

# 인터넷 상에서의 H.264 비디오 전송을 위한 패킷 손실 복원에 관한 연구

준회원 하 호 진\*, 정회원 임 창 훈\*\*°, 김 영 용\*

## Packet Loss Recovery for H.264 Video Transmission Over the Internet

Hojin Ha\* Associate Member, Changhoon Yim\*\*°, Young Yong Kim\* Regular Members

### 요 약

본 논문은 인터넷에서 실시간 비디오 전송을 위하여 패킷 손실을 복원하기 위한 알고리즘을 제안한다. 인터넷과 인트라 프레임에 존재하는 시간축과 공간축의 의존성을 분석함으로써, 패킷 손실로 인한 에러 은닉과 에러 전파에 의한 비디오 화질의 왜곡을 최소화하도록 순방향 에러 정정 코드 (forward error correction, FEC)를 비디오 패킷에 할당한다. 최적의 FEC 패킷을 할당하기 위해서, 우선 패킷 손실로 인한 비디오 화질 저하의 크기를 패킷 왜곡 모델로 정형화한다. 그리고 주어진 채널환경과 패킷 왜곡 모델을 이용하여 적은 계산으로 패킷 정정 율에 비례하는 FEC 패킷 할당 알고리즘을 제안한다. 실험 결과에서, 제안된 알고리즘은 패킷 손실 네트워크 환경에서 많은 비디오 화질 향상을 가져왔으며, 패킷 손실 율의 증가에도 상대적으로 적은 화질 감소를 얻을 수 있었다.

**Key Words** : Forward error correction (FEC), Unequal loss protection, Packet loss, H.264, Video transmission

### ABSTRACT

This paper presents an efficient packet loss resilient scheme for real-time video transmission over the Internet. By analyzing the temporal and spatial dependencies in inter- and intra-frames, we assign forward error correction codes (FEC) across video packets for minimizing the effect of error concealment and error propagation from packet loss. To achieve optimal allocation of FEC codes, we formulate the effect of packet loss on video quality degradation as packet distortion model. Then we propose an unequal FEC assignment scheme with low complexity based on packet correction rate, which uses the packet distortion model and includes channel status information. Simulation results show that the proposed FEC assignment scheme gives substantial improvement for the received video quality in packet lossy networks. Furthermore the proposed scheme achieves relatively smaller degradation of video quality with higher packet loss rates.

### I. 서 론

최근에 유선과 무선 네트워크를 통한 스트리밍 서

비스와 실시간 멀티미디어 서비스등이 빠르게 증가하고 있다. 특히 실시간 멀티미디어 서비스는 종단간의 품질 보증 (Quality of Service)에 대한 중요성이

\* 본 연구는 서울시 산학연 협력사업 (Seoul R&BD Program) 지원으로 수행되었음. 본 연구는 정보통신부 및 정보통신 연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (ITA-2006-C1090-0603-0038).

\* 연세대학교 전기전자공학부 (hojini@yonsei.ac.kr, y2k@yonsei.ac.kr)

\*\* 건국대학교 인터넷미디어공학부 (cyim@konkuk.ac.kr) (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2007-06-290, 접수일자 : 2007년 6월 29일, 최종논문접수일자 : 2007년 09월 17일

점점 커지고 있다. 하지만 네트워크 리소스가 제한된 환경에서, 증가하는 멀티미디어 데이터 양은 전송 패킷들의 손실 또는 지연의 원인이 된다. 이러한 패킷 손실 및 지연의 전송 환경에서 고용량의 비디오 데이터를 효율적으로 전송하는 기술들이 2가지 측면에서 접근되어 왔다.

응용계층 (application layer) 측면에서는 패킷 손실을 최소화 하거나 또는 전송되는 데이터의 크기를 줄이는 방향으로 기술들이 제안되었다. 에러 은닉 및 복원 기술<sup>[1]</sup>, 다 계층 (multi-layer) 압축기술<sup>[2]</sup>, 스케일러블 (scalable) 압축기술<sup>[3,4]</sup>은 손실된 패킷에 의한 비디오 화질 저하를 제한하는 기술들이다. 또한 비디오 데이터 양을 최소화하는 기술들 중 H.264 압축 표준<sup>[5]</sup>은 기존의 압축표준에 비교하여 큰 성능 향상을 보인다. 하지만 이러한 압축율의 향상은 비디오 프레임 간의 시간 방향의 강한 연관성을 이용하기 때문에, 전송 패킷의 손실에 기존의 비디오 압축 기술보다 많은 취약성을 보이고 있다.

전송계층 (transport layer) 기반의 패킷 손실을 처리하는 기술은 대표적으로 자동 재전송 요구 (Automatic Retransmission reQuest, ARQ)<sup>[6]</sup>와 순방향 오류정정 방법 (Forward Error Correction, FEC)<sup>[7-11]</sup>이다. ARQ는 손실된 패킷의 재 전송으로 인하여, 네트워크 전송량을 증가시키고, 이로 인하여 추가적인 지연 및 패킷의 과다 전송으로 인한 손실을 발생시키기 때문에 실시간 비디오 전송에는 적합하지 않다. 이에 반하여, FEC는 부가 (redundant) 패킷을 추가하여 손실을 복원하기 때문에 재전송이나 피트백의 추가적인 전송을 필요로 하지 않는다. 따라서 작은 지연 시간으로 효과적인 전송이 가능하다.

FEC를 사용하여, 패킷 손실로부터 비디오 화질의 열화를 제한하는 많은 연구가 되어 왔다. Hartanto 등은 인트라 프레임과 인터 프레임에 고정적인 FEC 할당율을 정하였다<sup>[8]</sup>. 하지만 이 방법은 GOP 내의 프레임에 존재하는 특성에 따른 에러 전파에 대한 영향이 반영이 되어있지 않기 때문에, 효율적인 알고리즘이라고 할 수 없다. Goshi 등은 DCT 처리 후, 주파수 계수의 중요도에 의해서 비트 스트림을 재배치 후, 중요도를 고려하여 FEC를 할당하는 방법을 제안했다<sup>[9]</sup>. 그리고 Feamster 등은 비디오 데이터의 특성을 분석적인 모델에 기초하여 비대칭의 재전송 방법을 제안했다<sup>[10]</sup>. [11]에서는 패킷 손실로 인한 에러 전파의 길이 (length of error propagation, LEP)에 비례하는 패킷 에러 왜곡 모델을 GOP 레벨과 패킷 레벨에 적용하였다. 그러나 위의 방법은 패

킷 손실로 인한 에러 전파를 최소화 하기 위해서 LEP를 이용한 전수 탐색 방법 (exhaustive search method)을 사용하기 때문에 많은 복잡도를 요구한다.

본 논문에서는 패킷 손실로 인한 비디오 화질 저하를 예측하기 위해서, 에러 은닉과 에러 전파의 특성을 이용한 패킷 에러 왜곡 모델을 제안한다. 제안된 모델은 [11]에서의 LEP 왜곡 모델과 비교하여, 적은 계산 양으로, 정확하게 패킷 에러에 의한 왜곡을 예측할 수 있다. 최적의 FEC 패킷을 할당하기 위해서, 첫 번째로 계산된 패킷 에러 왜곡에 비례해서 FEC 패킷을 할당한다. 그리고 채널 상황의 고려해서, 앞에서 할당된 FEC 패킷에 의한 패킷 정정율을 사용하여 두 번째 FEC를 할당한다. 본 논문에서 제안하는 패킷 정정율에 의한 FEC 할당은 FEC 패킷이 손실로부터 전송 패킷을 복원할 수 있는 율을 나타내기 때문에, 현재 채널 상태에서 어느 정도의 FEC 패킷을 할당해야 전송 패킷을 에러로부터 정정할 수 있는 가를 나타낸다. 제안된 FEC 할당 방법의 또 다른 장점은 [11]의 전수 검사와 같이 반복적인 계산을 필요로 하지 않기 때문에, 낮은 복잡도로 최적의 FEC 할당 분포를 얻을 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안된 알고리즘의 시스템 모델을 설명하고, III장에서는 에러 은닉과 전파를 이용한 패킷 에러 왜곡 모델을 제안한다. 그리고 채널상황과 제안된 왜곡 모델을 이용하여, 낮은 복잡도의 FEC 할당 알고리즘을 IV장에서 제안한다. V장에서는 실험 결과 성능을 비교하고 VI장에서 결론을 제시한다.

## II. 시스템 모델

본 논문에서는, FEC를 위해서, Reed-solomon (RS) 코드를 사용한다. RS는  $k$ 개의 연속된 데이터 패킷과 에러 정정을 위한  $n-k$ 개의 부가 패킷으로 구성된다. 그리고 RS( $n, k$ ) 코드워드는  $n$ 개의 패킷에 대해서, 각  $q$ 비트 심볼에 대해서 수직적으로 인코딩된다. 여기서 RS 코드가 적용되는 단위인  $n$ 개의 패킷을 패킷 블록 (block of packet, BOP)라고 정의한다. 결국 GOP 내의 패킷은 여러 개의 BOP로 그룹화되고, BOP  $l$ 에 대한 FEC는 RS( $n_l, k_l$ )로 나타낸다. 여기에서  $n_l$ 은 BOP  $l$ 에 할당된 부가 패킷을 포함한 전체 패킷의 수이다. 주어진  $K$ 에 대해서, 한 개의 GOP 내의 BOP의 수는  $L = \text{ceil}(g/K)$ 이다. 여기서  $g$ 는 한 GOP 내의 총 패킷의 수이다. 즉  $k_1 = k_2 = \dots = k_{L-1} = K$ 이고  $k_L = g - (L-1)K$ 이다<sup>[11]</sup>.

패킷 에러 패턴을 모델링하기 위해서, 2상 길버트 모델(two-state Gilbert model)을 사용한다<sup>[12]</sup>. 네트워크 상의 통계적 채널 특성을 모델링하기 위해서, 2상 길버트 모델은 2개의 매개 변수, 평균 에러율  $P_B$ 와 평균 연속 에러율  $L_B$ 를 사용한다.  $P_B$ 와  $L_B$ 를 이용하여, 변환 확률(transition probability)을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{sb} &= \frac{P_B}{L_B(1-P_B)} \\ P_{bg} &= \frac{1}{L_B} \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)로부터 2상에 존재하는 정상상태(steady state)의 확률을  $\pi_g$ 와  $\pi_b$ 으로 정의하고, 다음과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} \pi_g &= \frac{P_{bg}}{P_{sb} + P_{bg}} \\ \pi_b &= \frac{P_{sb}}{P_{sb} + P_{bg}} \end{aligned} \quad (2)$$

패킷이 정확하게 중단 사용자에게 전송되면, 패킷의 손실 상태를 0으로 나타내고, 그렇지 않을 경우는 1으로 나타낸다고 하자.  $r(i)$ 를  $i$ -1개의 패킷 길이에서는 패킷 에러가 없고,  $i$ 번째 패킷에서 에러가 발생할 경우의 확률이라고 정의하면,  $\Pr(0^{i-1}1|1)$ 와 같이 나타낼 수 있다. 또 주어진 패킷 에러  $i$ 에 적어도  $i-1$ 개의 이전 패킷에 0가 나타날 확률을  $q(i)$ 로 정의하면,  $\Pr(0^{i-1}|1)$ 으로 나타낼 수 있다. 이를 이용하여 패킷 에러가 일어날 경우,  $n-1$ 개의 패킷 중에  $m-1$ 개의 패킷에서 에러가 일어날 확률을  $R(m,n)$ 로 나타내고, 다음과 같이 회귀적으로 계산한다.

$$R(m,n) = \begin{cases} q(n), & \text{for } m=1 \text{ and } n \geq 1 \\ \sum_{i=1}^{n-m+1} r(i)R(m-1, n-i), & \text{for } 2 \leq m \leq n \end{cases} \quad (3)$$

이를 이용하여,  $n$ 개의 패킷 중에서  $m$ 개의 패킷에 손실이 있을 확률을  $P(m,n)$ 이라고 정의하면, 다음과 같이 계산된다<sup>[11]</sup>.

$$P(m,n) = \sum_{i=1}^{n-m+1} P_B \cdot q(i) \cdot R(m, n-i+1) \quad (4)$$

$RS(n_b, k_i)$ 에서,  $n_i - k_i$  이상의 패킷 손실이 발생하면, BOP  $l$  내의 패킷에는 손실이 발생하게 된다. BOP  $l$ 의 패킷 손실율을  $\rho_{k_i}^{n_i}$ 이라고 정의하고, 다음과 같이 계산한다<sup>[11]</sup>.

$$\rho_{k_i}^{n_i} = \sum_{m=n_i-k_i+1}^{n_i} P(m, n_i) \quad (5)$$

BOP  $l$ 에 할당된 FEC 패킷의 개수를  $G_l$ 라고 하면, 현재 GOP에 할당된 최적의 FEC 패킷의 분포를 구하는 과정을 다음과 같이 정식화(formulation)할 수 있다.

$$\begin{aligned} &\text{minimize} \left( \sum_{l=1}^L D(\theta_l) \right) \\ &\text{subject to} \begin{cases} \sum_{l=1}^L W_l \cdot \theta_l \leq B_l - B_s \\ D_1 : D_2 : \dots : D_L = \theta_1 \cdot W_1 : \theta_2 \cdot W_2 : \dots : \theta_L \cdot W_L \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서  $B_l$ 는 전체 비트수 이고,  $B_s$ 는 소스 코딩에 사용되는 비트수이다. 그리고  $W_l$ 은 BOP  $l$ 에 해당되는 비디오 패킷의 길이 중에서 가장 큰 값이다. 식 (5)의 마지막 조건은 패킷의 손실로 인한 왜곡의 크기를 최소화하기 위해서, 해당 BOP  $l$ 이 전체 왜곡에 미치는 영향에 비례해서 FEC 패킷을 할당한다는 것을 의미이다.

### III. FEC 할당을 위한 패킷 왜곡 모델

본 장에서는 현재의 패킷이 전체의 화질 저하에 어느 정도의 영향을 미치는 가를 정량화하기 위해서 패킷 왜곡 모델 (packet distortion model, PDM)을 제시한다. PDM은 패킷 왜곡의 크기를 2부분으로 나누어 분석한다. 첫째는 손실된 패킷이 속해있는 현재 프레임의 왜곡과 그 다음 프레임에 존재하는 에러의 전파에 의한 왜곡 (error propagation, EP)으로 나눌 수 있다. 현재 프레임의 왜곡은 에러 은닉 (error concealment, EC)의 의한 왜곡이기 때문에 EC로 나타낸다.

$p$ 는 손실된 패킷을 나타내고,  $F(p)$ 는 패킷  $p$ 를 포함하는 프레임을 나타낸다. 패킷  $p$ 의 손실로 인한, 예측되는 EC와 EP의 왜곡을  $\phi_p^{F(p)}$ 와  $\tau_p^{F(p)}$ 으로 표시하면, 다음과 같이 모델링 할 수 있다.

$$\delta_p^{F(p)} = \phi_p^{F(p)} + \tau_p^{F(p)} \quad (7)$$

인코더에서  $\phi_p^{F(p)}$ 을 예측하기 위해서, 본 논문에서는 H.264 디코더의 EC 방법을 단순화 한다. 인코더에서 EC를 수행하기 위해서,  $16 \times 16$  매크로 블록 내의 4개의  $8 \times 8$  블록에 대해서 임의의 한개 픽셀만에 대해서 계산하여, EC에 의한 왜곡을 예측한다.

$\tau_p^{F(p)}$ 은 GOP 내의 프레임에서의 에러 전파에 의한 왜곡을 합하여 얻을 수 있다.  $F(p)+m$  프레임에서의 왜곡은  $\phi_p^{F(p)}$ 로부터의 에러 전파에 의해서 얻어지기 때문에,  $\tau_p^{F(p)}$ 은  $\phi_p^{F(p)}$ 와 비례의 관계를 갖는다고 할 수 있다.

$\tau_p^{F(p)}$ 의 추정과정은  $F(p)+m$ 에 존재하는 인터 모드 매크로 블록의 비율을 이용한다. 왜냐하면, 인터 모드 매크로 블록은 공간축의 연관성보다는 시간축의 연관성에 더 많은 영향을 받기 때문이다.  $\epsilon_{F(p)}$ 를 프레임  $F(p)$ 에서의 인터 모드 매크로 블록의 비율이라고 하면,  $F(p)+m$ 에서의 에러 전파의 영향,  $\epsilon_{F(p)+m}$ 은  $F(p)+1$ 에서부터  $F(p)+m$ 까지의 인터 모드 매크로 블록의 비율에 영향을 받기 때문에, 다음과 같이 일반화할 수 있다.

$$\epsilon_{F(p)+m} = \prod_{k=1}^m \epsilon_{F(p)+k} \quad (8)$$

여기에서  $\epsilon_{F(p)}$ 의 초기 조건은 1이다. 여기에서, 인터 매크로 블록의 비율에 대한 정보는 실시간으로 비디오 데이터를 인코딩 중이라면, 인코딩 과정 중의 각 프레임의 결과로써, 즉 부산물 (by-product)로써, 인터 매크로 블록의 정보를 알 수 있다. 만약 인코딩된 비디오 스트림이라면, 비트 스트림의 헤더부분만을 파싱하여, 인터 매크로 블록의 비율에 관한 정보를 알 수 있다. 식 (8)과  $\phi_p^{F(p)}$ 을 이용해서,  $\tau_p^{F(p)}$ 은 다음과 같이 모델링 할 수 있다.

$$\tau_p^{F(p)+m} = \epsilon_{F(p)+m} \cdot \phi_p^{F(p)} \quad (9)$$

GOP의 크기가  $T$ 일 때, 패킷  $p$ 에서의 EP에 의한 왜곡의 크기는 다음과 같다.

$$\tau_p^{F(p)} = \sum_{m=1}^{T-F(p)} \tau_p^{F(p)+m} \quad (10)$$

결과적으로, 한 패킷  $p$ 의 손실로부터 생성되는 왜곡의 양  $\delta_p$ 는 다음과 같이 유도될 수 있다.

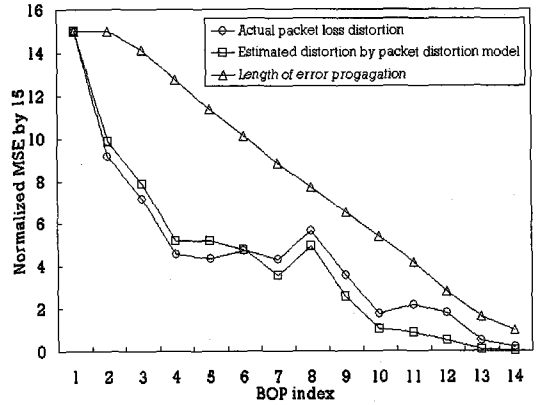


그림 1. 각 BOP에 대한 실제 distortion, 패킷 왜곡 모델에 의한 추정된 왜곡, LEP의 비교 (QCIF 'Mobile' 시퀀스, BOP의 크기는 16, 패킷 크기는 160 bytes)

$$\delta_p = \phi_p^{F(p)} \cdot \left(1 + \sum_{m=1}^{T-F(p)} \epsilon_{F(p)+m}\right) \quad (11)$$

식 (10)의 앞 부분은  $F(p)$ 에 존재하는 EC에 의한 왜곡을 나타내고, 뒷 부분은  $F(p)$ 를 참조하는 프레임에 존재하는 왜곡을 인터 모드 매크로 블록의 비율인  $\epsilon_{F(p)}$ 를 이용해서 나타내고 있다. 그림 1은 실제 패킷 손실 왜곡 값과 패킷 왜곡 모델을 통한 추정된 왜곡 값, 그리고 손실 패킷이 위치한 프레임과 GOP 내의 다른 프레임과의 거리에 비례하는 값 (length of error propagation, LEP)<sup>[11]</sup>을 BOP 단위로 나타내었다. 실험 결과에서, 실제 왜곡 값과 추정된 왜곡 값은 매우 일치하는 것을 볼 수 있다. 그리고 실제의 패킷 왜곡 모델은 비디오 코딩의 일반적인 계층적 특성을 이용한 LEP와 비교해서, GOP의 앞 부분에 위치한 BOP가 실제로 전체 왜곡에 미치는 영향이 훨씬 크다는 것을 알 수 있다.

다음 장에서, 패킷 손실에 의한 비디오 화질 저하를 최소화하기 위하여 제안된 패킷 왜곡 모델을 사용한다.

#### IV. 패킷 정정 율을 이용한 FEC 할당 방법

본 논문 장에서는 전송 패킷의 지연 시간 또는 real time control protocol (RTCP)을 이용한 피드백 패킷을 통해서 현재 채널의 패킷 손실 율과 총 전송 비트 양( $B_t$ )을 추정할 수 있다고 가정한다. 그리고 총 전송 비트( $B_t$ ) 중에서 최적의 성능을 내기 위한, 소스 코딩 비트( $B_s$ )와 채널 코딩 비트( $B_c$ )의 비는 기

존의 여러 비트 할당 알고리즘<sup>[13,14]</sup>을 이용해서, 채널 코딩 비트( $B_c$ )를 정한다고 가정한다. FEC 율을 정한 후, 패킷 손실에 의한 왜곡을 최소화하는 FEC 할당 알고리즘을 수행한다. FEC 할당 알고리즘은 두 단계로 이루어져 있다. 첫 번째 단계에서는 식 (11)의 패킷 왜곡 모델에 비례해서 FEC 패킷을 각 BOP에 할당 한다. 첫 번째 단계의 FEC 할당과 채널 환경을 고려하여, 두 번째 단계에서는 패킷 정정 율을 이용하여 FEC 패킷을 할당한다.

첫 번째 단계의 FEC 패킷 할당 과정은 다음과 같다.  $p(i,l)$ 은 BOP  $l$ 의  $i$ 번째 패킷이라고 하고,  $p(i,l)$ 의 패킷 손실 왜곡을  $\delta_{p(i,l)}$ 라고 하자. 각각의 BOP에 FEC 부가 패킷을 할당하기 위해서, 각 BOP에 대한 평균적인 패킷 왜곡 값  $\sigma_l$ 을 다음과 같이 계산한다.

$$\sigma_l = \frac{1}{K_l} \sum_{i=1}^{K_l} \delta_{p(i,l)} \quad (12)$$

그리고 우리는 각 BOP  $l$ 이 가지는 비디오 화질 저하의 양에 비례해서 FEC 패킷의 수를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\theta_l = \frac{B_c}{W_l} \cdot \frac{\sigma_l}{\sum_{i=1}^L \sigma_i} \quad (13)$$

여기에서  $W_l$ 은 BOP  $l$ 에서 가장 큰 패킷의 길이이다.

두 번째 단계의 FEC 패킷 할당은 첫 단계의 할당 결과를 가지고, 채널 상황을 고려하여 패킷 정정 율에 비례한 할당을 수행한다.  $\eta_l$ 을 1차의 FEC 패킷 할당에 의해서 기대되는 왜곡 값이라고 정의 하면, 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\eta_l = \sigma_l \cdot \rho_k^n \quad (14)$$

여기에서  $n_l = \theta_l + k_l$ 이다. 즉 FEC 할당에 의해, 패킷 손실 율(packet loss rate)이 감소하기 때문에, 실제 기대되는 패킷 손실 왜곡의 값은 감소된다. 식 (12)과 식 (14)로부터, FEC 할당 전과 후의 왜곡의 감소 양은 패킷 왜곡의 크기와 채널 상황에 따라서 그 양이 달라진다. 따라서 우리는 FEC 할당에 의해 기대되는 패킷 정정 율을 식 (3)을 이용해서  $(1 - \rho_k^n)$ 로 나타낼 수 있다. 그리고 패킷 정정 율을

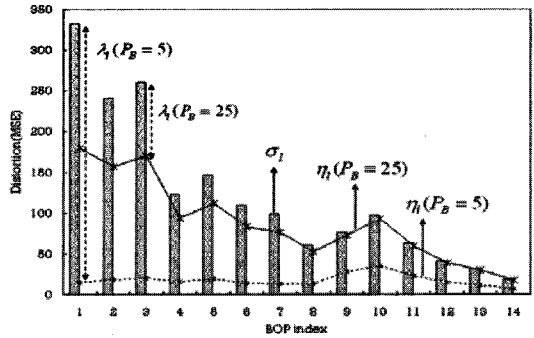


그림 2. 다른 PB(%) 환경에서의  $\sigma_l$ 와  $\eta_l$ 의 비교 (QCIF 'Mobile' 시퀀스, BOP의 크기=16, LB=2, FEC 율=10%)

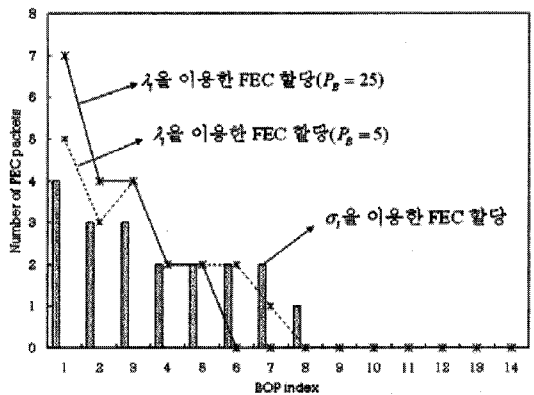


그림 3. 다른 PB(%) 환경에서의  $\sigma_l$ 을 이용한 FEC 할당과  $\lambda_l$ 을 이용한 FEC 할당의 비교 (QCIF 'Mobile' 시퀀스, k=16, LB=2, FEC 율=10%)

이용한 기대되는 패킷 왜곡의 감소량을  $\lambda_l$ 로 정의 하면, 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\lambda_l = \sigma_l \cdot (1 - \rho_k^n) \quad (15)$$

결과적으로, 각각의 BOP  $l$ 에서의 패킷 왜곡 모델과 채널상황을 고려한 FEC 패킷의 결과를  $\theta_l$ 이라고 정의 하면, 다음과 같이 계산된다.

$$\tilde{\theta}_l = \frac{B_c}{W_l} \cdot \frac{\lambda_l}{\sum_{i=1}^L \lambda_i} \quad (16)$$

그림 2는 다른  $P_B$  환경에서의 비디오 왜곡을 MSE(Mean Square Error)로 표시한 그림이다. 그림 2의 막대 그래프는 각 BOP에 할당된 패킷에 존재하는 패킷 왜곡을 한 GOP에 대해서, 식 (10)을 이용

하여 계산 한 후, 이 값으로 부터 각 BOP의 평균 왜곡 값( $\alpha$ )을 식 (12)을 이용하여 계산하였다. 각 BOP의 FEC 패킷에 의해서  $n$ 가 감소되어지는 것을 볼 수 있다.  $P_B$ 가 작은 값( $P_B=5\%$ )일 경우에는, 전체적인 BOP의  $n$ 값이 많이 감소된다. 왜냐하면 작은 FEC 할당에도 패킷 손실율이 낮아지기 때문이다. 따라서 전체 BOP의  $n$ 값은 증가하게 된다. 상대적으로 높은  $P_B(25\%)$ 일 경우는, 일부분의 BOP에 해당되는  $n$ 값만이 감소되어 지는 것을 볼 수 있다. 왜냐하면 채널 상황이 나쁜 경우에는, 높은 비율의 FEC 할당에 의해서만 패킷 손실율이 낮아지기 때문이다.

그림 3은  $\alpha$ 를 이용한 FEC 할당 방법과  $n$ 을 이용한 FEC 할당 방법을 다른  $P_B$  환경에서 비교한 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이,  $\alpha$ 에 비례한 FEC 할당은 BOP 8까지 할당되어 지는 반면,  $n$ 에 비례한 할당은  $P_B$ 가 점점 커짐에 따라, 작은 인덱스의 BOP에 FEC 패킷의 수가 점점 커지는 것을 알 수 있다. 이러한 할당은 인트라 프레임과 같이 앞쪽에 위치한 프레임의 패킷이 GOP 내의 뒤쪽에 위치한 프레임의 패킷보다 전체 전체적인 비디오 화질에 더 큰 영향을 준다는 것을 의미한다.

### V. 실험 및 결과

본 장에서는 패킷 왜곡 모델 (packet distortion model, PDM)을 이용한 FEC 할당 방법의 성능 평가를 위한 실험결과를 제시한다. 두 개의 비디오 시퀀스가 H.264 표준 소프트웨어<sup>[13]</sup>을 이용해서 인코딩된다. QCIF 크기의 'Mobile'과 'Football' 시퀀스에 대해서, 총 프레임 수는 각각 150과 120이고, 초당 15프레임으로 구성되어 있다. GOP 크기는 15프레임이고 240kbps로 인코딩 된다. 패킷의 크기는 1280바이트로 구성되고, 각 BOP의 크기( $K$ )는 16 패킷이다. 평균 에러율  $P_B$ 와 평균 연속 에러율  $L_B$ 를 이용한 2상 길버트 모델<sup>[12]</sup>이 유무선 네트워크 환경에서의 패킷 에러를 모델링하기 위해서 사용된다. 실험에서 사용되는  $P_B$ 는 5%~25%의 값을 갖고,  $L_B$ 는 2~4의 값을 갖는다. 그리고 사용되는 FEC의 비율은 10%~25%의 값을 갖는다. 패킷 손실에 의한 비디오 화질 열화를 처리하기 위해서 H.264 표준 소프트웨어<sup>[13]</sup>에서 사용되는 에러 은닉 기술이 적용된다. 다음의 모든 실험은 20개의 랜덤 채널 에러 패턴 환경 하에서 실행되고, 이 값들의 평균값이 성능평가에 사용된다. 본 실험에서는  $P_B$ 와  $L_B$ 의 변화를 이용한 다양한 채널 상황에서 제안된 FEC 할당

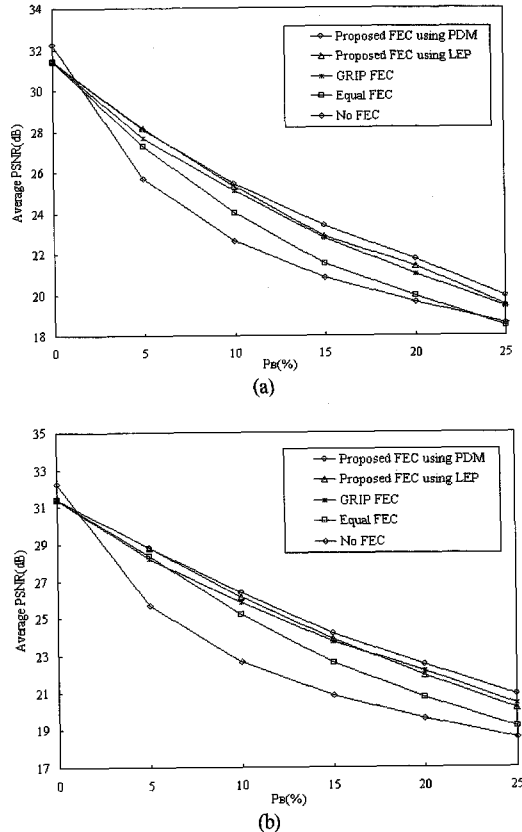


그림 4. 다른 PB(%) 환경에서의 평균 PSNR 값의 비교 ('Mobile', LB=2) (a)FEC 율=15% (b)FEC 율=20%.

알고리즘이 얼마나 잘 적응하는가와 FEC 율의 변화에 대해서 제안된 알고리즘이 다양한 FEC 할당 알고리즘과 비교해서, 어느 정도 향상된 성능을 갖는지를 비교한다.

성능 비교를 위해서 No FEC와 Equal FEC가 사용된다. 그리고 최근에 제안된 GRIP (GOP and Resynchronization Integrated Protection) FEC방법<sup>[11]</sup>은 패킷 에러에 인한 화질 왜곡을 최소화하기 위해서 전수 검사를 수행하는 방법이다. 이때 사용되는 패킷 왜곡 모델은 에러 패킷이 위치한 프레임과 GOP내의 다른 프레임과의 거리에 비례하는 값인 LEP를 사용한다.

또한 FEC 할당을 위해서 제안된 방법에 위의 단순한 패킷 왜곡 모델인 LEP를 적용하여, 성능평가에 사용하였다.

그림 4와 그림 5는 다양한  $P_B(\%)$ 환경에서, 'Mobile'과 'Football' 시퀀스의 평균 PSNR을 비교한다. 그림 (a)는 FEC 율이 15%이고, (b)는 20%이다.

No FEC는 에러가 없는 경우 ( $P_B=0\%$ )에 가장 높

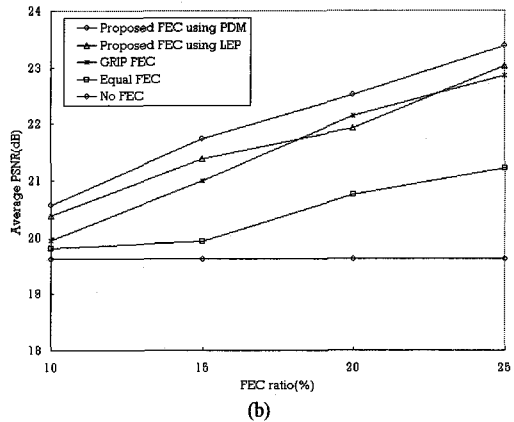
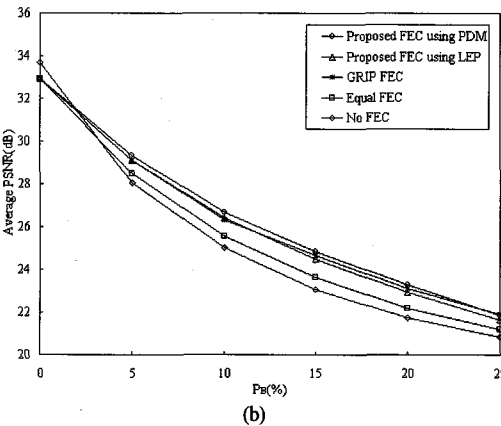
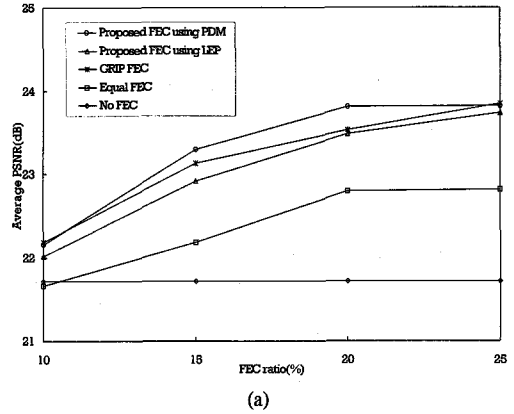
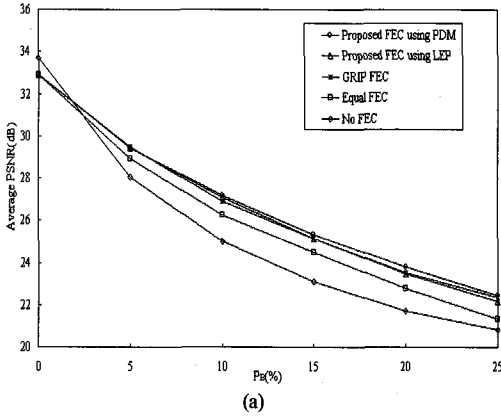


그림 5. 다른 PB(%)환경에서의 평균 PSNR값의 비교 ('Football', LB=4) (a)FEC 율=15% (b)FEC 율=20%.

그림 6. 다른 FEC 율에서의 평균 PSNR값의 비교 (PB=20%, LB=4) (a)'Mobile' 시퀀스 (b)'Football' 시퀀스

은 PSNR 값을 갖는다. 하지만  $P_B$ 가 증가함에 따라, 비디오 화질에 급격한 저하가 발생한다. LEP를 이용한 제안된 방법은 기존의 GRIP보다 낮은 복잡도로 비슷한 성능을 가짐을 볼 수 있다. 또한 패킷 왜곡 모델을 이용한 제안된 알고리즘은 GRIP FEC 할당 방법과 비교해서 0.2~0.8 dB의 PSNR 이득을 얻는다. PDM을 이용한 제안된 알고리즘은 LEP를 이용한 제안된 알고리즘과 비교해서 0.2~2 dB의 PSNR 이득을 얻을 수 있었다. 특히 PDM을 이용한 제안된 알고리즘과 기존 GRIP 알고리즘과의 PSNR의 차이는 비디오 시퀀스에 존재하는 모션과 인트라의 양의 특성을 이용하여, 각 패킷이 가지는 왜곡에 대한 정확한 분석 때문이다.

그림 6은 다양한 FEC 율에서 'Mobile'과 'Football' 시퀀스의 평균 PSNR을 비교한다. No FEC는 주어진 채널상황에 FEC 율에 변화가 없기 때문에 일정한 값을 유지한다. PDM을 이용한 제안된 FEC 알고리즘은 다른 FEC 할당 알고리즘에 비

해서 0.1~0.5 dB의 향상을 보여주고 있다. 그리고 FEC 율이 증가됨에 따라, 각 알고리즘의 PSNR 향상의 차이가 점점 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이것은 FEC 할당 양이 증가되면서 패킷 에러의 정정에 의한 화질 향상이 수렴되는 것을 볼 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 패킷 에러 정정을 위한 효과적인 비대칭 순방향 오류 정정방법 (forward error correction, FEC)을 제안하였다. 새로운 패킷 왜곡 모델이 H.264 비디오 코덱의 에러 은닉과 에러 전파의 특성을 이용하여 유도된다. 패쇄 형태의 제안된 방법을 통한 FEC 할당은 패킷 에러 모델과 이를 통한 FEC의 할당으로부터의 패킷 정정 확률을 이용하여 수행된다. 제안된 방법은 반복적인 계산을 필요로 하지 않기 때문에, 기존의 FEC 방법과 비교하여 낮은 복잡도를 갖는다. 실험 결과는 PDM을 이용한 제

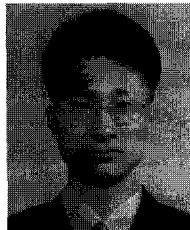
안된 알고리즘은 기존의 GRIP 알고리즘과 비교하여 0.2~0.8 dB의 성능향상을 보인다. 또한 PDM을 이용한 제안된 알고리즘은 LEP를 이용한 제안된 알고리즘과 비교해서 0.2~2 dB의 PSNR 이득을 얻을 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- [1] Y. Wang, Q. Zhu, "Error control and concealment for video communication: A review", Proc. IEEE vol.86, no.5, pp.974-997, 1998.
- [2] M. Gallant, and F. Kossentini, "Rate-distortion optimized layered coding with unequal error protection for robust internet video", IEEE Trans. Circuit Syst. Video Technol., vol.11, no.3, pp.357-372, Mar. 2001.
- [3] J. Kim, R. M. Mercereau, and Y. Altunbasak, "Error-resilient image and video transmission over the Internet using unequal error protection", IEEE Trans. Image Processing, vol.12, no.2, pp.121-131, Mar. 2003.
- [4] Y. Liu and O. Yu, "Adaptive unequal loss protection for scalable video streaming over IP networks", IEEE Trans. Consumer Electronics, vol.51, no.4, Nov. 2005.
- [5] T. Wiegand, G. J. Sullivan, G. Bjontegaard, and A. Luthra, "Overview of the H.264/AVC video coding standard," IEEE Trans. Circuit Syst. Video Technol., vol.13, no.7, pp. 560-576, 2003.
- [6] 김범준, 김동민, 이재용, "재전송 손실 복구를 통한 TCP SACK의 성능향상 모델링 및 분석," 한국 통신 학회 논문지, 제 27권 7B호, 2004.
- [7] A. E. Mohr, E. A. Riskin, and R. E. Ladner, "Unequal loss protection: graceful degradation of image quality over packet erasure channels through forward correction", IEEE J. Select. Areas Commun., vol.18, no.6, pp.819-828, 2000.
- [8] F. Hartanto and H. R. Sirisena, "Hybrid error control mechanism for video transmission in the wireless IP networks", in selected Papers of 10th IEEE Workshop on Local and Metropolitan Area Networks, pp. 126-132, 2001.
- [9] J. Goshi, A. Mohr, R. E. Lander, E. A. Riskin and A. Lippman, "Unequal loss protection for H.263 compress video," IEEE Trans. Circuit Syst. Video Technol., vol.15, no.3, pp.412-419, Mar. 2005.
- [10] N. Feamster and H. Balakrishnan, "Packet loss recovery for streaming video", in Proc. IEEE Int. Packet Video Workshop, Pittsburgh, Apr. 2002
- [11] X. Yang, C. Zhu, Z. G. Li, X. Lin and N. Ling, "An unequal packet loss resilience scheme for video over the Internet", IEEE Trans. Multimedia, vol.7, no.4, pp.753-765, 2005.
- [12] E. N. Gilbert, "Capacity of a burst-noise channel", Bell Systems Technical Journal, vol.39, no.5, pp.1253-1265, 1999.
- [13] Z. G. Li, C. Zhu, N. Ling, G. N. Feng, S. W and F. Pan, "A unified architecture for real-time video-coding system," IEEE Trans. Circuit Syst. Video Technol., vol.13, no.6, pp.472-486, 2003.
- [14] Q. Qu, Y. Pei, J. W. Modestino, X. Tian, and B. Wang, "Cross-layer QoS control for video communications over wireless ad hoc networks," EURASIP J. Wireless Commun. Networks, no.5, pp.743-756, 2005.
- [15] <http://iphome.hhi.de/suehring/tml/index.htm>, H.264/AVC Software Coordination.

### 하 호 진 (Hojin Ha)

준회원



1998년 2월 명지 대학교 제어계측 공학과 학사  
 2000년 2월 한양 대학교 제어계측 공학과 석사  
 2005년 3월~현재 연세 대학교 전기전자공학부 박사 과정  
 2000년 1월~현재 삼성전자 디지털

멀미디어 연구소, 책임 연구원

<관심분야> 멀티미디어 통신 및 네트워크, 비디오 신호 처리



**임 창 훈 (Changhoon Yim)**

정회원



1986년 2월 서울대학교 제어 계측 공학과 학사

1988년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사

1996년 12월 The University of Texas at Austin, Electrical and Computer Engineering 박사

1988년 3월~1991년 6월 한국방송공사 기술연구소, 연구원

1996년 12월~1999년 3월 Sarnoff Corporation, 연구원

1999년 3월~2000년 7월 Lucent Technologies, Bell Labs, 연구원

2000년 8월~2002년 3월 KLA Tencor Corporation, Sr. Software Engineer

2002년 5월~2003년 8월 삼성전자 디지털미디어연구소, 수석연구원

2003년 9월~현재 전국대학교 인터넷미디어공학부, 부교수

<관심분야> 멀티미디어 통신, 멀티미디어 네트워크, 비디오 압축, 디지털 영상처리

**김 영 용 (Young Yong Kim)**

정회원



1991년 2월 서울대학교 전자공학과 학사

1993년 2월 서울대학교 전자공학과 석사

1999년 12월 The University of Texas at Austin, Electrical and Computer Engineering 박사

1998년 2월~2000년 2월 Telcordia Technologies, Research Scientist

2000년 2월~현재 연세대학교 전기전자공학부, 부교수  
<관심분야> 무선 채널 모델링, 모바일 네트워크 성능 평가 및 분석, 멀티미디어 모바일 통신