

인터 프레임의 시공간적 정보를 이용한 MPEG-2 인트라 프레임의 오류 은닉

Error Concealment of MPEG-2 Intra Frames by Spatiotemporal Information of Inter Frames

강민정*, 류철*

MinJung Kang, Chul Ryu, Minjung Kang, Chul Ryu
cryu@dongguk.edu, minjong@dongguk.edu

Dept. of Information and Communications Eng.,
Dongguk University

Dept. of Information and Communications Eng.,
26, 3 Pil-dong, Chung-gu, Seoul 100-715, Korea
Tel. (82-2) 2260 - 3850 Fax.(82-2) 2285 - 3343

요약

MPEG-2 소스 부호화 알고리즘은 가변장 부호화를 사용하기 때문에 채널 오류에 매우 민감하다. 압축 데이터가 전송되는 동안 비트 오류가 발생하게 되고, 이 오류를 정정 기술로 보정할 수 없는 경우 디코더에서는 오류 은닉 방식을 사용함으로써 영상의 화질 저하를 최소화할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 I 프레임의 연속적인 매크로블록 오류를 은닉하기 위한 방식으로 I 프레임과 시간적으로 가장 가까이 위치한 이전 GOP의 B 프레임의 시간적 정보와 P 프레임의 공간적 정보를 이용한다. 이 방식은 기존의 오류 은닉 방식들이 갖는 시간적 오류에 의한 움직임 왜곡과 공간적 오류에 의한 번짐 현상을 개선할 수 있으며, 전송 오류가 매우 심한 망에서의 심각한 슬라이스 오류를 보다 효과적으로 은닉할 수 있다. 알고리즘은 MPEG-2 비디오 코덱에서 수행되었고 모의 실험을 통하여 다른 방식들에 비하여 I 프레임의 슬라이스 오류를 효율적으로 은닉할 수 있음을 증명한다.

Abstract

The MPEG-2 source coding algorithm is very sensitive to transmission errors due to using of variable-length coding. When the compressed data are transmitted, transmission errors are generated and error correction scheme is not able to be corrected well them. In the decoder error concealment (EC) techniques must be used to conceal errors and it is able to minimize degradation of video quality. The proposed algorithm is method to conceal successive macroblock errors of I-frame and utilize temporal information of B-frame and spatial information of P-frame in the previous GOP which is temporally the nearest location to I-frame. This method can improve motion distortion and blurring by temporal and spatial errors which cause at existing error concealment techniques. In network where the violent transmission errors occur, we can conceal more efficiently severe slice errors. This algorithm is performed in MPEG-2 video codec and prove that we can conceal efficiently slice errors of I-frame compared with other approaches by simulations.

Key words : Error Control, Error Concealment, Error Detection, MPEG-2

I. 서론

최근 멀티미디어 응용이 늘어남에 따라 통신망을 통하여 전송되는 멀티미디어 데이터들이 급격히 증가하고 있다. 멀티미디어 데이터 중 많은 부분을 차지하는 비디오 데이터는 넓은 대역폭을 필요로 한다. 그러나 실제 사용이 가능한 채널의 대역폭을 통하여 전송할 수 있는 수준으로 데이터를 압축하는 것이 매우 중요하며 MPEG-2는 이러한 압축 알고리즘의 대표적인 예이다. 가변장 부호화로 압축된 MPEG-2 비디오 데이터는 채널 환경에 매우 민감하여 채널의 잡음이나 물리적인 채널의 손상과 같은 전송 오류로 인하여 손실 또는 손상될 수 있다. 일반적으로 전송 오류는 물리적 채널의 결함에 의한 랜덤 비트 오류와 패킷 망에서의 패킷 손실이나 물리적 결함에 의한 저장 미디어에서의 버스트 오류 또는 짧은 시간 동안의 시스템 결함에 의한 삭제 오류 등을 일컫는다 [1]. 이러한 전송 오류에 의해 손실된 데이터는 재전송 기술을 사용함으로써 데이터의 무손실 전송이 가능하지만 몇 가지 제약이 따른다 [2]. 만약 네트워크 혼잡에 의하여 데이터 손실이 발생한 경우 재전송 기술은 더욱 심각한 네트워크 혼잡을 일으키게 되고 더 많은 데이터 손실을 유발시킬 수 있다. 또한 이동 통신이나 무선 통신 채널에서 송신측과 수신측간의 연결이 약한 경우 손실된 데이터의 재전송은 전체적인 채널의 부하를 증가시키며 이로 인하여 데이터의 충돌 가능성과 전송 지연이 가중됨으로써 더 많은 데이터 손실을 일으킬 수 있다. 그리고 실시간 방송에서 허용할 수 없는 지연을 야기할 수 있다. 그러므로 비디오 통신에서 전송 오류를 보다 효율적으로 처리하기 위한 오류 제어 방식들이 필요하다.

비디오 통신의 오류 제어 방식은 인코더에 의한 오류에 탄력적인 부호화, 디코더에 의한 오류 은닉 그리고 인코더와 디코더의 상호작용적인 방식 등으로 나누어 볼 수 있다 [3]. 본 논문에서는 디코더에서의 오류 은닉 방식에 대해 살펴보고, 시공간적 정보를 이용한 새로운 방식을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서 기본적인 MPEG-2 비디오 코덱을 설명하고 제 III장에서 전송 오류를 검출하는 방식을 살펴본 후 제 IV장에서 현재 사용되고 있는 오류 은닉 방식들을 소개한다. 제 V장은 기존의 오류 은닉 방식의 단점을 보완하기 위한 새로운 시공간적 정보를 이용한 오류 은닉 방식을 제안하고, 제 VI장과 VII장에서 실험 결과를 통한 제안된 방식의 성능 분석 및 장단점이 설명된다.

II. MPEG-2 비디오 코덱

MPEG-2의 프레임 구조는 기본적으로 group of pictures (GOP)로 구성된다 [4]. GOP는 인트라 (I) 프레임과 인터 (P, B) 프레임 등 세 가지 형태의 프레임으로 구성되며 GOP 내의 프레임 조합은 입력 신호의 특성이

나 채널 환경에 따라 달라진다. I 프레임은 주변 프레임의 참조 없이 JPEG을 기반으로 부호화되며 랜덤 액세스 지점으로 사용된다. P 프레임은 이전 앵커 프레임인 I 또는 P 프레임으로부터 순방향 움직임 보상 예측에 의해 부호화되고, B 프레임은 이전 앵커 프레임으로부터 순방향 움직임 보상 예측과 다음 앵커 프레임으로부터 역방향 움직임 보상 예측 등 쌍방향 움직임 보상 예측에 의해 부호화된다. 이러한 프레임의 구조는 GOP의 시작 프레임인 I 프레임에 에러가 발생할 경우 I 프레임을 참조하여 부호화되는 다른 프레임에도 에러가 전달되는 결과를 초래한다. GOP를 구성하는 각 프레임은 슬라이스로 구성되고 하나의 슬라이스는 여러 개의 매크로블록으로 구성된다. 각 매크로블록은 8×8 픽셀인 4개의 휘도 성분 블록과 2개의 색채 성분 블록으로 구성된다.

MPEG-2 소스 부호화 알고리즘은 블록 기반 움직임 보상 방식과 이산 코사인 변환을 사용하여 시간적 그리고 공간적 중복성을 줄이며, 이산 코사인 변환, 양자화, 지그재그 또는 대체 스캔 그리고 가변장 부호화 등의 순서로 실행된다. 이산 코사인 변환은 영상이 갖는 대부분의 에너지를 주파수 영역의 저주파 주위로 집중함으로써 압축 효과를 높일 수 있다. 이 과정에서 얻어진 저주파 성분과 고주파 성분은 각각 독립적으로 부호화된다. 저주파 성분은 이전 매크로블록의 저주파 성분과의 차이값이 부호화되며, 고주파 성분은 스캔 방식에 의해 일렬로 나열된 후 가변장 부호화된다. 이때 사용되는 스캔 방식에는 순차 주사 영상에서 사용되는 지그재그 스캔 방식과 비월 주사 영상에서 사용되는 대체 스캔 방식이 있다. 순차 주사 영상은 한 장의 프레임이 최상단의 좌측 픽셀에서 최하단의 우측 마지막 픽셀까지 차례대로 주사되는 영상을 말하며, 비월 주사 영상은 최상단의 픽셀 한 줄이 주사된 뒤 한 줄 건너편 그 다음 줄의 픽셀이 주사되는 영상이다. 즉, 비월 주사 영상의 프레임은 홀수 번째 주사로 이루어진 필드와 짝수 번째 주사로 이루어진 필드로 구성된다. 그러므로 MPEG-2는 프레임과 필드의 사용이 가능하며 이에 따라 프레임 예측 방식과 필드 예측 방식이 사용된다. 예측 방식에 의하여 발생된 예측 에러와 움직임 벡터는 최대 효율성을 위하여 각각 가변장 부호화된다.

III. 오류 검출 방식

오류 은닉 방식을 적용하기 위하여 먼저 채널에 의한 전송 오류가 영상의 어느 부분에 발생되었는지를 파악해야만 한다. 전송 오류를 검출하는 방식에는 소스 복호화에 의한 오류 검출 방식과 채널 복호화에 의한 오류 검출 방식이 있다 [5].

1. 소스 복호화에 의한 오류 검출

소스 복호기의 오류 검출 능력에 따른 이 방식은 가변장 부호화된 비디오 데이터가 전송 오류에 의하여 손실된 경우 수신측에서는 비트 스트림의 몇몇 코드워드가 가변장 부호화 표와 일치하지 않아 복호화할 수 없는 코드워드가 생성됨으로써 이러한 코드워드를 오류로 검출한다. 그러나 오류가 발생한 코드워드가 가변장 부호화 표의 다른 코드워드와 일치하는 경우 그 코드워드는 오류가 발생하지 않은 것으로 간주되어 다음 동기화 지점까지 오류가 전달될 수 있다는 단점을 갖는다.

2. 채널 복호화에 의한 오류 검출

채널 복호화에 의한 오류 검출 방식은 패킷의 헤더 정보를 이용하는 방식이다. 패킷 기반 비디오 통신에서 각각의 패킷은 자신의 헤더 정보를 포함하며 헤더에는 패킷이 전송된 순서대로 고유의 시퀀스 번호가 포함되어 있다. 즉, 복호기에서 수신된 패킷은 헤더에 포함된 시퀀스 번호를 사용하여 몇 번째 패킷이 손실되었는지 정확히 파악할 수 있다. 다른 방식으로 패킷의 헤더에 손실된 패킷의 정보를 표시하는 방식이 있다. 이 방식은 손실된 패킷의 정보를 패킷 헤더에 포함함으로써 보다 정확한 오류의 위치를 파악할 수 있다. 일반적으로 채널 복호화에 의한 오류 검출 방식은 헤더 정보의 추가로 인하여 추가적인 채널 대역폭을 필요로 하지만 소스 복호화에 의한 오류 검출 방식에 비하여 높은 신뢰성과 효율성을 갖는다.

본 논문에서는 오류 검출 방식을 고려하지 않고 오류가 발생한 매크로블록의 정보를 알고 있다는 가정 하에 오류 은닉 방식을 적용한다.

IV. 오류 은닉 방식

오류 은닉 방식은 영상의 화질 저하를 최소화하기 위하여 전송 오류에 의해 손실된 정보를 영상이 갖는 공간적 중복성과 시간적 중복성을 이용하여 복원하는 방식이다. 이 방식에는 시간적 오류 은닉 방식과 공간적 오류 은닉 방식 그리고 혼합 오류 은닉 방식 등이 있다. 프레임간의 시간 중복성을 이용한 시간적 오류 은닉 방식이 움직임 정보를 갖는 P, B 프레임에 사용되는 반면, 공간적 오류 은닉 방식은 프레임내 공간 중복성을 이용하여 움직임 정보를 갖지 않는 I 프레임의 오류를 은닉한다. 공간적 중복성과 시간적 중복성을 모두 이용하는 혼합 오류 은닉 방식은 프레임과 매크로블록의 부호화 모드에 따라 시간적 오류 은닉과 공간적 오류 은닉을 선택적으로 사용하며 모든 프레임에 적용이 가능하다.

1. 시간적 오류 은닉

시간적 오류 은닉 방식은 영상에 존재하는 시간적 중

복성을 이용하는 방식으로 단순 오류 은닉 방식과 움직임 보상 오류 은닉 방식으로 구분된다 [6]. 단순 오류 은닉 방식은 현재 프레임의 오류가 발생한 매크로블록에 상응하는 이전 앵커 프레임의 매크로블록으로 대체하는 방식으로 P, B 프레임 외에 움직임 정보를 갖지 않는 I 프레임에도 적용이 가능하다.

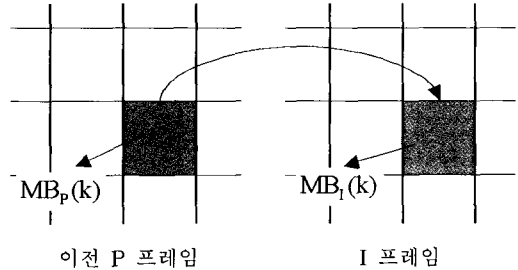


그림 1. 단순 시간적 오류 은닉
Fig. 1 Simple temporal EC

예를 들어 그림 1과 같이 I 프레임의 k 번째 매크로블록인 $MB_i(k)$ 에 오류가 발생한 경우 이전 앵커 프레임인 P 프레임에서 그와 일치하는 위치의 매크로블록 $MB_p(k)$ 를 그대로 복사하여 오류를 은닉한다. 이 방식은 구현이 간단하지만 현재 프레임과 이전 앵커 프레임간의 움직임으로 인한 움직임 왜곡이 일어날 수 있다. 단순 오류 은닉의 움직임 왜곡 현상을 보완한 움직임 보상 오류 은닉 방식은 오류가 발생한 매크로블록의 주변 매크로블록이 갖는 움직임 벡터를 사용하여 오류를 은닉하는 방식이다 [7]. 이 방식은 움직임 보상으로 인하여 단순 오류 은닉 방식보다 효과적이나 주변 매크로블록의 움직임 벡터가 손상되었을 경우 부정확한 움직임 예측으로 인한 왜곡이 발생할 수 있다. 또한 움직임 정보를 필요로 하기 때문에 I 프레임에 적용될 수 없다.

2. 공간적 오류 은닉

공간적 오류 은닉 방식은 움직임 정보를 갖지 않는 I 프레임에 사용되며 서브 블록 단위의 매크로블록 단위의 오류 은닉 방식이 있다 [8]. 서브 블록 단위의 오류 은닉 방식은 그림 2의 (a)와 같이 오류가 발생한 매크로블록을 네 개의 서브 블록으로 나누어 각 서브 블록과 인접한 두 개의 블록을 이용하는 방식이다. 그림 2에서 매크로블록은 8x8 픽셀로, 서브 블록은 4x4 픽셀로 구성된다고 가정한다. 이 방식은 인접한 블록이 제대로 존재할 경우 좋은 결과를 얻을 수 있지만 주변 블록이 손상되었을 경우에는 오류를 제대로 은닉할 수 없다. 매크로블록 단위의 오류 은닉 방식은 그림 2의 (b)처럼 오류가 발생한 매크로블록의 주변 네 개의 매크로블록을 사용한다. 비디오 전송 단위인 슬라이스 오류가 발생하여 여러 개의 연속

적인 매크로블록이 손상된 경우 왼쪽 또는 오른쪽에 위치한 매크로블록은 오류 은닉에 사용될 수 없게 되며 위와 아래쪽에 위치한 매크로블록만을 이용하여 오류를 은닉하므로 서브 블록 단위의 오류 은닉 방식보다 좋은 결과를 얻을 수 있다. 그러나 가중 평균에 의한 번짐 현상이 발생하게 되며 하나의 슬라이스가 아닌 연속적인 슬

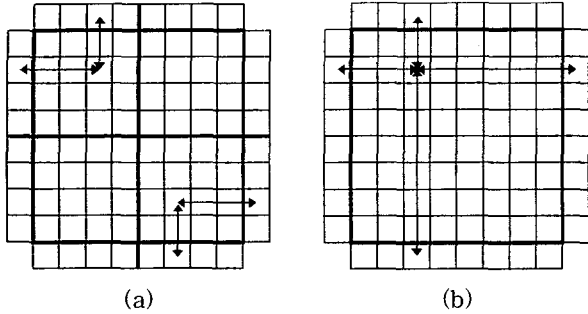


그림 2. (a) 서브 블록 단위의 공간적 오류 은닉
 (b) 매크로블록 단위의 공간적 오류 은닉
 Fig. 2 (a) Spatial EC of each sub-block
 (b) Spatial EC of the whole macroblock

라이스 오류가 발생한 경우 왼쪽과 오른쪽에 위치한 매크로블록뿐만 아니라 위쪽과 아래쪽에 위치한 매크로블록 역시 손상되어 오류를 제대로 은닉할 수 없다.

3. 혼합 오류 은닉

혼합 오류 은닉 방식은 프레임과 매크로블록의 부호화 모드에 따라 시간적 그리고 공간적 오류 은닉 방식을 선택적으로 적용하는 방식이다 [9]. I 프레임에 오류가 발생한 경우 프레임 내의 모든 매크로블록은 인트라 모드로 부호화되기 때문에 손상된 모든 매크로블록은 공간적 오류 은닉 방식으로 처리된다. 현재 프레임이 P 또는 B 프레임이고 오류가 발생한 매크로블록이 인트라 모드로 부호화된 경우에는 시간적 오류 은닉 방식이 사용되며 인트라 모드로 부호화된 경우에는 공간적 오류 은닉 방식이 적용된다.

V. 시공간적 정보를 이용한 오류 은닉

MPEG-2로 압축된 비디오 테이더가 채널을 통하여 전송될 때 여러 가지 원인에 의하여 오류가 발생하게 된다. 특히 심각한 슬라이스 오류가 발생한 경우 GOP의 시작 프레임인 I 프레임의 오류는 움직임 보상 예측에 의하여 부호화되는 다른 프레임에 그 영향이 전달되어 GOP 전체 화질에 영향을 미치게 된다. 그러므로 I 프레임의 오류 은닉은 매우 중요하다. 제 IV장에서 설명한 기존의 오류 은닉 방식 중 단순 시간적 오류 은닉, 블록 단위와 매크로블록 단위의 공간적 오류 은닉 그리고 혼합 오류 은닉 방식 등이 I 프레임에 적용이 가능하지만 효과적으로 오류를 은닉하지 못한다. 단순 시간적 오류 은닉 방식의 경우 프레임간의 움직임으로 인한 왜곡 현상이 발생하게 되고, 공간적 오류 은닉 방식을 이용하여 I 프레임의 슬라이스 오류를 은닉할 경우 번짐 현상이 발생할 수 있다.

크로블록 단위의 공간적 오류 은닉 그리고 혼합 오류 은닉 방식 등이 I 프레임에 적용이 가능하지만 효과적으로 오류를 은닉하지 못한다. 단순 시간적 오류 은닉 방식의 경우 프레임간의 움직임으로 인한 왜곡 현상이 발생하게 되고, 공간적 오류 은닉 방식을 이용하여 I 프레임의 슬라이스 오류를 은닉할 경우 번짐 현상이 발생할 수 있다.

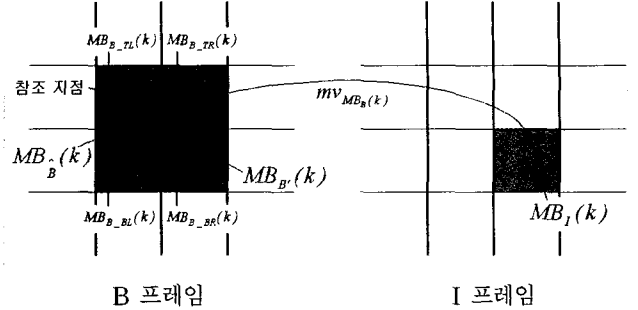


그림 3. I 프레임의 오류가 발생한 매크로블록을 B 프레임의 역방향 움직임 벡터를 이용하여 찾아낸 후 주변 매크로블록을 이용하여 세부 보정

Fig. 3 Locating corrupted macroblock of I-frame in B-frame using backward motion vectors of corresponding macroblock of B-frame followed by compensation using neighbored macroblocks

또한 혼합 오류 은닉 방식은 I 프레임의 모든 매크로블록이 인트라 모드로 부호화됨에 따라 공간적 오류 은닉과 동일한 결과를 나타낸다.

본 논문은 I 프레임의 연속적인 슬라이스 오류를 추가 정보 없이 이전 P, B 프레임의 시공간적 정보만을 이용하여 은닉하는 기법을 제안한다. 제안하는 방식을 성공적으로 수행하기 위하여 I 프레임 외 다른 프레임의 정보 손실은 없다고 가정한다.

오류가 발생한 I 프레임의 k 번째 매크로블록을 $MB_I(k)$ 라 하고 이전 GOP의 마지막 B 프레임에서 $MB_B(k)$ 와 공간적으로 일치하는 매크로블록을 $MB_B(k)$ 라 하자. 그림 3에서 $MB_B(k)$ 는 $MB_{B-BR}(k)$ 이다. $MB_B(k)$ 는 앵커 프레임인 I 프레임으로부터 예측된 오류값과 역방향 움직임 벡터를 사용하여 부호화되므로 식 (1)과 같이 역방향 움직임 벡터 $mv_{MB_B(k)}$ 를 이용하여 $MB_I(k)$ 에 상응하는 매크로블록을 B 프레임에서 예측할 수 있다.

$$MB_{B'}(k) = MB_B(k) - mv_{MB_B(k)} \quad (1)$$

이 때 $MB_{B'}(k)$ 는 오류가 발생한 $MB_I(k)$ 와 공간적으로 일치하는 매크로블록일 뿐 I 프레임과 B 프레임간의 움직임 차이가 고려되지 않은 매크로블록이다. 그러므로 $MB_I(k)$ 의 보다 정확한 위치를 B 프레임에서 예측하기

위하여 $MB_B(k)$ 를 포함하는 주변 매크로블록을 이용하여 $MB_B(k)$ 를 세부 보정해야 한다. 즉, 식(2)에서와 같이 $MB_{B_TL}(k)$, $MB_{B_TR}(k)$, $MB_{B_BL}(k)$, $MB_{B_BR}(k)$ 의 역방향 움직임 벡터의 평균값만큼 $MB_B(k)$ 를 세부 보정한다. $MB_{B_TL}(k)$ 는 $MB_B(k)$ 를 기준으로 위쪽 좌측에 위치한 매크로블록이다 (그림 3).

$$MB_{\bar{B}}(k) = MB_B(k) - \left(\frac{mv_{MB_{B_TL}(k)} + mv_{MB_{B_TR}(k)} + mv_{MB_{B_BL}(k)} + mv_{MB_{B_BR}(k)}}{4} \right) \quad (2)$$

B 프레임에서 예측된 $MB_{\bar{B}}(k)$ 는 앵커 프레임의 매크로블록이 아니므로 $MB_A(k)$ 를 대치하는데 무리가 있다. 그러므로 앵커 프레임인 P 프레임의 정보를 사용하기 위하여 B 프레임이 갖고 있는 순방향 움직임 벡터를 이용하여 $MB_{\bar{B}}(k)$ 에 상응하는 위치를 P 프레임에서 찾아야 한다. 그러나 $MB_{\bar{B}}(k)$ 는 순방향 움직임 벡터를 갖고 있지 않으므로 $MB_{\bar{B}}(k)$ 와 인접한 $MB_{B_TL}(k)$ 의 정보를 이용하여 $MB_{\bar{B}}(k)$ 에 상응하는 위치를 예측할 수 있다 (그림 4).

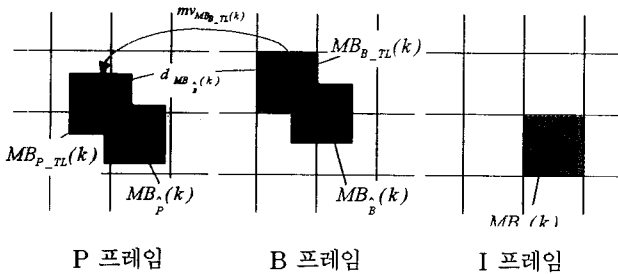


그림 4. 세부 보정된 매크로블록의 참조 지점을 포함하고 있는 매크로블록 $MB_{B_TL}(k)$ 의 움직임 정보를 이용하여 이전 앵커 프레임에서의 위치를 파악한 후 I 프레임에 복사

Fig. 4 Find location of the previous anchor frame by motion information of macroblock $MB_{B_TL}(k)$ and copy it to I-frame

그 다음 식(3)과 같이 $MB_{\bar{B}}(k)$ 와 $MB_{B_TL}(k)$ 의 거리 $d_{MB_{\bar{B}}(k)}$ 를 구한다. 이 때 거리 $d_{MB_{\bar{B}}(k)}$ 는 P 프레임에서 $MB_{\bar{B}}(k)$ 의 위치를 보정하기 위한 것으로, 두 점간의 수학적 거리를 의미하는 것이 아니라 $MB_{B_TL}(k)$ 가 $MB_{\bar{B}}(k)$ 의 좌표에 위치하기 위하여 x, y축으로 얼마만큼 이동해야하는지를 의미한다.

$$d_{MB_{\bar{B}}(k)} = MB_{\bar{B}}(k) - MB_{B_TL}(k) \quad (3)$$

B 프레임은 I 프레임과 더불어 이전 P 프레임으로부터 순방향 움직임 예측으로 얻어진 움직임 벡터와 예측 오류가 같이 부호화되기 때문에 그림 4와 같이 $MB_{B_TL}(k)$ 의 순방향 움직임 벡터 $mv_{MB_{B_TL}(k)}$ 를 이용하여 P 프레임에서 $MB_{\bar{B}}(k)$ 에 상응하는 매크로블록 $MB_{P_TL}(k)$ 를 찾아낼 수 있다. 마지막으로 $MB_{P_TL}(k)$ 를 $d_{MB_{\bar{B}}(k)}$ 만큼 이동시킨 $MB_{\bar{P}}(k)$ 가 $MB_{\bar{B}}(k)$ 에 상응하는 매크로블록이므로 $MB_{\bar{P}}(k)$ 를 I 프레임의 오류가 발생한 매크로블록에 복사하여 오류를 은닉할 수 있다.

$$MB_A(k) = MB_{P_TL}(k) + d_{MB_{\bar{B}}(k)} = MB_{\bar{P}}(k) \quad (4)$$

VI. 실험 결과

실험은 비디오 데이터가 이상적인 채널을 통하여 전송된다는 가정 하에 이루어졌다. 즉, 실험에서 사용된 비디오 데이터의 오류는 디코더에서 임의로 삽입된 것으로 본 실험에서 오류 검출 방식은 사용되지 않았다. 입력 데이터는 휘도 성분으로만 구성된 총 61장의 MPEG-2 Flower Garden과 Mobile Calendar를 사용하여 앵커 프레임의 간격이 3이고 GOP내의 프레임 수가 15인 총 4개의 GOP로 구성하였다. 비트율과 프레임율은 각각 6 Mbps와 30 fps로 고정하였고 블록 손실율은 각각 10%와 20%로 설정하였다. 그림 5의 (a)는 10%의 블록 손실율을 갖는 연속적인 매크로블록 오류가 발생한 경우이고 그림 6의 (a)는 연속적인 매크로블록 오류가 세로로 반복된 심각한 슬라이스 오류를 나타낸 것으로 블록 손실율은 20%이다. 본 논문에서 제안한 시공간적 정보를 이용한 오류 은닉 방식은 움직임 정보를 갖지 않는 I 프레임의 연속적인 슬라이스 오류를 은닉하기 위한 것으로, 성능 평가를 위하여 기존의 오류 은닉 방식 중 I 프레임에 적용 가능한 단순 시간적 오류 은닉 방식, 서브 블록 단위의 매크로블록 단위의 공간적 오류 은닉 방식 그리고 혼합 오류 은닉 방식 등과 비교가 가능하다 (그림 5, 그림 6). 그러나 혼합 오류 은닉 방식의 경우 I 프레임의 모든 매크로블록은 인트라 모드로 부호화되기 때문에 공간적 오류 은닉 방식과 동일한 결과를 나타내므로 비교시 제외하였다.

단순 시간적 오류 은닉 방식 (Temporal)은 이전 앵커 프레임의 정보를 그대로 사용하는 방식으로, 프레임간의 움직임으로 인하여 움직임 왜곡이 발생된다 (그림 5의 (b), 그림 6의 (b)). 서브 블록 단위의 공간적 오류 은닉 방식 (Spatial_SB)은 연속적인 슬라이스 오류의 경우 주변 블록의 손상으로 인하여 오류를 제대로 은닉할 수 없다 (그림 5의 (c), 그림 6의 (c)). 매크로블록 단위의 공간적 오류 은닉 방식 (Spatial_MB)은 연속적인 매크로블록

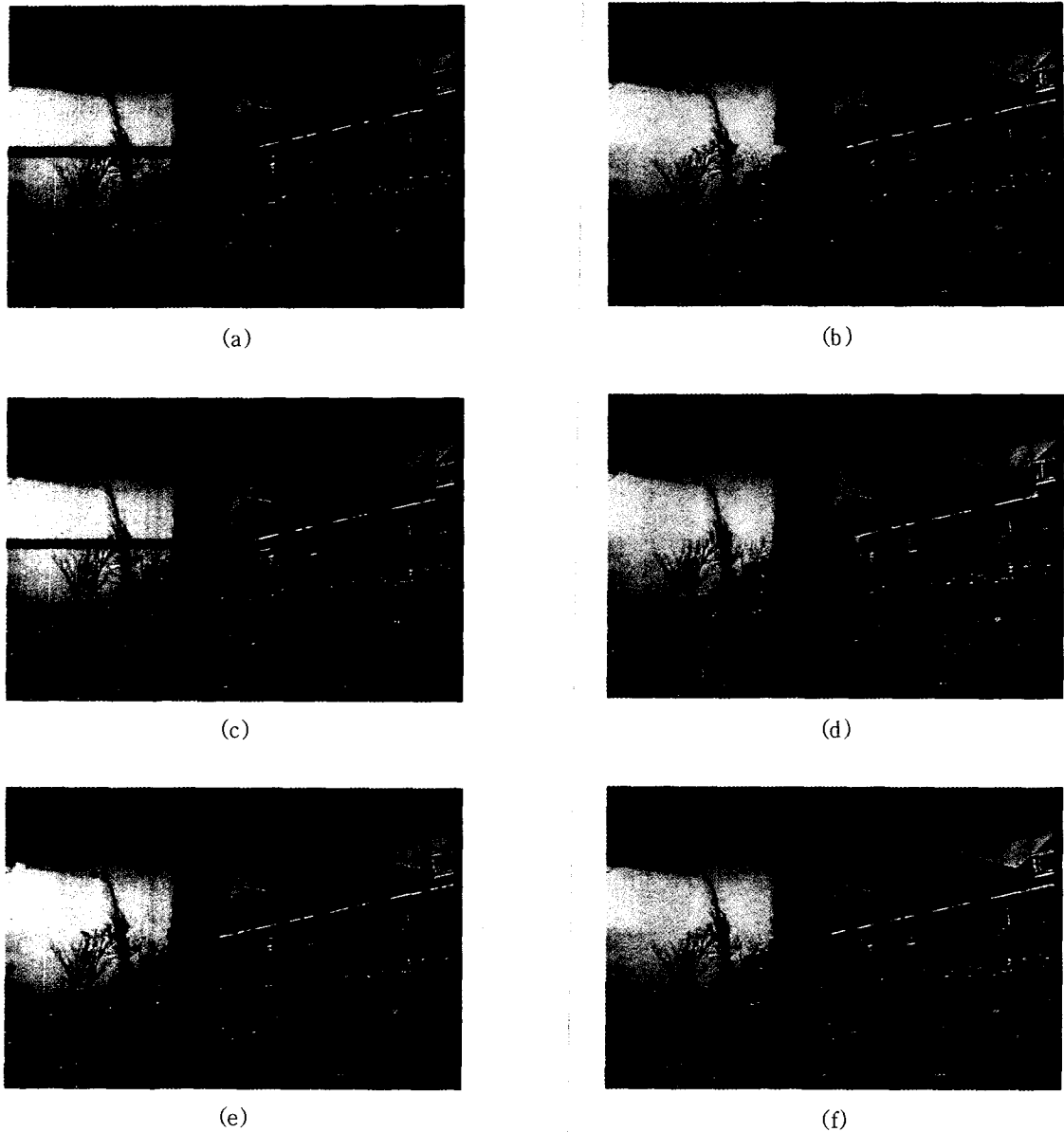


그림 5. 블록 손실율이 10% 일 때 오류 은닉 방식 결과

- (a) 오류가 발생한 경우
- (c) 서브 블록 단위의 공간적 오류 은닉
- (e) B1 프레임을 참조한 시공간적 오류 은닉

- (b) 단순 시간적 오류 은닉
- (d) 매크로블록 단위의 공간적 오류 은닉
- (f) B2 프레임을 참조한 시공간적 오류 은닉

Fig. 5 Results of EC at 10% blocks loss

- (a) No error concealment
- (c) Spatial EC of each sub-block
- (e) Spatiotemporal EC by B1 frame

- (b) Simple temporal EC
- (d) Spatial EC of the whole macroblock
- (f) Spatiotemporal EC by B2 frame

오류가 발생한 경우 상하에 위치한 두 개의 매크로블록을 이용하여 오류를 은닉할 수 있어 서브 블록 단위의 공간적 오류 은닉 방식보다 효과적이지만 가중 평균으로 인한 번짐 현상이 나타난다 (그림 5의 (d)). 또한 연속적인 슬라이스 오류가 발생한 경우 좌우 매크로블록뿐만

아니라 상하에 위치한 매크로블록 역시 오류 은닉에 사용될 수 없으므로 오류를 효과적으로 은닉할 수 없다 (그림 6의 (d)).

본 논문에서 제안한 알고리즘 (ST_B1, ST_B2)은 이전 GOP의 마지막 B 프레임의 순방향과 역방향 움직임 벡터

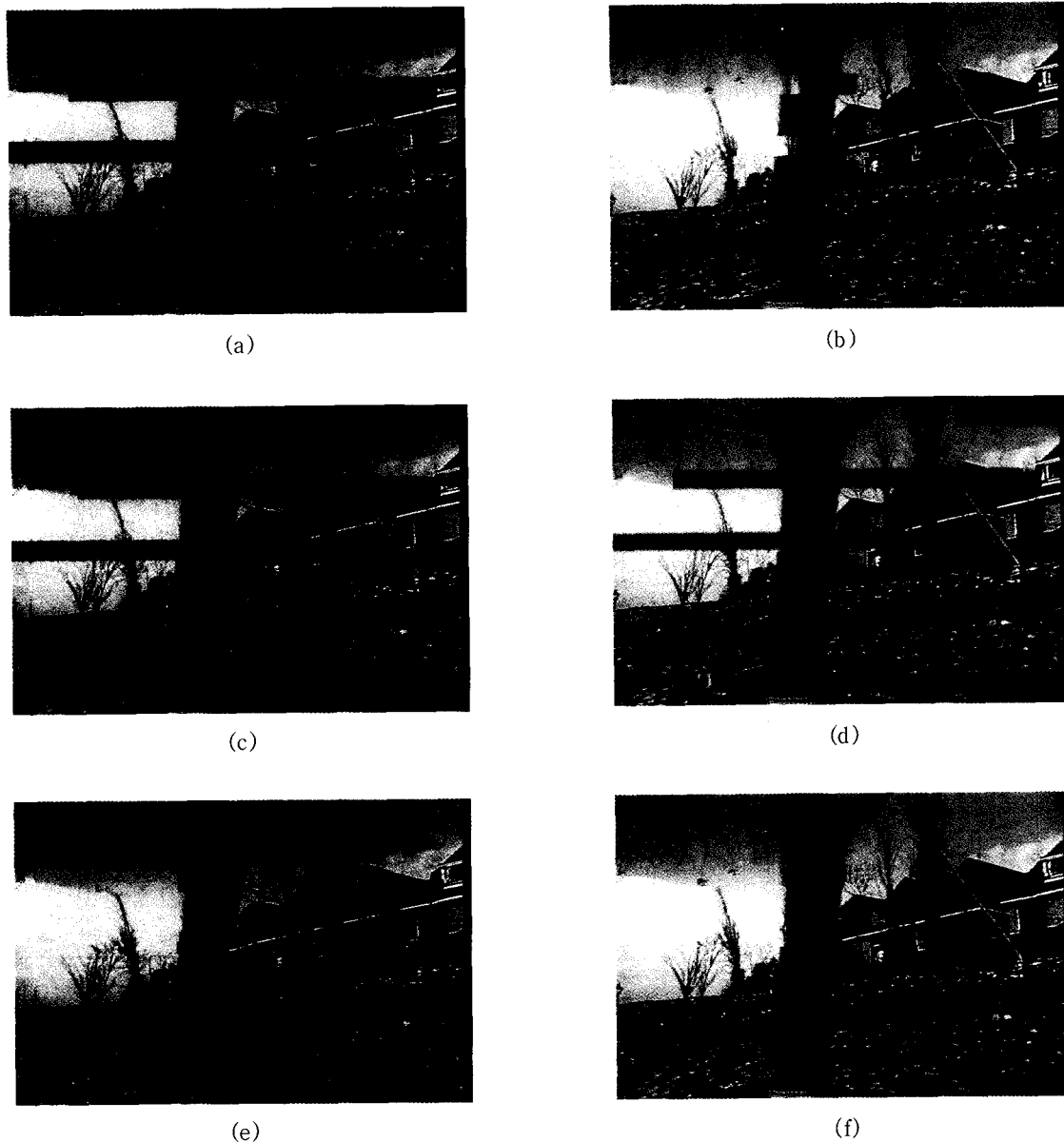


그림 6. 블록 손실율이 20% 일 때 오류 은닉 방식 결과

- (a) 오류가 발생한 경우
- (b) 단순 시간적 오류 은닉
- (c) 서브 블록 단위의 공간적 오류 은닉
- (d) 매크로블록 단위의 공간적 오류 은닉
- (e) B1 프레임을 참조한 시공간적 오류 은닉
- (f) B2 프레임을 참조한 시공간적 오류 은닉

Fig. 6 Results of EC at 20% blocks loss

- (a) No error concealment
- (b) Simple temporal EC
- (c) Spatial EC of each sub-block
- (d) Spatial EC of the whole macroblock
- (e) Spatiotemporal EC by B1 frame
- (f) Spatiotemporal EC by B2 frame

그리고 P 프레임의 공간적 정보를 이용하는 방식으로 그림 5의 (e), (f)와 그림 6의 (e), (f)와 같이 다른 기존의 방식들에 비하여 시각적으로 개선되었음을 확인할 수 있다. 표 1과 2는 기존 알고리즘과 제안하는 알고리즘과의 성능을 두 종류의 입력 데이터를 통하여 분석한 결과가

다. 표에서 I_n 은 n 번째 GOP의 I 프레임, L_1 과 L_2 는 각각 10%와 20%의 블록 손실율을 나타낸다. 즉, 61장의 프레임 중 세 장의 I 프레임에서 발생된 오류 은닉의 결과를 나타낸다. 각 I 프레임에서 발생한 오류는 동일한

위치에서 발생하였다고 가정하였다. 실험 결과에 의하면 제안한 방식은 기존 방식보다 3~4 dB 높은 PSNR을 얻을 수 있었고 ST_B1 보다는 ST_B2가 더 높은 PSNR을 제공하였다. P 프레임과 I 프레임간의 두 개 B 프레임 중 첫 번째 B 프레임 (B1)과 두 번째 B 프레임 (B2)을 이용한 방식을 비교해볼 때 B2 프레임의 움직임 정보를 이용한 방식이 B1 프레임을 이용한 방식보다 더 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 이것은 B2 프레임이 B1 프레임보다 오류가 발생한 I 프레임과 시간적으로 가까이 위치하여 오류 은닉에 사용된 양방향 움직임 벡터의 차이가 적기 때문이다.

표 1. Flower Garden 시퀀스의 PSNR

Table. 1 PSNR of Flower Garden

Flower	I ₂		I ₃		I ₄	
	L ₁	L ₂	L ₁	L ₂	L ₁	L ₂
Temporal	23.90	20.92	23.20	20.21	23.18	19.99
Spatial_SB	18.33	12.99	18.32	13.16	18.35	13.10
Spatial_MB	23.44	15.28	23.00	15.39	22.51	15.27
ST_B1	25.62	22.18	24.82	21.57	24.18	20.92
ST_B2	28.18	24.28	27.33	23.68	26.43	22.87

표 2. Mobile Calendar 시퀀스의 PSNR

Table. 2 PSNR of Mobile Calendar

Mobile	I ₂		I ₃		I ₄	
	L ₁	L ₂	L ₁	L ₂	L ₁	L ₂
Temporal	23.45	20.78	23.06	20.42	23.55	20.84
Spatial_SB	19.22	14.27	19.23	14.14	19.10	14.43
Spatial_MB	22.70	16.42	22.45	16.08	22.54	16.38
ST_B1	24.04	22.33	23.72	21.41	24.36	21.60
ST_B2	25.40	23.33	24.78	22.71	25.12	22.59

마지막으로 연속적인 매크로블록 오류와 연속적인 슬라이스 오류가 발생한 경우를 비교해볼 때, 그림 5의 연속적인 매크로블록 오류가 발생한 경우에는 기존의 오류 은닉 방식 중 매크로블록 단위의 공간적 오류 은닉 방식을 이용하여 부분적으로 오류를 은닉할 수 있지만 가중 평균에 의한 번짐 현상은 피할 수 없었다. 또한 연속적인 슬라이스 오류가 발생한 그림 6의 경우 기존의 오류 은닉 방식으로는 오류를 제대로 은닉할 수 없는데 비하여 제안한 알고리즘을 이용함으로써 보다 효과적으로 오류를 은닉할 수 있었다.

VII. 결론

본 논문에서 제안한 시공간적 정보를 이용한 오류 은닉 방식은 MPEG-2로 압축된 비디오 데이터에서 GOP의 시작 프레임인 I 프레임의 연속적인 슬라이스 오류를 은닉하기 위한 방식이다. 이 방식은 I 프레임을 위하여 일반적으로 사용되고 있는 공간적 오류 은닉 방식과는 달리 이전 GOP의 마지막 B 프레임의 양방향 움직임 벡터를 이용하여 이전 앵커 프레임인 P 프레임의 공간적 정보를 이용하기 때문에 공간적 오류 은닉 방식에서 발생하는 번짐 현상과 주변 매크로블록의 손상으로 오류를 제대로 은닉할 수 없다는 단점을 효과적으로 극복할 수 있다. B 프레임에서의 시간적 정보와 P 프레임에서의 공간적 정보를 이용한 이 방식은 기존 알고리즘보다 효과적으로 오류를 은닉할 수 있었다. Flower garden에서 블록 손실율이 10%인 경우 3~4 dB의 PSNR이 증가하였고, 블록 손실율이 20%인 경우에는 2~3 dB의 PSNR이 증가하였다. 또한 mobile calendar의 경우 블록 손실율이 10%와 20%에서 1~2 dB의 PSNR이 증가하였다. 이러한 PSNR의 증가는 오류의 은닉을 통한 결과물이 시각적으로 개선되었음을 나타낸다. 그러나 주변 인터 프레임의 움직임 정보를 이용하기 때문에 프레임의 가장자리 부분이나 프레임간의 움직임이 매우 큰 경우 또는 확대, 축소가 된 매크로블록은 움직임 보상 예측 부호화 방식을 사용할 때 정확하지 않은 움직임 벡터를 얻음으로써 특정 매크로블록에서 왜곡 현상이 발생할 수도 있다.

접수일자 : 2003. 2. 18 수정완료 : 2003. 4. 17

본 논문은 2002년도 동국대학교 연구비 지원으로 이루어 졌음

VIII. 참고 문헌

- [1] Y. Wang and Q. Zhu, "Error Control and Concealment for Video Communication: a Review," *Proc. IEEE*, vol. 86, pp.974-997, May 1998
- [2] V. DeBrunner, L. DeBrunner, L. Wang and S. Radhakrishnan, "Error control and concealment for image transmission," *IEEE Surveys & Tutorials*, vol. 3, No. 1, First Quarter 2000
- [3] Y. Wang, S. Wenger, Jiangtao Wen, and Aggelos K. Katsaggelos, "Error Resilient Video Coding Techniques," *IEEE Magazine*, vol. 17, pp. 61-82, July 2000
- [4] MPEG-2 video and systems international standard *ISO/IEC/JTC1/SC29/WG1 MPEG 94*, Nov. 1994
- [5] S. Aign and K. Fazel, "Error detection & *Proc. of*

the International Workshop on HDTV'94, Torino, Oct. 1994

- [6] A. Narula and J. Lim, "Error concealment techniques for an all-digital high-definition television system," *SPIE Visual Communication and Image Processing*, pp. 304-315, Nov. 1993
- [7] S. Sae-Won and H. Yo-Song, "Error concealment based on directional interpolation," *IEEE Trans. Consumer Electro.*, vol. 43, no 3, pp. 295-302, Aug. 1997
- [8] S. Aign and K. Fazel, "Temporal & Spatial Error Concealment Techniques for Hierarchical MPEG-2 Video Codec," *Proc. Globecom'95*, pp. 1778-1783
- [9] M. H. Jo and W. J. Song, "Error concealment for MPEG-2 video decoders with enhanced coding mode estimation," *IEEE Trans. Consumer Electro.*, vol. 46, no. 4, pp. 962-969, Nov. 2000



강 민 정 (Min-Jung Kang)

準會員

2001년 동국대학교 정보통신공학과 공학사

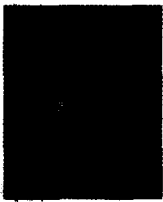
2003년 동국대학교

정보통신공학과 공학석사

2003년 ~ 현재 동국대학교

정보통신공학과 박사과정

관심분야 : Multimedia and visual data communications, compression, error processing, watermarking



류 철 (Chul Ryu)

正會員

1989년 Florida Institute of Technology

컴퓨터 공학사

1991년 Polytechnic University

전기/전자공학과 공학석사

1997년 Polytechnic University 전기/전자공학과 공학박사

1998년 ~ 1999년 LG 정보통신 연구소 선임 연구원

1999년 ~ 현재 동국대학교 정보통신공학과 조교수

관심분야 : Multimedia and visual data communications, compression, encryption, error processing, watermarking