

논문 2007-44CI-1-12

무선 패킷 네트워크에서의 채널 적응형 양방향 움직임 벡터 추적 기술

(Channel-Adaptive Bidirectional Motion Vector Tracking over Wireless Packet Network)

변재영*

(Jae-Young Pyun)

요약

스트리밍 비디오 서비스는 최근 이종망으로 구성되는 무선망에서 중요한 어플리케이션으로 자리잡을 것으로 예상된다. 그러나 군집성있는 패킷 손실에 의해서 서비스의 충분한 품질이 보장되지 않는다. 무선망에서 패킷 손실에 대한 효율적인 해결책은 수신단에서 적절한 에러 은닉 기술을 사용하는 방법일 것이다. 그러나 대부분의 에러 은닉 기술은 손실 블록에 인접한 이웃 블록들이 군집성 패킷 손실에 의해 이미 손실되었기 때문에 효율적으로 손실된 블록열들을 복원하기 어렵다. 이를 해결하기 위해 손실된 MB에서의 움직임 선형 특성을 이용하는 bidirectional motion vector tracking (BMVT)가 이전에 제안되었다. 본 논문에서는 BMVT 에러 은닉 기술을 향상시킨 채널 적응형 잉여 코딩 방식이 소개되어진다.

Abstract

Streaming video is expected to become a key service in the developing heterogeneous wireless network. However, sufficient quality of service is not offered to video applications because of bursty packet losses. An effective solution for packet loss in wireless network is to perform a proper concealment at the receiver. However, most concealment methods can not conceal effectively the consecutively damaged macro blocks, since the neighboring blocks are lost. In the previous work, bidirectional motion vector tracking (BMVT) method has been proposed which uses the moving trajectory feature of the damaged macro blocks. In this paper, a channel-adaptive redundancy coding method for the better BMVT error concealment is presented. The proposed method provides enhanced video quality at the cost of a little bit overhead in the wireless error-prone network.

Keywords : Error-concealment, burst-packet loss, motion vector, motion tracking

I. 서론

무선 네트워크는 이동성을 요구하는 사용자들에게 다양한 서비스를 제공할 수 있기 때문에 관심과 인기가 지속적으로 성장하고 있다. 현재 무선 네트워크 기술은 대역폭, 전송 지연, 주파수, 자원 접속 방식 등에 따라서 wireless LAN (WLAN), CDMA, GSM 등의 형태로 진화되어 매우 다양하다^[1]. 이러한 여러 종류의 무선 네트워크 사이에서 이동성과 서비스 확장성을 보장하기 위

한 이동성 지원 전송 기술과 무선 채널 특성 때문에 군집성있는 패킷 손실을 피하기 힘들다. 군집성있는 패킷 손실 네트워크 환경에서는 비디오 스트림을 전송할 경우 심각한 비디오 품질 열화 현상이 발생할 수 있다. 특히, 전송 에러 발생으로 인한 비디오 프레임에서의 영향은 손실된 프레임에만 국한되지 않고 다음 프레임으로 에러가 전파된다. 즉, 손실된 프레임을 참조 프레임으로 사용하는 프레임들 또한 연속적인 품질 열화 현상을 겪게 되어 패킷 손실 기간보다 더 긴 시간동안 비디오 품질 열화 현상이 발생한다. 이러한 비디오 품질 열화현상을 극복하기 위해 에러 리질리언스 기술을 사용한다.

* 평생회원, 조선대학교 정보통신공학부
(Dept. of information communication eng., Chosun university)
접수일자: 2006년10월11일, 수정완료일 :2007년1월4일

에러 리질리언스는 크게 에러 검출, 재동기(resynchronization), 데이터 복구, 데이터 은닉의 4부분으로 나누어진다. 이 중에서 에러 은닉기술은 전송에러에 대해 직접적으로 대처하는 방법으로서 많은 연구가 진행되어왔다^[2-11]. 에러 은닉기술에는 2 개의 그룹으로 나누어진다. 그중 첫번째는 공간적 에러 은닉 (spatial error concealment, SEC) 기법이며, 다른 하나는 시간적 에러 은닉 (Temporal error concealment, TEC) 기법이다. SEC 알고리즘은 손실된 매크로블록 (macroblock; MB)을 예측하기 위해 공간적인 리던던시를 사용한다. 반면에, TEC 기법은 손실된 MB을 은닉하기 위해 시간적인 리던던시를 사용한다. 즉, 현재 프레임의 손실된 영역을 매우기 위해서 참조 프레임의 픽셀을 조사하고 손실된 움직임 벡터 (motion vector; MV)을 예측하여 움직임 보상한다. 특히, [9]에서는 손실된 MB을 복원하기 위해서, 손실된 MB의 위와 아래 인접 MB을 매칭하는 블록 매칭 알고리즘 (block matching algorithm; BMA)이 소개되었다. BMA는 움직임 추정과 같은 에러 은닉방법보다는 계산과정이 단순화된 장점이 있으나 에지(edge)가 대각선 방향으로 존재할 경우 블록 매칭의 어려움이 있기 때문에 수정된 블록 매칭 알고리즘 (modified BMA; MBMA)에서는 다양한 에지 방향을 위한 여러개의 경계면 차이 계산을 하고 있다^[10]. 이러한 TEC 기법은 프레임에서 소수의 MB만이 손실되고, 손실 MB의 인접한 MB은 손실되지 않았을 경우 매우 효과적이다. 그러나 군집성 에러 환경에서는 인접 MB의 손실로 인해 후보 MB 수의 부족하여 손실 MB의 복원이 힘들어진다.

따라서 이러한 군집성 에러 채널 환경에 대처할 수 있는 에러 은닉 기술을 위해 bidirectional motion vector tracking (BMVT) 방식이 제안되었다^[12]. BMVT 에러 은닉 방식은 forward motion tracking (FMT) 와 backward motion tracking (BMT) 방식들을 사용함으로써 손실된 MV를 예측한다. 먼저 FMT 방식은 프레임 내에서 손상된 MB의 MV를 복원하기 위해 이전 프레임에서 순방향으로 움직임 블록의 선형적인 움직임 성질을 이용하며, BMT 방식은 다음 프레임에서 역방향의 선형적인 움직임 성질을 이용한다. 이렇게 MV 예측을 한 후 FMT와 BMT에 의해서 예측된 2개의 MV를 평균함으로써 손실된 MB의 후보 MV를 결정한다. 이러한 BMVT는 MB의 움직임 선형성이 보장되는 경우 우수한 영상 품질 복원 특성을 보이지만 MB의 움직임 선형성이 부족할 경우는 기존의 에러 은닉 기술보다

복원 영상 품질면에서 많은 향상을 보이지 못하고 있다.

본 논문에서 제안하는 리던던시 코딩방식의 BMVT (BMVT with redundancy coding; BMVT/RC)는 BMVT가 갖는 장점을 그대로 수용하면서 군집성 패킷 손실에 의한 영상 품질을 더욱 향상시켰다. 이를 위해서 BMVT에 의해 생성한 예측 MV와 실제 MV 차이를 MV 예측 오차값이라하여 이 정보를 채널 특성에 따라서 인접한 프레임을 통해 전송한다. MV 예측 오차값은 압축 영상 전송 시스템에서 하나의 비트 오버헤드가 되지만 수신측에서 계산한 BMVT 예측 MV 값을 정확한 MV로 보정할 수 있는 장점도 된다. 비트 오버헤드를 제어하기 위해 프레임의 관심 영역 (region of interest; ROI)도 설정되어 운영된다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II 장에서는 기존의 대표적인 에러 은닉기술인 BMVT를 기술하고 III 장에서는 본 논문에서 제안하는 채널 적응적이고 군집성 손실에 강인한 BMVT/RC 에러은닉 기술을 설명한다. IV장에서는 에러은닉기술들의 특성을 알아보기 위한 실험과 결과에 대해서 기술하며, V장에서 결론을 맺는다.

II. Bidirectional motion vector tracking (BMVT)

본 장에서는 BMVT기술과 손실된 MV를 예측하기 위해 사용되는 후보 MV 선택 방법을 소개한다. BMVT는 크게 2개의 과정으로 구성된다. 첫 번째 과정은 FMT와 BMT로 구성되는 BMVT를 이용하여 후보 MV를 찾는 과정이다. 두 번째 과정은 BMVT에 의해

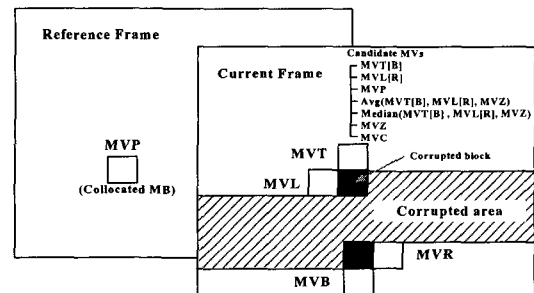


그림 1. BMVT와 BMVT/RC 방식에서 손실 MB의 에러 은닉을 위한 후보 MV

Fig. 1. Candidate MVs of an error concealment for the damaged MB in BMVT and BMVT/RC.

얻어진 후보 MV를 포함하여 이웃한 MB의 후보 MV들로부터 최적의 MV를 side match distortion (SMD)를 이용하여 예측하고 예측된 MV를 이용하여 손실된 MB를 복원한다^[9-12].

1. BMVT에서 사용되는 후보 MV

일반적으로, 기존의 에러 은닉기술은 에러에 취약한 네트워크 환경에서 살아남은 가용한 MV만을 이용한다. 그림 1은 BMVT에서 사용되어지는 손실된 MB를 위한 MV 후보들을 보여주고 있다. 앞서 언급한바와 같이, 에러 환경에서는 군집성 패킷 손실이 발생할 수 있으며 프레임내의 여러 행의 연속적인 group of block (GOB)가 손실될 수 있다. 따라서, 손실된 GOB의 첫 번째 MB는 바로 윗 방향 MB의 MV (MVT)와 왼쪽 방향 MB의 MV (MVL)을 이용하여 움직임 보상 될 수 있다. 반면에 손실된 GOB내의 마지막 MB는 바로 아래 방향 MB의 MV (MVB)과 오른쪽 방향 MB의 MV (MVR)을 이용할 수 있다. 그러나 손실된 GOB 그룹내에서 대부분의 MB는 이웃한 MB가 군집성 패킷 손실에 의해서 대부분 손실되었기 때문에 MVT, MVL, MVB, MVR 과 같은 후보 MV를 찾을 수가 없다. 이러한 경우 zero MV (MVZ)와 이전 프레임에서 손실된 MB와 같은 위치에 있는 MB의 MV (MVP)가 가용하다. 이를 확장하여 후보 MV끼리의 평균값 (MVAVE) 또는 중간값 (MVMED)를 새롭게 찾아낸 다음 새로운 후보 MV로도 사용할 수 있다. 따라서, BMVT에서 사용할 수 있는 MV 후보는 MVT, MVB, MVL, MVR, MVZ, MVP, MVAVE, MVMED, 그리고 MVC 이다. 이때, MVC는 FMT와 BMT를 이용하는 BMVT에서 새롭게 찾아낸 MV를 의미한다. 그림 2의 (a)는 MVT와 MVL를 사용할 경우 SMD를 위해서 사용되는 화소 위치를 보이며, (b)는 MVB와 MVR을 사용할 경우 SMD를 위한 화소 위치를 보이고 있다.

2. Forward motion tracking (FMT)

FMT 기술은 순방향 움직임 보상을 통해 손실된 MB(MB_e)의 움직임을 추정한다. 이러한 순방향 움직임 추적 방식은 이전 프레임이 손실되지 않았을 때 적용할 수 있는 전제조건이 필요하다. FMT 방식은 움직임 블록의 선형 궤적 추적 방식을 이용하여 F_n 의 MB_e 영역과 F_{n-1} 의 동일 위치로부터 움직임 보상을 통해 만들어지는 MB 영역을 서로 겹치게 하고 그 정도

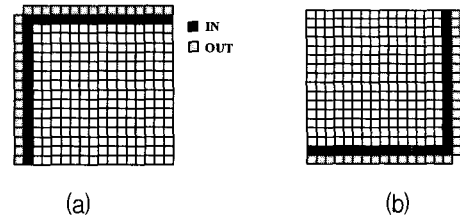


그림 2. SMD 절차를 위한 MB의 매칭 영역 (a) MVT와 MVL을 위한 매칭 영역, (b) MVB와 MVR을 위한 매칭 영역

Fig. 2. MB matching area for SMD calculation (a) matching area for MVT and MVL, (b) matching area for MVB and MVR.

를 계산함으로써 손실된 MV를 예측한다. 그림 3의 (a)는 FMT 방식의 MV 예측 과정을 보이고 있다. 먼저 F_n 이 패킷 손실에 의해서 손상된 MB들로 구성될 때 F_{n-1} 은 손상되지 않았다고 가정한다.

첫 번째 과정에서 F_{n-1} 의 MB이 갖는 MV들을 이용하여 MB를 F_n 프레임에 투영한다. 이렇게 겹치는 영역이 MB내에서 차지하는 정도를 비교할 수 있으므로, 겹치는 영역의 가중치 평균을 사용하여 MV를 다음과 같이 예측한다.

$$MV_F^n = \frac{\sum_{i=1}^M [\alpha_i \cdot MV_i^{n-1}]}{\sum_{i=1}^M \alpha_i} \quad (1)$$

이때의 M 은 비디오 인코더에서 움직임 추정을 위해 사용되는 검색 영역의 크기에 따라 결정된다. 일반적으로 사용하는 16×16 검색 영역에서는 $M=9$ 이다. 그리고 MV_i^{n-1} 는 F_{n-1} 프레임의 i 번째 MB의 MV를 의미하며, α_i 는 F_n 의 MB_e 영역과 F_{n-1} 의 MB이 만드는 투영 영역의 화소 수를 나타낸다. 단, MB_e 가 F_{n-1} 으로 투영되는 MB와 서로 겹치지 않거나 F_{n-1} 가 인트라 코딩된 경우, $MV_F^n=0$ 이 된다.

두 번째 과정에서는 FMT로부터 구한 MV_F^n 를 후보 MV에 포함되며, 후보 MV들로부터 SMD를 이용하여 최소 화소 변화값을 보이는 MV를 찾아내어 손상된 MB_e 를 복원된다. 이렇게 인접한 2 개의 프레임은 서로간 시간적 상관성을 갖고 있기 마련이므로, 움직임의 선형성이 있다고 가정할 수 있다. FMT는 이러한 움직임 선형성이 순방향일 경우 효율적으로 이용할 수 있다.

3. Backward motion tracking (BMT)

FMT 방식이 순방향에서의 선형 움직임 특성을 사용하는 반면, BMT 방식은 역방향에서의 선형 움직임 특성을 이용한다. 이때 MB_e 을 갖는 F_n 의 다음 프레임인 F_{n+1} 은 손상되지 않았음을 전제로 한다. 그림 3의 (b)에서 보는바와 같이 BMT에서도 FMT에서와 같이 F_{n+1} 프레임의 MB를 F_n 의 MB_e 영역에 투영한다. 이렇게 역방향으로 투영된 MB 영역과 MB_e 의 겹치는 영역을 가중치 평균함으로써 MV를 예측할 수 있다. MB_e 의 MV 예측은 다음과 같이 설명할 수 있다.

$$MV_B^n = \frac{\sum_{i=1}^M [\alpha_i \cdot MV_i^{n+1}]}{\sum_{i=1}^M \alpha_i} \quad (2)$$

이때의 MV_i^{n+1} 는 F_{n+1} 프레임의 i 번째 MB의 MV를 의미하며, α_i 는 F_n 의 MB_e 영역과 F_{n+1} 의 MB이 만드는 투영 영역의 화소 수를 나타낸다. MV_B^n 도 후보 MV가 될 수 있으며, SMD 계산에서 MB_e 의 최종 MV가 될 수 있다. 이러한 역방향의 선형 움직임 성질을 이용하는 FMT는 역방향 움직임 선형성이 클수록 MB_e 의

최종 MV로 선택되어질 확률이 커지게 된다.

4. Bidirectional motion vector tracking (BMVT)

FMT와 BMT에 의해서 선택되어진 MV_F^n 와 MV_B^n 는 비디오 영상에서 움직임 객체의 선형성의 정도에 따라서 서로 다른 결과를 갖게 될 수 있다. 만일 F_{n-1} 과 F_{n+1} 의 2개의 프레임이 손상되지 않았다고 가정한다면, BMVT 방식은 MV 선택시 에러 최소화하기 위해 식 (3)과 같이 MV_F^n 와 MV_B^n 를 평균화함으로써 최종 MV_{BI}^n 를 구한다.

$$MV_{BI}^n = Average [MV_F^n, MV_B^n] \quad (3)$$

III. 제안하는 bidirectional motion vector tracking with redundancy coding (BMVT/RC) 에러 은닉

제안하는 BMVT/RC 기술은 BMVT 에러 은닉 기술이 갖는 군집성 패킷 손실에 강한 성질을 그대로 유지 하면서 손상된 프레임의 복원 성질을 더욱 향상시켰다. 그림 4는 BMVT/RC가 갖는 MV 예측 과정을 보이고 있다. 즉, 인코더에서 현재 프레임내 MB의 예측 MV인

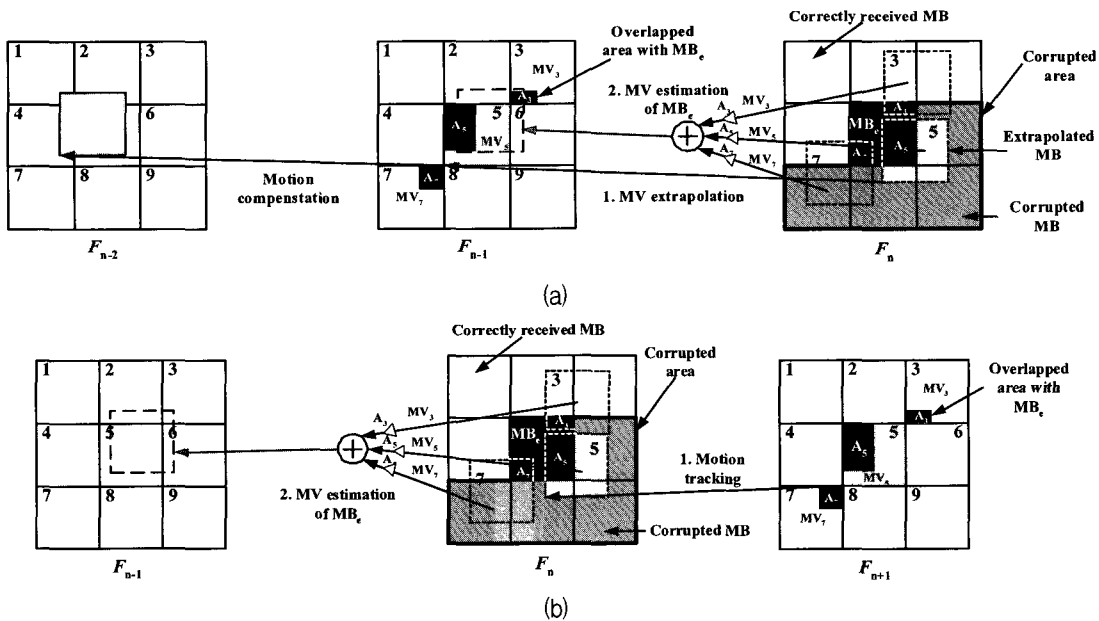


그림 3. 손상된 MB의 MV 예측 기법

(a) forward motion tracking (FMT), (b) backward motion tracking (BMT)

Fig. 3. MV estimation method for the damaged MB.

(a) forward motion tracking (FMT), (b) backward motion tracking (BMT)

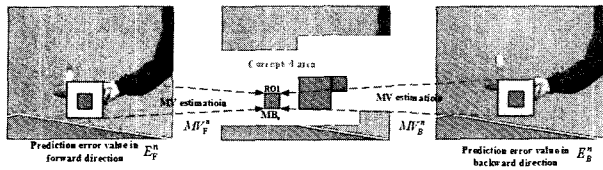


그림 4. BMV와 MV 예측 오차값들을 이용한 BMV/RC 에러 은닉 기법
 Fig. 4. BMV/RC error concealment method using BMV and its prediction error values.

MV_F^n 와 MV_B^n 와 실제 MV인 MV^n 사이의 차이값인 MV 예측 오차값 E_F^n 와 E_B^n 을 가변장 부호화 기법 (variable length coding)을 사용하여 인코딩한다. 즉, 이때의 예측 오차값은 $E_F^n = MV^n - MV_F^n$, $E_B^n = MV^n - MV_B^n$ 으로 쓸 수 있다.

이러한 MV 예측 오차값 E_F^n 와 E_B^n 는 현재 프레임 F_n 으로부터 FD 크기 만큼 떨어져 있는 2개의 프레임 F_{n-FD} 와 F_{n+FD} 에 각각 추가하여 전송한다. 그림 5의 (b)는 FD 가 2의 크기를 갖는 경우에 E_F^n 와 E_B^n 가 F_{n-2} 와 F_{n+2} 에 추가 및 배열되는 과정을 보이고 있다. 이러한 과정을 통해 MV 예측 오차값 E_F^n 은 FMT 기술을 사용하는 디코더에 전달되고, 손실된 MB의 MV인 MV^n 를 예측할 수 있다. E_B^n 의 경우도 BMT 기술을 사용하는 디코더에서 MV^n 의 예측이 가능하다. 만일 F_{n+FD} 가 전송도중 손상되어 E_B^n 가 손실되었다 하더라도 E_F^n 의 성공적인 수신은 MV^n 을 복원시킴으로써 MB_e 를 에러 은닉시킬 수 있다. E_B^n 의 경우도 마찬가지로 E_F^n 가 손실되었어도 MB_e 를 에러 은닉할 수 있다. 이러한 에러 은닉은 E_F^n 와 E_B^n 가 인접 프레임에 추가됨으로써 만족되므로, 비트 오버헤드가 추가되지 않고 그림 5의 (a)에서 보느냐와 같이 FD 크기의 프레임 메모리가 인코더와 디코더에 필요하게 된다. 표 1은 FD 의 크기에 따라 군집성 패킷 손실이 발생할 경우 복원할 수 있는 프레임의 수를 보이고 있다. 단, 표 1의 내용은 프레임 내의 모든 MB이 MV 예측 오차값 E_F^n 와 E_B^n 를 인접 프레임에 추가할 경우를 의미한다. 이러한 예측 오차 활용 방법에서 FD 는 무선 채널망에서 발생하는 군집성 패킷 손실 길이를 의미하며, FD 를 결정하기 위해 패킷 손실 환경을 비교적 잘 모델링할 수 있다고 알려진 2상태 마코프 체인 모델 (Markov chain model)을 사용함으로써 구현이 가능하다^[13]. 일반

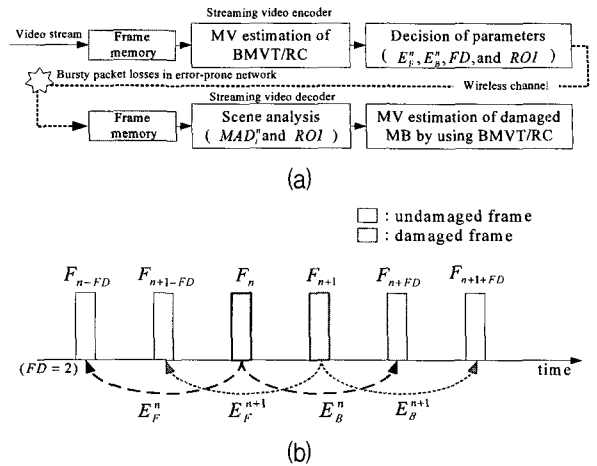


그림 5. BMV/RC 에러 은닉 기술의 설명 (a) 스트리밍 비디오 인코더와 BMV/RC 에러 은닉기능이 있는 디코더 구조 (b) $FD=2$ 인 경우의 E_F^n 와 E_B^n 의 배열

Fig. 5. Illustration of BMV/RC error concealment (a) streaming video encoder and decoder with BMV/RC (b) arrangement of E_F^n and E_B^n in the case of $FD=2$.

표 1. BMV/RC 가 사용되어질때 군집성 패킷 손실 상황에서 복원할 수 있는 프레임의 수
 Table 1. Number of recoverable frames in the bursty packet losses when BMV/RC is used.

FD	1	2	3	4
복원가능한 프레임의 수	2	4	6	8

적인 비디오 스트리밍 시스템은 RTP/RTCP/RTSP 프로토콜 기반에서 동작하기 때문에 RTCP 피드백 패킷을 통해 수신단에서 획득한 패킷 손실 정보를 전달받을 수 있다.

본 논문에서는 제안하는 BMV/RC에서 비트 오버헤드를 줄이기 위해 프레임내의 ROI 영역을 설정하고 ROI 영역내의 MB만이 예측 오류값을 추가 전달하도록 제어한다. 이때의 ROI 영역은 패킷 손실에 의해 MB이 손상될 경우 다음 영상 프레임이나 인접 MB 에게 에러 전파 현상이 큰 MB들로 구성된다. 따라서 ROI 영역내의 MB들은 다른 MB들에 비해서 보호 우선 순위가 높아야하고 E_F^n 와 E_B^n 의 추가 전달로 보호받게 된다. 본 논문에서는 ROI 영역 결정을 위해서 현재 프레임과 이전 프레임의 같은 MB 위치에 존재하는 MB의 화소 차이 정도를 나타내는 측정 방법중 mean of absolute difference (MAD)를 이용한다. 즉, 각각의 MB마다 MAD를 얻은후 경계치 MAD_{th}를 기준으로

표 2. MV 예측 기법의 선택방식

Table 2. Selection of MV estimation method.

F_{n-FD}	F_{n+FD}	$MB_e \in ROI$	$MB_e \notin ROI$
		BMVT/RC	BMVT
G	G	$MV = E_F^n + MV_F^n$ or $E_B^n + MV_B^n$	MV_{BI}^n
B	G	$MV = E_B^n + MV_B^n$	MV_B^n
G	B	$MV = E_F^n + MV_F^n$	MV_F^n
B	B	simple temporal replacement or spatial error concealment methods	

하여 MAD_{th} 보다 큰 MAD를 갖는 MB들을 ROI로 선정한다.

ROI 영역 설정과 RTCP 기반의 채널 적응형 MV 예측 오차값의 전송 방법을 사용하는 BMVT/RC는 표 2에서 보는바와 같이 인접 프레임의 손실 유무에 따라 MV 예측 기법을 선택적으로 사용할 수 있다. 먼저 손실된 MB이 ROI 영역내에 존재하는지의 여부에 따라 BMVT/RC 또는 BMVT가 선택된다. 즉, ROI 외에 존재하는 MB은 MV 예측 오차값이 존재하지 않기 때문에 기존의 BMVT 방식을 활용한다. BMVT/RC의 경우를 예를 들면 F_{n-FD} 와 F_n 가 손상되고 F_{n+FD} 가 정상적으로 수신된 경우라면 BMVT/RC는 $MV = E_B^n + MV_B^n$ 을 통해 손실된 MV를 찾을 수 있어 영상 품질의 심각한 손상을 줄일 수 있다.

IV. 실험 결과 및 분석

본 논문에서 제안하는 에러 은닉기술은 2개의 테스트 시퀀스 “Foreman”과 “Tabletennis”에서 실험되었으며 기타 실험 환경은 다음과 같다. 이들은 모두 QCIF 크기이며, H.263+ (TMN8)에서 96Kbps의 비트율과 10 frame/s 으로 인코딩되었다^[14,15]. 군집성 패킷 손실 환경 설정을 위해서는 전송된 프레임중에서 5%만이 랜덤하게 선택되었으며, 이들은 모두 60%의 MB 손실율을 갖는다. 또한 제안하는 알고리즘의 성능 비교를 위해 기존의 MBMA과 BMVT 방식을 함께 실험하였다. MBMA 방식에서 사용한 후보 MV들은 MVT[B], MVL[R], MVZ, Avg(MVT[B], MVL[R], MVZ), Median(MVT[B], MVL[R], MVZ)의 5개 MV이며, BMVT와 BMVT/RC 방식에서 사용한 후보 MV들은 Avg(MVT[B], MVL[R], MVZ), Median(MVT[B], MVL[R], MVZ), MV_F^n , MV_B^n , MV_{BI}^n 의 5개의 MV

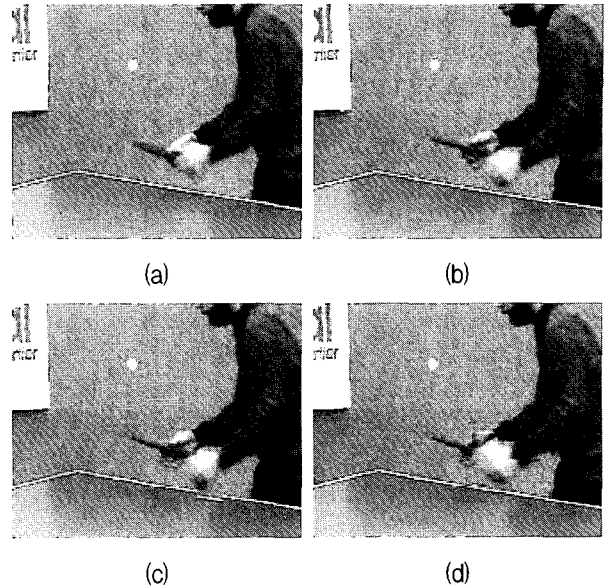


그림 6. “Tabletennis” QCIF 시퀀스의 46번째 손상된 프레임에서 사용된 서로 다른 에러 은닉 기술의 실험 결과 (a) 손상되지 않은 정상적인 영상 프레임, (b) MBMA에 의해서 복원된 영상 프레임, (c) BMVT에 의해서 복원된 영상 프레임, (d) BMVT/RC에 의해서 복원된 영상 프레임

Fig. 6. Experimental results of different concealment methods at the damaged frame 46 of “Tabletennis” QCIF sequences (a) original undamaged image frame, (b) image frame concealed by MBMA, (c) image frame concealed by BMVT, (d) image frame concealed by BMVT/RC.

이다. 만일 인접 프레임 손실의 경우 사용되는 FMT나 BMT 방식에서는 MV_{BI}^n 대신 MVT[B]를 MV_F^n 또는 MV_B^n 대신 MVL[R]가 사용되었다. 그림 6의 (a), (b), (c), 그리고 (d)는 손상되지 않은 정상적인 영상과 MBMA, BMVT, BMVT/RC로 손상된 영상을 각각 복원한 경우를 보이고 있다. 각 에러 은닉 기법에 의해 복원된 영상은 원영상과는 매우 큰 차이가 있다. 특히, MBMA에 의해서 복원된 영상 프레임 (b)의 경우 군집성 손실에 의해 전체적으로 열화된 영상 품질을 보이고 있음을 알 수 있다. 이러한 특성은 프레임에서 60% MB 손실에 의해 프레임의 손상 정도가 매우 심하기 때문에 나타나는 현상이며, “Tabletennis” 시퀀스 46번째 프레임내의 움직임 블록이 선형적이지 않기 때문에 PSNR에서 더 낮다하더라도 BMVT에서의 주관적 영상 품질 (subjective image quality)은 MBMA와 유사하게 나타나고 있다. 반면에 BMVT/RC에서는 ROI영역에서

표 3. "Tabletennis"와 "Foreman" 시퀀스에서 MAD_{th} 에 따른 비트 오버헤드와 PSNR 향상 정도

Table 3. Generated bit overhead and PSNR improvement according to the MAD_{th} of the "Tabletennis" and "Foreman" QCIF sequence.

MAD_{th}	10	30	50
Average bit overhead	19.2 %	4.8 %	1.2 %
Relative average PSNR improvement	0.2 dB >	0.6 dB >	•

표 4. 단독 프레임 손실의 경우 "Tabletennis" 시퀀스에서의 에러은닉 실험 결과

Table 4. Experimental results of the error concealment methods to recover a single damaged frame in the sequence "Tabletennis".

Methods		damaged frame number					Avg.
		9	10	41	46	58	
MBMA	PSNR	22.49	26.03	21.43	22.71	20.63	22.66
	CPU time	2.44	2.44	2.44	2.45	2.43	2.44
BMVT	PSNR	27.02	26.31	26.95	23.51	23.88	25.53
	CPU time	2.44	2.44	2.56	2.67	2.44	2.51
BMVT/RC	PSNR	27.12	26.97	27.40	25.09	24.09	26.14
	CPU time	2.56	2.67	2.67	2.67	2.56	2.62

의 MV 예측 에러값을 전송함으로써 손실 프레임의 왜곡을 BMVT보다 더욱 감소시키고 에러 전파 (error propagation) 현상을 줄일 수 있다. "Tabletennis" 시퀀스에서 단독 또는 연속 손실된 영상 프레임을 복원한 경우를 보이는 표 4, 5, 6에서도 MBMA에 의한 실험 결과가 가장 낮은 PSNR을 보이고 있다. 반면, BMVT/RC가 MBMA와 BMVT보다 더 나은 PSNR 결과를 보이고 있다. 이것은 BMVT/RC가 순방향 및 역방향으로의 움직임 블록의 선형성 특성을 이용하고 SMD 계산과정에서 공간적 매칭 정도를 이용하는 등의 시·공간적 상관관계 특성을 이용함으로써 BMVT 성질을 만족하고 있으며, 전송 영상의 매 MB 움직임 활성도에 따라 우선순위를 부여하는 redundancy coding 기법이 사용되기 때문이다.

본 실험에서는 표 3에서 보이는 바와 같이 MAD_{th} 별 발생하는 비트 오버헤드를 고려하여 30 크기의 MAD_{th} 를 사용하였다. 예를 들어 10 크기의 MAD_{th} 의 경우는 19.2%의 비트 오버헤드가 발생하게 되어 30 크기의 MAD_{th} 의 경우보다 14.4%의 비트 오버헤드는 증가하는 반면 PSNR 향상은 0.2 dB에 머물러 있다. 따

표 5. 2개 연속 프레임 손실의 경우 "Tabletennis" 시퀀스에서 에러 은닉 실험 결과

Table 5. Experimental results of the error concealment methods to recover two damaged frames in the sequence "Tabletennis".

Methods		damaged frame number					Avg.
		9,10	10,11	41,42	46,47	58,59	
MBMA	PSNR	22.01	24.14	21.03	21.65	19.10	21.59
	CPU time	2.44	2.56	2.44	2.44	2.44	2.47
BMVT	PSNR	25.54	23.97	21.95	22.08	21.26	22.96
	CPU time	2.56	2.56	2.44	2.56	2.67	2.56
BMVT/R C	PSNR	25.74	24.47	22.61	22.84	22.01	23.54
	CPU time	2.56	2.67	2.67	2.56	2.67	2.62

표 6. 3개 연속 프레임 손실의 경우 "Tabletennis" 시퀀스에서 에러 은닉 실험 결과

Table 6. Experimental results of the error concealment methods to recover three damaged frames in the sequence "Tabletennis".

Methods		damaged frame number					Avg.
		9~11	10~11	41~4	46~4	58~6	
		2	3	8	0		
MBMA	PSNR	21.55	23.95	20.89	21.61	18.78	21.59
	CPU time	2.44	2.56	2.44	2.44	2.44	2.47
BMVT	PSNR	24.01	24.03	21.62	21.83	20.76	22.45
	CPU time	2.44	2.56	2.56	2.44	2.56	2.51
BMVT/R C	PSNR	24.32	24.73	22.06	22.06	22.06	23.05
	CPU time	2.67	2.56	2.56	2.56	2.56	2.58

라서 MAD_{th} 의 적절한 선택은 에러 은닉 기능의 향상에 큰 역할을 하고 있음을 알 수 있다.

V. 결론

비디오 스트림이 패킷 에러 환경에서 전송될 경우, 압축 비디오 시퀀스는 군집성 패킷 손실에 의해 심하게 손상될 수 있다. 그러나 연속적으로 손실되는 프레임이나 MB에 적용할 수 있는 에러 은닉 기술 연구는 아직 충분하지 않은 상태이다. 본 논문에서는 채널 적응형 시·공간 에러 은닉 기술인 BMVT/RC가 군집성 패킷 손실에 의해 발생하는 영상 품질 저하현상을 줄이기 위해 소개되었다. 실험결과에서 보는바와 같이 BMVT/RC는 군집성 패킷 손실환경에서도 기존 알고리즘보다 높은 비디오 품질을 유지할 수 있음을 보였으며, 특히 ROI 크기를 결정하기 위한 MAD_{th} 와 MV 예측 오차값의 적당한 배열에 따라서 손상된 프레임의 영상 품질

은 더욱 향상될 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 제안하는 BMVT/RC는 낮은 계산량을 필요로 하는 스트리밍 클라이언트와 군집성 있는 에러 환경 조건이 필요할 경우 응용될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] J. Mcnair and F. Zhu, "Vertical handoffs in fourth-generation multinet network environments," *IEEE Wireless Communications*, vol. 11, no. 3, pp. 8-15, 2004.
- [2] J. Zhang, J. F. Arnold, and M. R. Frater, "A cell-loss concealment technique for MPEG-2 coded video," *IEEE Trans. Circuits and Syst. Video Technol.*, vol. 10, no. 4, pp. 659-665, Jun. 2000.
- [3] Y. Wang and Q. F. Zhu, "Error control and concealment for video communication: a review," in *Proc. IEEE*, vol. 86, pp. 974-997, May. 1998.
- [4] S. Aign and K. Fazel, "Temporal and spatial error concealment techniques for hierarchical MPEG-2 video codec," in *Proc. GLOBECOM*, pp. 1078-1083, 2000.
- [5] Y. Wang, Q. F. Zhu, and L. Shaw, "Maximally smooth image recovery in transform coding," *IEEE Trans. Communications*, vol. 41, no. 10, pp. 1544-1551, Oct. 1993.
- [6] H. Sun and W. Kwok, "Concealment of damaged block transform coded images using projections onto convex sets," *IEEE Trans. Image processing*, vol. 4, pp. 470-477, Apr. 1995.
- [7] S. Tsekeridou and I. Pitas, "MPEG-2 error concealment based on block matching principles," *IEEE Trans. Circuits and Syst. Video Technology*, vol. 10, no. 4, pp. 646-658, Jun. 2000.
- [8] W. M. Lam, A. R. Reibman, and B. Liu, "Recovery of lost or erroneously received motion vectors," in *Proc. ICASSP'93*, pp. V417-V420, Apr. 1993.
- [9] J. Feng, K. T. Lo, H. Mehrpour, and A. E. Karbowiak, "Cell loss concealment method for MPEG video in ATM networks," in *Proc. IEEE Global Telecommunications Conference*, vol. 3, pp. 1925-1929, Nov. 1995.
- [10] S. Valente, C. Dufour, F. Groliere, and D. Snook, "An efficient error concealment implementation for MPEG-4 video streams," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol. 47, no. 3, pp. 568-578, Aug. 2001.
- [11] A. Vetro, H. Sun, Y. Chen, and S. Kung, "True Motion Vectors for Robust Video Transmission," in *Proc. of SPIE Visual Communications and Image Processing*, pp. 230-240, Jan. 1999.
- [12] J. -Y. Pyun, J. -S. Lee, J. -W. Jeong, J. -H. Jeong, and S. -J. Ko, "Robust Error Concealment for Visual Communications in Burst-Packet-Loss Networks," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 49, no. 4, pp. 1013-1019, 2003.
- [13] D. Wu, Y.T. Hou, B. Li, W. Zhu, Y.Q. Zhang, H.J. Chao, and H.J. Chao, "An End-to-end approach for optimal mode selection in Internet video communication: Theory and application," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 18, pp. 977-995, Jun. 2000.
- [14] ITU-T/SG-15 Video Coding Experts Group, Video codec test model, TMN8, 1997.
- [15] J. Ribas-Corbera and S. Lei, "Rate control in DCT video coding for low-delay communications," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 9, no. 1, pp. 172-185, Feb. 1999.

저 자 소 개



변재영(평생회원)

1997년 조선대학교 전자공학과
학사 졸업

1999년 전남대학교 전자공학과
석사 졸업

2003년 고려대학교 전자공학과
박사 졸업

2003년~2004년 (주) 삼성전자 단말사업부
선임연구원

2006년~현재 조선대학교 정보통신공학부
교수

<주관심분야 : Mobile QoS, IP QoS, Video communication, Video compression, Wireless communication, Sensor network>