

새로운 커널을 이용한 웨이블릿 영역에서의 이진 블록 정합 움직임 예측

*유근호 *이혁 *정제창

한양대학교 전자컴퓨터통신공학과

ro_ot83@hotmail.com, yomuto@gmail.com, jjeong@ece.hanyang.ac.kr

New Kernel for 1BT Block Motion Estimation based on the Wavelet Transform

*Yoo, Kunho *Lee, Hyuk *Jeong, Jechang

Dept. Electronics and Computer Eng. Hanyang University

요약

영상 압축은 멀티미디어 전송에 있어 핵심적인 기술이다. 동영상 압축 기술 중 움직임 예측부는 전체 동영상 압축 부호화에서 가장 복잡한 부분으로, 멀티미디어의 실시간 전송을 위하여 고속 알고리즘이 필요한 부분이다.

본 논문은 기존의 고속 움직임 예측 알고리즘의 하나인 이진 블록 정합 움직임 예측 알고리즘을 개선하여 더욱 빠른 속도의 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 웨이블릿 변환 후 새로운 커널을 적용하여 기존의 알고리즘을 개선한다. 제안하는 알고리즘은 기존의 알고리즘의 속도를 유지하면서 화질을 개선시킨다.

1. 서론

원천 (source) 부호화란 어떤 원천이 가지는 중복성을 이용, 정보를 부호화하여 그 크기를 줄이 것으로 통신시스템에서의 핵심적인 부분이다. 멀티미디어 통신에 있어서 동영상 원천이 갖는 정보의 양은 매우 크며, 이를 효과적으로 줄이기 위하여 MPEG-x, H.26x와 같은 여러 동영상 압축 표준들이 제정되어 왔다.

한편 움직임 예측은 동영상 압축 표준에서의 핵심적인 기술들 중 하나로, 동영상이 가지는 시간적 중복성을 이용하여 압축을 실현하는 기술이다. 움직임 예측이 가지는 큰 문제점은 전체 동영상 압축 부호화에 필요한 계산 복잡도 중 움직임 예측에 필요한 계산 복잡도가 절반 가까이 된다는 점인데, 이는 움직임 예측에 가장 널리 쓰이는 전역 탐색 (full search) 알고리즘이 가지는 방대한 탐색 범위 때문이다. 전역 탐색 알고리즘은 주어진 탐색 영역 내의 모든 후보 지점에서 최소의 정합 오차를 갖는 위치를 찾는 방법이다. 전역 탐색 알고리즘은 모든 후보 지점을 탐색하기 때문에 최소 정합 오차를 갖는 위치를 가장 정확하게 찾아내고, 하드웨어로의 구현이 간편하다는 장점을 지니지만, 그 계산량이 막대하다는 단점을 지니고 있고, 이는 동영상의 실시간 부호화에 큰 어려움을 주고 있다.

이러한 전역 탐색 알고리즘의 문제점을 해결하기 위하여 여러 알고리즘들이 연구되어 왔다. 이 알고리즘들은 세 개의 주제로 분류될 수 있다. 첫 주제는 고속 전역 탐색

알고리즘이다. 이는 탐색 영역 내의 모든 후보 지점의 정합 오차를 손실 없이 계산하기 때문에 무손실 알고리즘이다. 고속 전역 탐색 알고리즘의 대표적인 예로는 SEA (Successive Elimination Algorithm)^[1]와 정합 오차 계산 순서를 적응적으로 바꾸는 알고리즘^[2] 등이 있다. 이 알고리즘들은 기본적으로 계산한 정합 오차 크기가 최소 정합 오차보다 크면 정합 오차 계산을 중지하는 PDE (Partial Distortion Elimination) 알고리즘을 바탕으로 한다. 두 번째로 고속 탐색 알고리즘이 있는데, 이는 계산 복잡도를 줄이기 위하여 후보 지점의 개수를 줄이는 알고리즘이다.^[4-6] 고속 탐색 알고리즘은 전역 탐색 알고리즘에 비해 영상의 화질을 열화시키기 때문에 손실 알고리즘이다. 마지막 주제는 정합 오차 기준을 바꾸는 알고리즘이다.^[7-9] 이러한 접근은 프로세서가 참조 프레임과 현재 프레임 간의 정합 오차를 구하는 데 있어 병렬 처리가 가능하게 한다. 하지만 화질 열화에 있어서는 보완이 필요하다. 본 논문에서는 [7]에서 제안되었던 웨이블릿 변환을 이용한 알고리즘에 새로운 대역 통과 필터를 적용하여 화질을 개선한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 선행 연구 기술과 제안하는 알고리즘에 대해 자세히 기술하고, 3장에서 실험 결과를 기존의 알고리즘과 비교한 후 4장에서 결론을 맺는다.

2. 제안하는 알고리즘

2장에서는 제안하는 알고리즘이 사용하는 선행 연구 기술들을 살펴본 후 제안하는 알고리즘에 대해 기술한다.

2.1. 전역 탐색 알고리즘

전역 탐색 알고리즘이란 움직임 예측을 할 때 주어진 탐색 범위 내의 모든 탐색점에서의 정합 오차를 검사하여 최소의 오차를 가지는 점을 선택하는 방법이다. 두 프레임 사이의 정합 오차는 *SAD* (Sum of Absolute Difference) 를 이용하여 구할 수 있다. 어떤 두 블록 사이의 *SAD*는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$SAD(m,n) = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} |f^t(i,j) - f^{t-1}(i+m,j+n)|$$

where $-s \leq m, n \leq s-1$ (1)

여기서, f 는 화소의 세기를, (i,j) 는 화소의 위치를, (m,n) 은 후보 블록까지의 거리를, s 는 탐색 범위를 나타낸다. 최종 움직임 벡터는 최소의 *SAD* 를 가지는 후보 블록까지의 거리 (m,n) 이 된다.

전역 탐색 알고리즘은 하드웨어 구현이 간편하다는 장점이 있어 많은 동영상 부호화기에서 사용하고 있는 움직임 예측 알고리즘이다. 하지만 방대한 탐색 범위와 막대한 양의 뺄셈 연산과 절대값 연산 때문에 계산 복잡도가 매우 크다는 단점을 지닌다.

2.2. 이진 블록 정합 움직임 예측 알고리즘

이진 블록 정합 움직임 예측은 적은 비트 (bit)로 영상을 표현, 처리해 계산 복잡도를 줄이기 위하여 개발되었다. 여러 비트를 한 번에 처리함으로써 계산 부담을 효과적으로 줄이는 것이다. 그렇지만 정합 오차가 가질 수 있는 범위가 좁아지기 때문에 움직임 벡터가 부정확해지는 것을 감수해야 한다.

1비트 변환은 다음과 같은 17×17 크기의 대역 통과 필터 커널을 필요로 하며, i,j 위치에서의 커널 계수 $K_{i,j}$ 는 식 (2)와 같다.^[7]

$$K_{i,j} = \begin{cases} \frac{1}{25}, & \text{if } i,j \in [1, 4, 8, 12, 16] \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

이러한 대역 통과 필터는 영상에서의 고주파 성분을 제외하고 지역적 특성을 추출할 수 있도록 하여 각각의 블록들이 가진 특성들을 비교할 수 있도록 해 준다.

현재 프레임과 이전 프레임의 오차를 구하기 이전에 두 프레임은 식 (2)에 의해 필터링 되고 다음과 같은 식을

이용해 이진 영상을 만들어 낸다. i,j 위치에서의 이진 화소 $B_{i,j}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$B(i,j) = \begin{cases} 1, & \text{if } F(i,j) \geq \hat{F}(i,j) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

여기서 F 는 원본 프레임을, \hat{F} 은 필터 K 가 적용된 후의 프레임을 나타낸다. 이렇게 한 프레임을 이진 표현으로 바꾸는 전체적인 과정을 1비트 변환이라고 한다. 1비트 변환 후, 두 이진 프레임 간의 정합 오차는 *NNMP* (Number of Non-Matching Points)를 이용하여 구할 수 있다. *NNMP*는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$NNMP(m,n) = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} B^t(i,j) \oplus B^{t-1}(i+m,j+n)$$

where $-s \leq m, n \leq s-1$ (5)

여기서 \oplus 는 배타적 논리합 (exclusive-pr) 연산을 의미한다. 최종 움직임 벡터는 최소의 *NNMP*를 가지는 후보 블록까지의 거리가 된다. *SAD*가 정합오차를 화소 단위로 계산하는데 비하여 *NNMP*를 이용하면 연산에 사용되는 메모리의 크기만큼 한꺼번에 계산할 수 있다.

2.3. 웨이블릿 변환을 통한 저주파 성분 추출

웨이블릿 변환은 일반적인 비정상적 신호해석에 적절한 공간 영역과 주파수 영역에서 국부화된 기저를 이용하여 인간의 시각적 특성에 맞게 분해하고 처리함으로써 변환 효율의 향상을 가져온다. 특히 영상을 고주파 성분과 저주파 성분으로 나누어 각각 처리할 수 있다 [11]. 웨이블릿 변환은 신호에 대해 한 쌍의 필터를 적용시켜 고주파 대역과 저주파 대역으로 분리한다. 2차원의 이미지의 각 행에 대해 저역 통과 필터와 고역 통과 필터를 적용시키고 2로 다운 샘플링을 수행하면 그림 1과 같은 4가지 영상을 얻을 수 있다.



그림 1. 웨이블릿 변환을 통해 나누어진 주파수 대역

- LL : 수평, 수직방향으로 저역 통과 필터를 적용
- HL : 수직방향으로 고역 통과 필터를 적용
- LH : 수평방향으로 고역 통과 필터를 적용
- HH : 수평, 수직방향으로 고역 통과 필터를 적용

2.4. 선택적 필터링을 이용한 화질 개선 알고리즘

1비트 이진 블록 정합 움직임 예측 알고리즘은 계산 복잡도는 줄어드나 1비트로 표현된 화소값에 의해 정합 오차가 가질 수 있는 범위가 좁아진다. 제한된 오차 범위로 인하여 움직임 벡터의 정확도가 떨어지고 이에 따른 화질 열화가 발생한다. 필터 계수에 따라 영상들의 지역적 특성들을 나타내거나 무시할 수 있게 된다. 지역적 특성을 이용한 정합 움직임 예측에서 이러한 특성을 추출한 필터링은 더욱 정확한 움직임 벡터를 찾을 수 있게 하고 이러한 결과는 화질을 개선하는데 도움을 준다. 기존의 알고리즘은 식 (6)^[12]의 커널을 적용함으로써 식 (2)의 나누기 연산 대신 시프트 연산을 적용하였다. 그러나 이러한 커널은 대각선 방향의 지역적 특성은 살리나 수직, 수평 방향의 성분들은 무시하는 경향이 있다. 또한 이진 변환 시에 그림 2와 같이 불필요한 계수들을 남겨 정확한 움직임 벡터를 찾기 힘들다.

$$K_{WDIBT} = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$



그림 2. 기존 커널을 적용한 영상(좌)과 이진 변환 영상(우)

제안하는 알고리즘의 순서는 다음과 같다. 먼저, 현재 프레임에 16x16 블록 단위로 웨이블릿 변환을 하여 저주파 성분과 고주파 성분을 추출한다. 이 때, 웨이블릿 변환은 (4, 4) 리프

팅 구조를 사용한 웨이블릿 변환을 적용하였다.^[11] 고주파 성분은 무시하고 저주파 성분들에 대하여 식 (7)과 같은

$$K = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

커널을 적용한다.



그림 3. 새로운 커널을 적용한 영상(좌)과 이진 변환 영상(우)

커널을 통과시킨 영상을 역 웨이블릿 변환하여 이를 이용하여 이진 영상을 만들어 낸다. 이렇게 얻은 이진 영상을 기존의 방법대로 NNMP를 이용하여 움직임 벡터를 찾아낸다.

3. 실험 결과 및 분석

성능 평가를 위해 여러 가지 CIF 크기 (352x288)를 가진 시퀀스들을 이용하였다. 블록의 크기는 16x16으로, 탐색 범위는 16으로 고정하였고 150 프레임에 대해 실험을 하였다. 표 1에서와 같이 제안하는 알고리즘은 기존의 1비트 변환을 이용하는 알고리즘에 비해 화질이 개선되었음을 보여준다. 또한 새로운 커널이 기존 커널보다 지역적인 특성을 더욱 잘 살렸고 이러한 결과는 더욱 움직임 벡터를 얻어 부호화하는데 필요한 비트를 절약할 수 있다는 것을 나타낸다.^[10]

표 1. rate 변화에 따른 Y-PSNR 성능 비교

	Foreman	Football	mother and daughter
1BT [7]	31.19	22.62	35.49
WT1BT [11]	31.35	22.73	35.11
Proposed	31.52	22.77	36.35

4. 결론

본 논문에서는 새로운 대역 통과 필터를 이용한 웨이블릿 영역에서의 이진 블록 정합 움직임 예측 알고리즘을 제안하고 실험을 통하여 이를 검증하였다. MPEG-4 동영상 부호화기를 이용한 실험 결과, 제안하는 알고리즘은 기존의 알고리즘에 비하여 계산 복잡도를 유지시키면서 화질을 개선한다. 이는 제안하는 새로운 커널이 지역적 특성을 더욱 잘 살리고 이를 이용하여 움직임 벡터 부호화에 필요한 비트를 절약한다는 것을 의미한다. 그러므로 제안하는 알고리즘은 동영상 부호화의 실시간화에 큰 도움이 될 것이라 기대할 수 있다.

5. 감사의 글

본 연구는 서울시 산학협력사업으로 구축된 서울 미래형콘텐츠 컨버전스 클러스터 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

[1] W. Li and E. Salari, "Successive elimination algorithm for motion estimation," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 4, no. 1, pp. 105-107, Jan. 1995.

[2] J. N. Kim and T. S. Choi, "Adaptive matching scan algorithm based on gradient magnitude for fast full search in motion estimation," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 45, no. 3, pp. 762-772, Aug. 1999.

[3] S. J. Park, S. Jin, and J. Jeong, "Adaptive partial distortion search algorithm using histogram-based sorting," in *Proc. IEEE Int. Conf. Multimedia Expo*, Jun. 2008, pp. 833-836.

[4] S. Zhu and K. K. Ma, "A new diamond search algorithm for block-matching motion estimation," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 9, no. 2, pp. 287-290, Feb. 2000.

[5] G. Jeon, J. Kim, and J. Jeong, "Enhanced cross-diamond search algorithm for fast block motion estimation," *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 4633, pp. 481-490, 2007.

[6] Optimization Model Version 1.0, ISO/IEC

JTCL/SC29/WG11 N3324, Mar. 2000.

[7] B. Natarajan, V. Bhaskaran, and K. Konstantinides, "Low-complexity block-based motion estimation via one-bit transforms," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 7, no. 4, pp. 702-706, Aug. 1997.

[8] O. Urhan and S. Ertürk, "Single sub-image matching based low complexity motion estimation for digital image stabilization using constrained one-bit transform," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 52, no. 4, pp. 1275-1279, Nov. 2006.

[9] S. Ertürk and T. G. Chang, "Wavelet domain one-bit transform for low-complexity motion estimation", *2006 IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, pp. 3970-3973, 2006.

[10] Y. K. Chen, "True motion estimation-theory, application, and implementation," Ph.D. Dissertation, Princeton University, Nov. 1998.

[11] W. Sweldens, "The lifting scheme: a custom design construction of biorthogonal wavelets", *Applied and Computational Harmonic Analysis*, Vol 3, No 2, pp. 186-200, Apr 1996.

[12] S. Ertürk, "Multiplication-free one-bit transform for low-complexity block-based motion estimation," *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 14, no. 2, pp. 109 - 112, Feb. 2007.