

적응적 웨이블릿 변환을 이용한 컬러 비디오 영상 코딩에 관한 연구

김혜경^o, 오해석

승실대학교 컴퓨터학과 멀티미디어연구실

hkkim@multi.soongsil.ac.kr, oh@computing.soongsil.ac.kr

A Study of Color Video Coding Using Adaptive Wavelet Transform

Hye-Kyung Kim^o, Hae-Seok Oh

Multimedia Lab., Dept. of Computer Science, Soongsil University

요 약

본 논문에서는 적응적인 웨이블릿 변환에 기초한 저속 비트율 비디오 코딩 방법의 새로운 알고리즘을 제안한다. 접근 방법은 양자화된 웨이블릿 계수들이 웨이블릿 서브밴드 구조내에서 중복성을 활용하는 메커니즘에 의해서 전처리된다면 코딩 절차가 더욱 효과적으로 나타난다. 그러므로 본 논문에서는 코딩부분의 최적화 활동에 초점을 맞추어 완전한 중복 블록 움직임 보상된 에러프레임에서 일치성을 확보하기 위해 이용하고, 향상된 코사인 윈도우를 적용하였다. 또한 웨이블릿 변환은 각 일치한 움직임 보상된 에러 프레임에 전체적인 에너지 컴팩션에 도달하도록 적용된다. 움직임 벡터의 수평적, 수직적 성분은 적응적 산술적 코딩을 사용하여 독립적으로 인코딩되는 반면에 의미있는 웨이블릿 계수는 적응적 산술 코딩을 사용함에 의해서 비트-플레인 순서로 인코딩된다. 제안된 부호기는 28Kbits에서 PSNR이 평균적으로 각각 대략 2.07과 1.38dB에 존재하는 H.263과 ZTE를 초과한다. 전체순서 코딩에 대하여도 3DWCVC 방법은 평균적으로 각각 0.35와 0.71dB을 나타내는 H.263과 ZTE 보다 우수한 성능을 보인다.

1. 서론

비디오 통신시스템에서 저대역의 채널과 함께 작동하는 매우 낮은 비트율의 비디오 압축은 빠르게 확산되는 연구분야가 되었다. 또한 잘 확립된 기법들은 블록기반 움직임 보상(BME:block-based Motion compensation)과 DCT를 기초로 하고 있다. 이러한 기법들 중에서 가장 유망한 한가지는 웨이블릿 변환 체계이며, 이런 변환 코딩기법은 부대역(subband) 코딩 기법들로 결합된다. 웨이블릿은 상호간에 의존하는 부분들에 대한 역상호관계를 나타내고, 입력 신호를 표현하는 샘플들의 에너지 간결화(compaction)를 수행한다. 또한, 공간 주파수 도메인내에 잘 배치되어 영상의 자연적인 특성들에 부합되고, 그들의 다양한 규모의 특징들이 드러난다.

논문에서 제안하는 매우 낮은 비트율의 애플리케이션을 위한 고성능의 하이브리드 3-D 웨이블릿 비디오 코딩 체계에서는 블록킹 효과를 제거하기 위하여 OBMC 방법을 적용한다. 또한 움직임 보상된 에러 프레임에 대한 웨이블릿 변환을 따르는 시간 도메인(time domain)의 움직임 평가와 움직임 보상으로 확장된 3-D 서브밴드 웨이블릿 비디오 코딩 체계의 이득은 매우 낮은 계산적인 복잡도와 에러 발생의 예방을 포함한다. 또한 컬러 모델을 적용한 3-D 웨이블릿 비디오 코딩 방법은 인터넷 방송 서비스등에서 필수적인 기술로 각광을 받을 것으로 예상되며, 보다 자연스러운 영상 표현을 위하여 필수적으로 연구되어야 할 분야가 되었다.

관련연구는 2장에 서술하고, 3장에서는 제안하고자 하는 알고리즘을 기술한다. 4장에서는 제안한 알고리즘의 성능을 평가한다. 마지막 5장에서 결론과 향후연구 과제에 대해 서술한다.

2. 관련연구

비디오 코딩에 대한 대부분의 작업은 2-D 웨이블릿 기반 체계를 확장하는 문제에 대한 해결책을 제공하는 것으로 발표되었고, 세 가지 그룹으로 분류할 수 있다. 첫 번째 그룹은 2-D 웨이블릿 변환의 확장이나 3-D 부대역 코딩(3-D SBC : 3-D subband coding)에 대한 부대역 코딩(subband coding) 체계를 제안한다[1]. 두 번째 그룹은 웨이블릿 도메인내에서 다중해상도의 움직임 보상에 도움을 줄 수 있는 시간적 중복성을 획득하는 것을 시도한다[2]. [3]에서 표현된 세 번째 생각은 수정된 블록 매칭 알고리즘을 사용한, 소위 중복 블록 움직임 보상(OBMC : overlapped block motion compensation)[4]이라 불리는 하나의 체계가 제안되었다. 전통적인 블록 기반 움직임 보상처럼, OBMC는 사전적인 에러 신호내에서 인위적인 블록킹 결과를 제거하는 이점과 함께 사전적 코딩(predictive coding)을 위한 매우 효과적인 기법이다.

3. 제안 알고리즘 소개

3.1 적응적 웨이블릿 영상 코딩 기법

영상 압축에서, 웨이블릿 변환의 목적은 픽셀간의 상관관계를 감소시키거나 제거하는 것이다. 2가 원소의 웨이블릿 변환을 사용하여, 시그널은 소위 옥타브 밴드에서 분해된다. 서브밴드에 대한 중간 주파수가 낮아질수록, 대역폭은 더욱 작아지고 주파수의 해상도는 더욱 높아진다. 만약 주파수 구성요소의 합계가 더 낮은 주파수에 대한 것보다 공간적 주파수가 높은 것이 더 적다면, 이것은 영상 부호화에 대하여 최적이다. 만약에 그런 영상들에 대하여 웨이블릿 변환에 대한 이점을 사

용하기를 원한다면, 그것은 주파수 도메인 내에서 부가적인 분해를 만드는데 적당하고, 더 나아가서 웨이블릿 계수들의 전체 상관관계가 기대된다. 남겨진 과정은 분해 결정에 대한 좋은 표준을 발견하는 것이다.

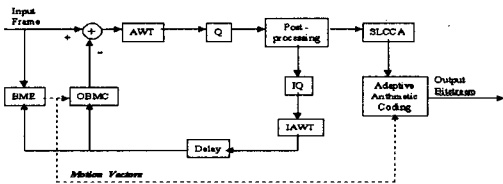
이러한 공헌에서, 서브밴드 내부에 있는 상관관계를 평가하는 표준함수가 제안된다. 그것에 대하여, 자동 상관 함수는 다음과 같다.

$$R_{xx}[l, k] = \sum_m \sum_n d_{m,n} \cdot |d_{m+l, n+k}| \quad (1)$$

비율은 다음과 같다.

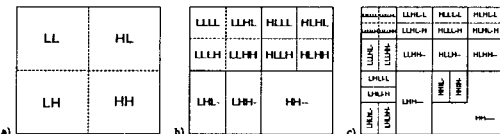
$$q_x = \frac{R_{xx}[1, 0]}{R_{xx}[0, 0]} \text{ and } q_y = \frac{R_{xx}[0, 1]}{R_{xx}[0, 0]} \quad (2)$$

x-와 y- 방향에서 서브밴드에 대한 웨이블릿 계수들의 상관관계에 대하여 측정한다. 만약 계수들이 x- 방향으로 충분히 전체상관된다면, $R_{xx}[1, 0]$ 와 q_x 는 계로가 된다. 만약 $q_x = 1$ 이라면, 가장 강한 상관을 획득한다. 동시에 y- 방향에서의 상관에 대하여 참을 유지한다.



(그림 1) 제안된 3DWCVC 비디오 코딩 알고리즘의 블록 다이어그램

(그림 1)은 제안된 3DWCVC(3-D Wavelet Color Video Coding) 비디오 코딩 알고리즘의 블록 다이어그램을 보여준다. (그림 2)의 예제에서는 2가 원소의 분해를 보여준다. 첫째, 최초의 영상은 4개의 서브밴드(LL, LH, HL, HH)로 분해된다. L은 저역 통과 필터로부터 산출된 서브밴드를 표시하고, H는 고역 통과 필터링으로부터 산출된 서브밴드를 표시한다. 이러한 서브밴드는 가상적인 1/4 트리 구조를 구성하는 4로 간주된다. LL-서브밴드에 대한 상관관계의 계산은 필요하지 않고, 반면에 세 개의 다른 서브밴드에 대한 상관비율 q_x 와 q_y 가 계산된다. 유일하게 값이 주어지지 않는 스레스홀드보다 크다면 분해가 수행된다.



(그림 2) x-y-적응적인 3단계 웨이블릿 변환

성공적인 역 웨이블릿 변환에 대하여 분해 구조의 전송이 필요하다. 이것은 4-심볼-알파벳(분해하지 않은 것, x-방향으로 분해, y-방향으로 분해, 두 가지 방향에서 분해)을 사용하여 수행된다. 전송된 심볼의 숫자는 모든 1/4 트리 단계에서 4번 거듭되어진다. 적응성

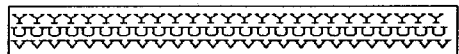
있는 산술적인 코더를 전송 비용의 최소화를 위해 사용한다.

3.2 웨이블릿 양자화 방법

웨이블릿 계수들을 흡수하기 위하여 본질적으로 잡음과 관련되어 있는 쓸모없는 지역 즉, 큰 계로 상자 $[-r, r]$ 를 구현하였다. 단계 크기에 대한 계로 상자 크기에 대한 비율 $\eta = (2r/q)$ 는 인트라프레임 코딩을 위하여 $\eta_{intra} = 1.5$ 로 선택되어졌고, 인터프레임 코딩을 위하여는 $\eta_{inter} = 2.0$ 을 사용한다.

3.2 컬러 비디오 코딩 방법

컬러 비디오에 대한 3-D SPIHT의 단순한 애플리케이션은 전통적인 컬러 비디오 코더가 했던 것처럼 각 컬러 플레인을 개별적으로 코드화한다. 그러므로, 각 플레인의 생성된 비트 스트림은 연속적으로 연결된다. 그럼에도 불구하고, 이 단순한 방법은 컬러 컴포넌트 사이에서 비트의 할당을 요구할 것이고, 정확한 비율 제어에 실패하고, 또한 비디오 코덱의 완전한 내장성에 대한 요구사항을 만족시키는 데 실패할 것이고, 이후 디코더는 재구성하여 보여주기 위해 전체 비트-스트림이 도착할 때까지 기다릴 필요가 있다. 그 대신에, 하나는 모든 컬러 플레인을 코딩 단계에서 하나의 단위처럼 다룰 수 있고, 비트 스트림의 어떤 지점에서 멈출 수 있으며, 또한 주어진 비트율에서 최고 품질의 컬러 비디오를 재구성하기 위해서 하나의 혼합된 비트-스트림을 생성한다. 게다가, 컬러 플레인 사이에서 비트를 가장 바람직하게 자동적으로 할당하는 알고리즘을 위하여 완전 내장성과 정확한 비율 제어(rate control)를 보존할 것이다. 컬러가 내장된 비트스트림을 생성하는 방법은 다음 (그림 3)과 같다. 즉, 비트스트림의 어떤 지점에서 멈출 수 있고, 그때의 비트율에서 컬러 비디오를 여전히 재구성하는 것이 가능하다.



(그림 3) 내장된 컬러 비트 스트림

3.2 움직임 평가와 보상 기법

1) 움직임 평가 : 최초의 프레임은 중복되지 않은 16*16 매크로 블록으로 분할된다. 각 매크로 블록은 계로, 하나, 또는 네 개의 움직임 벡터를 가진다. 정수 픽셀의 해상도를 가진 완전 검색의 블록 매칭 알고리즘은 휘도 성분으로 하나의 움직임 벡터를 평방 평균 에러인 MSE(Mean-squared error)를 기준으로 사용하여 매크로블록마다 결정하기 위해 사용된다. 검색범위는 수평적이면서 수직적인 두가지 방향에서 ± 15 픽셀이다. 각 매크로 블록은 4개의 8*8 블록으로 분해되고, 블록마다 하나의 움직임 벡터는 반 픽셀 해상도로 검색되고 결정된다. 네 개의 블록 움직임 벡터는 매크로 블록의 움직임 벡터와 독립적으로 결정된다. 이후에, 매크로 블록 당 계로 움직임 벡터는 $MSE_{zero} < MSE_{one} + T_{null}$ 일 때 결정되고, 이 수식에서 MSE_{zero} 와 MSE_{one} 은 각각 계로 움직임 벡터와 하나의 움직임 벡터를 매크로 블록마다 사용함에

따라 매크로 블록의 결과로 구성된 MSE를 나타낸다. 그리고, T_{null} 은 Null 가장자리(margin)를 명확하게 나타낸다. 또한, $MSE_{four} + T_{split} < MSE_{one}$ 일 때, 매크로 블록마다 네 개의 움직임 벡터가 사용되고, 여기서 MSE_{four} 는 매크로 블록마다 네 개의 움직임 벡터가 사용될 때를 나타내고, 또한 T_{split} 는 미리 정해진 분열된 가장자리(split margin)를 나타낸다. 반면에, 매크로 블록마다 하나의 움직임 벡터가 사용된다. 물론, 각 매크로 블록에 대하여 사용된 움직임 벡터의 수는 디코더에 전송한다.

널 가장자리(null margin) T_{null} 이 증가함에 따라, 제로 움직임 벡터를 가진 매크로 블록의 수는 증가한다. 이러한 결과는 움직임 벡터의 전송에서 대역폭의 감소를 초래하고, 움직임 보상된 에러 프레임 에너지의 증가로 끝난다. 분열한 가장자리 T_{split} 의 값이 축소됨에 따라서 매크로 블록 당 하나의 움직임 벡터 위에 네 개의 움직임 벡터는 움직임 벡터 정보의 증가를 초래하고, 움직임 예언 에러 에너지의 감소를 가져온다. 실험적으로 $T_{split} \approx 6 \cdot T_{null}$ 이 균일한 움직임 보상된 에러 프레임을 의미있는 MSE의 축소로 산출하는 완전한 OBMC 알고리즘과 잘 어울린다는 사실이 발견되어졌다.

2) 움직임 보상 : 블록킹 효과에 특별한 규정을 받지 않는 균일한 움직임 보상은 알고리즘의 성공에 결정적이다. DCT-기반의 하이브리드 비디오 코딩 알고리즘에서, DCT의 효율성은 움직임 블록 경계선이 DCT 블록 경계선으로 잘 연합된다는 사실 때문에 블록 기반의 움직임 평가와 움직임 보상에 의해 인공적인 블록킹 효과에 의해서 의미적으로 강등되지 않는다. 그러나, 웨이블릿 변환처럼 전역적인 변환의 경우에 인공적인 블록킹 효과는 불연속의 고주파 컴포넌트가 생성될 것이고, 따라서 웨이블릿 변환의 효율성은 에너지 컴팩션에 기초를 두고서 의미적으로 강등된다. 개선 알고리즘 방법에 따라 완전하게 중복된 블록 움직임 보상은 움직임 보상된 에러 프레임에 대한 블록킹 효과를 경감시킨다. OBMC는 균일한 움직임 보상된 에러 프레임을 제공할 뿐만 아니라 또한 움직임 보상된 예견 에러를 감소시킨다. 완전한 OBMC 알고리즘에 대한 연산에서 프레임은 8x8 픽셀의 중복되지 않는 블록으로 분열되고 블록 당 하나의 움직임 벡터가 할당된다. 그것은, 매크로 블록마다 하나의 움직임 벡터가 움직임 평가에서 결정되는 것이고, 움직임 벡터는 네 개의 구성 요소인 블록들의 각각에 대하여 중복된다. 각 중복된 블록은 이전의 재구성된 프레임으로부터 현재의 블록으로 할당된 9개의 움직임 벡터와 그것의 8개의 이웃하는 블록을 사용함에 의해 현재의 프레임을 전송하는 것에 의해 결정된 많은 9개 블록들에 대한 가중된 합계로써 구성된다. 몇몇의 테스트 영상의 순서에서 성능 평가는 4-픽셀이 겹쳐짐과 함께 향상된 코사인 윈도우는 가중치를 위한 좋은 선택을 보여준다.

4. 성능 평가

3DWCVC에서 움직임 평가는 유일한 휘도 성분으로 수

행된다. 휘도 성분에 대한 움직임 보상에 대하여, 대응하는 휘도 움직임 벡터는 두 가지에 의해 나누어지는데, 블록 크기 4x4 인 OBMC 와 두 개의 픽셀이 겹쳐지는 증대된 코사인 윈도우 함수가 적용된다. 성능 비교는 QCIF 해상도내에서 수행되고, 인트라 프레임 코딩 비교에서 평균화된 채도 성분에 대하여, 3DWCVC는 14와 28 kbits 각각에서 0.46-2.10 dB 과 1.23-2.23 dB 에 대해서 ZTE 의 성능을 초과한다. 인트라 프레임 코딩 비교에 대하여, 3DWCVC 는 U 와 V 컴포넌트에 대하여 평균적으로 각각 0.95 와 0.50 dB 만큼 H.263 보다 성능이 뛰어나다. 3DWCVC는 평균 0.32 dB 만큼 H.263 보다 우수하다. (그림 4)는 객관적인 실험영상을 재구성한 결과화면을 보여주고 있다. 저속 비트율의 비디오 영상을 재구성한 결과화면은 3DWCVC 방법이 H.263 보다 영상 품질이 향상됨을 보여주고 있다



(그림 4) Foreman 의 재구성된 프레임 50 at 115 kbps and 15 fps (좌)H.263 (우)3DWCVC

5. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는 매우 낮은 비트율의 비디오 코딩을 위하여 컬러 비디오의 의미있는 링크로 연결된 컴포넌트를 분석하여 가상적인 혼성의 웨이블릿 기반의 코딩 알고리즘을 표현했다. 복원된 영상의 블록킹 현상과 복원된 영상의 선명하지 않은 흐림(blur) 현상을 제거하기 위하여 제안된 중복 블록 움직임 보상기법은 움직임 보상된 에러 프레임과 긴밀하게 결부되어 의미적으로 축소된 프레임 에너지를 산출하였다. 향후 연구방향은 좀더 향상된 계산적인 비용의 축소를 고려함과 동시에 신속하고 정확한 영상의 복원 알고리즘을 고려하고자 한다. 또한 적응적인 웨이블릿 변환과 함께 더 나은 움직임 모델의 결합에 대하여 연구하고자 한다.

6. 참고 문헌

[1] C.I.Podilchuk, N. S. Jayanl, and N. Farvardin, "Three-dimensional subband coding of video," IEEE Trans. Image Processing, vol. 2, pp.125-139, Feb. 1995.

[2] Y. Q. Zhang and S. Zafar, "Motion-compensated wavelet transform coding for color video compression," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 2, pp. 285-296, Sept. 1992.

[3] D. G. Sampson, E. A. B. da Silva, and M. Ghanbari, "Low bit-rate video coding using wavelet vector quantization," Proc. Inst. Elect. Eng., vol. 142, pp. 141-148, June 1995.

[4] R. W. Young and N. G. Kingsbury, "Frequency-domain motion estimation using a complex lapped transform," IEEE Trans. Image Processing, vol. 2, pp. 2-17, Jan. 1993.