

# 적응 다중 참조 이동 보상을 이용한 에러에 강인한 스케일러블 동영상 전송 기법

정희원 김 용 관\*, 김 승 환\*\*, 이 상 욱\*\*

## Robust Scalable Video Transmission using Adaptive Multiple Reference Motion Compensated Prediction

Yong Kwan Kim\*, Seung Hwan Kim\*\*, Sang-Uk Lee\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 동영상 부호화의 이동 보상 과정에서 다중의 참조 영상들을 적응적으로 이용하는 새로운 스케일러블(scalable) 부호화 기법을 제안한다. 제안 기법은 입력 신호의 특성을 고려하여, 확장계층 및 기저계층에서 다중의 이동 참조 영상들에 대한 최적 가중값을 적응적으로 구한다. 이러한 기법을 이용하여, 확장계층의 부호화 효율 및 오류에 대한 강인성을 향상시킨다. 또한 복호기에서 전송 오류가 검출된 경우, 적응적으로 참조 영상을 선택함으로써 에러 파급(drift) 현상을 현저히 감소시킨다. 실험 결과들로부터, 제안하는 적응적인 스케일러블 부호화 기법은 다양한 채널 에러(channel error) 환경에서, 기존의 스케일러블 H.263 + 부호화 기법에 비하여 PSNR 성능이 약 1.0 dB 이상 향상됨을 확인할 수 있었다.

### ABSTRACT

In this paper, we propose a novel scalable video coding algorithm based on adaptively weighted multiple reference frame method. To improve the coding efficiency in the enhancement layer, the enhancement frame is predicted by the sum of adaptively weighted double motion compensated frames in the enhancement layer and the current frame in the base layer, according to the input video characteristics. By employing adaptive reference selection scheme at the decoder, the proposed method reduce the drift problem significantly. From the experimental results, the proposed algorithm shows more than 1.0 dB PSNR improvement, compared with the conventional scalable H.263+ for various packet loss rate channel conditions.

**Key Words :** scalable video coding; adaptive weight.

### I. 서 론

최근 인터넷 및 무선 통신의 급속한 발달 및 보급에 힘입어, 해당 통신 채널(channel)을 통한 동영상 전송 기술에 대한 관심 역시 증가하고 있다. 인터넷을 통한 멀티미디어 응용으로서, VOD(video on demand), 인터넷 동영상 방송, 화상회의 등은

일반적으로 스트리밍(streaming)기술을 이용한다. 이러한 인터넷 동영상 스트리밍(Internet video streaming)시스템은 제한된 대역폭(bandwidth), 패킷 손실 비율(packet loss rate)등의 네트워크 성능 변수(network parameter)를 항상 고려하여 설계하여야 한다. 이러한 인터넷 동영상 전송시 송신자와 수신자 간의 다양한 대역폭을 보상하기 위한 해법으로

\*호서대학교 전기정보통신 공학부 정보통신전공(ykkim@office.hoseo.ac.kr), \*\* 서울대학교 전기.컴퓨터 공학부 신호처리연구실 (sanguk@sting.snu.ac.kr)

논문번호 : 030228-0528, 접수일자 : 2003년 5월 28일

\*\*이 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2001-002-E00083)

서 스케일러블(scalable) 동영상 부호화 알고리즘이 널리 사용되고 있다<sup>17)</sup>.

이러한 스케일러블 알고리즘은 기저계층(base layer)과 하나 이상의 확장계층(enhancement layer)으로 구성된다. 기저계층은 복호기에서 스트림을 복원하는데 필요한 최소한의 정보로 구성되고, 확장계층은 복호기에서 영상의 화질을 개선하는 정보로 구성된다. 따라서 스케일러블 부호화 기법에서 기저계층은 높은 우선순위로 전송하고, 확장계층은 낮은 우선순위로 전송함으로써, 에러(error)가 발생하는 경우에도 최소한 기저계층 신호는 복호화할 수 있는 장점이 있다. 또한, 시간(temporal), 공간(spatial), 해상도(SNR) 스케일러블 알고리즘은 MPEG-4<sup>15)</sup>, MPEG-2<sup>18)</sup>, H.263+<sup>19)</sup>, H.264<sup>10)</sup>등과 같은 국제 동영상 부호화 표준안에 채택되어 사용되고 있다.

그러나, 이러한 스케일러블 동영상 알고리즘은 크게 두가지의 제약점이 있다. 첫째, 부호화 영상의 전송시 정보를 나누는 과정에서 총 데이터의 증가가 발생한다. 즉, 스케일러블 동영상 부호화 알고리즘은 그것을 채택하지 않은 부호화 알고리즘에 비해 부호화 효율이 떨어진다. 둘째, 확장계층에서 이동 보상 알고리즘을 이용하는 경우, 참조 영상의 손실은 다음 인트라 프레임(intra frame) 영상이 나올 때까지 연속하는 영상들에 손실을 가져온다. 이를 에러 파급 효과(drift effect)라고 한다.

한편, 이동 보상 효율을 향상시키기 위하여 최근에 다중 참조 영상(MRF: multiple reference frame) 기법이 제안되었다<sup>11-15)</sup>. 이러한 MRF 기법은 미리 전송된 여러 영상들을 참조하여 이동 보상을 하는 기법으로서 전송 에러에도 강인한 특성이 있다<sup>16,17)</sup>. H.263+에서 참조 영상 선택(RPS: reference picture selection)모드 역시 MRF 기법이다<sup>19)</sup>. 즉, 에러 귀환(error feedback)을 이용하여 이전 전송된 영상들 중에서 에러가 발생하지 않은 영상을 참조 영상으로 선택하는 방법이다. 그러나, MRF 기법에서 참조 영상의 수가 많아지는 경우 그에 비례하여 계산량이 늘어난다. 따라서, 부호화 효율과 계산량을 동시에 고려하여 이전 두장의 참조 영상들만을 이용하는 이중 참조 영상(DRP:double reference picture) 및 이중 이동 벡터(DMV:double motion vector) 기법이 제안되었다<sup>14,15)</sup>.

또한, 최근 스케일러블 동영상 부호화에서 예측을 위한 참조 영상의 선택에서 보다 유연한 기법들이 제안되었다<sup>9,18,19)</sup>. [9]에서는, 확장계층의 매크로블록(MB: macroblock) 신호 예측에서, 기저계층 신호와

확장계층의 이동 보상 예측 신호들 중에서 하나를 선택하거나 평균을 이용하는 기법을 이용한다. [18]에서는 확장계층 예측에서 추정-이론적 기법을 제안하였다. 이 기법은 변환 영역에서 현재 기저계층과 바로 이전 확장계층 신호들 중에서 선택하는 방법이다. [19]에서는, 계층 부호화에서 전송율-왜곡 측면에서 최적 모드를 선택하는 기법이 제안되었다. 그러나 이러한 기존의 기법들은 기저계층과 확장계층 신호간의 선택 혹은 평균을 이용하는 기법으로서 유연성이 충분하지 않았다.

본 논문에서는 확장계층의 이동 보상에서 이중 참조, 이중 이동 벡터 기법을 채택한 새로운 적응적 가중 참조 기법을 도입한다. 즉, 확장계층의 현재 영상 예측 과정에서 확장계층의 이전 두장의 참조 영상들과 기저계층의 현재 참조 영상을 가중 평균하여 움직임 예측 및 보상을 한다. 이때, 가중값은 입력 동영상의 특성을 고려하여 적응적으로 구한다. 제안하는 기법은 다양한 에러 환경에서도 부호화 효율이 증가하는 특성을 보인다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 제안하는 다중 참조 영상 기반의 동영상 부호화 알고리즘을 기술한다. 이때, 참조 영상들에 대한 적응적 가중값을 구하는 방법을 제시한다. III장에서는 적응적 에러 은폐 기법과 에러 파급의 한계값을 구한다. IV장에서는, 제안 기법의 구현 방법과 전산 모의실험 환경을 설명한다. V장에서는 실험 결과를 제시하고, VI장에서는 본 논문의 결론을 짓는다.

## II. 제안 스케일러블 동영상 부호화 알고리즘

### 1. 확장계층에 대한 MRF 이동 보상

이동 보상의 효율을 향상시키기 위하여, 확장계층에서 다중 참조 영상 기반의 움직임 보상 알고리즘을 제안한다. 그러나 [14,15]에서 언급한 바와 같이, 이중 참조 영상 방법과 이중 이동 벡터 방법은 이동 보상의 효율과 복잡성간의 적절한 타협점이 된다. 따라서, 본 논문에서는 확장계층의 이동 보상에서 이중 참조, 이중 이동 벡터 기법을 이용한다.

그림 1에서 보는 바와 같이, 확장계층의  $k$ -번째 영상  $F_k$ 의  $i$  번째 블록(block)  $E_i$ 를 이동 보상하는 경우, 세 개의 이동 벡터  $v_{i,1}$ ,  $v_{i,2}$ 와  $v_{i,3}$ 를 이용한다. 이때,  $v_{i,1}$ 와  $v_{i,2}$ 는 이전에 복호화된 확장계층의 두 참조 영상들인  $F_{k-1}$ 과  $F_{k-2}$ 로

부터 구하고,  $v_{i,3}$ 는 복호화된 기저계층의 현재 영상  $F_k^b$ 로부터 구하며(0,0)의 값을 갖는다. 이때, 확장계층의 이동 벡터  $v_{i,1}$ 는  $F_{k-1}$  영상만을 이용하고,  $v_{i,2}$ 는  $F_{k-2}$  영상만을 이용함으로써, 여러 파급 현상을 감소시킬 수 있다. 이동 벡터  $v_{i,1}$ ,  $v_{i,2}$  그리고  $v_{i,3}$ 에 의해 이동 보상 예측되는 블록을 각각  $E_{i,1}$ ,  $E_{i,2}$  그리고  $E_{i,3}$ 라 하면,  $E_i$  블록에 대한 통합 예측 블록  $E_i$ 는 다음의 식과 같이  $E_{i,1}$ ,  $E_{i,2}$  그리고  $E_{i,3}$ 의 가중 평균에 의해 구한다.

$$E_i = h_1 E_{i,1} + h_2 E_{i,2} + h_3 E_{i,3} \quad (1)$$

여기서,  $h_1$ ,  $h_2$ , 그리고  $h_3$ 는 입력 신호의 특성에 의해 결정되는 적응적인 가중값이고,  $h_1 + h_2 + h_3$ 의 값은 정규화를 위하여 1로 한다.

확장계층의 이동 벡터를 추정할 때, 부호화 효율을 증가시키고 실시간 버퍼 제어를 위하여 동작 R-D 최적화를 수행한다. 확장계층의 블록  $E_i$ 를 위한 이동 벡터  $v_{i,1}$ 와  $v_{i,2}$ 를 구하는 과정에서, 라그랑지(Lagrangian) 비용 함수  $J = D + \lambda R$ 을 최소화하는 이동 벡터들을 구한다. 보다 구체적으로, 다음의 식 (2)와 같다.

$$\arg_{v_{i,1}, v_{i,2}} \min [ \|E_i - (h_1 E_{i,1} + h_2 E_{i,2} + h_3 E_{i,3})\|^2 + \lambda(R_{motion} + R_{DCT}) ] \quad (2)$$

여기에서, 이동 정보의 양(rate)을 의미하는  $R_{motion}$

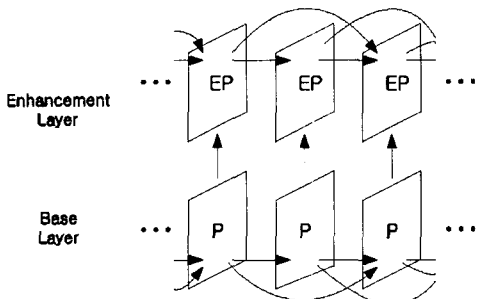


그림 1. 제안 스케일러블 동영상 부호화 기법  
Fig. 1. The proposed scalable video coding scheme

은 단순히 이동 벡터 표로부터 계산할 수 있지만, 양자화(quantization)된 이산 코사인 변환 계수의 정 보량을 의미하는  $R_{DCT}$ 는 동작 R-D 곡선을 구하 는데 발생하는 큰 계산량 때문에 얻기가 쉽지 않다. 따라서, 우리는 [20]에서 제안된 모델을 이용하고 이는 아래 식 (3)과 같다.

$$R_{DCT} = \frac{1}{16^2} \left( K \frac{\sigma_i^2}{Q_i^2} \right). \quad (3)$$

여기서,  $\sigma_i$ 는 블록의 실험적인 표준 편차(standard deviation) 값이고,  $Q_i$ 는 해당 매크로 블록의 양자 화 간격(quantization step size)이다. 이산 코사인 변환 계수가 라플라시안(Laplacian) 분포를 가지며, 독립이라고 가정하는 경우,  $K = \frac{e}{\ln 2}$ 이다.

## 2. 참조 영상들에 대한 적응적 가중값 해석

이동 보상 과정의 세 개의 적응적 가중값들  $h_1$ ,  $h_2$ , 그리고  $h_3$ 를 구하기 위하여 먼저 입력 동영상의 특성을 이용한다. 이동 보상은 동영상의 시간 적인 상관성을 이용하므로, 그 성능은 현재 영상과 참조 영상들 간의 상관성에 의존한다.

식 (1)로부터, 가중값  $h_1$ ,  $h_2$  그리고  $h_3$ 는 각각 참조 영상  $F_{k,1}$ ,  $F_{k,2}$  그리고  $F_{k,3}$ 들에 적용 되고, 본 논문에서는 이것들을 각각  $F_{k-1}$ ,  $F_{k-2}$  그리고  $F_k^b$ 로 정한다. 여기서 기저계층의 복호화된 참조 영상  $F_k^b$ 는 확장계층의 참조 영상 들과 계층이 구별되는 것을 유의할 필요가 있다. 편의상 확장계층을 의미하는 슈퍼스크립트(superscript)  $e$ 는 생략한다. 확장계층의 현재 영상에 대한 예측 은 다음의 식과 같이 이동 보상 영상들에 의한 가 중 평균으로 구할 수 있다.

$$F_k = h_1 M_{k,1} F_{k,1} + h_2 M_{k,2} F_{k,2} + (1 - h_1 - h_2) M_{k,3} F_{k,3}, \quad (4)$$

여기서  $M_{k,j}$ 는  $j$ 번째 이동 보상 연산자이다 ( $j = 1, 2, 3$ ). 따라서  $M_{k,j} F_{k,j}$ 는  $j$ 번째 이동 보 상 예측 영상이다. 이때, 확장계층의 통합 이동 보 상 DFD(displaced frame difference)인  $d_k$ 의 평균

자승 오차(MSE : mean square error)인  $\|d_k\|^2$ 는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \|d_k\|^2 &= \|F_k - \widehat{F}_k\|^2 \\ &= \|F_k - h_1 M_{k,1} \overline{F}_{k,1} - h_2 M_{k,2} \overline{F}_{k,2} - (1 - h_1 - h_2) M_{k,3} \overline{F}_{k,3}\|^2 \\ &= \|h_1 (F_k - M_{k,1} \overline{F}_{k,1}) + h_2 (F_k - M_{k,2} \overline{F}_{k,2}) + (1 - h_1 - h_2) (F_k - M_{k,3} \overline{F}_{k,3})\|^2 \end{aligned} \quad (5)$$

3개의 이동 보상 예측 에러들 간의 상관성을 무시하는 경우, 식 (5)는 다음의 근사식으로 간략화할 수 있다.

$$\begin{aligned} \|d_k\|^2 &\approx h_1^2 \|F_k - M_{k,1} \overline{F}_{k,1}\|^2 + h_2^2 \|F_k - M_{k,2} \overline{F}_{k,2}\|^2 + (1 - h_1 - h_2)^2 \|F_k - M_{k,3} \overline{F}_{k,3}\|^2 \\ &= h_1^2 \|d_{k,1}\|^2 + h_2^2 \|d_{k,2}\|^2 + (1 - h_1 - h_2)^2 \|d_{k,3}\|^2 \end{aligned} \quad (6)$$

여기서,  $d_{k,j} = F_k - M_{k,j} \overline{F}_{k,j}$ 이고, 이것은  $k$  번째 영상에 대한  $j$  번째 DFD이다. 따라서,  $\|d_{k,j}\|$ 는  $j$  번째 참조 영상에 의한 DFD 표준편차로서  $\sigma_{k,j}$ 로 표시한다.

최적 가중값들을 구하기 위하여 식 (6)을 각각  $h_1$  과  $h_2$ 에 대하여 편미분하고 그것들을 다음의 식 (7), 식 (8)과 같이 영으로 놓는다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \|d_k\|^2}{\partial h_1} &= 2h_1 \sigma_{k,1}^2 - 2(1 - h_1 - h_2) \sigma_{k,3}^2 \\ &= 0, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \|d_k\|^2}{\partial h_2} &= 2h_2 \sigma_{k,2}^2 - 2(1 - h_1 - h_2) \sigma_{k,3}^2 \\ &= 0. \end{aligned} \quad (8)$$

식 (7)과 식 (8)로부터, 최적 가중값들은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} h_1 &= \frac{\sigma_{k,2}^2 \sigma_{k,3}^2}{\sigma_{k,1}^2 \sigma_{k,2}^2 + \sigma_{k,1}^2 \sigma_{k,3}^2 + \sigma_{k,2}^2 \sigma_{k,3}^2}, \\ h_2 &= \frac{\sigma_{k,1}^2 \sigma_{k,3}^2}{\sigma_{k,1}^2 \sigma_{k,2}^2 + \sigma_{k,1}^2 \sigma_{k,3}^2 + \sigma_{k,2}^2 \sigma_{k,3}^2}, \\ h_3 &= 1 - h_1 - h_2. \end{aligned} \quad (9)$$

매 매크로블록 또는 GOB(group of block)들에 대하여 위의 가중값들을 구할 수 있지만, 부가정보를 고려하여 본 논문에서는 매 영상(frame)들에 대하여 최적 가중값들을 구한다.

### III. 에러 은폐

#### 1. 복원

제한된 대역폭 때문에 확장계층의 영상이 전송되지 않는 경우를 가정할 수 있다. 따라서 부호화 효율뿐만 아니라 에러 과급 현상을 동시에 고려해야 한다. 일반적으로 이동 보상은 이전의 확장계층과 현재 기저계층 신호들을 이용한다<sup>9)</sup>. 따라서, 네트워크 혼잡(network congestion)에 의해서 확장계층이 전송되지 않아서 참조 영상이 손상되면, 이후의 영상들은 정상적으로 이동 보상을 할 수 없으므로, 에러 전이(error propagation)가 발생한다. 이러한 현상을 에러 과급(drift)이라한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 이전의 확장 계층으로부터가 아닌 이전의 기저계층으로부터 이동 보상하는 알고리즘들이 제안되었다<sup>5,6)</sup>. 이것은 비록 에러 과급 현상이 없어지기는 하지만, 부호화 효율이 현저히 떨어지는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 에러 과급 현상과 부호화 효율을 동시에 해결하기 위한 방법으로서 다중 참조 영상 이동 보상을 이용한다.

[15]에서는 단일 계층 부호화에서 DRP 와 DMV 를 이용하여 효과적으로 에러 과급을 줄였다. 스케일러블 동영상 부호화에서도 이러한 기법을 이용하여 에러 과급 현상을 완화시킬 수 있다. 제안하는 알고리즘에서는 식 (1)에서와 같이, 확장계층의  $i$  번째 블록  $E_i$ 에 대한 이동 보상은  $\mathcal{E}_{i,1}$   $\mathcal{E}_{i,2}$  그리고  $\mathcal{E}_{i,3}$ 로부터 가중된 중첩의 원리를 이용한다. 여기에서,  $\mathcal{E}_{i,1}$   $\mathcal{E}_{i,2}$  그리고  $\mathcal{E}_{i,3}$ 는 모두 시간적으로 같은 영상  $F_k$ 를 이동 보상 예측한 것이므로, 서로 간에 큰 상관성(correlation)을 갖는다.

따라서, 참조 영상  $F_{k-1}$  또는  $F_{k-2}$ 이 네트워크 혼잡에 의해서 전송되지 않았거나, 전송 에러에 의하여 손상된 경우, 복호기는 다음에서와 같이 에러 파급을 감소시키며, 효율적으로  $E_i$ 를 복원할 수 있다. 즉, 복호기는 식 (1)에서  $E_i$ 의 각 화소를 다음의 식을 이용하여 복원한다.

$$E_i^d(u, v) = \begin{cases} h_2 E_{i,2}(u, v) + (h_1 + h_3) E_{i,3}(u, v), & \text{if only } E_{i,1}(u, v) \text{ is corrupted,} \\ h_1 E_{i,1}(u, v) + (h_2 + h_3) E_{i,3}(u, v), & \text{if only } E_{i,2}(u, v) \text{ is corrupted,} \\ (h_1 + h_2 + h_3) E_{i,3}(u, v), & \text{if } E_{i,1}(u, v) \text{ and } E_{i,2}(u, v) \text{ are corrupted,} \\ h_1 E_{i,1}(u, v) + h_2 E_{i,2}(u, v) + h_3 E_{i,3}(u, v), & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (10)$$

여기서  $E(u, v)$ 는  $E$  블록의  $(u, v)$  번째 화소를 나타낸다. 복호기는 예측 블록인  $E_i^d(u, v)$ 와 전송 및 복호화된 DFD 신호를 더하여  $E_i$ 를 복원한다.

2. 에러 파급 한계

DRP 와 DMV 기법을 이용한 단일 계층 부호화에서 에러 파급 한계가 [13,15]에서 유도된 바 있다. 본 논문에서는 제안 스케일러블 부호화에서 에러 파급 한계를 유도한다. 먼저, 식 (4)에서,  $M_{k,3} = I$  인 경우, 확장계층의 현재 예측 영상  $F_k$ 는 이전의 복호화된 두 영상  $F_{k-1}$ ,  $F_{k-2}$  그리고 기저계층의 현재 영상  $F_k^b$ 로부터, 가중값들을 이용하여 다음과 같이 구한다.

$$F_k = h_1 M_{k,1} F_{k-1} + h_2 M_{k,2} F_{k-2} + (1 - h_1 - h_2) F_k^b \quad (11)$$

여기서 현재 원영상  $F_k$ 는 다음과 같다.

$$F_k = \mathcal{F}_k + d_k, \quad (12)$$

여기서  $d_k$ 는 현재  $F_k$  영상에 대한 통합 예측 에러이다. 그리고 복호화된 확장계층과 기저계층 영상은 각각 다음의 식 (13), 식 (14)와 같다.

$$F_k = F_k - e_k. \quad (13)$$

$$F_k^b = F_k - e_k^b, \quad (14)$$

여기서  $e_k$  와  $e_k^b$ 는 각각 확장계층과 기저계층의 양자화 에러이다. 식 (11)과 식 (12)로부터 현재  $k$  번째 영상에 대한 통합 예측 에러는 다음과 같다.

$$d_k = h_1 d_{k,1} + h_2 d_{k,2} + (1 - h_1 - h_2) d_{k,3}, \quad (15)$$

여기서  $d_{k,3} = e_k^b$  와 같다. 제안 알고리즘의 에러 파급 한계를 구하기 위하여 식 (12) - (15)를 식 (11)에 대입하면 다음의 식 (16)과 같다.

$$F_k = \frac{h_1}{h_1 + h_2} M_{k,1} F_{k-1} + \frac{h_2}{h_1 + h_2} M_{k,2} F_{k-2} + r_k, \quad (16)$$

여기서

$$r_k = \frac{h_1}{h_1 + h_2} d_{k,1} + \frac{h_2}{h_1 + h_2} d_{k,2} - e_k$$

이다.  $r_k$ 는 확장계층의 가중된 두 DFD값과 확장계층의 양자화 에러(quantization error)로 이루어졌다. 따라서 기저계층에 관한 항은 드러나지 않았다. [13]에서와 같이, 실질적인 이유에서,  $\|M_{k,i}\| \leq 1, (i=1, 2)$  라고 가정할 수 있다. 그러면, 삼각 부등식을 이용하여, 식 (16)은 다음과 같은 부등식으로 변환할 수 있다.

$$\|F_k\| \leq \frac{h_1}{h_1 + h_2} \|F_{k-1}\| + \frac{h_2}{h_1 + h_2} \|F_{k-2}\| + \|r_k\|. \quad (17)$$

만일 양자화된 DFD 신호가 전송과정에서 손실되는 과정을 임펄스(impulse) 에러  $r_k = r_0 \delta_k$ 로 표현하는 경우, 그것에 의한 에러 파급 한계를 다음과 같이 유도한다. 식 (17)에 대하여  $z$ -변환을 이용하는 경우, 다음과 같은 부등식을 얻을 수 있다.

$$\|F_k\| \leq \frac{1}{h_1 + 2h_2} \left\{ h_2 \left( -\frac{h_2}{h_1 + h_2} \right)^k + (h_1 + h_2) \right\} r_0 u_k \quad (18)$$

식 (18)로부터  $k$ 가 무한대로 접근함에 따라, 만일  $h_1 = 1$ 이면,  $\|F_k\| \leq r_0$ , 만일  $h_2 = 1$ 이면,

$$\|F_k\| \leq \frac{1}{2} ((-1)^k + 1) r_0, \quad \text{그리고 만일}$$

$h_1 = h_2$ 이면,  $\|F_k\| \leq \frac{2}{3} r_0$ 의 한계값들을 갖는다. 따라서  $h_1$  이 큰 경우, 에러에 취약한 반면에,  $h_2$ 가 증가함에 따라 에러 파급의 한계값이 작아지는 경향을 확인할 수 있다.

#### IV. 구현 및 모의실험 조건

##### 1. 구현

제안하는 알고리즘은 H.263+ TMN 8.0 동영상 표준안의 신택스를 수정하여 구현하였다. 제안 알고리즘은 확장계층에서 DRP 와 DMV 기법을 이용하므로 기존의 기법들에 비하여 이동 벡터 정보량이 증가한다. 또한, 이동 벡터를 찾기위한 계산량이 매우 증가한다. 이러한 두 가지 문제점들을 해결하기 위하여 추가적인 메모리를 이용하여, 시간적으로 동일한 기저계층의 이동 벡터  $v_{i,1}^b, v_{i,2}^b$  들을 다음의 방법들과 같이 활용한다.

첫째, 확장계층의 이동 벡터들  $v_{i,1}$ 과  $v_{i,2}$ 의 탐색 범위는  $v_{i,1}^b$ 와  $v_{i,2}^b$  위치로부터 각각 [-4,4]로 제한한다. 이러한 방법은 계산량을 매우 감소시킨다. 따라서 제안 기법의 확장계층 이동 벡터 추정 계산량은 기존의 H.263+와 거의 같다.

둘째, 제안 기법은  $v_{i,1}^b$ 와  $v_{i,2}^b$  정보를 활용하여 정보량을 감소시킨다. 즉, 확장계층 이동 벡터의 전송 정보량  $\tau(v_{i,1})$ 와  $\tau(v_{i,2})$ 는 다음의 식 (19)를 이용한다.

$$\begin{aligned} \tau(v_{i,1}) &= \tau(v_{i,1} - v_{i,1}^b), \\ \tau(v_{i,2}) &= \tau(v_{i,2} - v_{i,2}^b), \end{aligned} \quad (19)$$

따라서, 허프만 부호를 이용하여 이동 벡터 예측 에러  $\{v_{i,1} - v_{i,1}^b\}$ 와  $\{v_{i,2} - v_{i,2}^b\}$ 를 부호화 및 전송한다.

##### 2. 모의실험 환경

기저계층에서 에러에 의한 왜곡을 방지하기 위하여 FEC(forward error correction) 채널 부호화 기법을 도입한다. 채널에서 고정 전송율  $R_c$ 을 유지하기 위하여, 채널의 부호율  $r$ 이 [0,1]의 범위를 갖을 때, 소스 전송율은  $R_a = rR_c$ 의 관계를 갖는다. 본 논문에서는 강력한 리드-솔로몬(RS: Reed-Solomon) 부호를 이용한다.  $m$  비트로 구성된 심볼(symbol)에 대하여  $(n, k)$  RS 부호는 매 입력  $k$  정보 심볼들( $km$ 비트)에  $n-k$  패리티(parity) 심볼들을 첨가하여 전송 블록을 구성한다.

채널 심볼 에러 발생은 2차 마코프(Markov) 모델에 기초하여, 심볼 에러 확률과 평균 버스트(burst) 길이로 나타낸다<sup>[21,22]</sup>. 그림 2로부터, 심볼 에러 확률을  $P_B$ 로, 평균 버스트 길이를  $L_B$ 로 표기하자.

$$\begin{aligned} P_G &= \frac{q}{p+q}, \\ P_B &= \frac{p}{p+q}, \end{aligned} \quad (20)$$

여기서  $p$ 는 G(Good)에서 B(Bad)로 천이할 확률이고,  $q$ 는 그 반대 경우의 확률이다. 그리고 평균 버스트 길이는 다음과 같다.

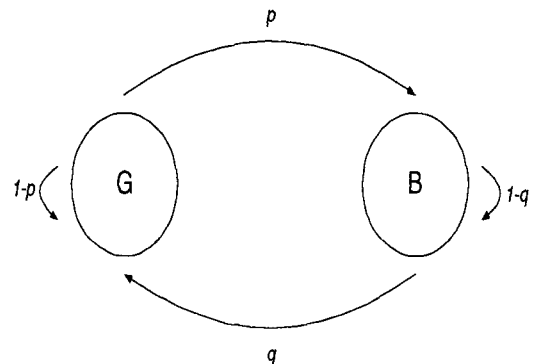


그림 4. 2차 마코프 모델  
Fig. 2. 2 state Markov model

$$L_B = 1 \cdot q + 2 \cdot (1 - q)q + 3 \cdot (1 - q)^2 q + \dots = \frac{1}{q}, \quad (21)$$

즉 연속적 심볼 에러의 평균 길이를 나타낸다. 식 (20)과 식 (21)로부터,  $p$ 와  $q$ 는 다음과 같다.

$$p = \frac{P_B}{(1 - P_B)L_B}, \quad q = \frac{1}{L_B}. \quad (22)$$

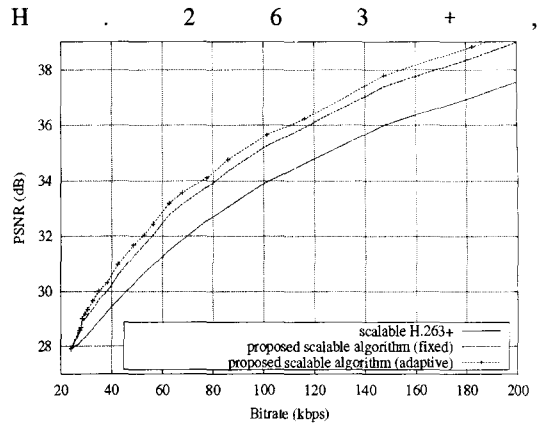
본 논문에서 사용된 구체적 채널 모델(channel model)은 [22]에서와 같다. 기저계층에서, 동영상 부호화 전송율은  $R_a = 24 Kbps$ , 그리고 기저계층의 전체 채널 전송율은  $R_c = 30 Kbps (r = 0.8)$ 로 정한다. RS 블록 크기는 GOB 블록의 평균 바이트 수에 해당하는 값  $n = 50 (m = 8)$ 이고, 심볼 에러 확률이  $P_B = 10^{-3}$ 이고  $L_B = \frac{3}{2}$ 인 채널의 경우, GOB 블록 에러 확률은 10,000개 블록중에서 1개 에러(약 1000 프레임 중에 1개 GOB 에러)가 나는 경우 보다 작다. 따라서 이러한 경우, 에러가 나지 않는 것으로 가정한다. 확장계층에서는 채널 부호를 사용하지 않고 부호화한다. 확장계층에서는 에러가 발생하는 경우라도, 동영상 복호단에서 문법을 조사하여(소스 부호화에서 동기부호와 같은 잔류 상관성에 기인) 에러를 검출할 확률이 높다. 따라서, 본 논문에서는 확장계층에서 에러들은 항상 검출되는 것으로 가정한다.

### V. 실험 결과

제안 기법의 성능을 검증하기 위하여 실제 QCIF 급 (176×144) 동영상을 사용하였다. 원영상은 매초 25 프레임(frame)들로 구성되었다. 실험영상은 원영상을 시간적으로 매 3 프레임들 중 1프레임을 표본화하여 초당 8.33 프레임에 해당한다.

#### 1. 부호화 이득 성능

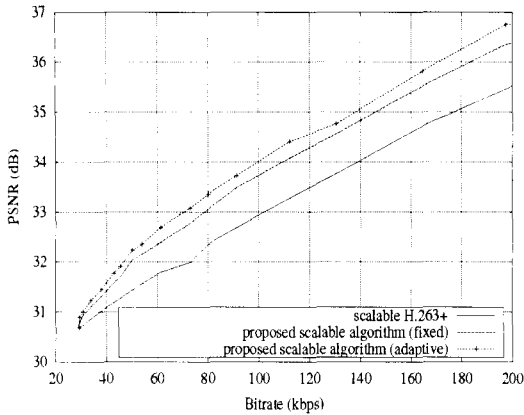
그림 3의 (a)와 (b)는 각각 실험 영상 Foreman과 Carphone에 대한 실험 결과로서, 부호화 효율 성능인 평균 PSNR 결과를 나타내고 있다. 3가지의 서로 다른 기법들을 비교하였다. 즉, 스케일러블



(a) Foreman

그리고 제안된 기법 중 'adaptive'와 'fixed'기법들이다. 'adaptive'는 II.2에서 설명한 부호화 효율을 증가시키기 위한 적응적인 가중값을 이용한 결과다. 'fixed'는  $h_1$ ,  $h_2$  그리고  $h_3$ 들을 모두 1/3로 고정된 경우이다. 기존의 스케일러블 H.263+ 보호화 기와 제안 스케일러블 부호화기들에서 기저계층은 [9]의 부록 T(Annex T)의 전송율 제어 모드를 동작시켜서, 24 Kbps의 전송율로 고정시켰고, 확장계층은 QUANT 값에 의하여 조절되었다. Foreman 영상에 대한 결과인 그림 3(a)에서, 제안하는 적응 기법과 고정 기법은 기존의 스케일러블 H.263+ 부호화 기법보다 60 Kbps에서 각각 1.2 dB와 0.9 dB 증가하였다. 초저속 전송율인 30 Kbps에서도 제안하는 적응 기법과 고정 기법들이 기존의 스케일러블 H.263+부호화 기법에 비하여 약 1.0 dB 우수한 결과를 보이고 있다. Carphone 영상에 대한 결과인 그림 3(b)에서는 제안하는 적응 기법과 고정 기법은 기존의 스케일러블 H.263+ 부호화기법보다 60 Kbps에서 각각 1.3 dB와 0.8 dB 증가하였다. 그림 3의 (a)와 (b)의 전체 전송율 영역에서, 제안하는 적응 기법은 제안하는 고정 기법과 기존의 스케일러블 H.263+ 부호화기법보다 각각 약 0.4 dB와 2.0 dB 증가하였다.

그림 4의 (a)와 (b)는 각각 Foreman 과 Carphone 영상에 대하여 제안하는 기법들과 기존의 스케일러블 H.263+ 기법에 의한 PSNR 결과들을 시간 프레임 임축에서 나타내었다. 기저계층의 전송율은 34 Kbps로 고정되었고, 확장계층의 양자화 변수 QUANT는 13으로 고정되었다. 스케일러블 H.263+ 기법



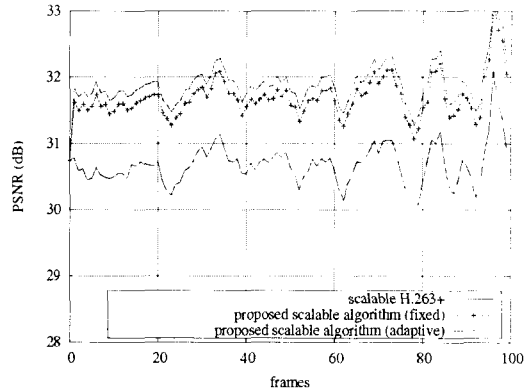
(b) Carphone

그림 3. 전송율에 따른 PSNR 성능 비교  
Fig. 3. The PSNR comparison by bitrate

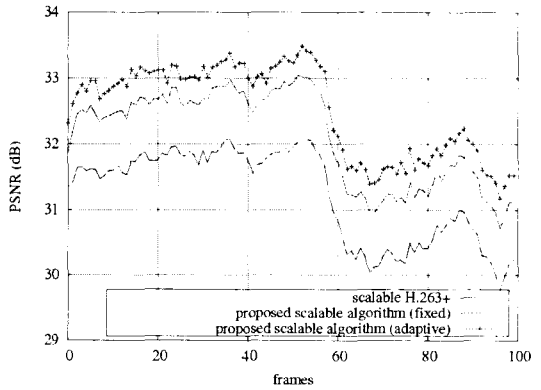
제안 고정 기법, 제안 적응 기법들에 대한 전송율은 그림 4(a)에서는 각각 49.24 Kbps, 45.13 Kbps, 그리고 44.32 Kbps로 나타났고, 그림 4(b)에서는 각각 38.28 Kbps, 35.13 Kbps, 그리고 33.32 Kbps로 나타났다. 그림 4의 (a)와 (b)로부터, 제안 적응 기법이 제일 적은 전송율에도 불구하고 제일 높은 PSNR 결과를 보이고, 그 다음으로 제안 고정 기법, 그리고 마지막으로 스케일러블 H.263+ 기법의 순서로 나타남을 알 수 있다.

2. 에러 발생 환경에서 에러 강인성

그림 5의 (a), (b) 그리고 (c)는 각각  $8 \times 10^{-5}$ ,  $2.4 \times 10^{-4}$ , 그리고  $4 \times 10^{-4}$ 의 심플 에러 확률에서, 전송율에 대한 평균 PSNR 결과를 나타내었고, 기존의 스케일러블 H.263+ 부호화 기법과 제안하는 고정 기법, 그리고 제안 적응 기법의 성능을 비교하였다. 이때, 심플 에러의 평균 버스트 길이는 3/2로 정하였다. 그리고 각 결과들은 10가지의 서로 다른 에러열에 의한 평균이다. 기저계층에서는 채널 부호인 RS 부호를 GOB 블록 단위로 적용한다. 이때, GOB 블록 에러 확률이 3가지 경우 모두  $10^{-4}$  이하의 충분히 작은 값을 갖는다. 따라서, 기저계층에서는 에러가 발생하지 않는 것으로 가정한다. 스케일러블 H.263+ 기법에서 에러 블록은 이전의 블록을 복사하여 사용하는 간단한 에러 은폐기법을 사용하였다. 제안하는 기법들에서 에러가 발생하는 경우, III.1에서 설명한 에러 은폐기법을 사용한다. 그림 5의 (a), (b) 그리고 (c) 모든 경우에서, 제안 적응 기법이 제일 높은 PSNR 결과를



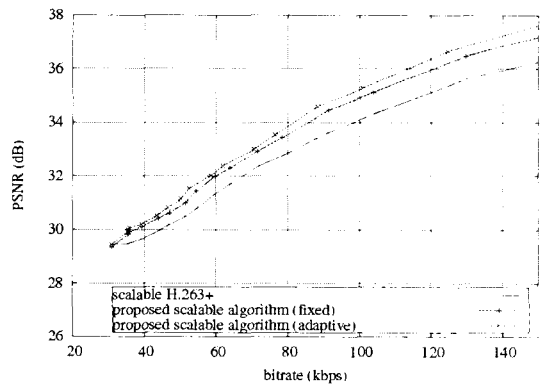
(a) Foreman



(b) Carphone

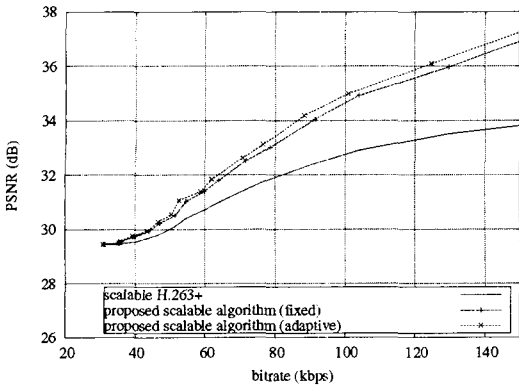
그림 4. 프레임에 따른 PSNR 성능 비교  
Fig. PSNR comparison by frame

보이고, 그 다음으로 제안 고정 기법, 그리고 마지막으로 기존의 스케일러블 H.263+ 기법의 순서로 나타남을 알 수 있다. 그림 5의 (a)와 (b) 그리고 (c)의 비교로부터, 에러 확률이

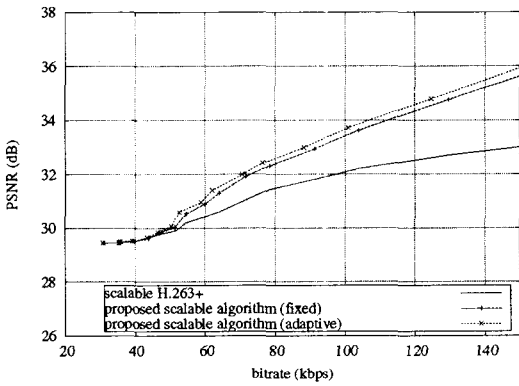


(a)  $P_B = 8 \times 10^{-5}$





(b)  $P_B = 2.4 \times 10^{-4}$



(c)  $P_B = 4 \times 10^{-4}$

그림 5. Foreman 영상에서 에러 성능 비교

Fig. 5. The comparison of error performance on Foreman sequence

$8 \times 10^{-5}$ 로부터  $2.4 \times 10^{-4}$ , 그리고  $4 \times 10^{-4}$ 로 증가함에 따라, 제안 기법들과 스케일러블 H.263+ 부호화 기법의 성능 차이가 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 특성은 제안 기법들이 에러에 강인한 특성을 갖기 때문이다. 또한 제안 기법들 중 고정 기법과 적응 기법의 비교로부터, 적응 기법이 모든 에러 확률의 경우에서 약 0.3 dB 우수한 결과를 보임을 알 수 있다. 따라서, 제안하는 적응 기법은 채널 에러가 없는 경우와 채널 에러가 있는 다양한 환경에서 모두 부호화 성능을 향상시키는 사실을 확인할 수 있다. 제안 기법에서 에러 파급 효과 감축 성능을 보이기 위하여 그림 6은 Foreman 영상

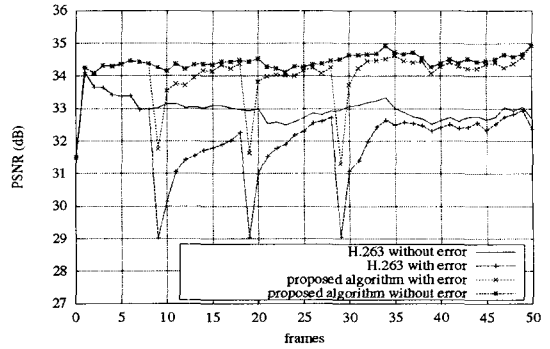


그림 6. Foreman 영상에서 10, 20, 30 번째 프레임 에러에 의한 에러 파급 성능 비교

Fig. 6 The error propagation comparison on 10-th, 20-th, 30-th frame of Foreman sequence

에서 10, 20 그리고 30번째 영상이 네트워크 사정으로 전송되지 않았을 경우, 제안하는 고정 기법과 스케일러블 H.263+ 기법의 PSNR 결과들을 시간 프레임축에서 나타내고 있다. 제안 알고리즘의 경우, 에러를 효과적으로 국소화(localization)하여 에러 파급을 제한한다. 반면에, 기존의 스케일러블 H.263+ 기법은 에러 파급 현상이 심한 것을 알 수 있다. 따라서, 위의 실험 결과들로부터, 제안하는 적응적인 스케일러블 부호화 기법을 이용하는 경우, 기존의 스케일러블 H.263+ 부호화 기법에 비하여 부호화 성능과 에러 강인성을 동시에 향상시키는 사실을 확인할 수 있다.

## VI. 결론

본 논문에서는 적응적인 다중 참조 영상 기법을 이용한 새로운 스케일러블 동영상 부호화 기법을 제안하였다. 확장계층의 부호화 효율을 높이기 위하여 이동 보상 과정에서 입력 동영상의 특성을 고려하여 참조 영상들에 대한 최적의 가중값을 구하였다. 또한, 제안 스케일러블 기법에 의한 에러 파급 한계를 유도하였다. 복호기에서 적응적 참조 영상 선택 기법을 이용하여 에러 파급 현상을 감축하였다. 다양한 영상에 대한 전산 모의 실험 결과로부터, 채널 에러가 없는 경우, 제안하는 적응 기법은 제안하는 고정 기법과 기존의 스케일러블 H.263+ 부호화 기법보다 각각, 약 0.4 dB 와 2.0 dB 증가함을 확인하였다. 또한, 채널에서 심플 에러 확률이  $4 \times 10^{-4}$ 까지 증가함에 따라, 제안하는 적응 기법과 제안 고정 기법이 기존의 스케일러블 H.263+ 부호화 기법에 비하여 PSNR 성능이 증가함을 확인하였다. 또한, 비교하는 다양한 채널 에러 확률과 전

송율 영역에 걸쳐서, 제안하는 적응 기법이 제안하는 고정 기법에 비하여 약 0.3 dB 우수한 결과를 나타내었다. 따라서, 제안하는 적응적인 스케일러블 부호화 기법은, 다양한 채널 에러 환경에서 기존의 스케일러블 H.263+ 부호화 기법에 비하여 부호화 성능과 에러 강인성을 동시에 향상시킨다는 사실을 확인할 수 있었다. 앞으로는, 시간적으로 변하는 채널 에러 환경 변수를 고려하는 적응적인 부호화 기법에 대하여 연구할 필요가 있을 것으로 생각된다.

### 참 고 문 헌

- [1] M.Ghanbari, "Two-layer coding of video signals for VBR network," *IEEE J. Select Area Commun.*, vol. 7, pp. 801-806, June 1989.
- [2] Y.-Q. Zhang, Y.J. Liu, and R.L.Pickholtz, "Layered image transmission over cellular radio channels," *IEEE Trans. Veh Technol.*, vol. 43, pp. 786-796, Aug. 1994.
- [3] M. Khansari and M.Vetterli, "Layered transmission of signals over power-constrained wireless channels," in *Proc. ICIP-95, Washinton, DC, Oct. 1995*, vol. III, pp. 380-383.
- [4] R. Aravind, M. R. Civanlar, and A. R. Reibman, "Packet loss resilience of MPEG-2 scalable video coding algorithms," *IEEE Trans. Circuit Syst, Video Technol.*, vol. 6, pp. 426-435, Oct. 1996.
- [5] H. Radha, Y. Chen, K.Parthasarathy, and R. Cohen, "Scalable Internet video using MPEG-4," *Signal Processing: Image Communication*, vol. 15, pp. 95-126, 1999.
- [6] W. Li, "Overview of fine granularity scalability in MPEG-4," *IEEE Trans. on Circuits and Syst. Video Technol.*, vol. 11, no. 3, pp. 301-317, March 2001.
- [7] R. Mathew, and J. F. Arnold, " Layered coding using bitstream decomposition with drift correlation," *IEEE Trans. on Circuits and Syst. Video Technol.*, vol. 7, no. 6, pp. 882-891, Dec. 1997.
- [8] ISO/IEC JTC1, "Generic coding of moving pictures and associated audio information - Part 2 : Video," *ISO/IEC 13818 - 2(MPEG-2)*, Nov. 1994.
- [9] ITU-T recommendation H.263+, "Video coding for low bitrate communication," Aug. 1997.
- [10] Text of JVT, "Joint Committee Draft (CD),"*Document JVT-167, Virginia, USA, May 2002.*
- [11] T. Wiegand, X. Zhang, G. Girod, "Logn-term memory motion-compensated prediction," *IEEE Trans. on Circuits and Syst. Video Technol.*, vol. 9, no. 1, pp. 70-84, Feb. 1999.
- [12] T. Wiegand, M. Flierl, and B. Girod, "Entropy-constrained linear vector prediction for motion-compensated video coding," in *Proc. Int. Symp. Information Technol.*, Boston, USA, Aug. 1998.
- [13] C. -S. Kim, R.-C. Kim, and S.-U. Lee, "Robust transmission of video sequence using double-vector motion compensation," *IEEE Trans. Circuits Syst. video Technol.*, vol 11, no. 9, pp. 1011-1021, Sept. 2001.
- [14] S. H. Kim, Y. K. Kim, and Sang-Uk Lee, "Adaptive multiple reference frame based scalable video coding algorithm," in *Proc. IEEE Int. conf. Image Processing*, vol. 2 pp. 33-36, Rochester, USA, Sept. 2002.
- [15] S. H. Kim, C. S. Kim, and Sang-Uk Lee, "An efficient motion compensation algorithm based on double reference frame method," *Signal Processing: Image communication*, vol. 17, no. 8, pp. 635-649, Sept. 2002.
- [16] H. -S. Jung, R. -C. Kim, and Sang-Uk Lee, "Error-resilient video coding using long-term memory prediction and feedback channel," *Signal Processing: Image communication*, vol. 17, no. 8, pp. 597-609, Sept. 2002.
- [17] M. Budagavi, J. D. Gibson, "Multiframe video coding for improved performance over wireless channels," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 10, no. 2, pp. 252-265, Feb. 2001.
- [18] K. Rose and S. L. Regunathan, "Toward optimal scalability in predictive video

- for motion-compensated video coding," in Proc. Int. Symp. Information Technol., Boston, USA, Aug. 1998.
- [13] C. -S. Kim, R.-C. Kim, and S.-U. Lee, "Robust transmission of video sequence using double-vector motion compensation," IEEE Trans. Circuits Syst. video Technol., vol 11, no. 9, pp. 1011-1021, Sept. 2001.
- [14] S. H. Kim, Y. K. Kim, and Sang-Uk Lee, "Adaptive multiple reference frame based scalable video coding algorithm," in Proc. IEEE Int. conf. Image Processing, vol. 2 pp. 33-36, Rochester, USA, Sept. 2002.
- [15] S. H. Kim, C. S. Kim, and Sang-Uk Lee, "An efficient motion compensation algorithm based on double reference frame method," Signal Processing: Image communitaion, vol. 17, no. 8, pp. 635-649, Sept. 2002.
- [16] H. -S. Jung, R. -C. Kim, and Sang-Uk Lee, "Error-resilient video coding using long-term memory prediction and feedback channel," Signal Processing: Image communitaion, vol. 17, no. 8, pp. 597-609, Sept. 2002.
- [17] M. Budagavi, J. D. Gibson, "Multiframe video coding for improved performance over wireless channels," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 10, no. 2, pp. 252-265, Feb. 2001.
- [18] K. Rose and S. L. Regunathan, "Toward optimal scalability in predictive video coding," Proc. IEEE Int. conf. image Processing, vol. 3, pp. 929-933, Oct. 1998.
- [19] M. Gallant, F. Kossentini, "Rate-distortion optimized layered coding with unequal error protection for robust internet video," IEEE Trans. on Circuits and Syst. Video Technol., vol. 11, no. 3, pp. 357-372, March 2001.
- [20] J. Ribas-Corbera, and S. Lei, "Rate control in DCT video coding for low-delay communications," IEEE Trans. on Circuits and Syst. Video Technol., vol. 9, no. 1, pp. 172-185, Feb. 1999.
- [21] S. Aramvith, I.-M. Pao, and M. -T. Sun, "A rate-control scheme for video transport over wireless channels," IEEE Trans. on Circuits and Syst. Video Technol., vol. 11, no. 5, pp. 569-580, May 2001.
- [22] K. Stuhmuller, N. Farver, M. Link, and B. Girod, "Analysis of video transmission over lossy channels," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 18, no. 6, pp. 1012-1032, June 2000.

김 용 관(Yong Kwan Kim)

정회원



1988년 2월 : 서울대학교 제  
어계측공학과 졸업  
1990년 2월 : 서울대학교 제  
어계측공학과 석사  
1990년 2월~1996년 8월 : 서  
울대학교 제어계측과 공학  
박사  
1994년 4월~1997년 2월 대우

전자 영상연구소

1997년 3월 ~현재 : 호서대학교 부교수  
2000년 3월~ 2001년 2월: 캘리포니아 주립대  
(UCSB) 연구교수  
<관심분야> 영상처리, 신호처리, 멀티미디어 통신

김 승 환(Seung Hwan Kim) 정회원

1997년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업  
1999년 2월 : 서울대학교 전기공학부 석사  
2004년 2월 : 서울대학교 전기·컴퓨터 공학부 박  
사 졸업예정  
<관심분야> 신호처리, 영상처리

이 상 욱(Sang Uk Lee)

중신회원

1973년 : 서울대학교 전기공학과 졸업  
1976년 : Iowa State University 전기공학 석사  
1980년 : University of Southern California 전기공  
학 박사  
1980년~1981년: General Electric Company  
1981년~1983년 : M/A-COM Research Center  
1983년~현재 : 서울대학교 전기·컴퓨터 공학부교수  
<관심분야> 신호처리, 영상처리, 컴퓨터비전