_{ij} = \frac{w_{ij}}{W}, \quad \sum_{i=0}^{I_{view}-1} \sum_{j=0}^{J_{GOP}-1} \alpha_{ij} = 1, \quad (1)$$

여기서  $W = \sum_{i=0}^{I_{view}-1} \sum_{j=0}^{J_{GOP}-1} w_{ij}$ ,  $w_{ij} = F_{S_j} + \frac{F_{non-S_j}}{2}$

$F_{S_j}$ 는 수신자가  $i$ 번 시점의  $j$ 번 프레임을 수신하지 못할 경우 선택된 시점에서 손실되는 프레임의 수를 나타낸다.

이는 다시점 비디오 부호화 압축 과정에서의 참조 관계에 의해 결정되며, 프레임이 손실되면 그 프레임을 참조하는 프레임 모두 디코딩할 수 없기 때문에, 클수록 중요도가 높다는 것을 의미한다.  $F_{non-s_j}$ 는 수신자가  $i$ 번 시점의  $j$ 번 프레임을 수신하지 못할 경우, 선택된 시점을 구성하는데 필요하지만 선택되지 않은 시점에서 손실되는 프레임의 수를 나타낸다.

표 1은 GOP 크기 8, 4개의 시점으로 구성된 다시점 동영상의 각 프레임 별 중요도를 구한 표이다. S는 선택된 시점을 말한다.

표 1. 손실된 프레임들에 대한 가중치,  $w_{ij}$   
Table1. Weighted Number of Lost Frames,  $w_{ij}$

| S  |    | 시간적 ID |     |     |      |     |     |     |    |
|----|----|--------|-----|-----|------|-----|-----|-----|----|
|    |    | t0     | t1  | t2  | t3   | t4  | t5  | t6  | t7 |
| V0 | V0 | 2.5    | 7.5 | 2.5 | 17.5 | 2.5 | 7.5 | 2.5 | 20 |
|    | V1 | 0.5    | 1.5 | 0.5 | 3.5  | 0.5 | 1.5 | 0.5 | 4  |
|    | V2 | 1.5    | 4.5 | 1.5 | 10.5 | 1.5 | 4.5 | 1.5 | 12 |
|    | V3 | 0.5    | 1.5 | 0.5 | 3.5  | 0.5 | 1.5 | 0.5 | 4  |
| V1 | V0 | 2.5    | 7.5 | 2.5 | 17.5 | 2.5 | 7.5 | 2.5 | 20 |
|    | V1 | 1      | 3   | 1   | 7    | 1   | 3   | 1   | 8  |
|    | V2 | 2      | 6   | 2   | 14   | 2   | 6   | 2   | 16 |
|    | V3 | 0.5    | 1.5 | 0.5 | 3.5  | 0.5 | 1.5 | 0.5 | 4  |
| V2 | V0 | 2.5    | 7.5 | 2.5 | 17.5 | 2.5 | 7.5 | 2.5 | 20 |
|    | V1 | 0.5    | 1.5 | 0.5 | 3.5  | 0.5 | 1.5 | 0.5 | 4  |
|    | V2 | 2      | 6   | 2   | 14   | 2   | 6   | 2   | 16 |
|    | V3 | 0.5    | 1.5 | 0.5 | 3.5  | 0.5 | 1.5 | 0.5 | 4  |
| V3 | V0 | 2.5    | 7.5 | 2.5 | 17.5 | 2.5 | 7.5 | 2.5 | 20 |
|    | V1 | 0.5    | 1.5 | 0.5 | 3.5  | 0.5 | 1.5 | 0.5 | 4  |
|    | V2 | 2      | 6   | 2   | 14   | 2   | 6   | 2   | 16 |
|    | V3 | 1      | 3   | 1   | 7    | 1   | 3   | 1   | 8  |

전송순서는 예측된 채널대역폭에 적합하게 프레임의 중요도가 높은 순서로 정한다. 수신기에서 현재 보고 있는 시점에 따른 가중치를 주는 경우와 그렇지 않은 경우는 채널 대역폭이 변하는 상황에서 프레임의 전송순서에 영향을 미치게 되고, 이에 따라 수신측 예측 화질이 달라지며 그것에 대한 결과는 5장의 2번째 실험에서 다룬다.

시간에 따라 변하는 복호화와 패킷 손실률에 따라 만일 수신자가 원하는 시점의 비디오를 복호화할 수 없다면, 가까운 시점이 복호화 될수록 만족도는 높아진다고 가정하

였다. 즉, 수신자가 V3을 선택했는데 V3을 수신하지 못한 경우, V2를 보는 것이 V1을 보는 것보다 만족도가 크다고 가정하였고 시점의 차이에 따라 가중치를 차별화하였다.

## 2. 물리계층

WiBro의 물리계층은 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)을 기반으로 다운로드 채널의 경우 7가지 적응/변조 부호화(Adaptive Modulation and Coding) 방식을 제공한다. 적응/변조 부호화란 채널 환경에 맞추어 변조 기법과 부호화 기법을 바꾸어 주는 것이다. 단, FCH (Frame Control Header) 3바이트는 항상 BPSK, 채널 부호화율 1/2이 적용된다.

물리계층은 다시점 비디오 부호화 송신측과 수신측 사이의 WiBro 채널 상황을 관측하기 위하여 반송파 대 간섭 잡음비(Carrier to Interference plus Noise Ratio : CINR)와 수신된 신호강도(Received Signal Strength Indicator : RSSI) 정보를 수집하며 수집된 정보에 근거하여 적응/변조 부호화 모드를 예측한다. 표 2는 QualNet 시뮬레이터를 이용하여 WiBro망에서의 반송파 대 간섭 잡음비에 따른 적응/변조 부호화 방식을 나타낸다.

표 2. 반송파 대 간섭 잡음비와 수신된 신호강도 vs. 적응/변조 부호화 방법  
Table 2. CINR and RSSI vs. AMC mode  
채널대역폭 : 8.75MHz, 송신전력 : 20dBm, FFT 크기 : 1048, 채널주파수 : 250kHz

| m | modulation | Rate | CINR[dB]    | RSSI[dB]      | RPHY[Kbps] |
|---|------------|------|-------------|---------------|------------|
| 0 | QPSK       | 1/2  | -9.03       | --85.52       | 4464.0     |
| 1 | QPSK       | 3/4  | 9.03~11.5   | -85.52~-83.06 | 6696.0     |
| 2 | 16QAM      | 1/2  | 11.5~15.0   | -83.06~-79.55 | 8928.0     |
| 3 | 16QAM      | 3/4  | 15.0~17.02  | -79.55~-77.52 | 13392.0    |
| 4 | 64QAM      | 1/2  | 17.02~19.04 | -77.52~-75.52 | 13392.0    |
| 5 | 64QAM      | 2/3  | 19.04~21.02 | -75.52~-73.54 | 17856.0    |
| 6 | 64QAM      | 3/4  | 21.02       | -73.54~       | 20088.0    |

$$m(p_{Ty}, \gamma) = 0, \dots, 6 \quad (2)$$

$p_{Ty}$ 은 적응/변조 부호화를 결정하기 위한 물리층에서의 목표 비트 오류율(Bit Error Rate : BER)을 의미하며  $\gamma$ 은 평균 반송파 대 간섭 잡음비이다.  $p_{Ty}$ 에 따라 반송파 대 간섭 잡음비를 입력 받아 적응/변조 부호화 방식  $m$ 을 결정하게 된다. 이 때, 적응/변조 부호화 방법과 반송파 대 간섭 잡음비, 부호화 방식에 의해서 채널 대역폭 RPHY가 결정된다. 또한 데이터의 나머지 비트 오류율  $p_B$ (오류 정정이 이루어진 후의 비트 오류율)가 계산된다.  $p_B$ 에 의한 프레임 손실률 PPHY는 데이터에서 비트 오류율  $p_B$ , 안정된 모드로 전송하는 24비트 크기의 FCH(Frame Control Header) 오류율을  $p_{BF}$ 라고 하면 프레임손실률은 다음과 같다.  $m$ 은 전송 프레임 크기를 의미한다.

$$P_{PHY}(p_{BF}, p_B) = 1 - (1 - p_{BF})^{24} (1 - p_B)^m \quad (3)$$

### 3. MAC 계층

물리계층에서 프레임손실률 PPHY와 가용대역폭 RPHY를 주어진다면, MAC (Medium Access Control)에서는 스케줄링과 자동 재전송 요구(Automatic Repeat reQuest : ARQ)를 적용하여 다시 프레임손실률 PMAC 가용대역폭 RMAC을 계산한다.

$M_{TC}$ (트래픽 계층 방법)은 UGS (Unsolicited Grant Service), ertPS (Extended Real-Time Polling Service), rtPS (Real-Time Polling Service), nrtPS (Non-Real-Time Polling Service), BE (Best Effort)의 총 5개의 트래픽 계층을 나타내며 WiBro 망에서 QoS를 보장하기 위해 제공 된다. 이  $M_{TC}$ 에 따라 WiBro MAC은 전송 스케줄링 방법 및 자동 재전송 요구가 다르게 적용되므로  $M_{TC}$ 는 프레임손실률 및 가용대역폭을 결정하는 요인이 된다.

최대 재전송 횟수가  $O_R$ 일 때, 프레임손실률  $P_{MAC}$ 은

$$P_{MAC} = (1 - P_C) P_{PHY}^{O_R} + P_C \quad (4)$$

이다. 여기서  $P_C$ 는 큐의 넘침에 의한 손실을 의미한다.

평균 재전송 횟수  $\overline{O_R}$ 는

$$\overline{O_R} = \sum_{i=1}^{O_R} i \times P_{PHY}^{i-1} \times (1 - P_{PHY}) + O_R \times P_{PHY}^{O_R} \quad (5)$$

가용대역폭은 다음과 같이 된다.

$$R_{MAC} = \frac{R_{PHY}}{O_R} \quad (6)$$

만일 복수의 트래픽 계층으로 전송한다면( $t=1, \dots, M_{TC}$ ), 트래픽 계층  $t$ 에 따른 재전송 한계  $O_{R,t}$ 가 다르게 설정된다. RPHY,t를  $t$ 번째 트래픽 계층에 할당된 물리계층의 비트 전송률이라고 하면,  $t$ 번째 트래픽 계층의 가용대역폭은 다음과 같다.

$$R_{MAC,t} = \frac{R_{PHY,t}}{O_{R,t}} \quad (7)$$

where

$$R_{PHY} = \sum_{t=1}^{M_{TC}} R_{PHY,t} \quad (8)$$

이때 트래픽 계층  $k$ 의 손실률  $P_{MAC}$ 은

$$P_{MAC,t} = (1 - P_{C,t}) P_{PHY}^{O_{R,t}} + P_{C,t} \quad (9)$$

이다. 트래픽계층을 구분하는 방식은 수식으로 개발하였으나 시뮬레이션에서는 하나의 계층(BE, Best Effort)만 사용하였다.

### 4. 전송계층

전송계층에서 순방향 오류 정정 [N, K]를 적용할 때 패킷



그림 3. 시점 우선순위에 따른 전송계층의 차등 데이터 보호  
Fig. 3. Unequal Error Protection in Transport Layer with View Priority

손실률 PTR과 가용대역폭 RTR은 다음과 같이 변경된다. 여기서 전송계층의 패킷과 MAC 계층의 프레임은 1:1 대응함을 가정한다.

$$P_{TR} = \sum_{i=N-K+1}^N \frac{1}{N} \binom{N}{i} P_{MAC}^i (1 - P_{MAC})^{N-i} \quad (10)$$

$$R_{TR} = R_{MAC} \frac{K}{N} \quad (11)$$

다시점 비디오 부호화를 이용한 다시점 동영상의 압축 시 시점 간 참조가 이루어지므로 다음 그림 3에서와 같이 시점 우선순위에 따른 차등 데이터 보호를 적용할 수 있다.

$$(N-K)_i = L \times (K \times P_{MAC}) \times \beta_i \quad (12)$$

차등 데이터 보호는 i번째 시점 우선순위  $\beta_i$ 에 따라 차별화된다. 여기서 L은 순방향 오류 정정 수준을 의미하며  $\beta_i$ 는 가장 높은 중요도를 갖는 0번 시점의 중요도를 1로 했을 때의 i번째 시점 우선순위는 (1)의  $\alpha_{ij}$ 을 이용해서 계산할 수 있다.

$$\beta_i = \frac{1}{J_{GOP}-1} \sum_{j=0}^{J_{GOP}-1} \alpha_{ij} \quad (13)$$

## 5. 수신측 비디오 품질, QoE

수신된 비디오 품질, QoE는 GOP당 수신된 프레임의 중요도의 합으로 나타낼 수 있다. 이 중요도는 본 논문의 비디오 계층에서 계산된 것을 이용한다. 그러면 최고의 품질(모두 다 수신하였을 때) 그 값이 1이 될 것이다. 한 프레임이 손실되었을 때 이를 참조하는 프레임들은 모두 손실된 것으로 간주한다.

4개의 시점을 GOP 크기 8로 전송할 때 총 32개의 프레임별 중요도와 전송계층 손실확률을 각각  $\alpha_s$ ,  $P_{TR,s}$ 이라고 하면, 평균 QoE, Q는 다음과 같다.( $s=1, 2, \dots, 32$ ) 여기서 s는 전송집합을 의미하고, 중요도의 순서대로 s개만큼의 프레임을 전송한다는 것을 의미한다.

$$Q = \sum_{s=1}^{32} \left( \sum_{j=1}^s \alpha_j \left[ P_{TR,s+1} \prod_{j=1}^s (1 - P_{TR,j}) \right] \right) + \prod_{s=1}^{32} (1 - P_{TR,s}) \quad (14)$$

$$\Delta Q = 1 - Q \quad (15)$$

## III. CLO 알고리즘

본 논문에서는 가장 일반적인 시점구성인, 총 4개의 시점을 WiBro망을 통해 서비스할 때 CLO 방식을 적용하여 서비스한다.

WiBro망의 채널을 효율적으로 사용하면서 다시점 비디

오 부호화 스트리밍 서비스의 QoS를 향상시키기 위해 CLO가 적용된 전송 방법과 순방향 오류 정정을 사용한다. 이 때 CLO 알고리즘의 성능 평가를 위해

$$G(L, S) = \Delta Q(L, S) + \lambda R(L, S), \quad (16)$$

제한조건 :  $Q > Q_{\min}, R < R_{TR}$

을 사용한다. CLO 변수인 L은 순방향 오류 정정 수준, S는 전송하고자 하는 프레임의 집합을 나타내고  $\Delta Q$ 는 화질열화를 나타내며 R은 다시점 비디오 부호화 스트리밍 서비스를 위한 채널사용량을 의미한다. R은 전송계층에서 예측된 가용대역폭  $R_{TR}$ 을 초과할 수 없다.

CLO의 문제는  $G(L, S)$ 을 최소로 하는  $[L_{opt}, S_{opt}]$ 을 찾는 것으로 이는 WiBro망의 대역폭을 가능한 적게 이용하면서 수신측이 수신한 영상의 화질 열화는 최소화한다.  $\lambda$ 값에 따라 비디오 품질과 사용 전송률간의 트레이드-오프를 조절할 수 있다. 본 논문에서는 R의 값과  $\Delta Q$ 값의 크기와 중요도를 고려하여,  $\lambda$ 에  $10^{-5}$ 의 값을 사용하였다. 만일 WLAN과 같이 전송비용이 작으면 더 작은 값을 사용해야 하고, HSDPA와 같이 전송비용이 크면 더 큰 값을 사용해야 한다. 이에 대한 논의는 본 논문의 범위에서 벗어난다.

표 3. CLO 알고리즘  
Table 3. CLO Algorithm

|  |
|--|
| $R_{TR} = \text{Get } R_{TR}()$                                      |
| for(L)   |
| for(S)   |
| $P_{TR} = \text{Get } P_{TR}(l)$                                     |
| $\Delta Q = \text{Get } \Delta Q(P_{TR}, s)$                         |
| $R = \text{Get } R(s, l)$  |
| if( $R < R_{TR} \ \&\& \ \Delta Q + (\lambda * R) < \text{Search}$ ) |
| $\text{Search} = \Delta Q + (\lambda * R)$                           |
| $S_{opt} = s$  |
| $L_{opt} = l$  |
| end if   |
| end for(S)   |
| end for(L)   |

최적화된  $[L_{opt}, S_{opt}]$ 를 찾기 위하여 가능한 전송 집합과 순방향 오류 정정 수준을 탐색하는 전체 탐색 기법을 이용하였다.

시뮬레이션에 적용된 CLO 방법을 요약하면 다음과 같다.

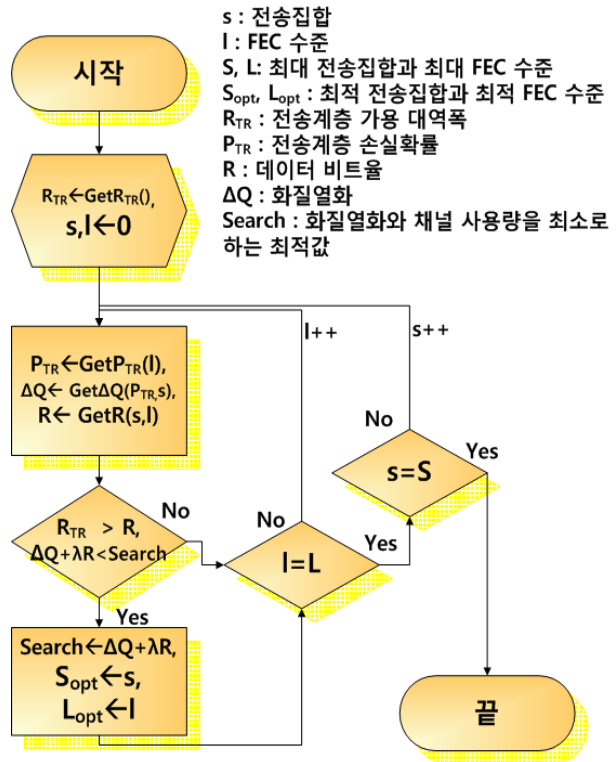


그림 4. CLO 알고리즘 흐름도  
Fig. 4. Flowchart of CLO Algorithm

### IV. 실험 환경

본 논문에서는 그림 5와 같은 구조를 갖는 다시점 비디오 부호화 스트리밍 시스템을 이용하여 WiBro 망에서 전송 시뮬레이션 실험을 통해 논문에서 제안한 CLO 알고리즘의 성능을 측정하였다. 수신기에서는 피드백 채널을 가지고 있어, 사용자가 선택한 현재의 시점 정보나 현재 수신측의 신호강도 값 등 CLO에 필요한 변수들을 송신측에 넘겨준다.

QualNet 네트워크 시뮬레이터를 이용하여 구현된 WiBro

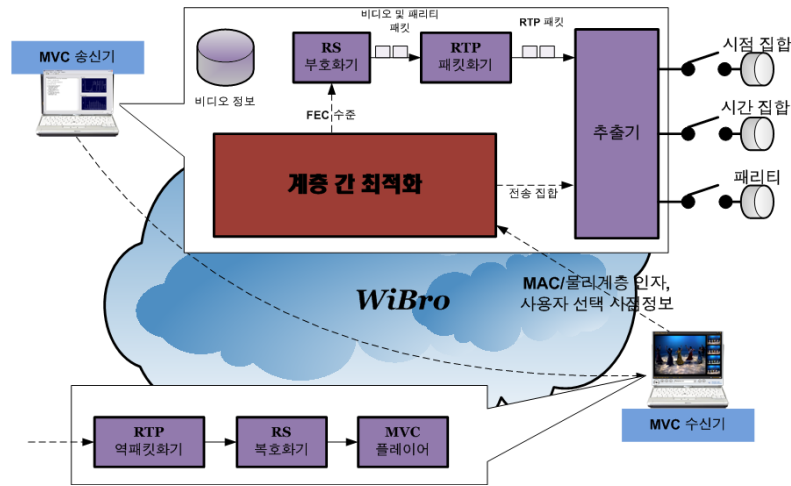


그림 5. 시스템 구조도  
Fig. 5. System Architecture

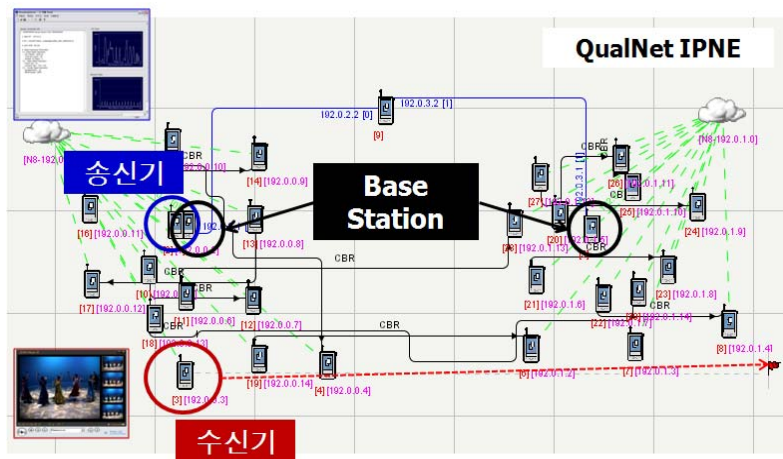


그림 6. Qualnet을 통한 WiBro망에서의 다지점 비디오 부호화 스트리밍 시험대  
Fig. 6. MV Streaming over WiBro Test Bed with Qualnet

망에서 송신기는 BS(Base Station)과 인접한 거리에 위치하며 수신기는 BS1에서 BS2로 점선의 경로를 따라 약 60Km/h의 속력으로 이동하며 송신기로부터 다지점 비디오 부호화 동영상을 수신한다. 이동하는 과정에서 BS가 옮겨감에 따라 핸드오버가 발생하게 된다.

스트리밍 되는 다지점 비디오 부호화 영상은 Flamenco 1000프레임의 영상과 Ballroom, Exit, Akkokayo, Rena를 합친 1000프레임의 영상(이하 Combined영상)으로 VGA크기(640\*480), 16Hz이다. 현재 망 내에서 4명의 수신측이 서

비스 받고 있다고 가정한다. 제안한 알고리즘의 성능평가를 위해 사용자가 선택한 시점 0, 1, 2, 3 각각에 대해 실험한다.

### V. 실험 결과 및 논의

#### 1. CLO 적용의 결과

그림 7을 통하여 그림 6의 시나리오대로 사용자가 이동



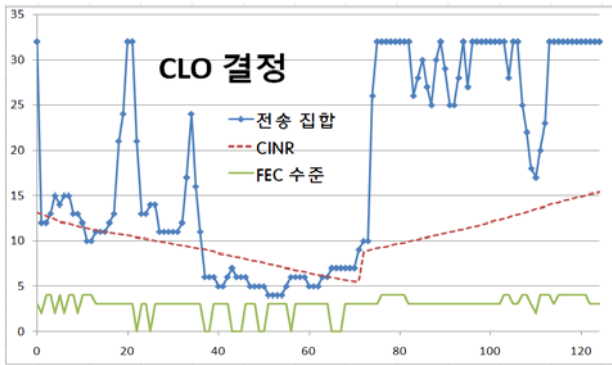


그림 7. CLO에 의해 결정된 전송 집합 및 FEC수준  
Fig. 7. Decision of Transmission Level and FEC Level with CLO

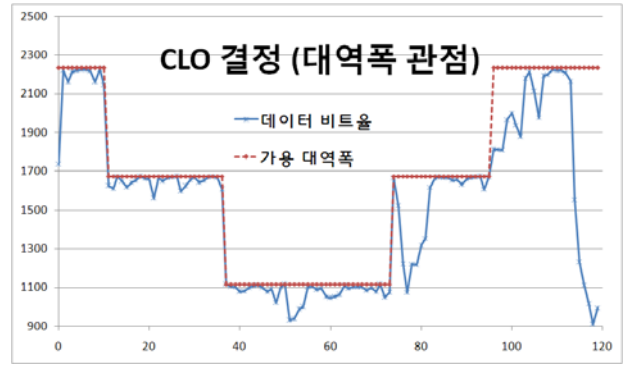


그림 8. CLO에 의한 전송률 결정  
Fig. 8. Decision of Data Rate with CLO

함에 따라, 물리계층에서 입력된 반송파 대 간섭 잡음비 및 현재 전송하고자 하는 다시점 비디오 부호화 영상의 한 GOP 특성 및 수신측에 의해 선택된 시점에 의해 전송 및 순방향 오류 정정 수준이 결정되는 것을 볼 수 있다. 물리계층의 비트 오류율은 10-5로 가정하였다.

그림 8에서는 현재 반송파 대 간섭 잡음비에 따라 계산된 전송계층의 대역폭과 여기에 따라 결정된 전송 집합의 데

이터 전송율과의 관계를 보여주고 있다. 변화하는 망 상황에서 적응적으로 데이터 전송률이 바뀔 수 있다.

## 2. 시점과 시간적 참조관계의 중요도에 기반을 둔 전송 효과

그림 9와 그림 10은 수신측이 현재 선택한 시점에 따라

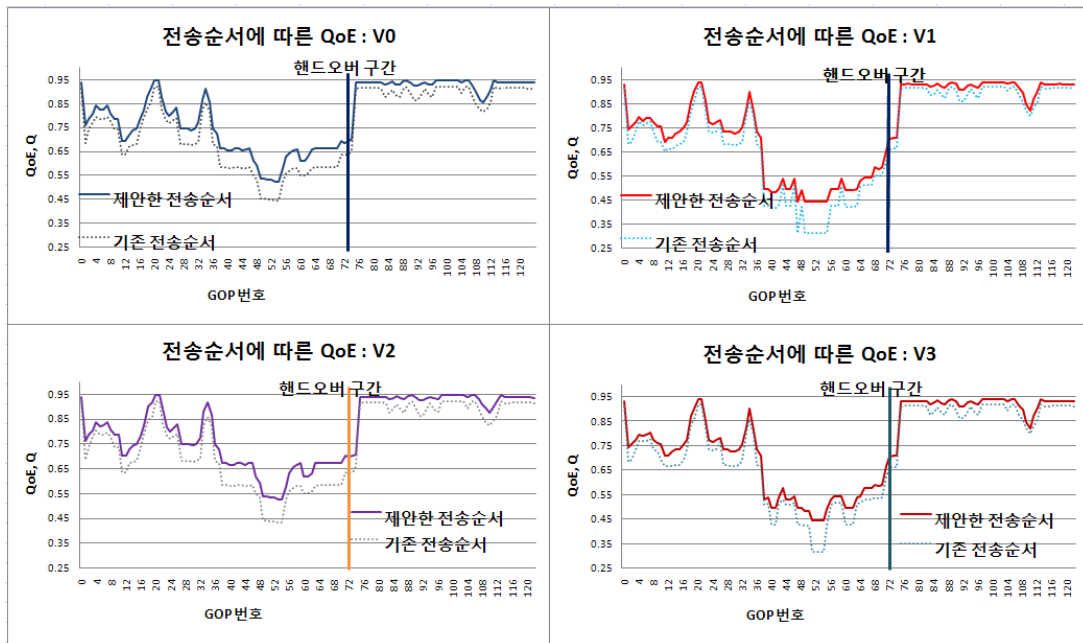


그림 9. 제안한 전송순서 vs. 기존 전송순서 (Flamenco영상)  
Fig. 9. Proposed Transmission Order vs. Traditional Transmission Order (Flamenco Sequence)

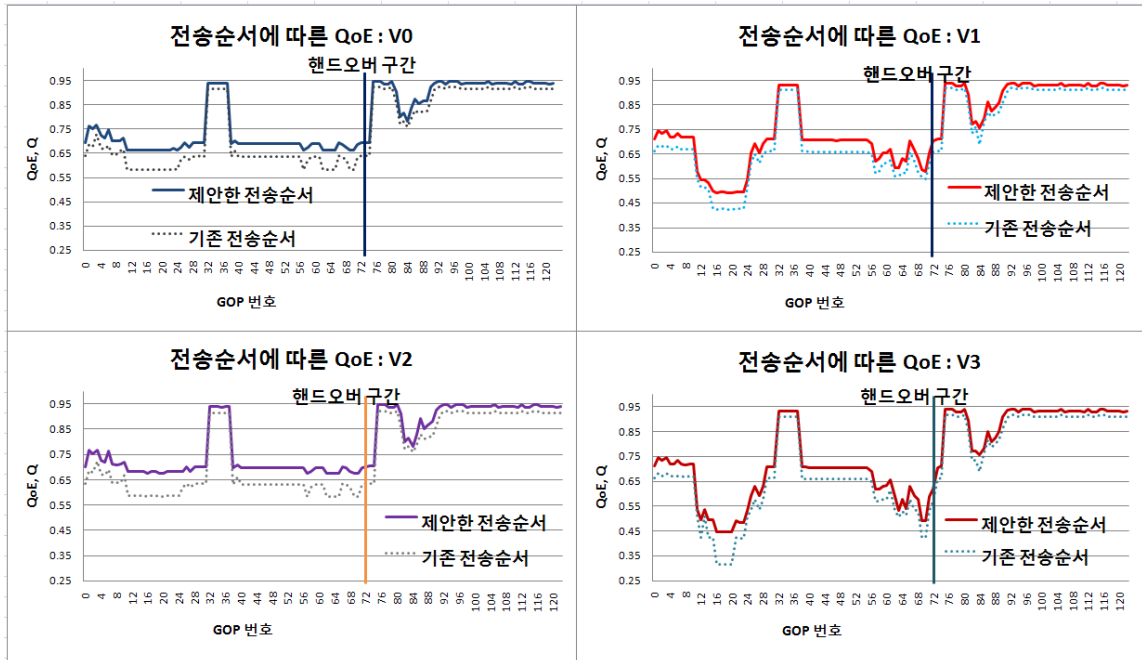


그림 10. 제안한 전송순서 vs. 기존 전송순서 (Combined영상)  
 Fig. 10. Proposed Transmission Order vs. Traditional Transmission Order (Combined Sequence)

결정된 프레임 전송순서가 적용된 시스템과 기존의 전송순서가 적용된 시스템 간의 수신측 비디오 예측 품질의 차이를 보여준다. 해당 실험의 시나리오는 1번 실험과 동일하다. 때문에 가용대역폭이 낮아지므로 우선순위가 낮은 프레임은 전송 집합에서 제외되고, 따라서 비디오 품질이 낮아진다.

기존 전송순서 알고리즘은 비디오계층에서 언급한 시간방향 우선 부호화 방식의 순서를 따른다. 반면 제안한 전송순서 방법은 참조하는 프레임의 수와 현재 선택된 시점의 가중치에 의해 전송 순서가 결정된다.

그림 10에서 반송과 대 간섭 잡음비가 점점 낮아짐에도 일부구간에서 QoE는 오히려 높아지는 모습을 볼 수 있다. 이는 Flamenco가 한가지의 영상으로 이루어진데 비하여 Combined영상은 4가지의 영상을 합쳐놓은 형태이기 때문에 구간에 따라 영상의 필요한 전송율의 차이가 많기 때문이다.

참조 관계가 많고 수신측이 선택한 시점에 따라 프레임의 전송순서를 결정한 시스템은 기존 시스템과 비교했을

때, 선택된 시점 0, 1, 2, 3 별 두 영상 모두 평균 0.05가량의 평균 비디오 예측 품질 향상을 나타냈다. 특히 망 상황이 안 좋아질수록 제안한 방법의 효과가 크게 나타났고, 핸드오버가 생기는 구간에서 시점 별 평균 0.08의 예측 품질 차이가 발생했다.

### 3. 연속 재생 지수(Playout Continuity Index : PCI)

연속 재생 지수(Playout Continuity Index : PCI)는 비디오가 얼마나 끊기지 않고 스트리밍 되었는지 평가하는 지표가 된다<sup>[12]</sup>. 프레임의 손실이 일어나지 않아 끈김없이 스트리밍되면 연속 재생 지수는 1이 된다. 그림 11과 그림 12는 그림 7의 시나리오에 따라 사용자가 선택한 시점 별 연속 재생 지수의 결과를 보여준다.

CLO 방식이 적용된 시스템은 채널 상황에 따라 사용자가 현재 선택한 시점을 고려하여 적응적으로 전송 집합을 결정하고, CLO 방식이 적용되지 않은 시스템은 채널이나 사용자의 상황을 고려하지 않고 항상 모든 프레임을 보내

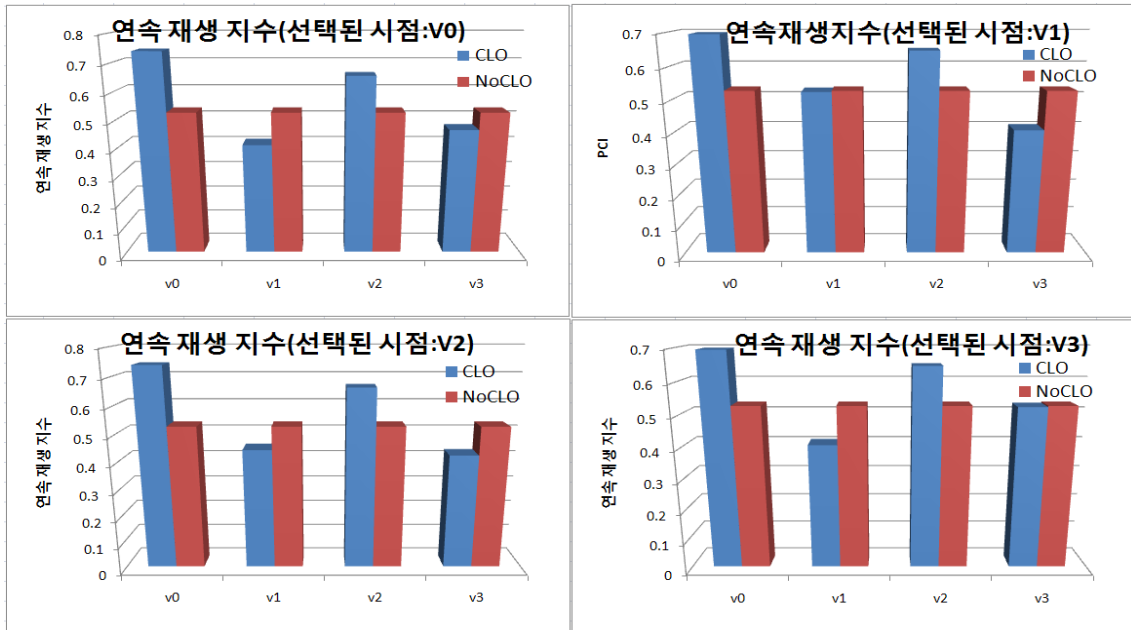


그림 11. 연속 재생 지수 (Flamenco영상)  
 Fig. 11. Playout Continuity Index (Flamenco Sequence)

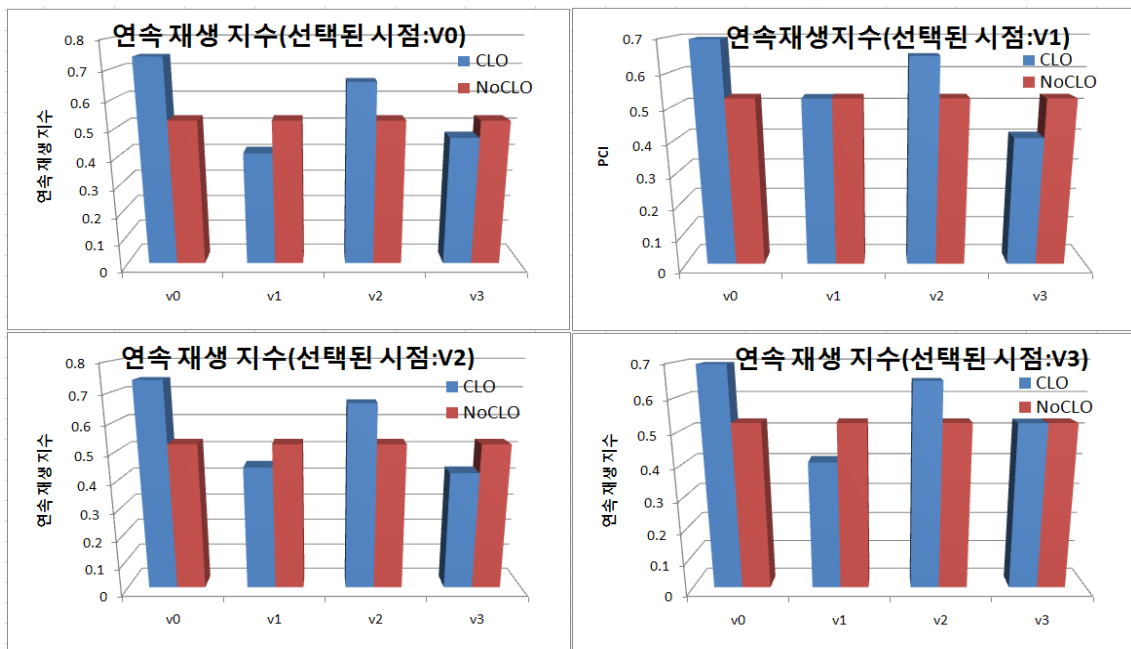


그림 12. 연속 재생 지수 (Combined영상)  
 Fig. 12. Playout Continuity Index (Combined Sequence)

게 된다.

기본적으로 참조관계가 많은 프레임부터 전송하는 CLO 방식의 경우 V0, V2, V1, V3 순으로 더 많은 재생시간을 보장 받는다. 반면 CLO를 적용하지 않은 방식은 시간 방향 우선 전송 방식을 택하기 때문에 모든 시점에서 같은 재생시간을 보장받게 된다. 여기에 사용자가 현재 선택한 시점에 더 높은 중요도를 부여하여 전송하는 방식을 택하였기 때문에, 그림 11과 그림 12에서 사용자가 현재 선택한 시점에 따라 차별화되는 중요도를 확인할 수 있다. 정량적으로 보았을 때 가장 중요한 시점인 V0에서 CLO 방식은 CLO를 적용하지 않은 방식에 비해 Flamenco영상에서 29.1%, Combined영상에서 26.2% 높은 재생시간의 차이를 나타낸다.

따라서 CLO 방식이 적용된 시스템의 경우 CLO 방식이 적용되지 않은 시스템에 비하여 끊김 없이 보다 고품질의 안정적인 실시간 스트리밍 서비스를 제공하게 된다.

## VI. 결론 및 향후 할 일

본 논문에서는 WiBro와 실감 미디어 방송 수요의 증가와 함께 다시점 비디오 부호화 비디오의 실시간 스트리밍 서비스의 QoS 향상을 위한 CLO 방식에 대해 논의 하였다. 제안한 CLO 알고리즘의 특성은 다시점 비디오 부호화 비디오 특성 및 수신측의 요구사항을 반영하여 전송 GOP 마다 프레임의 중요도를 결정하고 예측된 가용대역폭에 적합하게 높은 중요도의 프레임을 우선적으로 전송한다. 수신한 비디오의 품질은 복호화된 프레임의 중요도의 합으로 표시되며, 이를 새로운 QoE 값으로 정의하고 이를 최대화하는 CLO 알고리즘을 개발하였다. 제안한 전송 알고리즘을 적용한 시스템은 기존 방법보다 7% 가량의 QoE 향상을 나타내었고, 특히 핸드오버 상황에서 14%가량 증가하여 채널 상황이 안정적이지 못한 무선망에 강인한 본 시스템의 성능을 입증하였다. 또한 전체적인 CLO 시스템은 CLO를 적용하지 않은 시스템에 비해 모든 시점에서 평균적으로 7% 더 끊김없이 재생될 수 있었고, 특히 가장 중요한 시점의 경우 29.1% 가량 더 끊김없이 재생될 수 있었다.

## 참고 문헌

- [1] IEEE Std 802.16e-2005, IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems. Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum 1, pp1-864, Feb, 2006.
- [2] Y. S. Ho, K. S. Oh, "MPEG 다시점 비디오 부호화," TTA Journal, No.105, pp132-140, Jun, 2006.
- [3] Y. Shan, "Cross-Layer Techniques for Adaptive Video Streaming over Wireless Networks," EURASIP Journal on Applied Signal Processing, Volume 2005 (2005), Issue 2, pp220-228, 2005.
- [4] S. H. Park, H. Y. Yoon, J. W. Kim, "Network-adaptive HD MPEG-2 Video Streaming with Cross-Layered Channel Monitoring in WLAN," Journal of Zhejiang University - Science A, Volume 7, Number 5, pp885-893, May, 2006.
- [5] I. Haratcherev, J. Taal, K. Langerdoen, R. Legendijk, H. Sips, "Optimized Video Streaming over 802.11 by Cross-Layer signaling," IEEE Communications Magazine, Volume 44, Issue 1, pp115-121, Jan. 2006.
- [6] H. Y. Cho, D. Y. Suh, G. H. Park, "Adaptive QoS Control for Scalable Video Streaming over WLAN," PSIVT2006, Volume 4319/2006, pp949-958, Dec, 2006.
- [7] M. Y. Yoon, H. Y. Cho, D. Y. Suh, "Cross layer optimization for H.264 based Scalable Video Streaming over Wireless Network," IPIU2006, pp 251-256, Feb, 2006.
- [8] L. Han, D. Raychaudhuri, H. Liu, K. Ramaswamy, "Cross Layer Optimization for Scalable Video Multicast over 802.11 WLANs," CCNC 2006. 3rd IEEE, Volume 2, pp838- 843, Jan, 2006.
- [9] M. Van der Schaar, S. Krishnamachari, S. Choi, X. Xu, "Adaptive Cross-Layer Protection Strategies for Robust Scalable Video Transmission over 802.11 WLANs," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Volume 12, Number 10, pp524-534, Dec, 2003.
- [10] S. Khan, Y. Peng, E. Steinbach, M. Sgroi, W. Kellerer, "Application-driven cross-layer optimization for video streaming over wireless networks," IEEE Communications Magazine, Vol. 4, pp122-130, Jan, 2006.
- [11] A. Vetro, P. Pandit, H. Kimata, A. Smolic, "Joint Draft 4.0 on Multiview Video Coding," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T, Q6/SG16, Doc. JVT-X209, pp1-34, Jul, 2007.
- [12] H. Y. Yoon, J. W. Kim, F. Tan, R. Hsieh, "On-demand Video Streaming in Mobile Opportunistic Networks," PerCom, 2008 Sixth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, pp. 80-89, Mar, 2008.

저 자 소 개



손 정 현

- 2007년 8월 : 경희대학교 전자공학과 학사
- 2007년 9월 ~ 현재 : 경희대학교 전자전파공학과 석사과정
- 주관심분야 : 스트리밍 시스템, MPEG



조 예 진

- 2006년 2월 : 경희대학교 전자공학과 학사
- 2008년 2월 : 경희대학교 전자전파공학과 석사
- 2008년 3월 ~ 현재 : 삼성전자 정보통신총괄 통신연구소 모바일 소프트웨어 플랫폼 랩
- 주관심분야 : MVC, SVC



서 덕 영

- 1980년 2월 : 서울대학교 원자핵공학과 학사
- 1985년 6월 : Georgia Tech 핵공학과 석사
- 1990년 6월 : Georgia Tech 전자공학과 박사
- 1990년 9월 ~ 1992년 3월 : 상공부 생산기술연구원 HDTV 연구개발단 선임연구원
- 2002년 2월 ~ 2003년 2월 : 미국 North Carolina State Univ. 방문교수
- 1992년 3월 ~ 현재 : 경희대학교 전자공학과 정교수
- 주관심분야 : Networked Video



박 광 훈

- 1985년 2월 : 연세대학교 전자공학과 학사
- 1987년 7월 : 연세대학교 전자공학과 석사
- 1991년 1월 : Case Western Reserve University, Dept. of EEAP 석사
- 1995년 1월 : Case Western Reserve University, Dept. of EEAP 박사
- 1995년 3월 ~ 1997년 2월 : 현대전자 멀티미디어 연구소 책임연구원
- 1997년 3월 ~ 2001년 2월 : 연세대학교 문리대학 전산학과 부교수
- 2001년 3월 ~ 현재 : 경희대학교 컴퓨터공학과 교수
- 주관심분야 : 멀티미디어, 비디오 신호처리, 패턴인식, 영상처리, 계산지능



김 규 현

- 1989년 : 한양대학교 공과대학 전자공학과 학사
- 1996년 : Department of Electrical & Electronic Engineering, University of Newcastle upon Tyne, UK (Ph. D.)
- 1996년 8월 ~ 1997년 7월 : Research Fellow at University of Sheffield, UK
- 1997년 9월 ~ 2006년 2월 : 한국전자통신연구원 대화형미디어연구팀장
- 2001년 7월 ~ 2005년 7월 : MPEG 한국대표단장
- 2005년 9월 ~ 2006년 2월 : 과학기술연합대학원대학교 (UST) 부교수
- 2006년 2월 ~ 현재 : 경희대학교 전자정보대학 부교수