

H.264의 인트라 프레임을 위한 하이브리드 에러 은닉 알고리즘

정회원 임창훈*, 준회원 김원정**, 중신회원 임혜숙***

Hybrid Error Concealment Algorithm for Intra-Frame in H.264

Changhoon Yim* *Regular Member*, Wonjung Kim** *Associate Member*,
Hyesook Lim*** *Lifelong Member*

요 약

H.264는 향상된 압축 성능과 에러 복구 기술, 네트워크로의 적응력을 포함하고 있는 비디오 압축 표준으로, 실시간 비디오 스트리밍, 디지털 멀티미디어 방송 등의 여러 분야에서 적용되고 있다. 인터넷 상으로 비디오를 전송할 경우 압축된 비디오 스트림은 패킷 손실에 약하므로 에러 복구 기술과 에러 은닉 기술은 필수적인 요소이다. 본 논문은 먼저 움직임이 상대적으로 적을 경우 H.264의 인트라 프레임을 위한 에러 은닉 성능을 향상시킬 수 있는 간단한 시간방향 에러 은닉 방법을 제안한다. 그리고 제안된 시간방향 에러 은닉 방식과 H.264의 인트라 프레임을 위해서 사용하고 있는 공간방향 에러 은닉 방식을 적응적으로 결합한, H.264의 인트라 프레임을 위한 하이브리드 에러 은닉 방법을 제안한다. 패킷이 손실되는 환경에서 시뮬레이션을 했을 때, 제안된 하이브리드 에러 은닉 방법은 H.264의 인트라 프레임에 사용되는 기존의 공간방향 에러 은닉 방법에 비하여, 약 0.5~4dB 정도의 PSNR 성능 향상을 보인다.

Key Words : H.264, video transmission, error resilience, intra-frame, error concealment, packet loss

ABSTRACT

H.264 is the prominent video coding standard in various applications such as real-time video streaming and digital multimedia broadcasting, since it provides enhanced compression performance, error resilience tools, and network adaptation. Since compressed video stream is vulnerable to packet loss, error resilience and error concealment(EC) tools are essential for the transmission of video over the Internet. In this paper, we first propose a simple temporal EC method that improves the EC performance for intra-frame in H.264 when the amount of motion is relatively small. Then we propose a new hybrid EC method for intra-frame in H.264, which combines the spatial EC and temporal EC adaptively. The simulations are performed in packet-lossy environments, and the proposed hybrid EC method shows about 0.5~4dB PSNR improvement compared to the conventional spatial EC method that is used for intra-frame in H.264.

※ This research was supported by the Seoul R&BD(Research and Business Development) program in 2006.

* 건국대학교 정보통신대학 인터넷미디어공학부 (cyim@konkuk.ac.kr)

** 빅스원퓨처 시스템연구소

*** 이화여자대학교 공과대학 정보통신학과(hlim@ewha.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-01-002, 접수일자 : 2006년 1월 2일, 최종논문접수일자 : 2006년 7월 20일

I. 서론

네트워크에서의 전송 속도가 빨라지면서 주문형 비디오, 비디오 스트리밍 등 인터넷 상의 비디오 전송량이 점점 증가하고 있고, 유선 디지털 방송에서 무선 모바일 기기까지 비디오 전송 응용분야는 점차 확장되고 있는 추세이다. 그러나 현재 인터넷은 실시간 비디오 전송을 위한 네트워크 품질을 보장해 주지 않고 있고 전송 도중 패킷이 손실되거나 지연이 커지는 불안정한 특성을 가지고 있어 비디오를 코딩하고 전송하는데 있어서 여러 가지 기술이 필요하다. 비디오는 네트워크 품질에서 대역폭(bandwidth), 지연(delay), 손실(loss) 측면에서 요구 조건이 있다^[1]. 첫째, 비디오는 최소한의 대역폭을 가져야 적당한 화질을 유지 할 수 있다. 둘째, 딜레이 측면에서 봤을 때 일반 데이터에 비해 스트리밍이나 실시간 비디오 전송은 끊김이 없이 계속 재생되어야 하므로 제시 시간에 오지 못하고 늦게 도착하는 것은 손실과 같다. 셋째, 비트 에러나 패킷 손실로 인해 손실이 어느 정도 이상 높아지면 화질을 알아볼 수 없게 되므로 비디오를 인코딩과 디코딩하는 과정에서 이를 고려해야 한다. 따라서 패킷 손실이 있어도 비디오 화질을 최대한 유지할 수 있게 해 주는 순방향 에러 보정(forward error correction: FEC), 재전송, 에러 복구, 에러 은닉 등 여러 컨트롤이 필요하다^[1].

순방향 에러 보정은 비트스트림에 여분의 정보를 더하는 방식으로, 비트량이 증가하여 채널 용량을 줄이고 장기간에 집중적으로 패킷이 손실되면 성능이 떨어지는 단점이 있고, 자동 재전송 요구(automatic repeat request: ARQ)와 같은 재전송은 지연 측면에서 실시간 비디오 전송과 스트리밍에 적합하지 않다. 에러 복구 기술은 전송하기 전에 인코더 쪽에서 코딩하고 압축하는 단계에서 패킷 손실을 고려해 패킷 손실이 나더라도 손실의 영향을 적게 해 주는 방식이다. 에러 은닉(error concealment) 기술은 비디오 데이터를 전송받은 후 디코더 쪽에서 수행하는 방식으로, 패킷 손실이 일어났을 때 우리 눈에 적당한 화질로의 인식을 위해 정확히 받은 주위의 정보를 가지고 잃어버린 데이터를 복구한다. 이 방식은 인접한 정보와 연관성이 큰 특성을 이용하여 비교적 원래 데이터와 가깝게 복구할 수 있고 특별히 전송량을 증가시키지 않아 네트워크로 보낼 때 전송 부담을 주지 않는 장점이 있다. 따라서 비디오를 인터넷 상으로 전송하는 경우 인코더에서 사용하는 에러 복구 기술과 디코더에서 수행하는

에러 은닉 기술이 적합하다. 에러 은닉을 적용하면 패킷 손실이 발생하는 환경에서 전송 비용 부담을 늘리지 않고 비디오 화질을 복원하는 것이 가능하고, 에러 복구 기술과 에러 은닉을 같이 적용하면 더욱 효과적으로 에러를 복원하는 것이 가능하다. 따라서 네트워크에서 손실이 발생하는 경우 에러 복구와 에러 은닉의 성능에 따라 비디오 화질의 성능이 크게 좌우될 것임을 추정할 수 있다.

최근 H.264에 채택되어 있는 에러 은닉 알고리즘의 성능을 향상시킨 에러 은닉 방법들이 제안되었다^[2-5]. Jung 등은 손실된 매크로블록을 배경과 전경으로 구분해 시방향으로 연관성이 높은지 확인하고 전경일 경우 하나의 이전 프레임만으로는 연관성이 떨어지는 것을 고려하여 여러 개의 기준 프레임을 가지고 에러 은닉을 수행하는 것을 제안한다^[2]. Lee 등은 손실된 매크로블록의 블록 사이즈를 결정하여 여러 개의 참조 프레임으로부터 움직임 벡터들을 찾아 주변 경계 왜곡 측정치가 가장 작은 움직임 벡터를 선택하는 방법을 제안한다^[3]. Xu 등은 인접한 매크로블록들이 인트라 코딩된 개수가 많거나 같다면 공간방향(spatial) 에러 은닉 알고리즘을, 인트라 코딩된 개수가 많다면 시간방향(temporal) 에러 은닉 알고리즘을 적용하여 인접한 매크로블록들의 성격에 적응하여 에러 은닉 알고리즘을 적용할 것을 제안한다^[4]. Panos 등은 인트라 프레임이 독립적으로 코딩되어 이전의 프레임과 연관성이 떨어질 수도 있지만 에러가 축적되는 것을 방지하기 위하여 인트라 프레임으로 코딩하는 경우가 많으므로 이 두 가지 경우를 다 고려하여 공간방향 에러 은닉 뿐만 아니라 시방향 에러 은닉도 적용할 것을 제안하고 있다^[5]. 먼저 시간방향 에러 은닉을 수행하여 경계값 차이의 절대값의 합이 가장 작은 것을 선택한다. 이 절대값의 합이 일정 기준치보다 크면 구한 매크로블록 값을 버리고 H.264에서 기존 사용되고 있는 공간방향 에러 은닉 방법을 사용하고, 작거나 같으면 시방향 에러 은닉으로 구한 매크로블록 값으로 대체된다.

H.264 디코더에 구현된 방법은 인트라 프레임에는 공간방향 에러 은닉을 인트라 프레임에는 시간방향 에러 은닉을 각각 적용한다^[11, 12]. 본 논문에서는 인트라 프레임의 경우에도 제로 모션 벡터(zero motion vector)를 이용하여 간단한 시간방향 에러 은닉을 수행하고, 그에 해당되는 경계 왜곡의 정도에 따라 적응적으로 공간방향 에러 은닉을 결합한 하이브리드 방법을 제안한다. 제안된 인트라 프레임에

대한 적응적 하이브리드 에러 은닉 방법은, 인트라 프레임에 공간방향 에러 은닉만을 적용한 기존의 H.264 디코더에서 사용된 방법에 비하여 0.5~4dB 정도의 성능 향상을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장은 H.264 비디오 표준에 대해 살펴보고 III장은 H.264에서의 기존의 에러 은닉 알고리즘을 살펴본다. IV장에서 H.264의 인트라 프레임을 위한 간단한 시간방향 에러 은닉 방법과 하이브리드 에러 은닉 방법을 제안한다. V장에서 H.264에서 채택하고 있는 기존의 공간방향 에러 은닉 방법과 성능을 비교한 후, VI장에서 결론을 맺는다.

II. H.264 비디오 표준

2.1 H.264 비디오 에러 복구 기술

H.264는 높은 압축 비율과 다양한 네트워크로의 적응력을 가지고 있다. 이는 두 개의 개념적인 구조인 비디오 코딩 계층(video coding layer: VCL)과 네트워크 친화 계층(network abstraction layer: NAL)으로 구성되어 코딩의 효율성과 네트워크 친화적인 특성을 보여준다.

비디오 코딩 계층은 핵심 압축 기술을 포함하고 있으며 네트워크와 독립적이다. 기존의 비디오 표준의 방식을 수용하면서도 프레임 예측과 코딩 효율성, 에러와 패킷 손실로부터의 복구 측면에서 향상된 성능을 제공한다. 네트워크 친화 계층은 헤더 정보와 비디오 코딩 계층에서 코딩된 데이터를 전송 계층에 따라 전송에 적합한 형태로 지원해 인코딩된 여러 가지 프로토콜의 특성과 구조에 따라 쉽게 결합을 가능하게 한다^[6].

H.264의 에러 복구 기술들은 파라미터 집합(parameter set), 여분의 슬라이스(RS), 데이터 분할(Data Partitioning), FMO(flexible macroblock ordering)가 있다. 파라미터 집합은 프레임들이나 슬라이스를 디코딩하기 위해 필요한 중요한 정보를 신뢰적인 전송 프로토콜을 이용하여 미리 별도의 채널로 전송을 하여 패킷 손실로부터 보호할 수 있다. 여분의 슬라이스는 패킷 손실이 많이 발생하는 환경에서의 전송을 위해 코딩되는 슬라이스의 매크로블록에 여분의 매크로블록을 인코딩하는 것으로, 패킷 손실로 인해 원래의 슬라이스가 없어졌을 경우 여분의 슬라이스를 가지고 디코딩 된다. 데이터 분할은 매크로블록의 헤더, 슬라이스 헤더, 매크로블록 타입, 양자화 계수 등 디코딩하는데 가장 중요한 정보를 A

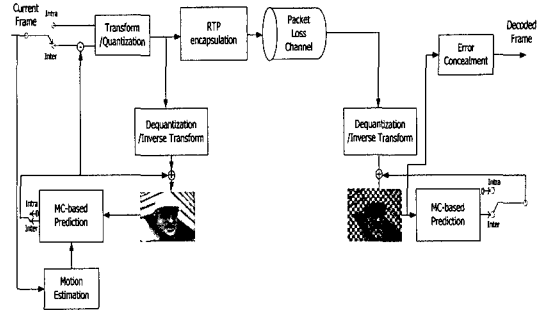


그림 1. 실시간 전송 프로토콜(RTP)/사용자 데이터그램 프로토콜(UDP)/인터넷 프로토콜(IP) 환경에서의 H.264 전송^[9]

구역, 인트라 프레임으로 코딩한 데이터는 B구역, 인터 프레임으로 코딩한 데이터를 C구역으로 슬라이스 당 총 3구역으로 나누어 3개의 네트워크 친화 계층 구조로 코딩하여 각각 따로 전송하여 패킷 손실에 대응하는 방식이다. FMO는 슬라이스 그룹 개념을 도입해 매크로블록마다 슬라이스 그룹을 지정하여 슬라이스에 매크로블록을 유연하게 할당하는 방식이다. 그 중 디스퍼스(disperse) 방식은 그룹들을 흩어지게 할당하는 방식으로, 슬라이스 그룹을 두 개로 해서 체크보드 타입으로 코딩이 이루어지면 어느 한 그룹에 속하는 패킷이 손실되었을 경우 다른 그룹에 속하는 패킷의 정보를 이용하여 효과적으로 에러 은닉을 적용시킬 수 있다^[7].

2.2 H.264 비디오 전송

실시간 비디오 전송을 위하여 인코딩된 비트스트림이 인터넷 상으로 전송되는 경우 네트워크 계층은 인터넷 프로토콜(Internet protocol: IP), 전송 계층은 사용자 데이터그램 프로토콜(user datagram protocol: UDP), 응용 전송 계층은 실시간 전송 프로토콜(real-time transport protocol: RTP)을 사용해 인터넷 상으로 전송된다. 인터넷 프로토콜은 전송 품질을 보장하지 않고 불안정한 서비스를 제공한다. 사용자 데이터그램 프로토콜은 손실에 대한 재전송이 없어 불안정하지만, 추가적인 지연을 발생시키지 않으므로 실시간 비디오 전송에 주로 사용된다. 하지만 UDP/IP를 사용하여 전송하는 경우 패킷의 손실과 순서의 재정렬이 발생할 수 있으므로 상위 응용 전송 계층인 실시간 전송 프로토콜(RTP)을 적용하여, 패킷 번호와 시간 정보를 통해 패킷 손실과 재생의 상대적인 시간을 알려 준다^[8].

그림 1은 인터넷 상으로 H.264의 전송 과정을 나타낸 것으로, H.264의 인코더에서 인트라 또는 인터 프레임으로 코딩하고 네트워크 친화 계층으로

매핑한 후, 실시간 트랜스포트 프로토콜 패킷으로 전송되고, 디코더에서 인트라 프레임 또는 인터 프레임에 따라 디코딩한 후 손실된 부분은 에러 은닉을 통해 복원한다.

III. H.264에서의 기존의 에러 은닉 알고리즘

에러 은닉은 매크로블록 단위로 수행되며, 상태 지도에 '손실됨(lost)'으로 표시되어 있는 매크로블록은 인접한 '정확히 받았음(correctly received)'으로 표시된 매크로블록들로 에러 은닉이 수행되어 복구되고, 정확하게 받은 인접한 매크로블록들이 하나도 없는 경우에는 '복구됨(concealed)'으로 표시된 매크로블록들로 에러 은닉이 수행된다. 에러 은닉은 인트라 프레임과 인터 프레임에 따라 두 가지 경우로 나누어질 수 있다.

에러 은닉은 은닉 방법에 따라서 공간방향 에러 은닉과 시간방향 에러 은닉으로 구분된다. 공간방향 에러 은닉은 에러가 발생한 프레임의 주변 화소의 정보를 이용하여, 상호 보간(interpolation)을 통하여 에러의 영향을 최소화 한다^[10]. 시간방향 에러 은닉은 에러가 발생한 블록을 복원하기 위해서 손실된 움직임 정보를 추정한 후, 이전 프레임에서 현재 프레임의 블록을 대체한다^[10].

3.1 인트라 프레임을 위한 공간방향 에러 은닉

인트라 프레임(intra-frame) 경우에는 이전의 프레임들이 아닌 현재 프레임에서 먼저 인코딩된 매크로블록들을 기반으로 코딩되기 때문에 2차원 공간적으로(spatially) 에러 은닉을 수행한다. 그림 2에서 보여주듯이 픽셀간의 거리에 반비례하게 웨이트를 계산해 평균을 내는 가중 픽셀 평균 방식(weighted pixel averaging)을 기반으로 수행된다^[11].

매크로블록의 수직좌표를 x , 수평좌표를 y , 매크로블록($0 \leq i \leq 16, 0 \leq j \leq 16$)을 구성하는 픽셀의 수직좌표를 i , 수평좌표를 j , 위쪽, 아래쪽, 왼쪽, 오른쪽에 위치한 인접한 매크로블록을 $mb_T(x,y)$, $mb_B(x,y)$, $mb_L(x,y)$, $mb_R(x,y)$ 라 하면, 에러 은닉에 사용되는 위 방향, 아래 방향, 왼쪽 방향, 오른쪽 방향 인접 벡터들은 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} T(j) &= mb_T(15, j), 0 \leq j < 16 \\ B(j) &= mb_B(0, j), 0 \leq j < 16 \\ L(i) &= mb_L(i, 15), 0 \leq i < 16 \\ R(i) &= mb_R(i, 0), 0 \leq i < 16 \end{aligned} \quad (1)$$

여기에서 공간방향 에러 은닉을 위한 가중치(weight)

들은 (2)와 같이 구한다^[11].

$$\begin{aligned} w_T(i) &= 16 - i \\ w_B(i) &= i + 1 \\ w_L(j) &= 16 - j \\ w_R(j) &= j + 1 \end{aligned} \quad (2)$$

가중 픽셀 평균 방식을 통해 복원된 매크로블록, $\widehat{mb}_s(i, j)$ 는 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} \widehat{mb}_s(i, j) &= \frac{w_T(i)T(j) + w_B(i)B(j) + w_L(j)L(i) + w_R(j)R(i)}{w_T(i) + w_B(i) + w_L(j) + w_R(j)} \end{aligned} \quad (3)$$

이 방식은 정확히 받은 이웃하는 매크로블록 개수가 2개 이상 있으면 정확히 받은 매크로블록들만으로 수행되며, 2개 미만인 경우는 에러 은닉으로 복원한 이웃하는 매크로블록들로 수행된다. 따라서 정확하게 받아진 이웃하는 매크로블록의 개수에 따라 에러 은닉 성능이 크게 좌우가 될 것임을 추정할 수 있다.

3.2 인터 프레임을 위한 시간방향 에러 은닉

인터 프레임(inter-frame)은 이전의 프레임을 참조하여 코딩되므로 2차원 공간적으로 이웃하거나 시간방향으로(temporally) 이웃하는 매크로블록들의 움직임 정보를 보고 없어진 매크로블록들의 움직임 벡터(MV)를 추측하여 에러 은닉을 한다^[10]. 정확히 받은 슬라이스들의 평균 움직임 벡터가 어느 일정 값보다 작으면 기준 프레임의 해당하는 위치에 있는

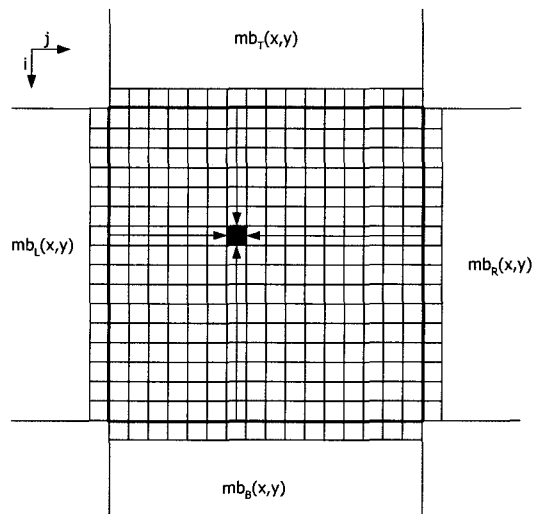


그림 2. 가중 픽셀 평균 방식을 기반으로 한 H.264 인트라 프레임의 공간방향 에러 은닉^[11]

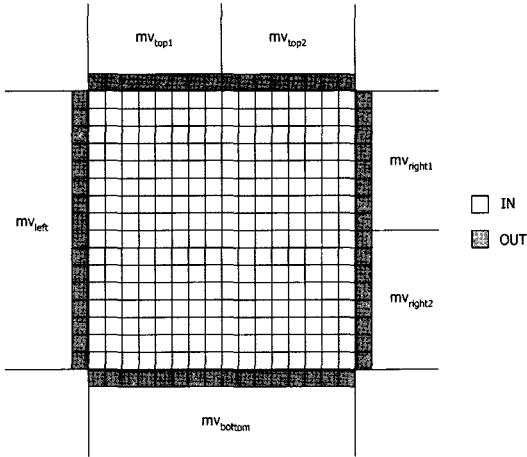


그림 3. 경계 매칭 알고리즘을 기반으로 한 H.264 인트라 프레임의 시간방향 에러 은닉[11]

값으로 대체되고, 크거나 같으면 경계 매칭 알고리즘(boundary matching algorithm: BMA)을 기반으로 이루어진다. 움직임 벡터의 최소 단위는 8x8단위로, 인접한 매크로블록들이 4x8, 8x4, 4x4블록으로 나누어졌을 경우는 평균을 구해 8x8단위의 움직임 벡터를 이용한다. 후보 매크로블록들은 위, 아래, 왼쪽, 오른쪽으로 이웃하는 매크로블록들의 움직임 벡터들을 가지고 움직임 보상으로 구한 네 개의 매크로블록들과 움직임 벡터가 0으로 기준 프레임의 해당하는 위치에 있는 매크로블록을 가지고 인접한 매크로블록들 간의 경계 부분 왜곡(side match distortion) d_{sm} 이 가장 작은 매크로블록으로 복원이 이루어진다^[11]. 식 (4)는 경계 부분 왜곡을 구하는 식을 나타내는데, 여기에서 N 은 d_{sm} 을 구하는 데 쓰인 총 픽셀의 수이다. 그림 3을 보면 IN에 위치한 $\hat{y}(mv^{dir})_j^{IN}$ 는 인접한 매크로블록 간에 경계와 맞닿아 있는 움직임 벡터를 가지고 움직임 보상을 통해 얻은 매크로블록의 픽셀 값이고, OUT에 위치한 y_j^{OUT} 는 복원하려는 매크로블록의 경계와 맞닿아 있는 이웃하는 매크로블록들의 픽셀 값이다^[11].

$$d_{sm} = \sum_{j=1}^N |\hat{y}(mv^{dir})_j^{IN} - y_j^{OUT}| / N \quad (4)$$

IV. 제안하는 에러 은닉 방법

4.1 인트라 프레임을 위한 시간방향 에러 은닉
기존의 H.264 레퍼런스 디코더에서 인트라 프레

임의 경우에는 공간방향 에러 은닉만을 적용한다. 그러나 인트라 프레임도 공간방향 이외에도 이전의 프레임과도 연관성이 클 수가 있어 시간방향 에러 은닉의 적용이 가능하므로, 인트라 프레임을 위한 시간방향 에러 은닉 방식을 제안한다. 움직임이 많은 경우 성능이 좋지 않을 수 있지만, 움직임이 적거나 움직임이 없는 경우에는 공간방향 에러 은닉보다 성능이 더 좋을 수 있다. 제안하는 시간방향 에러 은닉 알고리즘은 움직임 벡터를 0으로 두고 이전의 프레임에서 해당하는 위치의 매크로블록 값으로 대체하는 방식으로 (5)와 같다.

$$\hat{mb}_i(x,y) = mv_{i-1}(x,y) \quad (5)$$

$\hat{mb}_i(x,y)$ 는 현재 프레임에서 공간방향 에러 은닉을 수행해서 얻은 매크로블록을, $mb_{i-1}(x,y)$ 는 이전 프레임에서 같은 위치에 있는 매크로블록을, x,y 는 수직과 수평 방향의 매크로블록 위치 좌표를 나타낸다. 손실된 매크로블록과 바로 인접한 매크로블록들의 움직임 벡터들로부터 움직임 보상을 해서 값들을 비교할 필요할 없이 간단히 수행할 수 있으므로 계산하는 복잡성을 줄일 수 있다.

4.2 인트라 프레임을 위한 하이브리드 에러 은닉

본 논문은 손실된 인트라 프레임 매크로블록에 대해 공간 방향 에러 은닉과 시간방향 에러 은닉 방식을 적응적으로 결합시키는 하이브리드 에러 은닉 방법을 제안한다. 공간방향 에러 은닉은 H.264에서 사용되는 가중 평균 방식을, 시간방향 에러 은닉은 IV장 1절에서 제안한 방식을 이용한다. 제안하는 하이브리드 에러 은닉 알고리즘은 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{mb}(x,y) = \alpha \hat{mb}_s(x,y) + \beta \hat{mb}_t(x,y) \quad (6)$$

여기에서 $\beta = 1 - \alpha, 0 \leq \alpha \leq 1$.

식 (6)에서 α 값은 시방향으로 에러 은닉된 매크로블록에 대한 가중치를 나타낸다. 이 α 값은 H.264에서 시방향 에러 은닉을 적용할 때 측정하는 경계 부분 왜곡 측정치의 합인 D 에 의해 결정되고, D 는 (7), (8)과 같이 구한다. 여기에서 i,j 는 각각 수직방향과 수평방향을 나타내는 픽셀 좌표로, $16x \leq i < 16(x+1)$, $16y \leq j < 16(y+1)$ 로 표현할 수 있다. 그리고 $p_i(i,j)$ 는 현재 프레임의 (i,j) 좌표에 있는 픽셀 값을, $p_{i-1}(i,j)$ 는 이전 프레임에서 해당하는 위치에 있는 픽셀 값을 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 D_T &= \sum_{j=0}^{15} |p_{t-1}(16x, 16y+j) - p_t(16x-1, 16y+j)| \\
 D_B &= \sum_{j=0}^{15} |p_{t-1}(16x+15, 16y+j) - p_t(16x+16, 16y+j)| \\
 D_L &= \sum_{i=0}^{15} |p_{t-1}(16x+i, 16y) - p_t(16x+i, 16y-1)| \\
 D_R &= \sum_{i=0}^{15} |p_{t-1}(16x+i, 16y+15) - p_t(16x+i, 16y+16)|
 \end{aligned} \tag{7}$$

D_T, D_B, D_L, D_R 은 각각 위, 아래, 왼쪽, 오른쪽 경계 방향의 왜곡 측정치를 나타내고, D 는 이들의 합으로 다음과 같이 구한다.

$$D = D_T + D_B + D_L + D_R \tag{8}$$

D 의 값이 낮은 기준치 T_l 보다 작으면 시간방향 에러 은닉만 적용하게 되어 α 는 1이 되고, 높은 기준치 T_h 보다 크면 공간방향 에러 은닉만 수행하게 되고, α 는 0이 된다. D 의 값이 T_l 과 T_h 사이에 위치하면 적응적으로 공간방향과 시간방향 에러 은닉을 결합한다.

4.3 파라미터 선택 방법

본 절에서는 H.264 인트라 프레임에 대하여 시간방향 에러 은닉과 공간방향 에러 은닉을 적응적으로 결합하는 파라미터 선택 방법을 제안한다. D 의 값이 T_l 과 T_h 사이일 경우, α 값은 D 에 대해 선형적으로 감소하도록 구한다. 여기에서 D 는 시방향 에러 은닉에 의한 경계 부분 왜곡 정도를 나타낸다. 이상과 같이 경계 부분 왜곡치인 D 에 의하여 적응적으로 결정되는 가중치 α 를 식으로 표현하면 (9)와 같다.

$$\alpha = \begin{cases} 0, & D \geq T_h \\ \frac{-1}{T_h - T_l} D + \frac{T_h}{T_h - T_l}, & T_l < D < T_h \\ 1, & D \leq T_l \end{cases} \tag{9}$$

T_l 과 T_h 는 이전 프레임의 D 값들을 상대적으로 적게 반영하고 현재 프레임의 D 값을 상대적으로 많이 반영하는 이동 평균(moving average) 방식으로 정한다. T_l 과 T_h 는 D 에 대한 함수로서 실험적으로 정할 수 있는데, T_l 은 D 의 평균값의 2.8배, T_h 는 D 의 최대값으로 정하여 시뮬레이션을 수행하였다. D 의 평균값과 D 의 최대값의 이동 평균치는 (10)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \widehat{D}_{avg} &= (1-\gamma)\widehat{D}_{avg} + \gamma D_{avg} \\
 \widehat{D}_{max} &= (1-\gamma)\widehat{D}_{max} + \gamma D_{max}
 \end{aligned} \tag{10}$$

식 (10)에서 γ 는 현재 프레임에 대한 가중 비율을 나타내는데, 여기에서는 γ 값을 0.3으로 정하고 시뮬레이션을 수행하였다.

V. 시뮬레이션 결과 및 성능

본 논문은 'Foreman', 'Mobile', 'Mother and Daughter', 'Bus' CIF(common intermediate format) 비디오 영상에 대해 H.264 JM9.3버전^[12] 코드를 사용하여 출력 파일 형태를 실시간 트랜스포트 프로토콜(RTP) 패킷 모드로 시뮬레이션을 하였다. 여기에 H.264의 에러 복구 기술인 FMO(flexible macroblock ordering) 중 디스펄스(disperse) 방식과 인터리브(interleave) 방식을 적용하였다. 인터넷 상의 전송 중 패킷 손실 환경 구현을 위하여 RTP 패킷으로 구성된 비트스트림에서 임의의 패킷을 손실시키는 C 프로그램^{[13],[14]}을 수정하여 RTP 패킷 손실을 시뮬레이션 하였다.

표 1, 표 2, 표 3, 표 4는 각각 'Foreman', 'Mobile', 'Mother and Daughter', 'Bus' 영상에 대해 H.264 인코딩 파라미터 중 하나인 양자화 계수(QP)를 22, 34, 45로 다르게 해서 H.264의 인트라 프레임에서 사용하는 공간방향 에러 은닉(spatial EC) 방법, 제안하는 시방향 에러 은닉(temporal EC) 방법, 제안하는 하이브리드 에러 은닉 방식(hybrid EC) 방법의 PSNR(peak signal-to-noise ratio) 성능을 보여주고 있다. 표 1과 표 2는 FMO 중 디스펄스 방식, 표 3과 표 4는 인터리브 방식으로 시뮬레이션 한 결과이다.

표 1. H.264 인트라 프레임에 대한 기존의 공간방향 에러 은닉 방법과 제안된 에러 은닉 방법의 성능 비교(프레임 50~59, 디스펄스 방식)

비디오 영상	양자화 계수	PSNR 성능		
		기존의 공간 방향 에러 은닉 방법	제안된 시방향 에러 은닉 방법	제안된 하이브리드 에러 은닉 방법
Foreman	22	24.17	25.07	26.53
	34	23.83	24.65	26.13
	45	20.64	21.27	22.92
Mobile	22	18.40	19.31	20.80
	34	18.23	19.05	20.57
	45	17.00	17.59	19.24
Mother and Daughter	22	28.40	29.95	31.04
	34	28.07	29.22	30.25
	45	19.78	20.78	22.71
Bus	22	20.61	20.21	21.17
	34	20.30	19.97	20.98
	45	18.45	18.51	19.75

표 2. H.264 인트라 프레임을 위한 기존의 공간방향 에러 은닉 방법과 제안된 에러 은닉 방법의 성능 비교(프레임 90~99, 디스펄스 방식)

비디오 영상	양자화 계수	PSNR 성능		
		기존의 공간 방향 에러 은닉 방법	제안된 시방향 에러 은닉 방법	제안된 하이브리드 에러 은닉 방법
Foreman	22	28.61	31.13	31.25
	34	25.98	28.51	28.70
	45	21.59	24.00	24.34
Mobile	22	24.39	26.84	26.87
	34	21.04	23.44	23.50
	45	17.48	19.55	19.93
Mother and Daughter	22	31.18	34.81	34.82
	34	28.42	31.79	31.96
	45	21.82	24.43	24.51
Bus	22	25.47	27.22	27.40
	34	22.41	24.21	24.42
	45	19.04	20.88	21.29

표 3. H.264 인트라 프레임을 위한 기존의 공간방향 에러 은닉 방법과 제안된 에러 은닉 방법의 성능 비교(프레임 50~59, 인터리브 방식)

비디오 영상	양자화 계수	PSNR 성능		
		기존의 공간 방향 에러 은닉 방법	제안된 시방향 에러 은닉 방법	제안된 하이브리드 에러 은닉 방법
Foreman	22	22.36	22.65	23.96
	34	22.13	22.41	23.59
	45	20.21	20.30	21.67
Mobile	22	17.37	17.78	19.17
	34	17.24	17.62	18.95
	45	16.33	16.58	18.04
Mother and Daughter	22	27.59	28.21	29.38
	34	27.18	27.66	28.83
	45	20.87	21.06	22.54
Bus	22	18.72	18.21	19.86
	34	18.54	18.07	19.76
	45	17.36	17.09	18.78

시물레이션 결과는 제안하는 하이브리드 에러 은닉 방법의 PSNR 성능이 가장 좋고 제안하는 시방향 에러 은닉 방법, H.264에서 사용하고 있는 공간방향 에러 은닉 방법^[11] 순으로 성능을 보여주고 있다. 디스펄스 방식을 적용하였을 때 제안하는 시간방향 에러 은닉 방식이 기존의 공간방향 에러 은닉 방식에 비하여 움직임이 적은 ‘Foreman’, ‘Mother

표 4. H.264 인트라 프레임을 위한 기존의 공간방향 에러 은닉 방법과 제안된 에러 은닉 방법의 성능 비교(프레임 90~99, 인터리브 방식)

비디오 영상	양자화 계수	PSNR 성능		
		기존의 공간 방향 에러 은닉 방법	제안된 시방향 에러 은닉 방법	제안된 하이브리드 에러 은닉 방법
Foreman	22	27.65	30.40	30.70
	34	25.16	27.89	28.20
	45	21.74	24.18	24.63
Mobile	22	23.91	26.22	26.83
	34	20.42	22.69	23.30
	45	17.16	19.18	19.89
Mother and Daughter	22	31.16	35.16	35.19
	34	28.37	32.13	32.17
	45	22.56	25.19	26.38
Bus	22	24.66	26.47	27.23
	34	21.52	23.32	24.09
	45	18.60	20.39	21.18

and Daughter’ 비디오 영상은 최대 2.5dB, 3.7dB, 움직임이 약간 큰 ‘Mobile’ 비디오 영상은 최대 2.4dB, 움직임이 큰 ‘Bus’ 비디오 영상은 최대 1.8dB 성능 향상을 나타내고 있다. 인터리브 방식을 적용하였을 때 제안하는 시간방향 에러 은닉 방식이 기존의 공간방향 에러 은닉 방식에 비하여 ‘Foreman’, ‘Mother and Daughter’ 비디오 영상은 각각 최대 2.7dB, 4dB, ‘Mobile’ 비디오 영상은 최대 2.4dB, ‘Bus’ 비디오 영상은 최대 1.8dB 정도의 성능 향상을 나타내고 있다. 이는 움직임이 큰 경우에는 이전 프레임과 현재 프레임의 연관성이 떨어지게 되어 시간방향 에러 은닉의 성능 향상 효과가 적지만, 움직임이 비교적 작거나 없는 경우에는 이전 프레임과 현재 프레임의 연관성이 크므로 시간방향 에러 은닉의 성능 향상 효과가 커지기 때문이다. 제안하는 하이브리드 에러 은닉 방법은 기존의 H.264 디코더에서 사용된 인트라 프레임을 위한 공간방향 에러 은닉 방법에 비하여 0.5~4dB 정도의 성능 향상을 보여준다.

그림 4는 양자화 계수(QP)가 34일 때의 ‘Mother and Daughter’ 비디오 영상에 대한 시물레이션 결과로, H.264에서 채택하고 있는 공간방향 에러 은닉 방법으로 복원한 영상, 제안하는 시간방향 에러 은닉 방법으로 복원한 영상, 제안하는 하이브리드 에러 은닉 방법으로 복원한 영상을 나타낸다.



그림 4. 양자화 계수(QP) 34일 때 복원한 영상 (a) 원영상, (b) H.264의 공간방향 에러 은닉을 적용한 영상, (c) 제한한 시방향 에러 은닉을 적용한 영상, (d) 제한한 하이브리드 에러 은닉을 적용한 영상

H.264에서 사용되는 공간방향 에러 은닉 방법으로 복원한 영상은 매크로블록들 간에 경계선이 보이는 블록 효과가 제일 큰 모습을 보인다. 제안하는 시간방향 에러 은닉으로 복원한 영상은 전체적으로 공간방향 에러 은닉에 비하여 더 잘 복원되었으나 복잡한 에지 부분에서 약간 뭉개지는 모습을 보이고 있다. 반면에 제안하는 하이브리드 에러 은닉 방법으로 복원한 영상은 전체적으로 복원된 영상의 주관적 화질이 더 좋고, 복잡한 에지 부분에서의 화질이 다른 두 방법에 비하여 향상이 되었다. 이러한 현상은 움직임이 적거나 없는 부분은 시간방향 에러 은닉에 의하여 잘 복원이 되고, 움직임이 상대적으로 큰 부분은 시간방향과 공간방향 에러 은닉의 결합에 의하여 성능이 향상되었기 때문이다.

VI. 결론

본 논문은 인트라 프레임이 현재 프레임의 같은 슬라이스 내에서 인접한 매크로블록들로 코딩되지만 이전 프레임과도 연관성이 있으므로 먼저 시방향 에러 은닉 알고리즘을 적용할 수 있음을 제안하였다. 움직임 벡터를 0으로 두어 이전 프레임에서 해당하는 위치의 매크로블록 값으로 간단하게 복원하는 방식이다. 또한 공간방향과 시방향 에러 은닉 방법 중 하나만을 선택하는 방식이 아닌 공간방향과 시간방향 에러 은닉을 적응적으로 결합한 하이브리드 에러 은닉 방법을 제안하였다.

시간방향으로 복원했을 경우의 경계 부분 왜곡 측정치가 낮은 기준치보다 작은 경우에는 시간방향 에러 은닉을, 경계 부분 왜곡 측정치가 높은 기준치보다 큰 경우에는 공간방향 에러 은닉을, 경계 부분 왜곡 측정치가 낮은 기준치와 높은 기준치 사이에 있는 경우에는 공간방향과 시간방향 에러 은닉을 파라미터에 의하여 적응적으로 결합한 하이브리드 에러 은닉 방법을 적용한다.

제안하는 두 가지 방법은 기존에 구현되어 있는

H.264의 공간방향에러 은닉 알고리즘보다 PSNR 성능이 향상이 되었는데, 특히 움직임이 작고 양자화 계수가 상대적으로 작은 경우에는 더 향상된다. 이 중 제안하는 하이브리드 에러 은닉 방법은 시간방향 에러 은닉 방법만을 적용했을 때보다 PSNR 성능이 더 향상되었다. 제안하는 에러 은닉 방법은 패킷 손실율이 높고 비트 레이트가 상대적으로 낮은 네트워크 환경에서 실시간 비디오 전송을 위하여 효과적으로 적용될 수 있다.

참고 문헌

- [1] D. Wu, Y. T. Hou, and Y. Q. Zhang, "Transporting real-time video over the Internet: Challenges and Approaches," Proc. IEEE Vol.88, pp.1855-1877, Dec. 2000.
- [2] B. Jung, B. Jeon, M. D. Kim, B. Suh, and S. I. Choi, "Selective temporal error concealment algorithm for H.264/AVC," Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo, Vol.1, pp.411-414, June, 2004.
- [3] P. J. Lee, H. H. Chen, and L. G. Chen, "A new error concealment algorithm for H.264 Video Transmission," Proc. IEEE Int. Sympo. Intelligent Multimedia, pp.619-622, Oct. 2004.
- [4] Y. Xu and Y. Zhou, "H.264 video communication based refined error concealment schemes," IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol.50, No.4, pp.1135-1141, Nov. 2004.
- [5] P. Nasiopoulos, L. Coria-Mendoza, H. Mansour, and A. Golikeri, "An improved error concealment algorithm for intra-frames in H.264/AVC," Proc. IEEE Int. Symp. Circuits and Systems, Vol.1, pp.320-323, May, 2005.
- [6] T. Wiegand, G. Sullivan, J. Bjøntegaard, and G. A. Luthra, "Overview of the H.264/AVC

