DBpia

다중 레프런스 프레임 기반의 에러에 강인한 동영상 부호화 기법

준회원 정 한 승*, 종신회원 김 인 철**, 이 상 욱***

Multiple Reference Frame based Error-Resilient Video Coding

Han Seung Jung* *Associate Member*, Rin-Chul Kim**, Sang-Uk Lee*** *Life Members*

요 약

움직임 보상-이산 코사인 변환 (motion compensation-discrete cosine transform : MC-DCT) 기반의 동영상 부호화 기법이 부호화 효율성 및 구현의 단순성으로 인해 널리 사용되고 있으나, 에러 환경에서 구조적으로 취약한 면이 있다. 본 논문에서는 다중 메모리 움직임 보상 예측 (long-term memory motion compensated prediction : LTMP)[1] 기반의 다중 레프런스 프레임을 사용하여 에러에 강인한 동영상 부호화 기법을 제안한다. 또한 제안하는 알고리듬에 기반한 에러 은닉 기법 (error concealment : EC)을 구현한다. 즉, R-D (rate-distortion) 최적화에 프레임간 움직임 벡터 (temporal motion vectors)의 확산 인자를 추가하여 에러에 대한 강인성 및 에러 은닉 기법의 효율성을 증가시켰다. 또한, 제안하는 알고리듬은 시간축상의 에러 전파를 피드백 정보 (negative acknowledgement : NAK)를 사용하여 억제한다. 즉, NAK는 채널 에러에 의해 손실된 영역과 에러가 전파된 영역을 추적하여 움직임 보상 영역에서 제외되도록 하는데 이용된다. 따라서, 제안하는 알고리듬은 PSNR 측면에서 FIU (forced intra update)에 근사하는 성능을 보이나, FIU와는 달리 비트율의 증가를 피할 수 있어 제한된 대역폭의 네트워을 효율적으로 사용할 수 있다. 컴퓨터 모의 실험을 통해 제안하는 알고리듬이 기존의 H.263 및 LTMP 기반의 부호기에 비해 에러 환경에서 주관적 및 객관적 화질 측면에서 성능이 우수함을 보인다.

ABSTRACT

The MC-DCT based video coding has been generally used for its efficiency and easy implementation, but it is very vulnerable to error-prone environments. In this paper, we address an error-resilient video coding using multiple reference frame, based on the long-term memory motion compensated prediction (LTMP)[1], and an error concealment technique associated with the proposed technique. The rate-distortion optimization of LTMP is modified, by adding dispersion measure of the temporal motion vectors, in order to provide the error-resiliency and more effective error concealment ability. Also, the proposed algorithm confines the temporal error propagation using negative acknowledgement (NAK) in feedback channel, in which both the corrupted area, due to channel errors, and the propagated area are estimated and these areas are removed from the search region for the motion compensation. Thus, the proposed algorithm yields the comparable performance to the forced intra update (FIU) in terms of the PSNR, but avoids the abrupt increase in the bitrate, resulting in more efficient network utilization than the FIU. By the computer simulations, we shall demonstrate that the proposed technique provides an acceptable performance both subjectively and objectively in error-prone environments, as compared with H.263 and LTMP, with or without the feedback messages.

* 서울대학교 전기컴퓨터공학부 뉴미디어통신공동연구소 영상처리실험실 (jhs@ipl.snu..ac.kr),
** 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 (rin@uoscc.uos.ac.kr),
*** 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (sanguk@sting.snu.ac.kr)

논문번호 : 010078-0426, 접수일자 : 2001년 4월 26일

www.dbpia.co.kr

Ⅰ. 서 론

멀티미디어 데이터의 디지털 전송 및 저장의 필요성 증대와 더불어 최근 20년간 동영상 부호화 기법은 상당한 관심의 대상이 되어왔다. 결과적으로 이는 디지털 TV 방송, 영상 회의, 멀티미디어 데이터 베이스 서비스 등 많은 응용 분야의 발전에 기여하게 되었다. 특히, 이러한 응용 분야는 최근 H.26x, MPEG-1/2/4[2-6] 등 동영상 부호기의 표준화에 의해 더욱 발전을 하게 되었다. 표준 동영상 부호기의 대부분은 움직임 보상과 이산 코사인 변환의 결합된 기법에 기반하고 있다. 이러한 기법은 동영상의 시간 공간상의 상관도를 이용하여 높은 압축 효율을 얻게 된다. 한편, 부호화 효율을 더욱 향상시키기 위해 R-D 최적화 기법[7] 이 동영상 부호화 기법에 적용되었다. 이러한 R-D의 성능은 손실 압축 시스템에서 기본적인 일종의 트레이드-오프 (trade-offs)이며, 특정 소스에 대해 R-D 측면에서 최적의 파라미터를 찾는 기법들이 연구되어 왔다[7].

다중 메모리 움직임 보상 예측 (LTMP)[1] 또한 이러한 R-D 문제라고 생각할 수 있다. 각 블록은 프레임간 (inter), 프레임내 (intra), 혹은 양방향 (bidirectional) 모드로 부호화 되며, inter 모드는 이전 프레임(레프런스 프레임)에서 부호화할 블록과 가장 유사한 블록을 찾아 부호화하는 기본적인 움직임 보상 기법이다. LTMP는 움직임 보상 모드를 일반화하여 확장된 형태이다. LTMP에서는 N 개의 이전 프레임을 레프런스 프레임으로 움직임 보상을 수행하여 최적의 움직임 벡터를 찾는 기법이다. 따라서, N 개의 프레임 버퍼가 부호기와 복호기에 필요하며, 움직임 벡터 (d_x, d_y, d_t) 또한 공간축 움직임 인자 (d_x, d_y) 와 더불어 시간축 움직임 인자 d_t 도 포함한다. 일반적으로, 높은 압축율로 부호화된 동영상은 비트 에러에 아주 약하다. 특히, MC-DCT 기반의 동영상 부호화 기법은 가변장 부호 (variable length code : VLC) 및 움직임 보상에 의해 공간, 시간축 상으로 에러의 전파가 발생하게 된다. 움직임 보상에 의한 시간축 상의 에러 전파가 에러환경에서의 동영상 화질을 결정짓는 중요한 요소이다. 이러한 단점을 극복하기 위해 많은 연구가 진행되어 왔다[8~12].

본 논문에서는 LTMP 및 NAK에 기반한 에러에 강인한 동영상 부호화 기법을 제안한다. 제안하는 알고리듬의 구조가 시간, 공간 요소를 포함하는 움직임 벡터를 제외하고 H.263+의 비트열 구조와 호환 가능하므로, H.263+를 기반으로 구현한다. 제안하는 알고리듬에서 NAK에 의해 움직임 보상 영역을 재 할당하여 에러의 전파가 억제되므로 FIU와 동등한 성능을 얻을 수 있으며, FIU와는 달리 비트율 증대가 없으므로 제한된 네트워 자원의 효율적인 사용을 기대할 수 있다. NAK 전송 기간 (round-trip period) 동안 에러 전파에 의한 영향을 억제하기 위해서는 이상적인 경우 움직임 벡터의 시간 요소 d_t 가 전송 기간보다 더 길어야 하나, 이는 부호기 효율을 감소시키게 된다. EC 기법의 효율이 에러가 없는 근접한 주변 블록의 증가에 따라 향상되므로, 움직임 벡터의 d_t 성분이 이웃하는 매크로 블록 (macroblock) 간에 서로 다르면 에러의 전파가 시간축상으로 흩어져서 성능 향상을 기대할 수 있다. 이를 위해 라그랑즈 비용함수 (Lagrangian cost)를 적용하여 부호기 효율 및 에러 강인성을 향상시킬 수 있다. 먼저, Budagavi와 Gibson[13]이 제안한 랜덤 래그 (random lag : RL) 선택 기법에 대해 살펴보면, $d_t=1$ 을 선택하는 확율 p 를 감소시키기 위해 d_t를 임의로 선택하게 된다. 결과적으로 에러 전파가 $1/(2-p)$로 감소하게 되나, 시간축 상에 움직임 벡터를 확산시킴으로서 EC 성능 향상에 대한 고려는 없었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 절에서는 LTMP와 H.263+의 레프런스 선택 (reference picture selection) 모드에 대해 기술한다. III 절에서는 제안하는 부호화 알고리듬을 기술하고, 에러에 대한 강인성을 향상시키기 위해 수정된 R-D 비용함수에 대해 설명한다. 또한, 손실된 블록의 효율적으로 복원하는 간단한 EC 기법을 기술하고, IV 절에서 컴퓨터 모의 실험을 통해 제안하는 알고리듬의 성능을 평가한다. V 절에서는 본 논문의 결론을 제시한다.

Ⅱ. 다중 레프런스 프레임을 이용한 동영상 부호화

1. 다중 메모리 움직임 예측

기존의 MC-DCT 기반의 동영상 부호기에서는 하나의 레프런스 프레임을 사용한 움직임 보상을 하였으나, 최근 다중 레프런스 프레임을 사용하여 진보된 움직임 보상 기법으로 성능 향상을 얻고 있다. 이러한 기법은 많은 메모리와 계산의 복잡함에도 불구하고 지속적으로 연구되고 있다[1,14,15]. 그림 1은

www.dbpia.co.kr

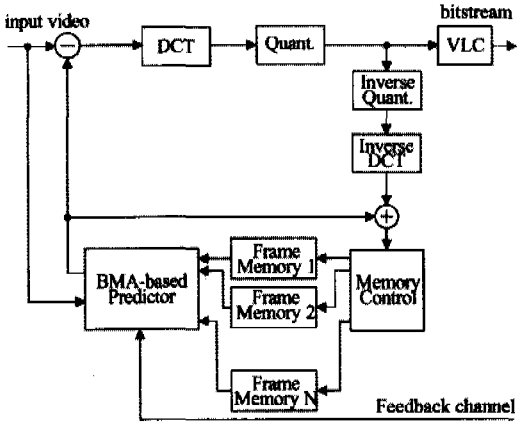


그림 1. 다중 레프런즈 프레임 기반의 동영상 부호화 구조

LTMP 를 적용한 부호기의 예이다. N 개의 레프런스 프레임을 사용하므로 이를 저장하기 위해 N 개의 프레임 버퍼를 가지게 된다. 블록 정합 기법 (block matching algorithm : BMA)이 N 개의 레프런스 프레임 각각에 대해 수행되어 최적의 움직임 벡터를 찾게 된다. 따라서, 레프런스 프레임 번호에 해당하는 시간 요소 d_t가 움직임 벡터에 부가적으로 추가되어 다소 비트율 증가를 초래하게되며, 기존의 BMA에 비해 N 배의 계산 복잡도를 가지게 된다. 반면 움직임 보상 측면에서 보다 효율적인 결과를 얻게 되는 것이다. 따라서, 정합 측면에서 적절한 성능을 얻으면서 비트율을 효율적으로 조절하기 위해 라그랑즈 비용 (Lagrange cost)을 다음과 같이 적용할 수 있다.

$$J(\boldsymbol{d}) = D(\boldsymbol{d}) + \lambda_{\text{MOTION}} R(\boldsymbol{d} - \boldsymbol{p}) \quad (1)$$

여기서 $D(\boldsymbol{d})$는 왜곡 정도를 나타내며, 절대값 차의 합계이다. $R(\boldsymbol{d} - \boldsymbol{p})$는 현재 블록의 움직임 벡터 $\boldsymbol{d}$와 움직임 벡터의 예측치 $\boldsymbol{p}$를 뺀 벡터 차에 대한 비트율을 의미하며, λ_{MOTION}를 제어함으로써 비트율과 왜곡 정도에 대해 적절한 값을 얻을 수 있다. 즉, λ_{MOTION}는 식 (1)에서 최저 라그랑즈 비용을 얻기 위한 (R, D) 상의 유효 R-D 커브의 기울기이다.

LTMP의 사용 예는 H.263+[4] 'Annex N'의 레프런스 선택 (reference picture selection : RPS) 모드와 유사하다. RPS 모드는 부호화 효율 증대를 위한 것 보다 시간축상의 에러 전파를 억제하기 위해 구현되었으나, LTMP 는 이러한 다중 레프런스 프레임의 사용이 R-D 최적화 알고리듬을 통해 부호화 이득을 얻을 수 있음을 보여주는 것이다.

2. LTMP의 에러에 대한 강인성

동영상 데이터는 가변장 부호로 부호화되므로 비트 에러에 대해 복호시 전체 비트열의 오류를 초래하게 된다. 이러한 현상을 피하기 위해 대부분의 동영상 부호기는 비트열에 주기적으로 동기 신호 (synchronization code)를 삽입하게 된다. H.263+에서도 GOB (group of blocks)가 정의되어 각 GOB 데이터에 동기 신호가 부여되고, 따라서 비트 에러의 영향을 GOB 단위로 제한하게 된다. 손실된 GOB 는 적절한 EC 기법으로 복원될 수 있으나 완벽하지 못하므로 에러의 영향이 움직임 보상 구조에 의해 다음 프레임으로 계속 전파된다. 이러한 시간축상의 에러 전파를 제한하기 위해 부호기는 주기적으로 intra 프레임 혹은 intra 블록 모드로 부호화하게 되나, 이는 결국 비트율 증가를 초래하고 주기 동안의 에러 전파를 효율적으로 대응할 수는 없다. 따라서, 이에 대한 대안으로서 다중 레프런스 프레임의 사용을 생각해 볼 수 있다.

예로, H.263+[4]의 RPS 모드는 'NEWPRED'라는 수정된 inter 프레임 예측을 허용하여 에러 전파를 방지한다. 즉, 마지막으로 복호된 에러에 의해 손실된 프레임을 레프런스 프레임으로 사용하지 않고, 그 이전의 프레임을 사용하도록 한다. 또한, 이러한 RPS 모드를 각각의 단위 (블록 혹은 블록들의 집합) 별로 적용할 수 있도록 허용한다. 레프런스 프레임의 정보는 프레임 혹은 단위 헤더에 'TR (temporal reference)'을 포함시켜 전송된다. RPS 모드는 피드백 채널의 유무와 상관없이 사용될 수 있다. 피드백 채널이 존재하면, NAK가 전송되어 복호기에서 손실된 프레임 혹은 단위를 추적하고, 복호기에서 손실되지 않은 유효한 프레임 혹은 단위를 레프런스로 선택하여 부호기에서 부호화한다. 이러한 과정을 통해 에러의 전파를 방지하여 강인성을 부여할 수 있다.

Ⅲ. 에러에 강인한 동영상 부호화 기법

본 절에서는 H.263+를 확장한 LTMP에 기반하여 제안한, 에러에 강인한 동영상 부호화 기법을 기술한다. H.263+에서는 부호기, 복호기에 메모리 버퍼를 두어 다중 레프런스 프레임의 사용이 허용된다[16]. 특히, Wiegand *et al.*[1]는 이러한 다중 메모리의 효율적인 사용을 통해 부호화 효율을 1~2 dB

www.dbpia.co.kr

향상시켰다. 즉, 식 (1)에 기반하여 최적의 움직임 벡터 $\boldsymbol{d}=(d_x, d_y, d_t)$를 찾는 기법을 제안했다. 이와 유사하게, 제안하는 알고리듬도 H.263+의 다중 레프런스 구조를[16] 수용하나, R-D 최적화에 부가적인 요소를 추가하여 에러 전파의 영향을 효과적으로 억제하고 EC 의 효율성을 향상시키게 된다.

1. 움직임 벡터의 예측

LTMP 기반의 부호화 알고리듬에서는 피드백 채널에서 NAK를 받을 때, 손실되지 않은 영역을 추적하여 움직임 보상에 사용하는 단순한 기법을 통해 에러 전파를 방지 할 수 있다. 비트율 측면에서는 FIU (forced intra update) 보다 효율적이나, 계산상의 복잡도 증가와 N 배의 메모리 사용 증가라는 단점을 감수하게 된다. 그러나, 이는 하드웨어의 발전으로 쉽게 극복 가능하여 기존의 움직임 보상 알고리듬을 대체할 수 있을 것으로 예상된다. 반면에, NAK 전송 기간 (round trip period)에는 에러에 의한 영향을 LTMP만으로 극복할 수 없다. 따라서, 적절한 EC가 요구되나 동영상의 시간, 공간상의 상관관계를 이용하는 EC 기법이 하나 이상의 GOB 손실 및 그 전파에 대해 만족할만한 성능을 보여주지 못한다. 따라서, 향상된 EC 성능을 얻기 위해 각 블록이 에러에 서로 영향을 받지 않는 주위의 블록을 갖도록 하는 새로운 요소를 라그랑즈 비용 함수에 추가할 수 있다. 에러에 대한 강인성 및 움직임 정보의 비트율을 제어하기 위해 다음과 같이 라그랑즈 비용 함수를 수정하게된다.

$$J(\boldsymbol{d}) = D(\boldsymbol{d}) + \lambda_{\text{MOTION}} R(\boldsymbol{d}-\boldsymbol{p}) + \lambda_{\text{ROBUST}} F(\boldsymbol{d}) \quad (2)$$

여기에서 $F(\boldsymbol{d})$는 이웃하는 매크로 블록 B 간의 시간축 움직임 벡터 요소의 확산 정도를 나타내는 척도이며 다음과 같다.

$$F(\boldsymbol{d}) = \sum_{i\in B} \left| \frac{1}{d_t - d_t^{(i)}} \right| \quad (3)$$

결과적으로, 제안하는 알고리듬은 NAK 전송 기간 (round trip period) 동안 부호화 효율을 유지하면서 에러 전파에 의한 화질 저하를 최소화할 수 있다. 제안하는 알고리듬은 움직임 벡터가 시간축상에 랜덤하게 분포시키는 RL 선택 기법[13] 과 유사하나, EC 성능을 향상시키는 방향으로 움직임 벡터를 분포시킨다는 점에서 차이점이 있다. 즉, RL 선택 기법이 $d_t=1$을 선택하는 확률을 감소시키는 것에 반하여, 제안하는 알고리듬은 $F(\boldsymbol{d})$를 추가하여 d_t를 이웃하는 블록과 서로 다르게 한다. 따라서, 손실된 혹은 에러가 전파된 블록이 그렇지 않은 블록과 서로 이웃하게 되므로 간단한 에러 복원 알고리듬도 제안하는 부호기 구조에서 효율적으로 손실된 영역을 복원할 수 있다. 본 논문에서, 제안하는 기법은 부호기 성능 향상을 위해, 비트율 제한적인 움직임 예측과 에러 강인성을 위해 움직임 벡터의 시간축 확산을 동시에 고려하게 된다. 움직임 벡터 (d_x, d_y, d_t)를 효율적으로 부호화하기 위해, H.263+와 마찬가지로 움직임 벡터 예측을 적용한다. 먼저, 3차원 움직임 벡터를 공간 움직임 벡터와 시간 움직임 벡터로 구분하고, 공간 움직임 벡터에 대해 중간값 예측을 적용하여 움직임 벡터의 오차를 H.263+ 코드북을 사용하여 부호화한다. 반면에 시간 움직임 벡터는 확산되는 분포를 고려하여 예측을 하지 않고 독립적으로 부호화한다.

2. 에러 은닉 기법

기존의 MC-DCT 기반의 동영상 부호기에서는, 레프런스 프레임의 손실은 intra 블록 혹은 intra 프레임에 의해 갱신될 때까지 다음 프레임의 지속적인 손실을 초래하게 된다. 또한, 피드백 채널하의 LTMP 에서도 여전히 에러 전파는 존재한다. 그러나 제안하는 알고리듬은 이웃하는 블록간에 서로 다른 시간 움직임 벡터를 갖도록 구조화되어 있으므로, 간단한 움직임 벡터 복원 알고리듬으로 손실된 블록을 복원할 수 있다. 더욱이 에러 전파에 의해 손실된 블록이 서로 인접해 있지 않으므로 동일한 방법으로 쉽게 복원 가능하다[19]. $B(p, q, k)$는 k-번째 프레임의 (p, q) 위치의 $N\times N$ 블록을, $B^{i,j}$는 블록의 (i, j) 픽셀을 각각 의미한다. 블록 $B(p, q, k)$가 손실되었다고 가정하면 손실된 블록은 D_{LEFT}, D_{RIGHT}, D_{UPPER}, D_{LOWER}의 합을 최소화하는 블록으로 대체될 수 있으며 다음과 같다.

$$(d_x, d_y, d_t) = \arg\min_{(d_x, d_y, d_t)\in M} \{D_{\text{LEFT}} + D_{\text{RIGHT}} + D_{\text{UPPER}} + D_{\text{LOWER}}\} \quad (4)$$

식 (4)에서 각각의 D는 손실된 블록과 인접하는 블록의 각 면에 해당하는 인접 픽셀간의 차의 합을 나타내며, M은 가능한 범위의 움직임 벡터의 집합이며, $M=\{(d_x,d_y,d_t) : -16.5\le d_x,\ d_y<16,\ 1\le d_t\le d_t^{MAX}\}$을 만족한다. 결과적으로, 손실된 블록

www.dbpia.co.kr

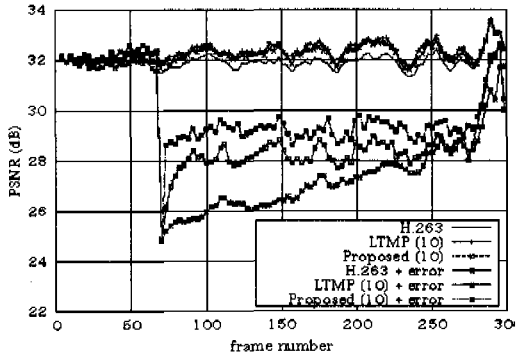


그림 2. "Foreman" 영상에서 두 개의 GOB 손실시 PSNR 성능

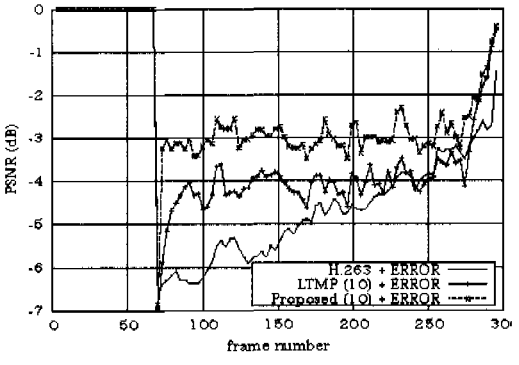


그림 3. "Foreman" 영상에서 두 개의 GOB 손실시 원영상과의 PSNR 차

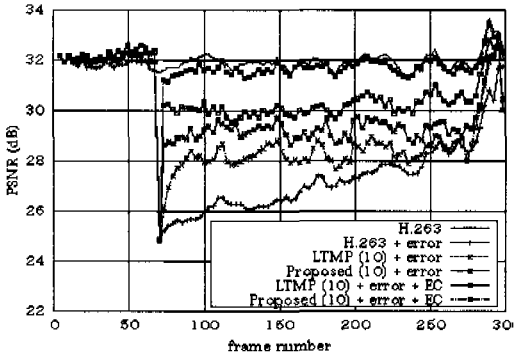


그림 4. "Foreman" 영상에서 두 개의 GOB 손실시 EC와 결합했을 때 PSNR 성능

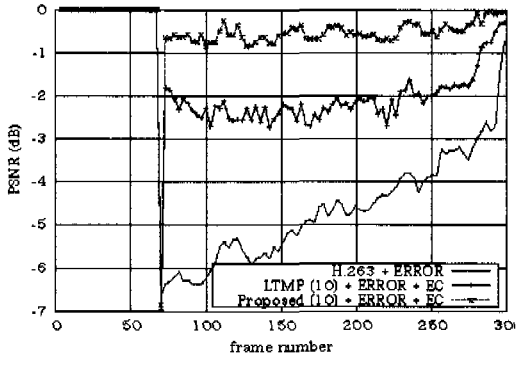


그림 5. "Foreman" 영상에서 두 개의 GOB 손실시 EC와 결합했을 때 원영상과의 PSNR 차

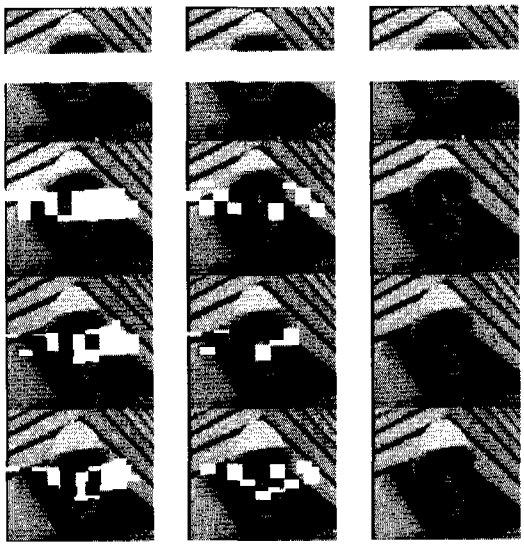
$B(p,q,k)$는 $B(p-d_x, q-d_y, k-d_t)$로 대체되어 복원된다.

Ⅳ. 모의 실험 결과 및 고찰

제안하는 알고리듬은 H.263+를 기반으로 구현하고 "Foreman" 및 "Carphone" 영상에 대해 성능 평가를 수행하였다. 실험 동영상은 프레임율 8.33fps, QCIF (176×144) 포맷을 사용하였다. H.263과 LTMP 와의 성능 비교를 했으며 비트율 제어는 하지 않았다. 평균 약 56kbps의 비트율을 유지하는 고정 양자기를 적용하고, 제안하는 알고리듬과 LTMP는 10 프레임의 프레임 버퍼를 사용하였다. 먼저, 에러가 발생한 상황에서 각 부호기의 성능을 보기 위해 "Foreman" 영상의 비트열에 인위적인 에러를 삽입했다. 즉, "Foreman" 70번째 프레임의 두개의 GOB를 손실 시켰다. 그림 2에서는 에러가 있을 때와 없을 때의 PSNR 결과를 볼 수 있다. 에러에 의한 영향을 쉽게 비교하여 알 수 있도록, 그림 3에서 에러가 발생한 경우와 그렇지 않은 경우의 PSNR 차를 보였다. 여기서, 각 부호기는 에러난 블록을 이전 프레임의 같은 위치의 블록으로 대체하는 간단한 EC를 적용했다. 에러가 없는 경우, LTMP와 제안하는 알고리듬이 기존의 H.263보다 향상된 PSNR 결과를 보이며, 에러가 발생한 경우, 다중 레프런스 프레임 사용의 장점이 보다 뚜렷이 부각된다. 그림 3에서 보듯이, 에러에 의한 화질 저하는 제안하는 알고리듬과 LTMP에 의해 뚜렷이 감소하였으며, PSNR 측면에서 제안하는 알고리듬은 LTMP에 비해 약 1~1.5 dB 성능 향상을 보이고 있다. 이는 움직임 벡터의 시간 요소를 확산하는 이득을 나타내는 것이다.

그림 4에서는 IV 절에서 기술한 EC 기법의 성능을 평가할 수 있다. NAK 없이 식 (4)의 EC 기법은 제안하는 알고리듬과 LTMP에 동시에 적용되었다. 그림에서 보듯이 EC는 제안하는 알고리듬과 LTMP 에서 에러 전파를 현저히 감소시키고 적절한 화질을 유지하도록 한다. 특히, 이웃하는 블록에

www.dbpia.co.kr



(a) (b) (c)

그림 6. 70번째 프레임에서 2개의 GOB 손실시 73, 76, 79 프레임 복호화 결과. (a) LTMP의 에러 전파 패턴, (b) 제안하는 알고리듬에서의 에러 전파 패턴, (c) EC 적용으로 복원한 영상. 각각 31.22 dB, 31.12 dB, 31.34 dB

대해서 움직임 벡터 시간 요소의 확산에 의해 제안하는 알고리듬 보다 향상된 성능을 보이고 있다. 그림 5는 EC 에 의한 성능 향상을 보여주고 있다. 즉, 동일한 EC 기법을 적용했을 때, LTMP의 경우 에러에 의해 2~2.5 dB 화질 저하가 발생하며, 제안하는 알고리듬은 LTMP에 비해 약 1.5 dB 이상 우수한 성능을 보인다. 제안하는 알고리듬에서 에러에 의한 화질 저하가 약 0.5 dB 정도이며, 결과적으로 이는 움직임 벡터의 시간 성분을 이웃 블록간에 다른 값을 갖도록 확산시키는 것이 EC의 성능 향상을 얻을 수 있음을 보여준다.

그림 6 (a)와 (b)는 LTMP와 제안한 알고리듬에서의 에러 전파의 패턴을 나타내고 있다. 즉, 그림 4의 결과를 EC 없이 에러의 패턴을 보여주고 있으며, 그림 6 (c)는 제안한 알고리듬에서 EC를 적용한 결과를 보여주고 있다. 70번째 프레임에서 두 개의 GOB가 손실될 경우 73 76, 79번째 프레임의 복호화한 결과이다. 제안하는 알고리듬에서는 각각 31.22 dB, 31.12 dB, 31.34 dB의 PSNR 결과를 보여준다.

그림 7은 NAK 정보가 유효할 때의 PSNR 성능을 보여주고 있다. 먼저, NAK에 의한 성능 향상을 확인하기 위해 EC를 적용하지 않았으며, NAK 전송 기간 (round trip period) 을 약 1 초로 가정하였다. 즉, 부호기가 7~8 프레임을 부호화한 후에

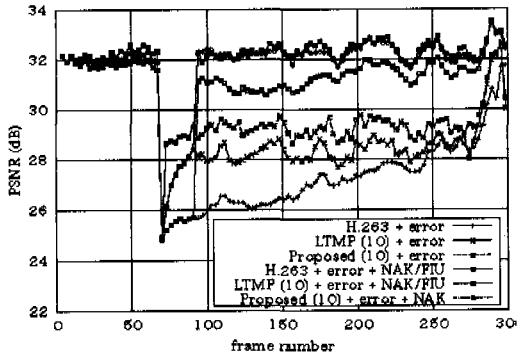


그림 7. "Foreman" 영상에서 두 개의 GOB 손실시 NAK와 결합했을 때 PSNR 성능

NAK 정보를 받도록 했다. 그림 7에서, 제안하는 알고리듬은 NAK 전송 기간동안 LTMP보다 우수한 성능을 보이고, NAK/FIU를 적용한 LTMP와 비견할만한 성능을 보인다. FIU의 경우 큰 네트워 부하를 요구하게 되며, 에러에 의해 영향을 받은 모든 영역을 intra 로 부호화 할 경우 많은 비트율 증가를 초래하게 되므로 Steinbach *et al.*[10]는 이를 극복하기 위해 에러 추적 기법을 제안했다. 즉, 에러에 의한 손실 정도가 큰 영역을 선별해서 intra 부호화를 하게 된다. 이 경우 FIU에도 불구하고 완벽한 복원을 할 수 없으면서 실험상에서 평균 비트율의 약 2배 정도의 비트율 증가를 초래한다. 제안하는 알고리듬에서는 RPS 모드와 동일하게 움직임 보상의 레프런스 영역을 재 설정하게 되므로 이러한 비트율 증가를 피할 수 있으며, 완벽한 복원이 가능하다.

마지막으로 실제 채널 환경에서 모의 실험을 하기 위해 MPEG-4 버스트 에러 모델 (*burst error model*)[17]을 적용하였다. 그림 8과 9는 "Foreman" 과 "Carphone" 영상에서의 PSNR 대 비트율 관계를 보여주고 있다. 여기에서는 IV 절의 EC를 적용하였으며, 위에서 언급한 바와 같이 NAK 정보로 완벽한 복원을 하게되어 에러 환경에서의 성능 비교가 어려우므로 NAK는 고려 대상에서 제외했다. 그림 8과 9에서, H.263은 나머지 두 부호기에 비해 낮은 성능을 보이며, 제안하는 알고리듬이 에러가 없는 환경에서 LTMP 보다 부호화 효율이 낮으나, 에러 환경에서 보다 우수한 성능을 보이고 있다. 일례로, 50kbps의 "Foreman" 영상에서 제안하는 알고리듬이 LTMP에 비해 약 0.5 dB 우수하다. 더구나, 비트율이 증가함에 따라 그 성능 향상 폭이 더욱 증가함을 볼 수 있다.

www.dbpia.co.kr

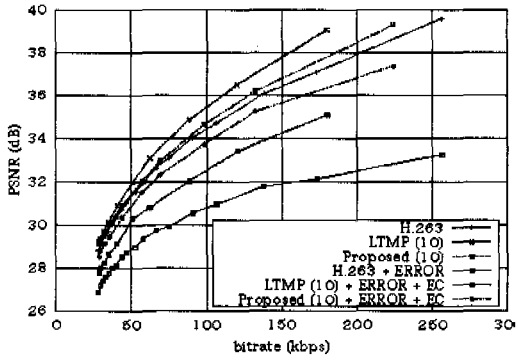


그림 8. MPEG-4 버스트 에러 모델에서 "Foreman" 영상의 각 비트율에 대한 PSNR 결과

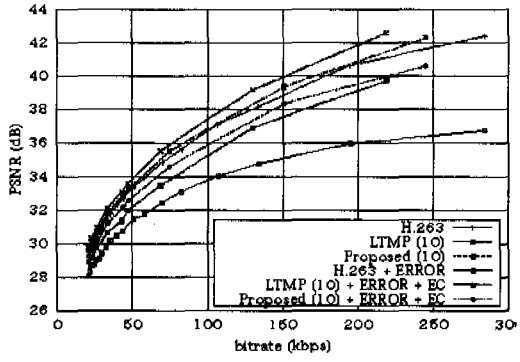


그림 9. MPEG-4 버스트 에러 모델에서 "Carphone" 영상의 각 비트율에 대한 PSNR 결과

실험 결과는 에러 환경에도 불구하고 제안하는 알고리듬이 좋은 화질을 유지함을 나타내고 있다. 이는 다중 레프런스 프레임의 효과적인 사용과 움직임 벡터 시간 요소의 확산이 에러 복원 및 에러 전파 억제에 효율적으로 작용하는데 기인한다. 즉, LTMP와 마찬가지로 제안하는 알고리듬은 다중 레프런스 프레임을 사용하여 성능 향상을 얻고 있는 것이다. 또한, Budagavi *et al.*[13]이 제안한 바과 같이, 움직임 벡터의 시간 요소의 확산이 식 (2)의 새로운 라그랑즈 비용 함수에 의해 더욱 효과적임을 알 수 있다. 결국 손실된 영역과 전파된 영역이 IV절에서 기술한 단순한 EC에 의해 쉽고 효과적으로 복원될 수 있는 것이다.

V. 결 론

본 논문에서는 LTMP와 NAK 기반의 에러에 강인한 동영상 부호화 기법을 제안했다. 제안하는 기법에서는 NAK에 의해 복호화시 손실된 정보를 부호기가 받아서 손실된 영역과 에러가 전파된 영역을 추적하여 움직임 보상 영역에서 제외하는 방법으로 효율적인 네트웍 사용 및 에러 전파를 제한하게 된다. 또한 NAK가 전송되어 추정된 에러 전파 영역이 갱신되는 동안에 에러 전파에 의한 화질 저하를 완화하기 위해, 움직임 벡터의 시간 요소를 시간, 공간축에서 확산시키는 인자를 라그랑즈 비용 함수에 추가하여 부호 효율 및 에러에 대한 강인성 측면에서 최적의 움직임 벡터를 찾게 된다. 이러한 제안된 구조를 바탕으로 효과적으로 에러를 복원하는 간단한 EC 기법을 도입했다. 컴퓨터 모의 실험을 통해 제안하는 알고리듬이 LTMP와 FIU가 결합된 구조와 동등한 성능을 보이는 반면, 네트웍을 더욱 효율적으로 사용하는 것을 알 수 있다.

참 고 문 헌

[1] Thomas Wiegand, Xiaozheng Zhang, and Bernd Girod, "Long-term memory motion-compensated prediction," *IEEE Trans. Cirscuits Syst. Video Technol.*, vol. 9, no. 1, pp. 70-84, Feb. 1999.

[2] ITU-T Recommendation H.261, Video codec for audiovisual services at p×64 kbit/s, Mar. 1993.

[3] ITU-T DRAFT H.263, *Video coding for low bitrate communication*, May 1996.

[4] ITU-T Recommendation H.263 Version 2(H. 263+), *Video coding for low bitrate communication*, Jan. 1998.

[5] ISO/IEC JTC1, "Coding of moving pictures and associated audio for digital storage at up to about 1.5 Mbit/s," *ISO/IEC 11172-2* (MPEG-1), Mar. 1993.

[6] MPEG-2 International standard, *video recommendation ITU-T H.262*, IOS/IEC 13818-2, Jan. 20, 1995.

[7] G. M. Schuster and A. K. Katsaggelos, "it Rate-distortion based video compression. Optimal video frame compression and object boundary encoding," *Kluwer Academic Publishers*, 1997.

[8] F. H. P. Spaan, R. L. Lagendijk, and J. Biemond, "Error robust video coding based on H.263," *Proc. of ICIP 1998*, vol. 3, pp.

www.dbpia.co.kr

472-476, Oct. 1998.

[9] Q.-F. Zhu, Y. Wang, and L. Shaw, "Coding and cell-loss recovery in DCT-based packet video," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 3, no. 3, June 1993.

[10] E. Steinbach, N. Farber, and B. Girod, "Standard compatible extension of H.263 for robust video transmission in mobile environments," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 7, no. 6, pp. 872-881, Dec. 1997.

[11] C.-S. Kim, R.-C. Kim, and S.-U. Lee, "Robust transmission of video over noisy channel using parity motion vector," *Proc. of ICIP 1997*. vol. 1, pp. 342-345, Oct. 1997.

[12] J.Y.Liao and J.D. Villasenor, "Adaptive intra update for video coding over noisy channel," *Proc. of ICIP 1996.*

[13] M. Budagavi and J.D. Gibson, "Error propagation in motion compensated video over wireless channels," *Proc. of ICIP 1997*, vol. 2, pp. 89-92, 1997.

[14] M. Flierl, T. Wiegand, and B. Girod, "A locally optimal design algorithm for block-based multi-hypothesis motion compensated prediction," *Proc. of Data Compression Conference 1998*, Snowbird, UT, USA, Mar. 1998.

[15] B. Girod, T. Wiegand, M. Flierl, and X. Zhang, "High-order motion compensation for low bit-rate video," *Proc. of EUSIPCO 1998*, vol. 1, pp. 253-256, Sept. 1998.

[16] Stephan Wenger, Gerd Knorr, Jorg Ott, and Faouzi Kossentini, "Error resilience support in H.263+," *IEEE Trans. Cirscuits Syst. Video Technol.*, vol. 8, no. 7, pp. 867-877, Nov. 1998.

[17] F.Pereira and T.Alpert, "MPEG-4 video subjective test procedures and results," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol.7, no.1, pp.32-51, Feb. 1997.

[18] M. Wada, "Selective recovery of video packet loss using error concealment," *IEEE J. Select. Areas Comm.*, vol. 7, no. 5, pp. 807-814, June 1989.

[19] M.-J. Chen, L.-G. Chen, and R.-M. Weng. "Error concealment of lost motion vectors with overlapped motion compensation," *IEEE Trans. Cirscuits Syst. Video Technol.*, vol. 7, pp. 560-563, June 1997.

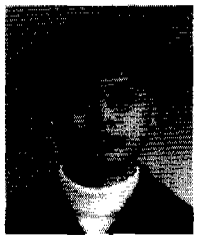
[20] W.-J. Chu and J.-J. Leou, "Detection and concealment of transmission errors in H.261 images," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 8, no. 1, pp. 74-84, Feb. 1998.

[21] C.-S. Kim, R.-C. Kim, and S.-U. Lee, "Robust transmission of video sequence using second-order motion compensation," submitted to *IEEE Trans. Cirscuits Syst. Video Technol.*

[22] S. B. Wicker, "Error control systems for digital communication and storage," *Prentice-Hall*, 1995.

[23] E. Ayanoglu, P. Pancha, A. Reibman, and S. Talwar, "Forward error control for MPEG-2 video transport in a wireless ATM LAN," *Proc. of ICIP 1996*, pp. 833-836, Sept. 1996.

정 한 승(Han Seung Jung) 준회원



1996년 2월 : 서울대학교 전기공학부 졸업
1998년 2월 : 서울대학교 전기공학부 석사
1998년 3월~현재 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사과정
<주관심 분야> 영상처리, 비디오 코딩 및 전송

김 인 철(Rin-Chul Kim) 종신회원
제 22권 제 7호 참조, 현재 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수

이 상 욱(Sang-Uk Lee) 종신회원
제 22권 제 7호 참조

www.dbpia.co.kr