

일반논문-10-15-3-04

웨이블릿 변환을 이용한 보완된 이진 블록 정합 움직임 예측 알고리즘

유근호^{a)‡}, 이혁^{a)}, 정제창^{a)}

Modified One-Bit Transform Motion Estimation Algorithm based on the Wavelet Transform

Yoo Kun Ho^{a)‡}, Lee Hyuk^{a)}, and Jechang Jong^{a)}

요 약

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 정확한 움직임 벡터를 찾는 방법을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 웨이블릿 변환 후 고주파 대역의 정보값을 이용해 움직임 벡터를 찾음으로써 기존의 알고리즘을 개선한다. 제안하는 알고리즘은 기존의 알고리즘의 화질을 향상시킨다.

Abstract

Video Compression is the key technology for the transmission of multi-media data. Because the Motion Estimation is the most complex module in the video compression, fast motion estimation algorithm is essential for the real-time application. In this paper, we propose an enhanced binary motion estimation algorithm based on the wavelet transform. Proposed algorithm improve the quality of coded video.

Keyword : binary motion estimation, block motion estimation, wavelet transform

1. 서 론

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 압축하기 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 구현하는 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 방법

a) 한양대학교 전자컴퓨터통신공학부

Department of Electronics Computer Engineering, Hanyang University

‡ 교신저자 : 유근호(ro_ot83@hotmail.com)

· 접수일(2009년12월29일), 수정일(2010년2월23일), 게재확정일(2010년3월29일)

이다. 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 있기 때문에 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 전역 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^[2-3] 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], [9]의 알고리즘의 화질을 개선시키는 알고리즘을 제안한다.

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

II. 선행 기술

2장에서는 제안하는 알고리즘이 사용하는 선행 연구 기술들을 살펴본 후 제안하는 알고리즘을 구체적으로 기술한다.

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 SAD는 다음과 같이 구할 수 있다.

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

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

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 SAD를 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. 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 식 (3)을 이용해 이진 영상을 만들어 낸다.

$$B(i,j) = \begin{cases} 1, & \text{if } F(i,j) \geq \hat{F}(i,j) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

여기서 F 는 원본 프레임, \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 식 (4) 와 같이 구할 수 있다.

$$NNMP(m,n) = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} B^t(i,j) \oplus B^{t-1}(i+m, j+n) \quad (4)$$

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

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

3. 웨이블릿 변환 영역에서의 이진 블록 정합 움직임 예측 알고리즘

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 영상의 각 행에 대해 저역 통과 필터와 고역 통과 필터를 적용시키고 2로 다운 샘플링을 수행하면 그림 1.과 같은 4가지 영상을 얻을 수 있다.

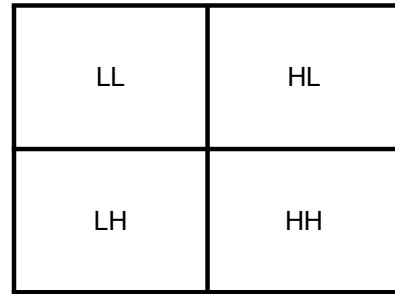


그림 1. 웨이블릿 변환을 통해 나누어진 주파수 대역
Fig 1. Separated frequency domain using wavelet transform

- 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

이러한 웨이블릿 변환을 적용하여 얻은 영상에서 고주파 성분을 0으로 만들고 그림 1.의 LL에 해당하는 저주파 성분에 식 (2)의 커널 대신 식 (5)의 커널을 적용한다. 이를 통해 고주파 성분을 배제하여 영상의 지역적인 특성을 더욱 나타낼 수 있게 된다. 영상에서 지역적인 특성은 두 영상의 상관성을 비교할 때 유용하다. 또한 식 (5)의 경우 기존 커널을 적용할 때 필요한 곱셈 연산을 한 번의 시프트 연산으로 가능하게 하기 때문에 더욱 효율적이다.

$$K = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

웨이블릿 영역에서 고주파 성분을 제거한 후 커널을 적용한 영상을 역 웨이블릿 변환하여 얻은 영상과 원본 영상을 이용해 기존의 이진 블록 정합 움직임 예측 알고리즘과 같은 방법으로 이진 영상을 얻고 블록 단위로 식 (4)의 NNMP를 통해 움직임 벡터를 찾는다.

III. 제안하는 알고리즘

1비트 이진 블록 정합 움직임 예측 알고리즘은 계산 복잡도는 줄어드나 1비트로 표현된 화소값에 의해 정합 오차가 발생할 수 있는 범위가 좁아진다. 또한 블록 내의 값들이 비슷한 평활한 영상에서의 화소값들의 오차 범위는 거의 동일하게 되므로 1비트 이진 블록 정합 움직임 예측 알고리즘만으로는 정확한 움직임 벡터를 찾기 힘들다. 이러한 평활한 부분에서는 2단계 탐색을 통하여 더욱 정확한 벡터값을 찾아낸다. 이러한 영상의 특성을 구별하기 위해 블록단위의 웨이블릿 변환을 이용한다.

제안하는 알고리즘의 순서는 다음과 같다. 먼저, 현재 프레임을 16×16 블록 단위로 웨이블릿 변환을 적용하여 고주파 성분을 추출한다. 웨이블릿 변환은 (4, 4) 리프팅 구조를 사용한 웨이블릿 변환을 적용하였다^[11]. 그림 1에서 LL을 제외한 나머지 고주파 성분들의 평균값 μ 를 이용하여 식 (6)과 같이 문턱값 T 를 구한다.

$$T = \mu \times rate \tag{6}$$

여기서 $rate$ 는 사용자 매개변수로 문턱값으로 사용할 평균값의 비율을 나타낸다.

변환된 영상의 모든 저주파 성분은 4×4 크기의 블록단위이므로 그림 2와 같이 저주파 성분들만을 모아 원 영상의 절반에 해당하는 해상도 영상으로 재배열하고 고주파 성분은 제거한다. 재배열된 영상에 식 (5)의 대역 통과 필터를 적용한다.

필터를 통과한 영상을 리프팅을 이용한 역 웨이블릿 변환을 적용한다. 이를 통해 블록 내의 픽셀값의 차이,

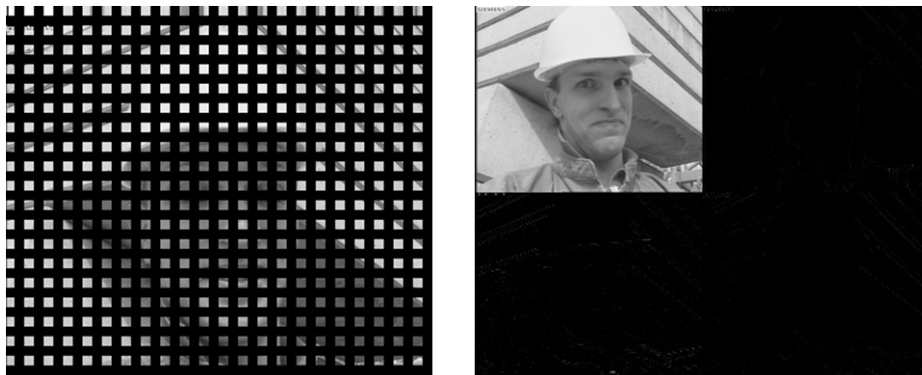


그림 2. 재배열 된 웨이블릿 영역에서의 저주파 성분
Fig 2. rearranged low frequency components of wavelet domain

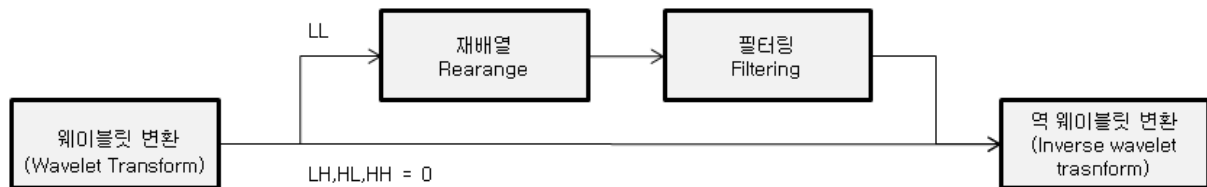


그림 3. 제안된 알고리즘에서 웨이블릿 영역에서의 처리과정
Fig 3. Process of proposed algorithm

즉 지역적인 변화 특성을 더욱 반영한 영상을 추출할 수 있다.

그림 3의 과정을 통해 고주파 성분을 제거한 영상과 원본 영상을 이용하여 식 (3) 을 통해 그림 4에 나타낸 1비트 이진 영상을 구하고 모든 블록에 대해 1비트 이진 블록 정합 움직임 예측 알고리즘을 이용하여 움직임 벡터를 찾는다.

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. 그러나 주변 픽셀값들의 차이가 적어 고주파 성분이 적은 블록의 경우, 이진 블록 정합 움직임 예측 알고리즘만으로는 정확한 움직임 벡터를 찾기 힘들다. 이를 보완하기 위해 식 (5)의 문턱값 T 이하의 고주파 성분을 가진 블록, 즉 비교적 평활한 영상에 대해서는 2단계 탐색을 수행한다. 2단계 탐색은 1비트의 영상에서 얻어낸 움직임 벡터를 이용하여 움직임 벡터가 가리키는 후보 블록 주변을 8비트 이미지의 로컬 미니마 (Local Minima)를 찾아 더욱 정확한 움직임 벡터를 얻게 해준다. 이를 통해 이진 블록 정합 움직임 예측의 단점을 보완할 수 있다.

2단계 탐색에 사용된 두 블록간의 왜곡은 추출된 블록에 대해 식 (7)과 같은 8-비트 픽셀값의 SAD를 구함으로써 얻어낸다.

$$D_1(m,n) = \sum_{(i \bmod 2) = (j \bmod 2)} |F^t(i,j) - F^{t-1}(i+m,j+n)|$$

$$D_2(m,n) = \sum_{(i \bmod 2) \neq 0, (j \bmod 2) = 0} |F^t(i,j) - F^{t-1}(i+m,j+n)| \quad (7)$$

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

먼저 1비트 변환 이진 블록 정합 움직임 예측으로 예측한 원래의 후보 블록 주변 4개의 블록에 대하여 그림 4.와 같이 D1값이 최소가 되는 위치를 찾아낸다. 만약 원래의 후보 블록보다 최소가 되는 위치가 없다면 원래의 움직임 벡터를 최종 벡터로 정하고 그렇지 않다면 두 번째 단계를 적용한다. 첫 번째 단계에서 최소가 된 위치에 대하여 주변 8개의 모든 블록에 대하여 D2를 구한다. 마찬가지로 최소가 되는 위치가 없다면 첫 그 위치를 최종 움직임 벡터로 정하고 그렇지 않다면 두 번째 단계에서 최소가 된 위치를 최종 움직임 벡터로 정한다.

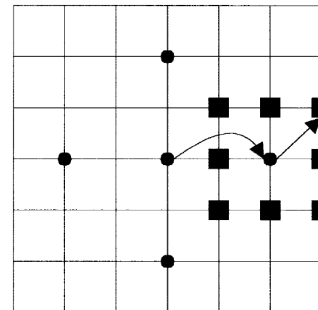


그림 5. 2단계 탐색 알고리즘
Fig 5. 2-step search algorithm



그림 4. (a) 원본 Foreman 영상 (F) (b) 제안한 알고리즘을 통해 얻은 영상 (\hat{F}) (c) 1비트 이진 영상 (B)
Fig 4. (a) Original Foreman frame (F) (b) Foreman frame applied wavelet domain (\hat{F}) (c) Foreman frame applied one-bit transform (B)

IV. 실험 결과 및 분석

성능 평가를 위해 CIF 크기 (352×288)를 가진 여러 가지 시퀀스들을 이용하였다. 탐색 범위는 16, 블록 크기는 16×16으로 고정하였고 150 프레임에 대해 실험을 하였다. 실험 결과는 1비트 변환을 이용하는 알고리즘, 웨이블릿 영역에서의 이진 블록 정합 움직임 예측 알고리즘과 비교하였다. 식 (6)의 문턱값에서 rate는 0.55~1.45사이에서 0.10씩 늘어나도록 하여 적용하였다. 표 1은 각각의 rate에 대한 시퀀스의 Y-PSNR을 나타낸다. 영상에서 화질 비교에 흔히 쓰이는 PSNR의 수식은 식 (8) 과 같다.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i - y_i)^2$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right)$$
(8)

표 1에서와 같이 제안하는 알고리즘은 기존의 1비트 변환을 이용하는 알고리즘과 이를 보완한 웨이블릿 변환을 이용하는 알고리즘에 비해 화질이 향상되었음을 알 수 있다.

표 1. rate 변화에 따른 Y-PSNR 성능 비교
Table 1. Result of proposed algorithm by changing rate

rate	Foreman	Mother and Daughter	Football	
SAD	33.47	40.20	24.20	
1BT	30.08	34.95	22.46	
WT	31.41	35.30	22.78	
Proposed Algorithm with each rate	0.55	31.67	35.86	22.76
	0.65	31.71	36.53	22.78
	0.75	31.71	37.79	22.81
	0.85	31.72	37.79	22.83
	0.95	31.74	37.80	22.84
	1.05	31.75	37.80	22.86
	1.15	31.78	37.81	22.87
	1.25	31.80	37.81	22.88
	1.35	31.80	37.81	22.88
1.45	31.81	37.82	22.89	

표 1.에서 rate가 크면 많은 블록에 대해 2단계 탐색 알고리즘을 적용하게 된다. Foreman 시퀀스와 Mother and

Daughter 시퀀스의 경우 기존 알고리즘보다 성능이 대부분 향상되었음을 알 수 있다. 이 결과는 평활한 부분에서 2단계 탐색을 통해 더욱 정확한 움직임 벡터를 찾았다고 볼 수 있다. 또한 블록단위의 웨이블릿 변환에도 화질 열화가 나타나지 않는다는 것을 보여준다.

그러나 Football 시퀀스의 경우 2단계 탐색을 적게 하였을 때는 기존 알고리즘과 거의 비슷하거나 조금 향상된 결과가 나왔는데, 이는 웨이블릿 변환에서 고주파 성분을 제거하였기 때문에 복잡한 영상에서 그 특성을 제대로 나타내지 못하였기 때문에 나타난 결과이다.

표 2와 같이 연산량을 비교해 본 결과 제안된 기존 알고리즘보다 약간 늘어나지만 여전히 전역 탐색 알고리즘에 비해 훨씬 적은 연산량으로 결과를 얻어내었음을 알 수 있다.

표 2. Foreman Sequence에서의 화소 하나 당 연산량 비교
Table 2. Compare of computational complexity for the Foreman sequence

	Addition	Multiplication	Shift	Absolute
FS	1089	0	0	1089
1BT	123.7	2	0	0
WT	165.1	0	3	0
Proposed	186.2	0	4.4	0

V. 결론

본 논문에서는 웨이블릿 변환을 이용한 보완된 이진 블록 정합 움직임 예측 알고리즘을 제안하고 실험을 통하여 이를 검증하였다. 실험 결과, 제안하는 알고리즘은 기존의 알고리즘에 비하여 2단계 탐색을 통해 더욱 정확한 움직임 벡터를 찾음으로써 향상된 화질을 얻을 수 있었고 블록 단위의 웨이블릿 변환을 이용한 움직임 예측으로써 복잡한 영상에 대한 특성 추출 등의 보완이 이루어진다면 동영상 부호화의 실시간화에 큰 도움이 될 것이라 기대할 수 있다.

참고 문헌

[1] W. Li and E. Salari, "Successive elimination algorithm for motion estimation," IEEE Transactions on Image Processing, 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 Transactions on Consumer Electronics, 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 Proceedings of IEEE International Conference on 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 Transactions on Image Processing, 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/IECJTC1/SC29/WG11 N3324, Mar. 2000.
- [7] B. Natarajan, V. Bhaskaran, and K. Konstantinides, "Low-complexity block-based motion estimation via one-bit transforms," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 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 Transactions on Consumer Electronics, 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", in Proceedings of 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.

저 자 소 개



유 근 호

- 2009년 2월 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 졸업
- 2009년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 석사과정
- 주관심분야 : 영상처리, 고속 움직임 예측, 화면내 예측



이 혁

- 2006년 2월 : 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 졸업
- 2006년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 석사사 통합과정
- 주관심분야 : 영상처리, 고속 움직임 예측, 패턴인식



정 제 창

- 1980년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업
- 1982년 2월 : KAIST 전기전자공학과 석사
- 1990년 : 미국 미시간대학 전기공학과 공학박사
- 1980년 ~ 1986년 : KBS 기술연구소 연구원(디지털 및 뉴미디어 연구)
- 1990년 ~ 1991년 : 미국 미시간대학 전기공학과 연구교수(영상 및 신호처리 연구)
- 1991년 ~ 1995년 : 삼성전자 멀티미디어 연구소(MPEG, HDTV, 멀티미디어 연구)
- 1995년 ~ 현재 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 교수(영상통신 및 신호처리 연구실)
- 1998년 11월 : 과학기술자상 수상
- 1998년 12월 : 정보통신부장관상 표창
- 2007년 : IEEE Chester Sall Award 수상
- 2008년 : ETRI Journal Paper Award 수상
- 주관심분야 : 영상처리, 영상압축, 3DTV