

웨이블릿 영역에서의 다중해상도 움직임 보상 방법

김종태, 양창모, 임동근, 호요성
광주과학기술원 정보통신공학과
광주광역시 북구 오룡동 1번지

Multiresolution Motion Compensation in the Wavelet Domain

Jong-Tae Kim, Chang-Mo Yang, Dong-Keun Lim and Yo-Sung Ho
Kwangju Institute of Science and Technology (K-JIST)
1 Oryong-dong, Puk-gu, Kwang-ju, Korea
E-mail: jtkim@kjist.ac.kr

요약

일반적인 동영상 압축 부호화 방법에서 시간적 중복 정보를 줄이기 위해 움직임 예측과 움직임 보상 방법을 이용한다. 웨이블릿 변환을 이용한 동영상 압축 부호화 기법 중에는 기존의 공간 영역에서의 움직임을 예측하는 대신에 웨이블릿 변환 영역에서 움직임을 예측하기도 한다. 이러한 방법은 움직임 예측 시간을 줄이는 장점이 있지만, 웨이블릿 변환에서 추림(Desimation)하는 과정에서 천이-변동 문제 (Shift-Variant Problem)를 일으켜 좋지 않은 성능을 나타낸다. 본 논문에서는 웨이블릿 영역에서의 다중 해상도 움직임 예측에서 천이-변동 문제를 해결하기 위한 새로운 움직임 예측과 움직임 보상 방법을 제안한다. 제안된 방법은, 기존의 공간 영역에서의 블록 정합 방법과 비교하여, 더 높은 화질을 나타낼 뿐 아니라, 주관적 화질에도 개선된 결과를 보인다.

1. 서론

최근 인터넷이나 무선 네트워크를 통한 멀티미디어 전송 서비스가 크게 부각되고 있다. 이와 같은 전송 환경에서는 대역폭이 상황과 시간에 따라 변하고, 패킷의 손실이 일어날 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 채널 환경에 적합한 여러 가지 동영상 압축 부호화 기법들이 제안되었는데, 그 중에서도 계위적 부호화 방식(Scalability)이 주목을 받고 있다. 계위적 부호화 방법으로 부호화된 하나의 비트열을 수신기와 전송 선로의 성능에 따라 알맞게 수신하여 적응적으로 복호화한다.

MPEG이나 H.26x 시리즈와 같은 일반적인 동영상 부호화 방식에서 시간적 중복 정보를 줄이기 위해 움직임 예측 및 움직임 보상 방법을 사용한다. 최근 웨이블릿 부호화 기법을 이용한 정지영상 압축 방식이 많이 제안되었다. 웨이블릿을 이용한 압축 부호화 방법은 DCT를 사용한 방법보다 압축 효과와 점진적 전송 측면에서 더 나은 성능을 나타내는 장점을 가진다. 이런 이유로 웨이블릿 부호화를 동영상 부호화기에도 이용하려는 연구가 많이 진행되고 있다.

웨이블릿 변환을 이용한 동영상 부호화기에서는 기존의 공간 영역에서의 움직임 예측 방법 대신에 웨이블릿 영역에서의 부대역간 움직임 예측을 수행한다 [2]. 기존의 웨이블릿 영역에서의 움직임 예측 및 움직임 보상 방법을 이용한 부호화기에서 천이-변동 문제로 보상 화면의 화질 저하가 일어난다. 특히, 최저주파 부대역 간의 움직임 벡터를 다른 부대역의 움직임 벡터로 사용하는 다중해상도 움직임 보상 알고리즘에서 천이-변동 문제가 발생하여 압축 효율을 저하시킨다 [3-5].

본 논문에서는 천이-변동 문제를 극복하기 위한 새로운 다중해상도 움직임 보상 방법을 제안한다. 화면간 예측 과정은 최저주파 부대역 사이의 움직임을 예측하고, 동일 화면에서 부대역간 움직임 예측 과정은 저주파 대역의 움직임 벡터를 더 정확히 찾는 계층적 움직임 예측 방법을 사용하여 탐색 시간을 효과적으로 줄인다. 이때 부대역간 움직임 벡터의 예측 과정에서 천이-변동 문제가 발생하게 되는데, 홀수 화소만큼의 움직임 벡터가 발생하지 않도록 하면 천이-변동 문제로 생기는 오차를 크게 줄일 수 있다.

본 논문의 2절에서는 기존의 웨이블릿 영역에서의 움직임 예측 및 움직임 보상 방법을 설명하고, 3절에서는 움직임 보상 성능의 저하 요인으로 밝혀진 천이-변동 문제에 대해서 논의한다. 4절에서 이 문제를 해결하기 위해 제안된 방법을 제시하고, 5절에서 기존의 방법과 제안한 방법의 성능을 비교하였다.

2. 웨이블릿 영역에서의 움직임 예측

2.1 웨이블릿 변환과 다중해상도 분해

부대역(Subband) 부호화 기법은 각 부대역에 적합한 부호화 방법을 독립적으로 적용할 수 있기 때문에 영상처리에 많이 사용되고 있다. 부대역 부호화의 일종인 웨이블릿 변환은 최근 영상 처리와 압축 분야에서 많은 연구가 진행되고 있다.

웨이블릿 변환에서는 신호를 방향과 레벨에 따라서 서로 관련을 갖는 여러 레벨의 다중해상도 계수들로 분해한다. 이 관계를 웨이블릿 트리 구조로 표현을 하

고, 제로트리(Zerotree)의 개념을 적용하여 정지영상 압축 부호화에 성공적으로 적용하였다 [6].

이차원 영상 $f(x,y)$ 를 이차원 이산 웨이블릿 변환 (Discrete Wavelet Transform, DWT)을 이용하여 M 레벨로 분해하면 다음과 같이 표현할 수 있다 [1].

$$\{S_{2^M}, [W_{2^M}^j]_{j=V,H,D}, \dots, [W_{2^1}^j]_{j=V,H,D}\} \quad (1)$$

2.2 웨이블릿 영역에서의 움직임예측

그림 1에서 제시한 것과 같이, 웨이블릿 피라미드의 최상위 레벨(레벨3)은 S_3 과 W_3^V, W_3^H, W_3^D 이다.

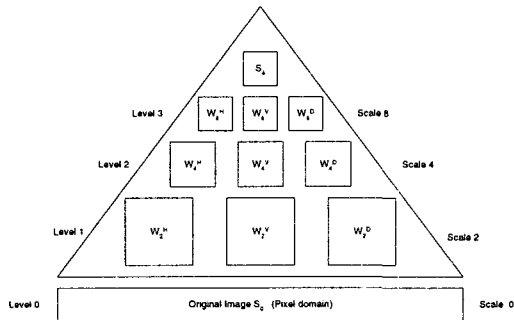


그림 1. 웨이블릿 피라미드

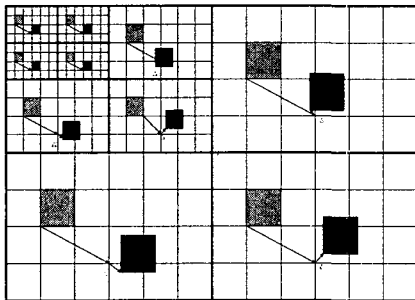


그림 2. 다중해상도 움직임 예측

일반적인 공간 영역의 움직임 예측 방법에서는 16×16 크기의 블록을 사용하지만, 웨이블릿 영역의 움직임 예측 방법에서는 각 부대역별로 다른 크기의 블록을 사용한다. 그림 1에서 레벨 3 부대역에서는 2×2 , 레벨 2에서는 4×4 , 레벨 1에서는 8×8 크기의 블록을 사용한다.

먼저 S_3 부대역의 2×2 크기의 블록에 대한 움직임 벡터를 블록 정합 알고리즘(BMA: Block Matching Algorithm)을 사용하여 구한다. S_3 부대역의 움직임 벡터를 나머지 부대역에 대한 초기치 움직임 벡터로 지정하고, 각 부대역별로 움직임 벡터 보정 과정을 수행한다(식2). 그림 2에 개략적인 알고리즘을 설명하였다.

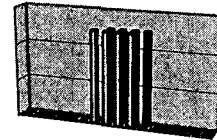
$$V_{2^j}^i(x,y) = V_8(x,y) \cdot 2^{M-j} + \Delta(\delta x, \delta y) \quad (2)$$

for $\{i=V,H,D; j=1,2,3\}$

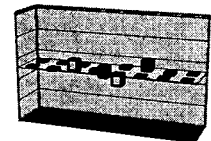
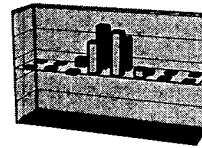
3. 천이-변동 문제

기존의 웨이블릿 영역에서의 움직임 예측 방법은 공간 영역에서의 방법보다 성능이 좋지 못한 것으로 알려져 왔다 [3-5]. 웨이블릿 변환은 신호의 위치와 배치에 매우 민감한 변환이므로, 웨이블릿 영역에서 움직임을 예측할 때 한 화소의 위치 이동이 공간 영역에서는 작은 변화이지만 웨이블릿 영역에서는 매우 큰 차이를 만든다. 이러한 현상을 천이-변동 문제 (Shift-Variant Problem)라 한다.

그림 3은 천이-변동 문제의 예를 설명한 것이다. 그림 3(a)는 공간 영역의 1차원 신호(앞)와 한 화소 천이된 신호(뒤)를 나타내며, 이들을 웨이블릿 변환하였을 때의 저주파 성분과 고주파 대역 계수를 그림 3(b)와 그림 3(c)에 나타내었다.



(a) 원 신호와 1픽셀 이동된 신호



(b) 저주파 대역 계수 (c) 고주파 대역 계수

그림 3. 천이-변동 문제

그림 3(b)와 그림 3(c)에 보인 것처럼, 원래 신호의 웨이블릿 계수와 한 화소만 이동된 신호의 웨이블릿 계수는 저주파 대역에서 근사한 값을 갖지만, 고주파 영역에서는 부호가 역전되는 현상이 발생할 수 있다. 웨이블릿 영역에서 움직임을 예측하는 기존의 방식에서는, 저주파 대역의 웨이블릿 계수를 이용해 찾은 움직임 벡터를 고주파 대역의 움직임 벡터의 초기값으로 취하게 되는데, 고주파 대역의 움직임 벡터가 저주파 대역의 움직임 벡터에 비례하지 않을 수 있다. 따라서, 저주파 대역의 움직임 예측의 정밀도를 높이는 방법으로 고주파 대역에 적용시키는 것만으로는 고주파 대역의 정확한 움직임 예측이 불가능하다.

4. 제안한 알고리즘

4.1 움직임 예측

이 논문에서는 웨이블릿 영역에서의 천이-변동 문

제로 생기는 오류를 줄이기 위해 웨이블릿 영역에서의 다중해상도 움직임 예측에 대한 새로운 움직임 보상 방법을 제안한다. 현재 화면과 기준 화면으로 사용되는 이전 화면에 대해서 3레벨 웨이블릿 변환을 수행하여 10개의 부대역으로 나눈다.

3레벨의 웨이블릿 변환을 하였을 때 최저주파 대역 S_8 은 원 영상의 1/64의 크기를 갖는다. 즉, 공간영역에서 16×16 의 블록을 사용하여 움직임을 예측하는 것에 비해, 3레벨 웨이블릿 영역의 최상위 블록 2×2 크기는 움직임 예측의 오류를 만들 가능성이 많다. 또한, 이를 다른 부대역의 초기 움직임 벡터 예측 값으로 사용했을 때, 잘못 예측된 움직임 벡터가 전파되는 문제점을 가지고 있다. 저주파 대역에 시각적으로 감지할 수 있는 대부분의 에너지가 집중되어 있고, 다른 부대역의 초기 움직임 벡터를 좀 더 정확하게 예측하기 위해서 최상위 레벨의 부대역에 대해서 움직임 예측의 정밀도를 높일 필요가 있다.

본 논문에서는 최상위 부대역인 S_8 과 W_8^H, W_8^V, W_8^D 의 부대역에 대해 보간(interpolation)을 사용하여 2배의 크기로 만든 뒤에, 움직임 예측을 수행하여 최상위 레벨에 대한 움직임 벡터 $MV[S_8], MV[W_8^H], MV[W_8^V], MV[W_8^D]$ 를 구한다. 이때 움직임 벡터는 결정 기준은 MAD (Mean Absolute Difference)를 사용한다.

$$MAD = \min_{\Delta x, \Delta y} \sum_{(x,y) \in \Omega} |I_c(x,y) - I_p(x+\Delta x, y+\Delta y)| \quad (3)$$

하위 레벨 부대역에서의 초기 움직임 벡터는 최상위 부대역의 움직임 벡터를 이용하여 다음과 같이 구한다.

$$E[V_{2j}^i(x,y)]_{i,j} = 2^{M-j-1} MV[W_8^i] \quad (4)$$

for $\{i = H, D, V\}; j = 1, 2, 3\}$

이렇게 구한 초기 움직임 벡터의 위치를 중심으로 다음과 같이 움직임 벡터 정제 과정을 수행한다.

$$\Delta V_{2j}^i(x,y) = \min \left[\sum_{p=-\alpha, q=-\alpha}^{\alpha} |I_c(x+dx, y+dy) - I_p(x+dx+p, y+dy+q)| \right] \quad (5)$$

그 결과로 얻어진 움직임 벡터는 다음과 같다.

$$MV_{2j}^i(x,y) = E[V_{2j}^i(x,y)] + \Delta V_{2j}^i(x,y) \quad (6)$$

4.2 움직임 보상

위 방법으로 찾은 움직임 벡터를 이용하여 원래의 영상을 복원하는 과정을 설명한다. S_8 과 W_8 부대역의 움직임 벡터는 원래의 크기의 2배로 확대한 영상에서 구했기 때문에 움직임 보상시에도 이를 고려해야 한다. 일반적인 반화소 정밀도의 움직임 보상 과정에 기준 화면을 보간법을 사용하여 보상한다.

본 논문에서는 기존의 방법 대신 새로운 방법을 제시한다. S_8 과 W_8 부대역에 대한 움직임 벡터를 다음과 같이 정의한다.

$$NMV[S_8] = \left\lfloor \frac{MV[S_8]}{2} \right\rfloor \quad (7)$$

$$NMV[W_8^i] = \left\lfloor \frac{MV[W_8^i]}{2} \right\rfloor_{i=V,D,H}$$

나머지 부대역의 크기와 움직임 벡터의 크기는

같으므로 일반적인 움직임 보상 방법을 적용한다.

$$NMV[W_{2j}^i] = MV[W_{2j}^i]_{j=V,D,H, i=1,2} \quad (8)$$

각 부대역에 대한 움직임 보상은 다음 식과 같다. 이때 MC 는 움직임 보상을 나타낸다.

$$f_c(x,y) = MC[NMV[S_8]] + MC[NMV[W_{2j}^i]] \quad (9)$$

4.3 제안한 부호화기의 구조

웨이블릿 영역에서의 움직임 예측 및 움직임 보상 방법을 이용한 동영상 부호화기의 블록도를 그림 4에 나타내었다. 입력되는 비디오 신호를 웨이블릿 변환을 적용하여 여러 개의 부대역으로 나누고, 기준 화면과 부호화 대상 화면 사이의 움직임 예측을 통해 얻어진 움직임 벡터와 차분 신호를 엔트로피 부호화하여 전송하는 구조를 가진다.

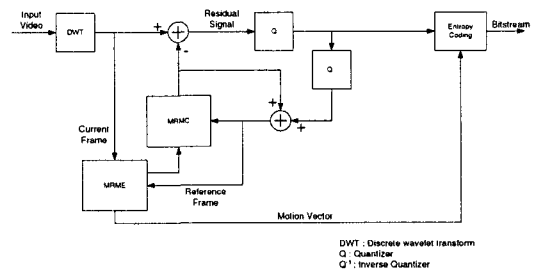


그림 4. 제안한 동영상 부호화기

5. 실험 결과 및 분석

본 논문에서는 Daubechies' 9-7 필터를 사용한 3레벨 웨이블릿 변환 영역에서 움직임 예측과 움직임 보상을 수행하여, 제안된 방법과 기존의 두 가지 방법에 대하여 비교하였다.

실험 결과를 비교하기 위해 우선 공간 영역에서 완전탐색 블록정합 예측 방식(full-search)으로 16×16 화소의 블록을 $[-16, 16]$ 탐색 범위에서 움직임 벡터를 찾았다. 또한, 기존의 웨이블릿 영역에서의 움직임 예측과 움직임 보상 방법으로 S_8 대역 및 W_8 대역에 대해 반화소 정밀도의 움직임 예측 방법을 적용하였다. S_8 부대역에 대한 탐색 영역은 $[-4, 4]$ 화소이며, 벡터 정제 과정에서의 탐색 영역도 $[-4, 4]$ 화소이다.

그림 4는 720×480 크기의 FOOTBALL 영상을 사용하여 실험한 결과이다. 0번 화면을 기준 화면으로, 1번 화면을 예측 대상 화면으로 사용하였다.

그림 4(b), 그림 4(b)와 그림 4(d)는 각각 다른 방법으로 얻은 움직임 예측 영상과 원래 영상의 차분값을 나타낸 영상들이다. 각 화면의 평균 MAD(Mean Absolute Difference)는 각각 11.18, 9.29, 8.34로, 제안된 방법의 성능이 가장 우수하다. 높은 비트율로 부호화 할수록 공간 영역에서의 방법과 큰 차이가 나는 이유는, 전체 발생 비트 중에서 움직임 벡터가 차지하

는 비중이 줄어들기 때문이다.

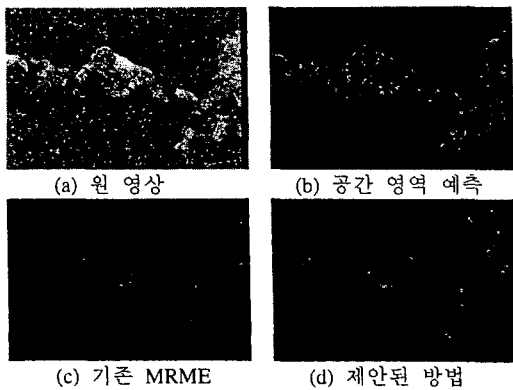


그림 5. 움직임 보상 후 원 영상과의 차분 영상

각각의 방법으로 움직임 보상을 수행한 후, 원래 영상과 예측 영상의 차분 신호와 움직임 벡터를 각각 SPIHT 알고리즘[6]과 적응 산술(Adaptive Arithmetic) 부호화 알고리즘을 이용하여 부호화한 신호를 복호화 후의 성능을 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 알 수 있듯이, 새로이 제안된 방법이 낮은 비트율에서부터 높은 비트율까지 고른 분포로 기존의 방법보다 개선된 성능을 나타낸다. 그림 7에는 FOOTBALL 영상 0-30번 화면에 대한 각 방법들의 성능을 비교하였다. 제안한 방법은 모든 화면 대해서 원 영상과의 차이가 가장 작게 나타나므로 가장 우수한 성능을 나타낸다.

5. 결론

본 논문에서는 기존의 웨이블릿 영역에서의 움직임 예측과 움직임 보상 방법에서의 천이-변동 문제를 해결하기 위해 새로운 방법을 제안하고, 동영상 부호화기의 모델을 제시하였다. 제안한 방법은 공간 영역에서의 완전탐색 방법보다 좋은 결과를 나타내었고, 블록화 문제가 나타나지 않아 시각적으로 좋은 성능을 보였다. 제안한 방법은 SPIHT 알고리즘에 비해 낮은 비트율에서 높은 비트율까지 개선된 성능을 보였으며, 특히 낮은 비트율에서 좋은 성능을 나타냈다.

감사의 글

본 연구는 광주과학기술원(K-JIST) 초고속광네트 워크연구센터(UFON)를 통한 한국과학재단 우수연구센터(ERC) 지원금에 의한 것입니다.

참고 문헌

[1] S. Mallat, "A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 11, no. 7, pp. 674-693, July 1989.
 [2] Y.Q. Zhang and S. Zafar "Motion Compensated wavelet transform coding for color video compression," *IEEE*

Trans. on Video Tech., vol. 2, pp. 285-596, Sept. 1992.
 [3] H.W. Park and H.S. Kim, "Motion Estimation Using Low-Band Shift Method for Wavelet-Based Moving-Picture Coding," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 9, no. 4, pp. 577-587, April 2000.
 [4] F.G. Meyer, A. Averbuch and R.R. Coifman, "Motion Compensation of wavelet coefficient for very low bit rate video coding," *IEEE Proc. International Conference on Image Processing*, vol. 3, pp. 638-641, March 1997.
 [5] P. Cheng, J. Li and C.J. Kuo, "Multiscale video compression using wavelet transform and motion compensation," *IEEE Proc. International Conference on Image Processing*, pp. 606-609, Oct. 1995.
 [6] A. Said and W. A. Pearlman, "A new, fast, and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Tech.*, vol. 6, no. 3, pp. 243-250, June 1996.
 [7] M.K. Mandal, T. Aboulnasr and S. Panchanathan, "Adaptive Multiresolution Motion Estimation Techniques for Wavelet-based Video Coding," *SPIE Proc.*, pp. 965-974, Oct. 1997.

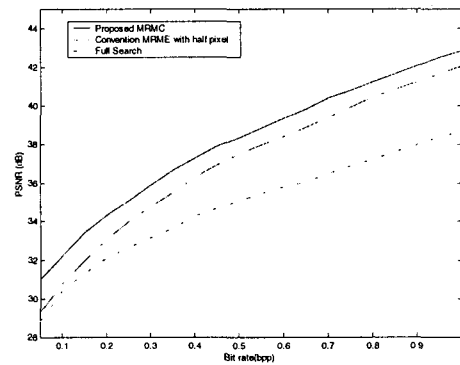


그림 6. SPIHT 부호화된 비트율-화질

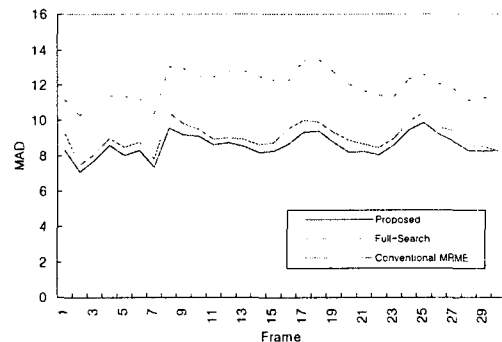


그림 7. MAD 비교