

論文2002-39CI-5-3

## 인터넷망에서 MPEG 스트리밍 서비스를 위한 새로운 에러 확산 기법

## (A New Error Spreading Method for MPEG Streaming Service Over the Internet)

邊宰瑩\*, 沈哉廷\*\*, 李在庸\*\*\*, 高聖濟\*\*

(Jae-Young Pyun, Jae-Jeong Shim, Jae-Yong Lee, and Sung-Jea Ko)

## 요 약

MPEG 스트리밍 트래픽이 인터넷을 통해서 서비스되어질 때 발생하는 MPEG 비디오 패킷 손실은 영상의 공간적인 그리고 시간적인 에러의 전파 현상을 일으키며, 영상 품질의 심각한 저하를 가져온다. 이러한 영상의 열화 현상은 망에서 패킷의 버스트 손실 특성에 의하여 더욱 더 악화되어진다. 본 논문에서는 버스트 패킷 손실의 영향을 줄일 수 있는 새로운 에러 확산 기법을 제안한다. 제안하는 에러 확산 기법은 국부적으로 발생하는 패킷 손실을 효과적으로 넓은 영역에 분포시킬 수 있으며, videocasting이나 video-broadcasting 분야와 같은 ARQ의 사용이 제한되는 응용 서비스에서 이용될 수 있다. 결과적으로 연속적으로 발생하는 이미지 블록 손실 현상이 줄어들게 되며, 에러 은닉 기법의 성능을 향상시킬 수 있다. 실험 결과는 제안된 에러 확산 기법에 의해 MPEG 패킷 손실이 확산되어 비디오 품질의 열화 현상이 개선될 수 있음을 보이고 있다.

## Abstract

As the MPEG streaming traffics are transmitted over the Internet, MPEG packet losses cause error propagation in both spatial and temporal domains which in turn leads to severe degradation in image quality. This image degradation is become worse by the bursty packet loss at the network. In this paper, we propose a new error spreading method to reduce the effects of bursty packet losses over the Internet. The proposed error spreading method spreads out the localized packet losses widely, and can be used for videocasting and video-broadcasting that do not utilize the ARQ method. The proposed method can not only reduce the consecutive losses of image blocks, but also improve the performance of error concealment. Experimental results show that the deterioration of MPEG video quality can be reduced by spreading out the MPEG packet losses.

## 1. 서 론

영상 압축 및 신호 처리 기술의 발달과 함께 초고속

\* 學生會員, 高麗大學校, 電子工學科

(Dept. of Electronic Engineering, Korea University)

\*\* 正會員, 高麗大學校, 電子工學科

(Dept. of Electronic Engineering, Korea University)

\*\*\* 正會員, 넥스트리밍(株)

(Nextreaming, Inc)

接受日字:2002年2月21日, 수정완료일:2002年8月30日

통신망의 등장으로 인하여 멀티미디어 통신이 급격히 발전해 왔다. 고품질의 영상을 보장하기 위해서 패킷 손실이 없는 고속의 전송망이 필요하지만 인터넷 망과 같은 현재의 패킷 망에서는 트래픽의 전달 경로 상에서 정보의 무손실을 보장 받을 수 없으며, 발생하는 패킷 손실에 의한 영상 품질의 저하는 피하기 힘들다. 특히, 참조 영상(reference image)의 움직임 정보를 이용하는 MPEG과 같은 압축 영상에서는 이전 영상의 MB(macro block)의 손실로 인하여 손실된 MB를 참조하는 다음 영상의 복원을 어렵게 하는 시간적 에러 전파 현상(temporal error propagation)이 발생한다. 시간

적 에러 전파현상과 더불어서 손실된 패킷의 정보에 의해 인접한 영상 블록까지 손실되는 공간적 에러 전파 현상(spatial error propagation) 또한 존재한다. 이러한 에러의 전파 현상을 막기 위해 MPEG-4 Visual 파트에서는 Resynchronization 기법을 제안하고 있다. 이 기법은 resync marker라는 유일한 비트 열을 비디오 패킷마다 삽입함으로써 이전에 손실된 비디오 패킷에 의해 손실되는 공간적인 이미지 정보의 에러 전파 현상을 차단하는 역할을 한다. Resynchronization과 더불어서 영상 전송에서는 FEC(forward error correction), ARQ(automatic repeat request), 그리고 에러 은닉 기법(error concealment) 등과 같은 에러 제어 기법들이 사용된다<sup>1-5)</sup>. FEC 기법은 parity bit나 R/S code 등을 사용하여 망에서 손실된 영상 정보를 수신단에서 복원하거나 손실 여부를 판단할 수 있도록 한다. 하지만 FEC 비트 열의 추가에 의한 데이터의 오버 헤드가 존재하며, 망에서 패킷의 버스트 손실 특성을 고려할 때 FEC 패킷의 패킷 스트림 내의 삽입 위치에 따라 FEC 사용 효율이 결정되는 문제점이 있다. 반면에, 손실된 패킷의 재전송을 요구하는 ARQ 기법은 비디오 플레이를 위한 지연시간이 증가하며, 역 방향 채널의 구성도 필수적으로 필요로 한다.

최근 연구로서는 망에서 발생하는 버스트 패킷 손실(bursty packet loss)에 의한 영상의 열화 현상을 줄이기 위해서 에러 확산 기법(error spreading) 기법이 소개되었다<sup>6)</sup>. 에러 확산 기법은 여러 개의 GOP(group of pictures) 구간에서 발생하는 영상 프레임들 송신단의 스무딩(smoothing) 버퍼<sup>7-10)</sup>에서 저장하고 프레임 스크램블링(scrambling)을 하도록 하여, 망에서 발생하는 버스트 패킷 손실에 의한 영상의 열화 현상을 막을 수 있게 된다. 즉, 망에서 발생할 수 있는 버스트 패킷 손실을 대비하여 미리 전송 전에 스무딩 버퍼에서 프레임의 전송 순서 배열을 변경하는 것이다. 따라서 버스트 패킷 손실에 의한 MPEG 동영상 프레임들은 수신단에서 재 배열되었을 때, 군집 형태의 손실을 갖지 않고 스무딩 버퍼 크기만큼의 넓은 영역으로 패킷 손실이 분포된다.

이러한 스무딩 버퍼를 이용하는 에러 확산 기법은 FEC, 그리고 ARQ와 함께 에러 제어 기법으로서 영상의 전송 분야에 이용될 수 있으나, ARQ를 동반한 에러 확산 기법은 videocasting이나 video-broadcasting 등과 같은 non-interactive 비디오 방송 분야에서 사용되기

어렵다. 이러한 현상은 ARQ 제어 기법이 역방향 채널이 필요할 뿐만 아니라 멀티캐스팅 또는 브로드캐스팅과 같은 비디오 응용 서비스에는 적용하기 힘들기 때문이다.

따라서, 본 논문에서는 기존의 에러 확산 효과를 증가시키고, MPEG-4 압축 영상을 이용하여 videocasting과 같은 방송 관련 응용 서비스 등에서 적용할 수 있는 범용성 있는 새로운 에러 확산 기법을 소개한다. 본 논문에서 제안되는 에러 확산 기법은 BES(burst error spreading)이라고 명명하며, layer로 구분된 프레임들을 스크램블링하는 기존의 에러 확산 기법과는 달리 비디오 패킷 단위의 스크램블링 방식을 채택하고 있다. 따라서 제안하는 알고리즘은 버스트 패킷 손실의 영향을 효과적으로 줄일 수 있으며, 기존의 FEC와 함께 연동할 경우 더 나은 성능의 향상을 기대할 수 있다. 또한 본 논문에서는 MPEG-4 비디오 패킷을 인터넷망에서 적용할 때 IP/ATM망까지 확장을 고려한 패킷 크기 결정 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 손실된 영상 프레임 복구를 위한 에러 은닉 기법과 기존의 에러 확산 기술에 대해 설명하고 III장에서는 제안하는 에러 확산 알고리즘을 기술한다. 그리고 IV장에서는 제안하는 BES 알고리즘의 성능 평가를 위한 실험 환경과 결과를 보여주고, V장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. MPEG video 에러 제어 기법

MPEG 비디오 에러 제어 기법으로는 앞서 언급한 FEC, ARQ, 에러 은닉 기법, 그리고 에러 확산 기법 등이 있다. 본 논문에서 다루고 있는 에러 확산 기법은 영상의 수신단에서 손실된 패킷을 복구하기 위한 에러 은닉 기법의 사용을 전제로 한다.

### 1. Resynchronization과 에러 은닉 기술

MPEG 압축 영상은 그림 1과 같은 일정 크기의 GOP(N,M)의 구조를 갖으며, GOP는 I, P, 그리고 B 타입의 3개의 프레임으로 구성된다. 이때의 N은 GOP를 구성하는 I 프레임간의 간격의 크기를 뜻하며, M은 P와 I 또는 P 프레임들간의 간격의 크기를 의미한다. GOP내의 각 프레임 타입은 서로 다른 코딩 방법을 사용하며, 그 중에서 I 프레임은 DCT(discrete cosine

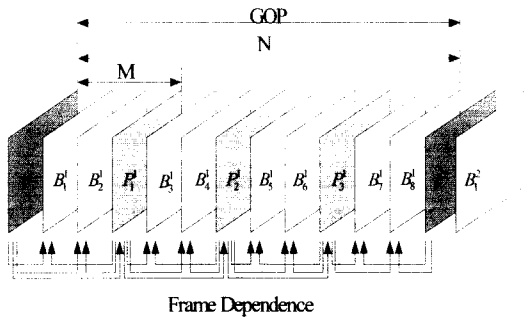


그림 1. MPEG 동영상의 GOP 구조  
Fig. 1. GOP structure of MPEG compressed video.

transform)에 기반한 인트라(intra) 코딩만을 사용하며, P 프레임은 이전의 I와 P 프레임으로부터의 ME(motion estimation)을 이용한다. 반면, B 프레임은 B 프레임의 이전과 다음의 I와 P 또는 2개의 P 프레임으로부터 양방향 보간 기법(interpolation)을 사용하여 구성된다. 즉, P와 B 프레임 모두 I와 P 프레임에 대해서 프레임 의존성(frame dependency)을 갖는다. 따라서 MPEG은 영상 데이터의 오버헤드(overhead)를 줄이기 위한 코딩 기술에 의해 망에서의 트래픽 폭주(congestion)에 의한 패킷 손실을 겪게 되면 시·공간적 에러 전파 현상 현상이 발생하게 되며, 공간적 에러 전파 현상을 막기 위해 그림 2와 같이 MPEG 비디오 패킷에 재동기 마커(resync marker)를 사용한다.

	MB no.	Quant. Param.	Combined motion and DCT data
--	--------	---------------	------------------------------

그림 2. 비디오 패킷의 데이터 구조  
Fig. 2. Organization of the data within a video packet.

또한 패킷 손실에 의한 영상의 데이터 복원을 위해서는 MPEG 수신단에서 에러 은닉 기법이 사용되어진다. 열화된 압축 영상의 복원을 위해 사용되는 에러 은닉 기법은 크게 공간적 에러 은닉(spatial error concealment)과 시간적 에러 은닉(temporal error concealment) 기술로 구분할 수 있으며, 현재는 2가지를 모두 혼용하는 하이브리드 방식이 주로 논의된다<sup>[7,8]</sup>. 공간적 에러 은닉 기법은 I 프레임과 같이 인트라 코딩을 사용하는 프레임에는 어떤 영상 블록도 MV(motion vector)를 갖지 않고 있으므로 이전 프레임의 정보를 사용할 수 없다. 따라서 인접 블록의 화상 정보를 그대로 복사하거나 보간 기법을 사용하여 복원한다. 반면

시간적 에러 은닉 기법은 인접 블록이 갖는 MV를 이용하는 방법으로 P 프레임과 B 프레임에서 주로 사용될 수 있다. 그림 3은 시간적 에러 은닉 기법 중에서 간단한 BMA(Boundary Matching Algorithm) 기법으로서 손실된 영상 블록 X와 X의 인접 4 블록(Left, Right, Top, Bottom)을 나타낸 것이다. 손실된 영상 블록 X를 복원하기 위해 후보 MV로부터 인접한 4 블록간의 경계 지역(boundary area)의 화소 차이값들의 합인  $C=C_L+C_R+C_T+C_B$ 가 최소가 되는 MV를 찾아서 영상을 복원할 수 있다. 여기서  $C_L, C_R, C_T,$  그리고  $C_B$ 는 각각 그림 3의 Left, Right, Top, Bottom 블록의 움직임 예측(ME)된 이전 이미지 블록과 후보 MV로 복원한 영상 블록 X와의 경계지역에서의 화소 차이값이다.

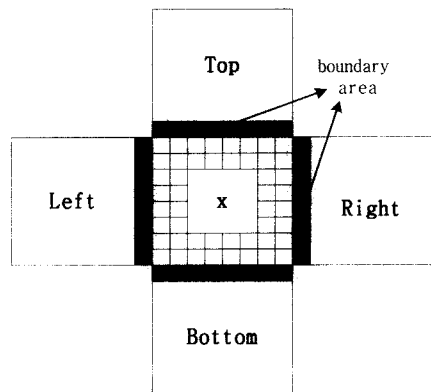


그림 3. BMA 에러 은닉 기법  
Fig. 3. BMA error concealment scheme.

2. 에러 확산 기법

MPEG 영상의 에러 제어 기법중 에러 확산 기법은 가장 최근에 소개된 제어 기법으로서 망에서 발생하는 버스트 패킷 손실에 의한 영상의 품질 열화 현상을 줄이기 위해 제안되었다<sup>[6]</sup>. 버스트 패킷 손실은 MPEG의 품질을 국부적으로 열화시키기 때문에 사람의 시각 특성에 따라 영상의 품질의 열화 현상을 크게 느끼게 된다. 그러나 국부적인 영역에서 발생하는 패킷 손실을 넓은 영역에 분포되도록 하면 같은 양의 패킷 손실이더라도 에러 은닉 기법에 의한 영상 복원이 더욱 쉬워지므로 시각적인 품질 향상을 느낄 수 있게 된다. 즉, II-1에서와 같은 에러 은닉 기법은 이웃하는 영상 블록을 이용하여 손실된 블록을 복원하기 때문에 에러

확산에 의한 에러 분포 현상은 에러 은닉 기능의 복원 능력을 향상시킬 수 있다.

에러 확산 기법을 위해서는 인코더 버퍼에서  $w$  크기의 스무딩 버퍼를 이용하며,  $w$ 가 3 GOPs 인 인코더에서 버퍼에 저장되는 영상의 프레임 배열은 다음과 같다.

$$I^1, B_1^1, B_2^1, P_1^1, \dots, I^2, B_1^2, B_2^2, \dots, B_8^3 \quad (1)$$

이때  $X_j^i$ 는  $i$ 번째 GOP에서  $j$ 번째  $X(I, P$  또는  $B)$  프레임을 의미한다. 이러한 프레임의 배열은 프레임간의 상호 의존성을 갖고 있으며, 프레임간의 상관성에 의해 이전에 전송된 프레임 정보의 손실은 그 다음 프레임의 복원을 어렵게 한다. 더욱이 버스트 패킷 손실에 의해 일부의 프레임에서만 영상의 열화 현상이 집중적으로 발생할 수 있다. 따라서 망에서 발생하는 버스트 패킷 손실의 영향을 줄이기 위해 프레임 스크램블링 기법을 이용한 에러 확산 기법이 제안되었다. 프레임 스크램블링은 그림 4와 같이 프레임 전송 단위를  $L_1, L_2, \dots, L_5$ 의 5개 레이어(layer)로 나누며 각 레이어를 구성하는 프레임에 대해 스크램블링 함수  $f(\cdot)$ 을 통해서 프레임간의 상관성을 줄이고자 하였다. 또한 우선 순위가 높은 (high-priority; HP) I 와 P 프레임의 안전한 전송을 위해서  $L_1(I)$ 와  $L_2, \dots, L_4(P)$  레이어에 속해 있는 HP 프레임을 먼저 전송하고 HP 프레임에 대해서 ARQ를 사용하고 있다. 따라서 HP 프레임은 우선 순위가 낮은(low-priority; LP) 프레임에 비해 수신단에 먼저 도착할 수 있으며, 손실된 HP 프레임 패킷에 대해서는 ARQ를 사용한다.

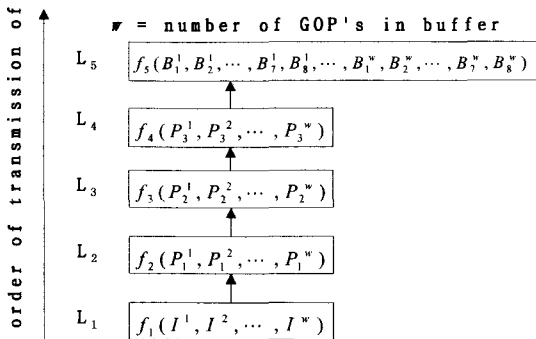


그림 4. 프레임 스크램블링에 의한 에러 확산 기법  
Fig. 4. Error spreading by the frame scrambling.

HP 프레임 배열 :

$$I^1, I^2, I^3, P_1^1, P_1^2, P_1^3, P_2^1, \dots, P_3^3, \dots, P_8^3 \quad | \quad w=3$$

LP 프레임 배열 :

$$B_1^1, B_2^1, B_3^1, B_4^1, B_5^1, \dots, B_8^2, \dots, B_8^3 \quad | \quad w=3 \quad (2)$$

그러나, ARQ를 사용하는 에러 확산 기법의 구조는 재전송 기법에 의한 응용 서비스의 범위가 제한되는 단점이 있다. 또한 프레임 단위의 스크램블링이 전체 프레임에 대해서 이루어지지 않고 각 layer마다 이루어지고 있기 때문에 에러 확산 효과가 작다는 문제점이 있다. 즉, 참조 영상으로서 사용되지 않는 B 프레임들과 B와 P 프레임의 참조 영상으로 사용하는 P 프레임이 함께 스크램블링이 되지 않기 때문에 버스트 에러로부터 P 프레임을 더 적극적으로 보호할 수 없다. 본 논문의 제안 기법에서는 에러 확산 효과의 증가를 위해서 layer별 스크램블링이 아닌 전체 프레임의 비디오 패킷에 대해서 스크램블링이 이루어지도록 한다.

### III. 제안하는 에러 확산 기법(BES)

#### 1. 비디오 패킷 크기

인터넷망에서 영상 전송을 위한 비디오 패킷 크기의 결정은 망에서의 MTU(maximum transfer unit)의 크기에 의해 제한을 받는다. 인터넷 표준으로 사용하는 576 bytes의 default MTU는 망에서 패킷을 전송할 때 라우터에서 패킷 분할을 하지 않는 최대 크기로서 만일 MTU 이상의 패킷이 들어오게 되면 패킷을 분할한다. 따라서 패킷 분할을 피할 수 있는 비디오 패킷의 페이로드(payload)를 결정해야 한다.

특히, MPEG-4 압축 영상을 인터넷망에서 스트리밍 서비스할 때의 패킷 크기를 결정하기 위해 MTU와 함께 MPEG-4 전송을 위한 하위 전송 레이어의 헤더 오버헤드를 고려한다. MPEG 스트리밍 서비스를 위해서는 패킷 배열 순서를 위한 SN(sequence number)와 영상 플레이를 위한 timestamp가 지원되어야 하므로 RTP/RTCP 기반의 RTP/UDP/IP 프로토콜 스택 구조를 갖게된다. 이것은 UDP에서 지원하지 않는 timestamp와 SN를 RTP를 통해서 전송할 수 있으므로 패킷 손실과 전송 지연이 보장되지 않는 인터넷망에서는 필수적인 조건이다. MPEG-4의 영상 스트리밍인

ES(elementary stream)은 timing과 동기 정보를 갖고 있는 SL(sync layer) 패킷으로 분할되며, SL 패킷은 다시 Flex-mux에 의해서 다중화된다. 따라서 MPEG-4 비디오는 sync layer와 Flex-Mux에서 각각 헤더 3bytes가 필요하며, 전송 layer에서 RTP 헤더 16bytes, UDP 헤더 8 bytes, 그리고 IP헤더에서 20 bytes의 헤더 오버헤드가 발생한다<sup>[11]</sup>.

따라서, 전송을 위한 하위 프로토콜의 전체 헤더 오버헤드는 50bytes로서 MPEG 전송 오버헤드를 줄이기 위해 1개의 VOP(visual object plane)를 구성하는 패킷 수를 최대한 줄이도록 한다. 이때  $i$  프레임의 패킷 페이로드의 크기  $C_i$ 는  $i$  프레임에서 발생된 비트율이  $A_i$ 이고, 최대 페이로드 크기가  $A_M$ 일 때

$$C_i = \min(A_i, A_M) \quad (3)$$

이다. 그리고  $i$ 번째 프레임에서 만들어지는 패킷의 수는  $\lceil A_i/C_i \rceil$ 이며, 이때의  $\lceil \cdot \rceil$ 는 ceiling 함수를 나타낸다.

본 논문에서는 페이로드의 크기를 정할 때 IP 망에서 ATM망을 경유하는 IP/ATM 전송 구조의 망 확장성까지 고려하여  $A_M$ 을 정의한다. 이때의  $A_M$ 은 IP/ATM의 망 지원을 위해서 IP packet의 AAL5/ATM 패킷 캡슐화를 정의한 RFC 1483<sup>[12]</sup>의 LLC/SNAP 8 bytes 헤더 사용과 AAL5의 상위 프로토콜 정보를 갖고 있는 trailer 8 bytes에 의해 크기가 제한된다. 즉,  $A_M = MTU - header - trailer - LLC/SNAP$ 으로 510 bytes로 정의할 수 있으며, 그림 5와 같이 IP 패킷을 AAL5/ATM의 cell로 분할 및 조립할 때 padding bit가 발생하지 않는 장점이 있다. 510 bytes의  $A_M$ 은 ATM 망과 연동시 AAL5/ATM에서 padding bit가 없는 12개의 ATM cell이 발생하게 된다.

### 2. 제안하는 에러 확산 기법

MPEG 영상은 그림 1과 같이 각 프레임간의 프레임 의존성을 갖고 있다. 즉, P 프레임은 I 프레임에 대하여 의존적이므로 수신단에서는 I 프레임의 데이터 손실에 의해 P 프레임을 복원하기가 힘들며, 에러 은닉 기법을 사용하여 영상을 복원할 수 밖에 없다. 이러한 I와 P의 연속적인 프레임 데이터 열이 전송중일 때 2개의 프레임 구간에 걸쳐 버스트 패킷 손실을 겪게된다면, P 프레임의 패킷 손실과 더불어서 I 프레임의 데이터 손실에 의한 시간적 에러 전파 현상이 발생하게 되므로 P

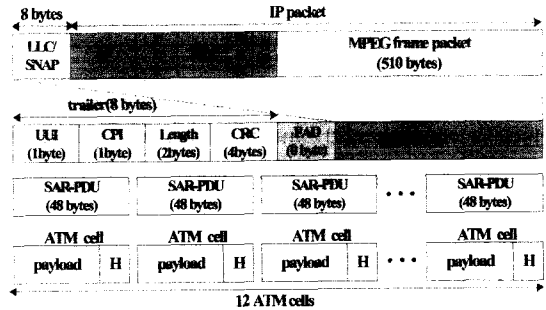


그림 5. AAL5의 셀 분할과 조립  
Fig. 5. Cell segmentation and assembly at AAL5.

프레임은 2중의 데이터 손실 현상을 갖게 된다. 따라서 영상 품질은 더욱 더 악화되며, 인접 영상 블록을 이용하는 에러 은닉 기법에 의해서 복원하기가 매우 힘들어진다.

본 논문에서 제안하는 에러 확산 기법은 연속적인 프레임 데이터 열이 전송중에 버스트 패킷 손실이 되더라도 에러 은닉 기법에 의한 복원 능력을 떨어뜨리지 않도록 데이터 손실의 집중 현상을 제거하도록 한다.

제안하는 알고리즘은 먼저 인코딩(encoding) 단계와 RTP packetizing, 그리고 GOP 스크램블링의 3단계로 구성되며, RTP packetizing은 GOP 스크램블링을 할 때 SN를 사용하여 수신단에서 packet을 재 조합하고 프레임 배열을 원상태로 복구할 수 있도록 한다. 이때 사용되는 비디오 패킷 크기는 III-1에서 제안한 MPEG-4 패킷 크기( $C_i$ )에 의해 결정된다. 이렇게 RTP packetizing된 프레임 패킷의 스크램블링은 다양한 형태의 GOP 구조의 비디오 스트림에 적용될 수 있으며, 본 논문에서는 설명의 편의상  $GOP(N,M) = (12, 3)$ 인 구조에서 스무딩 버퍼의 크기  $w$ 가 3 GOPs인 인코더를 고려한다. 그림 6은 프레임 의존성에 기반한 GOP 스크램블링을 나타낸 것으로서 3개의 서비스 phase(phase 1, 2, 3)로 구성되며, 각 phase에는 입력 영상을 저장하기 위한 프레임 메모리가 존재한다. 각 프레임 메모리에는 인코더에서 생성된 프레임 데이터가 입력되며, 이때 프레임은 프레임 의존성에 근거하여 스크램블링 된다. 예를 들어  $P_i$  프레임은  $I^1$  프레임과 프레임 의존성을 갖기 때문에 연속적으로 서비스되지 않도록 하기 위해  $P_i$ 와  $I^1$  프레임간의 거리가 적어도 1 GOP이상이 되도록 스크램블링 한다. 따라서,

$I^1$  프레임이 phase 1의 I 레이어 프레임 메모리를 사용할 때,  $P^1$  프레임은 phase 3의 P 레이어 프레임 메모리를 사용함으로써 패킷 스케줄러(packet scheduler)에 의한 패킷 서비스 시간이 달라지도록 한다. 또한  $P^1$  프레임과  $P^2$  프레임 사이에 존재하는 프레임 의존성을 고려하여  $P^1$  프레임은 phase 3의 P 레이어 메모리에, 그리고  $P^2$  프레임은 phase 2의 P 레이어에 위치하도록 하였다. 이와 같이 P 프레임의 참조 영상으로 사용하는 P 그리고 I 프레임의 상관성을 고려하여 서로 다른 메모리에 위치하도록 하였으며, B 프레임 또한 참조 영상으로 사용하는 I 프레임과 P 프레임과의 일정 서비스 시간상의 거리를 유지하도록 서로 다른 프레임 메모리에 위치하도록 한다. 이러한 프레임 메모리내에 저장된 프레임 패킷들은 phase 1, phase 2, phase 3의 순서로 그림 7의 패킷 스케줄러에 의해서 서비스되어진다.

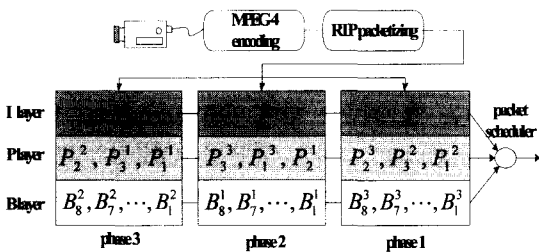


그림 6. GOP 스크램블링을 위한 프레임 메모리 구조  
Fig. 6. Frame memory structure for GOP scrambling.

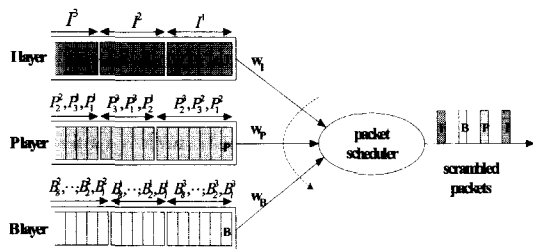


그림 7. WRR 기반의 패킷 스케줄링 기법  
Fig. 7. WRR-based packet scheduling method.

스크램블링된 영상 패킷의 서비스를 위해서는 그림 7에서와 같이 weighted round-robin (WRR) 기반의 패킷 스케줄러가 사용된다. WRR 스케줄링 서비스에서는 각 레이어마다 갖고 있는 서비스 회수(weight)에 의해서 1차례씩 서비스 기회를 받을 수 있으므로, WRR 기반의 스케줄링 서비스를 위해서는 먼저 각 레이어를

표 1. 제안하는 에러 확산 기법

Table 1. The proposed error spreading method.

```

/* Burst error spreading(BES) method */
// Ai : bit rates generated from ith VOP[frame].
// AM : limited packet payload size ( = 510 bytes).
// Ci : packet payload size of ith VOP[frame].

while (there is encoded VOP[frame] to be packetized) {
    Ci = min(Ai, AM); // payload is determined
    RTP_packetizing( ); // SN & timestamp are added
    frame_scrambling( );
    Ai = ( Ai - Ci ); // Ai is updated

    if (packets in the previous 3 GOPs are ready to be serviced) {
        if (current frame == I1 in 3 GOPs) {
            scheduling time & weight calculation( );
            packet_scheduling( );
        }
    }
}
    
```

스케줄러가 서비스하는 시간 간격( $T$ )과 서비스 횟수( $w_i, w_p, w_b$ )에 대한 정의가 필요하다. 서비스 시간 간격( $T$  [sec])은 3 GOPs 구간의 프레임 지속 기간이  $F$  이고, 프레임에서 발생하는 패킷의 수가  $\lceil A_i/C_i \rceil$  일 때 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T = F / \sum_{i=I^1}^{B_1^3} \lceil A_i / C_i \rceil \quad (4)$$

따라서, 3 GOPs의 스무딩 구간에서는 모두 등간격의 패킷 전송 서비스를 받을 수 있다. 그리고 I, P, B 레이어에서의 서비스 횟수( $w_i, w_p, w_b$ )는 각 레이어에 저장된 패킷의 수와 같다.

이렇게 스크램블링된 영상 프레임 패킷을 WRR 기반의 패킷 스케줄링을 하게되면 프레임단위뿐만 아니라 패킷단위의 스크램블링까지 2단계의 스크램블링에 의해서 에러 확산 효과를 증가시킬 수 있다. 그러므로 제안된 BES에 의한 MPEG 압축 영상을 수신한 수신단에서는 에러 은닉 기법에 의한 손실 복구가 좀 더 쉬워진다. 이것은 그림 3에서처럼 에러 은닉 기법이 손실된 영상 블록을 복구하기 위해 인접한 영상 블록의 MV를 이용하기 때문이다. 다음 표 1은 제안하는 BES 알고리즘의 전체적인 흐름도이다.

### 3. 성능 평가

본 논문에서 제안되고 에러 확산 알고리즘의 성능 평가를 위해 3가지 성능 측정 방법을 사용한다. 첫째는

프레임당 손실되는 패킷의 손실율(packet loss ratio; plr)의 squared coefficient of variation( $C^2$ ) 으로서 다음과 같이 정의한다.  $C^2$ 는 평균 패킷 손실율에 대한 분산된 패킷 손실율을 나타내는 것으로  $C^2$ 가 클수록 평균 패킷 손실율로부터 패킷 손실율의 분산의 정도가 커짐을 나타낸다.

$$C^2 = \frac{\text{variance}}{\text{mean}^2} = \left( \frac{\text{standard\_deviation(plr)}}{\text{mean(plr)}} \right)^2 \quad (5)$$

둘째는 버스트 패킷 손실 길이(loss burst length)으로서 연속적으로 손실된 패킷의 수를 의미하며, 연속적으로 손실되는 패킷의 수가 작을수록 복원되는 영상의 품질이 우수하다. 그리고, 셋째는 프레임 열화율(frame corruption ratio;  $D_B, D_P$ )으로서 다음과 같이 정의한다.

$$D_B = P \left( \frac{L_i}{R_i} \right) \text{loss of } B_i \text{ packet}$$

$$D_P = P \left( \frac{L_i}{R_i} \right) \text{loss of } P_i \text{ packet}, 0 \leq D_B, D_P \leq 1 \quad (6)$$

여기서  $R_i$ 는 손실된  $i$ 번째 패킷에 해당하는 프레임이 프레임 의존성을 갖는 이전 참조 프레임의 패킷 수를 나타내며,  $L_i$ 는  $R_i$ 에서 손실된 패킷 수를 의미한다. 따라서  $D_B$ 와  $D_P$ 는 각각 B와 P의  $i$ 번째 프레임( $B_i, P_i$ )의 패킷이 손실되었을 때 프레임 의존성을 갖는 참조 프레임의 패킷 손실율을 의미하는 것이다. 만일  $D_B$  또는  $D_P$ 가 0 보다 크면 B나 P의  $i$ 번째 프레임의 패킷이 이미 손실이 되었으며, 손실된 프레임과 프레임 의존성을 갖고 있는 이전 참조 프레임 또한 손실되어 시간적 에러 전파 현상이 발생함을 의미한다. 즉,  $i$ 번째 B나 P 프레임이 자신의 패킷 손실과 시간적 에러 전파 현상에 의해 심각한 데이터 손실을 겪게 된다.

#### IV. 실험 결과 및 평가

##### 1. 실험 환경

인터넷에서의 패킷 손실은 멀티플렉서나 라우터에서 tail-drop 큐잉 기법에 의해 발생되며, 이것은 입력

되는 트래픽의 양이 버퍼 크기를 초과하여 발생된다. 버퍼 오버플로우(buffer overflow)에 의한 연속적인 버스트 패킷 손실은 버스트 패킷 손실의 특성을 갖으며, 이러한 트래픽 손실의 특성은 2상태 Markov chain(Gilbert Model)으로 나타낼 수 있다<sup>[13]</sup>.

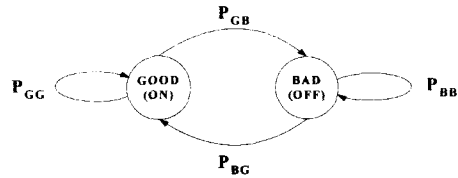


그림 8. Gilbert 패킷 손실 모델  
Fig. 8. Gilbert packet loss model.

Gilbert model은 패킷이 성공적으로 수신되는 상태인 G(good) 상태와 패킷이 손실되는 B(bad) 상태의 2 상태로 구성된다. 그림 8은 Gilbert model을 나타내는 것으로서 패킷이 정상적으로 수신되다가 손실될 상태 천이 확률은  $P_B = P_{GB} / (P_{GB} + P_{BG})$ 로 나타내며, 평균 패킷 손실 길이는  $L_B = 1/P_{BG}$  로서 연속적으로 손실되는 패킷의 평균 수를 나타낸다.

참고 문헌 [6]의 Varadarajan이 제안하고 있는 에러 확산 기법은 ARQ을 반드시 사용해야 하는 문제점이 있어 제안하는 기법과의 비교의 어려움이 있다. 또한  $L_8(B)$  레이어의 프레임 스크램블링만으로 전체적인 알고리즘의 성능이 결정되기 때문에 제안하는 에러 확산 기법보다 확산 효과가 작음을 쉽게 알 수 있다. 따라서 제안된 에러 확산 기법은 에러 확산을 갖지 않는 일반적인 GOP 스무딩과 함께 Gilbert 채널 모델 환경

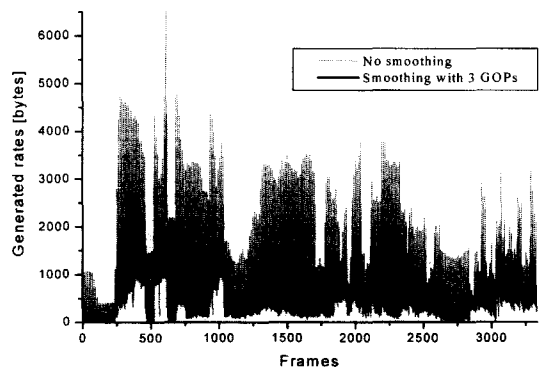


그림 9. MPEG-4 '쥬라기 공원' 영상의 비트 스트림  
Fig. 9. Bit stream of MPEG-4 movie 'Jurassic Park'.

에서 평가 되어진다. 실험은  $P_{GH} = 0.005$ ,  $P_{BG} = 0.495$ 의 환경에서 수행된다. 그림 9는 MoMuSys MPEG-4 video software로 인코딩된 CIF 크기의 실험 영상인 '주라기 공원' 압축 영상의 비트 스트림으로서 3 GOPs 크기의 스무딩 버퍼에 의해서 트래픽의 버스트 특성(burstiness)가 줄어드는 스무딩 효과를 확인할 수 있다.

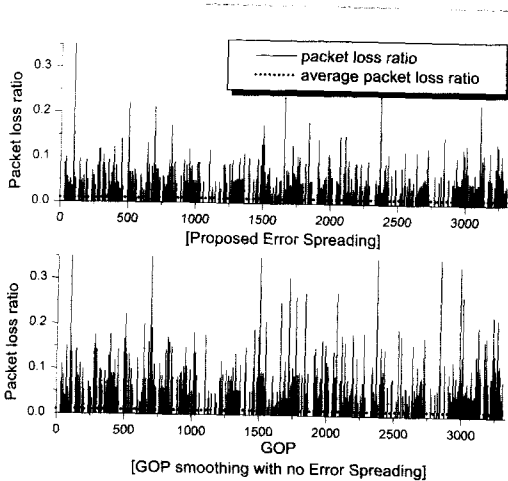


그림 10. 각 GOP에서의 평균 패킷 손실율  
Fig. 10. Average packet loss ratio for each GOP.

표 2. GOP 스무딩의 패킷 손실율 비교  
Table 2. The comparison of packet loss ratio of GOP smoothing.

GOP smoothing	BES	GOP with no error spreading
$P(plr > 0.1)$	0.0162	0.0306
$C^2$	6.8955	11.8961

① Squared coefficient of variation( $C^2$ )

그림 10은 제안하는 BES기법과 일반적인 deterministic GOP 스무딩기법의 패킷 손실율을 보이고 있다. Gilbert model에 의한 패킷 손실율은 BES 기법과 에러 확산 기법을 사용하지 않는 GOP 스무딩 기법 모두에 동등하게 적용되므로 두 기법이 갖는 평균 패킷 손실율( $P_B$ )은 0.01로서 동일하다. 반면, 제안하는 BES 알고리즘은 에러 확산을 하지 않는 GOP 스무딩보다 전체적인 패킷 손실율의 분산 정도에서 우수하게 나타나고 있다. 제안한 BES 기법에서의 패킷 손실율이

0.1 이상일 경우의 GOP 구간이 약 1.6%인 반면 에러 확산을 하지 않는 GOP 스무딩 기법의 경우는 약 3% 이상의 발생 비율을 보이고 있다. 또한  $C^2$ 의 결과를 통해 비록 같은 평균 손실율을 갖는 GOP 스무딩 기법 일지라도 제안하는 BES 기법에서 패킷 손실율의 분산 정도가 크다는 것을 알 수 있다.

② 버스트 패킷 손실 길이

버스트 패킷 손실의 분포를 보이고 있는 그림 11은 연속적인 손실 패킷의 수(X) 보다 작은 패킷 손실이 발생할 확률을 cumulative distribution function(CDF)으로 표현하였으며, 제안한 기법에서 대부분의 버스트 손실 길이(burst loss length)가 대체로 2 개의 손실 패킷 크기보다 작음을 알 수 있다. 즉, 평균 패킷 손실 길이  $L_B \approx 2.02$  인 Gilbert model을 사용할 때 제안하는 BES 기법과 일반 GOP 스무딩 기법의 손실되는 패킷 수가 2보다 작을 확률은 각각 0.98 과 0.725로서 BES 기법에서 패킷의 연속 손실 길이가 작음을 알 수 있다.

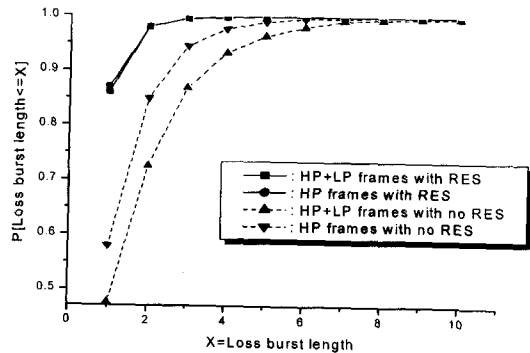


그림 11. 에러 확산에 의한 연속적인 패킷 손실의 분포  
Fig. 11. Consecutive packet loss distribution by the error spreading.

특히 에러 확산을 사용하지 않는 GOP 스무딩에서는 I와 P의 HP 프레임 패킷과 B의 LP 프레임 패킷에서의 손실 버스트 길이 분포가 서로 다르게 나타나는 반면, 에러 확산에 의한 패킷 손실 길이는 HP 프레임의 경우나 HP+LP 프레임만의 경우나 동일한 결과를 갖는다. 즉, 프레임과 패킷의 상호간의 의존성이 줄어들고 충분히 스크램블링 되어있음을 알 수 있다.

③ 프레임 열화율( $D_B, D_P$ )

GOP내의 P와 B 프레임의 프레임 열화율을 나타내는  $D_B$ 와  $D_P$ 는 그림 12의 (a)에서처럼 제안하는 BES 기법이 더 낮은 열화율을 보이고 있다. 이때의 프레임 열



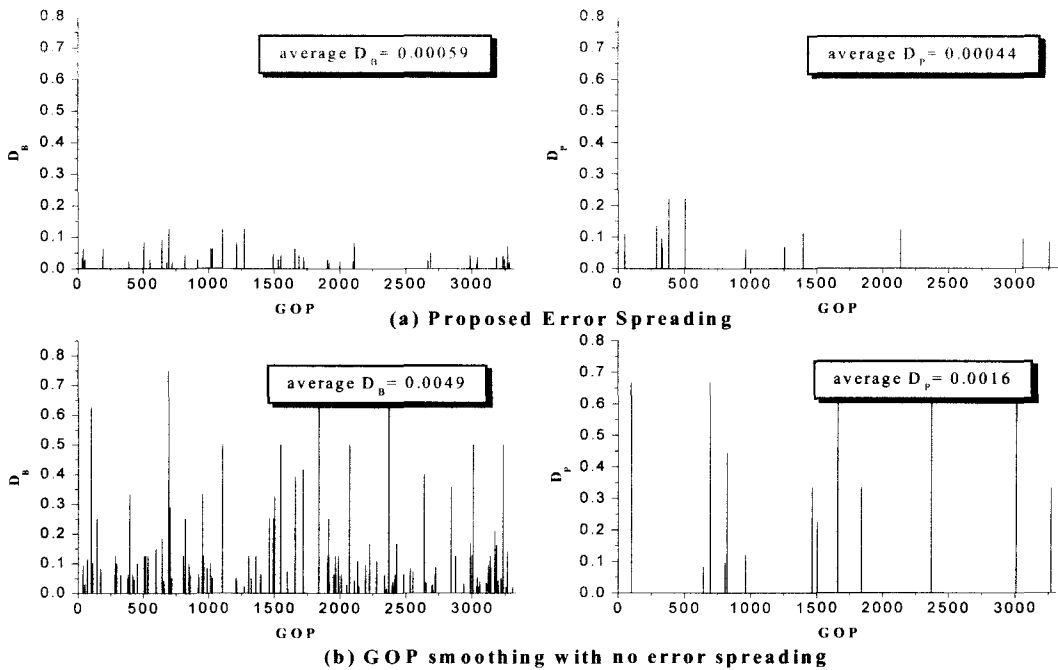


그림 12. GOP내 평균 프레임 열화율  
Fig. 12. Average frame corruption ratio within GOP.

화율은 이전 프레임의 시간적 에러 전파 현상에 의한 손실과 현재 프레임의 패킷 손실로 인한 영상 품질의 열화의 기중효과를 보이는 비율이다. 즉, 이전 프레임으로부터의 시간적 에러 전파 현상을 받은 P와 B 프레임이 자신의 해당 프레임을 구성하는 패킷의 손실까지 겹쳐 이종의 영상 품질 열화 현상을 겪는다. 또한  $D_B$ 가  $D_P$  보다 더 높은 프레임 열화율을 보이고 있다. 이러한 현상은 GOP(N,M) = (12,3)의 구조에서 B 프레임을 복원하기 위해 GOP 내에서 참조하는 I와 P 프레임의 수가 P 프레임을 복원하기 위해 참조하는 I와 P 프레임의 수보다 상대적으로 많기 때문이다.

결론적으로 패킷 손실의 분산 정도( $C^2$ )와 버스트 손실 길이의 성능 측정을 통해 본 논문에서 제안하는 BES 기법은 에러 확산을 하지 않는 GOP 스무딩 기법보다 버스트 패킷 에러를 효과적으로 분산시킬 수 있음을 알 수 있다. 또한 프레임 열화율의 측정을 통해 BES 기법에서 영상 품질의 열화가 감소되는 것을 관찰할 수 있다. 본 논문의 BES 기법은 위와 같은 버스트 패킷 분산 효과와 영상 열화 방지 기능이 있으며,

FEC 기법과 함께 사용할 때 패킷 손실에 대해 더욱 강인성을 갖게 된다. 즉, FEC 패킷이 비디오 패킷과 함께 WRR 스케줄러에 의해 스크램블링되면 FEC 패킷 또한 버스트 손실이 발생되지 않아 손실 패킷의 복원력이 향상될 수 있다.

### V. 결 론

본 논문은 MPEG 압축 영상의 인터넷 전송을 위하여 꼭 필요한 에러 제어 기법에 관하여 논하였다. 본 논문에서 제안하고 있는 BES 기법은 망에서 발생하는 버스트 패킷 손실의 영향을 줄일 수 있는 예방적 제어 기법으로서 국부적으로 발생하는 다량의 패킷 손실을 더 넓은 범위의 영역으로 손실 범위가 확대되도록 프레임 및 패킷을 스크램블링 한다. 따라서 단방향 전송의 특성을 갖는 videocasting과 같은 응용 서비스에 적합한 에러 제어 기법이다. BES 기법에 의한 패킷 손실에 대한 영향을 줄이기 위해서는 반드시 수신단에서 에러 은닉 기법의 구현이 필수적이며, 에러 은닉 기법의 버스트 패킷 손실에 대한 성능에 따라서 복원된 영

상 품질이 결정된다. 향후, 버스트 패킷 손실에 강인성을 갖는 에러 은닉 기법 연구와 BES에 적용할 수 있는 FEC 기법에 관한 연구가 진행된다면 버스트 패킷 손실에 더욱 강인성을 갖는 에러 제어기법을 기대할 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] R. Talluri, "Error-resilient video coding in the ISO MPEG-4 standard," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 36, No. 6, pp. 112~119, June 1998.
- [2] D. Milovanovic and Z. Bojkovic, "MPEG-4 video transmission over Internet," *Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services*, Vol. 1, pp. 309~312, Oct 1999.
- [3] P. Cuenca, A. Garrido, F. Quiles, and O. Barbosa, "An efficient protocol architecture for error-resilient MPEG-2 video communications over ATM networks," *IEEE Trans. on Broadcasting*, Vol. 45, No. 1, pp. 129~140, Mar 1999.
- [4] I. Rhee and S. R. Joshi, "Error recovery for interactive video transmission over the Internet," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 18, No. 6, pp. 1033~1049, June 2000.
- [5] J. J. Chen, L. G. Chen, and R. M. Weng, "Error concealment of lost motion vectors with overlapped motion compensation," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 7, No. 3, pp. 560~563, June 1997.
- [6] S. Varadarajan, H. Q. Ngo, and J. Srivastava, "An adaptive, perception-driven error spreading scheme in continuous media streaming," *Distributed Computing Systems*, pp. 475~483, Apr 2000.
- [7] N. Schroff and M. Schwartz, "Video modeling within networks using deterministic smoothing at the source," *INFOCOM '94. Networking for Global Communications*, 13th Proceedings IEEE, Vol. 1, pp. 342~349, June 1994.
- [8] P. Pancha and M. El Zarki, "MPEG coding for variable bit rate video transmission," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 32, No. 5, pp. 54~66, May 1994.
- [9] S. Sen, J. L. Rexford, J. K. Dey, J. F. Kurose, and D. F. Towsley, "Online smoothing of variable-bit-rate streaming video," *Multimedia, IEEE Trans. on Multimedia*, Vol. 2, No. 1, pp. 37~48, Mar 2000.
- [10] J. D. Salehi, Z. L. Zhang, J. Kurose, and D. Towsley, "Supporting stored video: reducing rate variability and end-to-end resource requirements through optimal smoothing," *IEEE/ACM Trans. on Networking*, Vol. 6 No. 4, pp. 397~410, Aug 1998.
- [11] D. Wu, Y. T. Hou, W. Zhu, H. J. Lee, T. Chiang, Y. Q. Zhang, and H.J.Chao, "On end-to-end architecture for transporting MPEG-4 video over the Internet," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 10 No. 6, pp. 923~941, Sept 2000.
- [12] J. Heinanen, "Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5," RFC 1483, July 1993.
- [13] B. Girod, K. Stuhlmuller, M. Link, and U. Horn, "Packet loss resilient Internet video streaming," *SPIE VCIP*, Vol. 3653, Jan 1999.

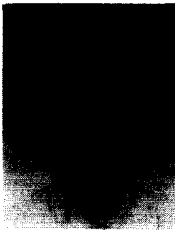
저 자 소 개



邊 宰 瑩(學生會員)

1997년 조선대학교 전자공학과 (공학사). 1999년 전남대학교 전자공학과 (공학석사). 1999년~현재 고려대학교 전자 공학과 박사과정. <주관심분야 : 멀티미디어 통신, 인터넷 품질관리/트래픽 제어, 영상 신호처

리>



沈 哉 廷(正會員)

1995년 고려대학교 전자공학과(공학사). 1997년 고려대학교 전자공학과 (공학석사). 2002년 8월 고려대학교 전자공학과 (공학박사). 2002년 9월~현재 (주)삼성전자 <주관심분야 : 성능 평가, B-ISDN/ATM, 유무선

통신망, 이동통신, 멀티미디어>



李 在 庸(正會員)

1993년 고려대학교 전자공학과(공학사). 1995년 고려대학교 전자공학과 (공학석사). 1999년 고려대학교 전자공학과 (공학박사). 1997년 독일 Darmstadt 공대 (TU Darmstadt) 방문연구원. 1999년~2000년 현대전

자산업(주) 선임 연구원. 2000년~2002년 (주)새롭기술 멀티미디어 사업부 책임연구원. 2002년~현재 빅스트리밍(주) 기술전략이사. <주관심분야 : 패킷 멀티미디어 통신, 비디오코딩, 영상처리, 3G멀티미디어서비스>



高 聖 濟(正會員)

1980년 고려대학교 전자공학과(공학사). 1986년 State Univ. of New York at Buffalo, 전기 및 컴퓨터공학과(공학석사). 1988년 State Univ. of New York at Buffalo, 전기 및 컴퓨터공학과 (공학박사). 1981년~

1983년 대한전선 중앙 연구소 연구원. 1988년~1992년 The Univ. of Michigan Dearbon, 전기 및 컴퓨터 공학과 조교수. 1992년 3월~현재 고려대학교 전자공학과 교수. 1996년 IEEE APCCAS best paper award 수상, 1997년 대한전자공학회 해동논문상 수상, 1999년 한국통신학회 LG 학술상, IEEE Senior member, IEE Fellow, <주관심분야 : 신호 및 영상 처리, 영상 압축 및 통신, 멀티미디어 통신>