

웨이블릿 변환을 이용한 이진 블록 정합 움직임 예측에서의 조기 움직임 예측 중지 알고리즘

*유근호 *이혁 *정제창

한양대학교 전자컴퓨터통신공학과

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

Early Termination Algorithm for 1BT Block Motion Estimation based on the Wavelet Transform

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

Electronics and Computer Eng. Dept., 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 고주파 대역의 정보값을 조기 움직임 예측 중지 조건으로 사용하여 기존의 알고리즘을 개선한다. 제안하는 알고리즘은 기존의 알고리즘의 속도를 개선하는 동시에 화질을 유지시킨다.

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 [1-9]. 이 알고리즘들은 세 개의 주제로 분류될 수 있다. 첫 주제는 고속 전

역 탐색 알고리즘이다 [1-3]. 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. 본 논문에서는 웨이블릿 변환을 통한 고주파 성분을 이용하여 [7]의 알고리즘의 계산 복잡도를 더욱 줄이는 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안하는 알고리즘에 대해 자세히 기술하고, 3장에서 실험 결과를 기존의 고속 움직임 예측 방법들과 비교한 후 4장에서 결론을 맺는다.

2. 제안하는 알고리즘

2장에서는 제안하는 알고리즘이 사용하는 선행 연구 기술들을 살펴본 후 제안하는 알고리즘을 구체적으로 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 한다 [7].

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

현재 프레임과 이전 프레임의 오차를 구하기 이전에 두 프레임은 식 (2)에 의해 필터링 되고 다음과 같은 식을 이용해 이진 영상을 만들어 낸다.

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

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 고주파 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 다음과 같은 4가지 영상을 얻을 수 있다.

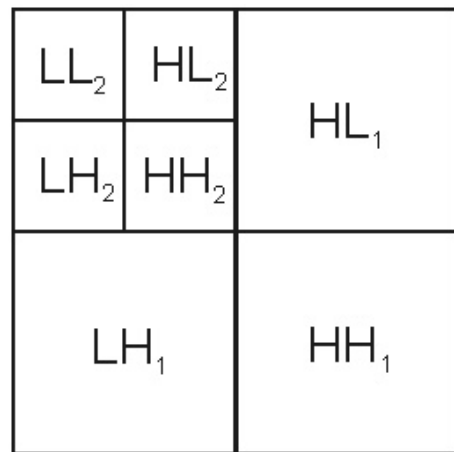


그림 1 웨이블릿 변환을 통해 나누어진 주파수 대역

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 조기 움직임 예측 중지 알고리즘

1비트 이진 블록 정합 움직임 예측 알고리즘은 계산 복잡도는 줄어드나 1비트로 표현된 화소값에 의해 정합 오차가 가질 수 있는 범위가 좁아진다. 또한 평활한 영상에서의 오차 범위는 거의 동일하게 되므로 1비트 이진 블록 정합 움직임 예측 알고리즘을 적용하는 것이 비효율적이다. 영상의 특성을 분석하여 평활한 부분에서는 이진 블록 정합 움직임 예측을 하기보다 조기 움직임 예측을 중지하여 메디안 예측기를 사용하는 것이 계산 복잡도를 더욱 줄일 수 있고 뿐만 아니라 더욱 정확한 움직임 벡터를 찾을 수 있다.

제안하는 알고리즘의 순서는 다음과 같다. 먼저, 현재 프레임을 16×16 블록 단위로 웨이블릿 변환을 하여 고주파 성분을 추출한다. 이 때, 웨이블릿 변환은 (4, 4) 리프팅 구조를 사용한 웨이블릿 변환을 적용하였다 [11]. 영상에서 고주파 성분은 신호가 급격하게 바뀌는 부분을 의미하므로 고주파 성분이 많다는 것은 영상의 모서리 부분이 존재한다는 것을 의미한다. 이러한 모서리 부분은 이진 블록 정합 움직임 예측 알고리즘으로도 비교적 정확한 움직임 벡터를 찾을 수 있다. 그림 1에서 LL을 제외한 나머지 고주파 성분들의 평균값 μ 를 이용하여 다음과 같이 문턱값 T 를 구한다.

$$T = \mu \times rate \quad (6)$$

여기서 rate는 사용자 매개변수로 문턱값으로 사용할 평균값의 비율을 나타낸다. 문턱값 이상의 고주파 성분을 가진 블록에 대하여 1비트 이진 블록 정합 움직임 예측 알고리즘을 이용하여 움직임벡터를 찾고 이외의 블록에 대해서는 메디안 예측기를 이용하여 움직임 벡터를 찾는다. 메디안 예측기를 사용하는 이유는 대부분의 동영상 부호화기에서 메디안 예측기를 움직임 벡터 예측 부호화에 사용하고 있기 때문이다.

3. 실험 결과 및 분석

성능 평가를 위해 여러 가지 CIF 크기 (352×288)를 가진 시퀀스들을 이용하였다. 탐색 범위는 16으로 고정하였고 150 프레임에 대해 실험을 하였다. 실험 결과는 1비트 변환을 이용하는 알고리즘과 비교하였다. 문턱값에서 rate는 0.55~1.45사이에서 0.10씩 늘어나도록 하여 사용하였다. 표 1은 각각의 rate에 대한 시퀀스의 Y-PSNR를 나타낸다. 표 1에서와 같이 제안하는 알고리즘은 기존의 1비트 변환을 이용하는 알고리즘에 비해 큰 화질 열화를 보이지 않았는데, 이는 제안하는 알고리즘이 사용하는 메디안 예

측기가 잘 동작하고 그로 인해 움직임 벡터를 부호화하는데 필요한 비트를 절약할 수 있다는 것을 나타낸다 [10].

| | | Akiyo | Bus | mother and daughter |
|-----------------------------------|-------|--------------|--------------|---------------------|
| 1BT | | 41.32 | 24.54 | 33.31 |
| Proposed Algorithm with each rate | 55 | 41.58 | 24.53 | 34.87 |
| | 65 | 41.67 | 24.42 | 32.25 |
| | 75 | 41.74 | 24.2 | 32.86 |
| | 85 | 41.66 | 23.94 | 33.04 |
| | 95 | 41.61 | 23.64 | 33.15 |
| | 105 | 41.56 | 23.25 | 33.36 |
| | 115 | 41.48 | 22.84 | 33.57 |
| | 125 | 41.34 | 22.45 | 33.69 |
| | 135 | 41.26 | 21.96 | 33.52 |
| 145 | 41.11 | 21.59 | 33.23 | |

표 1 rate 변화에 따른 Y-PSNR 성능 비교

표 2는 조기 움직임 예측 중지가 일어난 매크로블록의 비율을 퍼센트 (%)로 나타낸 것이다. 즉, 이는 전체 매크로블록 중 제안하는 알고리즘이 얼마나 적용되었는가를 나타낸다. 이 결과는 제안하는 알고리즘이 조기 움직임 탐색 중지를 수행하여 블록 정합 오차를 구하는 빈도를 크게 낮추었기 때문에 나타난다.

| rate | Akiyo | Bus | mother and daughter |
|------|--------------|--------------|---------------------|
| 55 | 48.74 | 23.74 | 23.74 |
| 65 | 56.57 | 31.82 | 32.83 |
| 75 | 60.1 | 39.9 | 38.38 |
| 85 | 62.88 | 47.47 | 43.43 |
| 95 | 64.9 | 54.04 | 48.74 |
| 105 | 67.17 | 59.85 | 54.8 |
| 115 | 70.2 | 65.4 | 60.35 |
| 125 | 73.23 | 69.95 | 66.41 |
| 135 | 75.51 | 73.99 | 71.46 |
| 145 | 77.02 | 77.53 | 76.52 |

표 2 rate에 따른 조기 움직임 예측 중지된 매크로블록의 비율

4. 결론

본 논문에서는 이진 블록 정합 움직임 예측에서의 효과적인 조기 움직임 예측 중지 알고리즘을 제안하고 실험을 통하여 이를 검증하였다. MPEG-4 동영상 부호화기를 이용한 실험 결과, 제안하는 알고리즘은 기존의 알고리즘에 비하여 비슷한 화질을 유지하거나 더 나은 화질을 얻으면서도 낮은 계산 복잡도를 가진다. 이는 제안하는 알고리즘이 조기 움직임 예측 중지를 적절하게 수행하고 움직임 벡터 부호화에 필요한 비트를 절약한다는 것을 의미한다. 그러므로 제안하는 알고리즘은 동영상 부호화기의 실

시간화에 큰 도움이 될 것이라 기대할 수 있다.

construction of biorthogonal wavelets”, *Applied and Computational Harmonic Analysis*, Vol 3, No 2, pp. 186–200, Apr 1996.

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 JTC1/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. Ertük, “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. Erturk 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