움직임벡터의 확률분포와 적응적인 탐색을 이용한 고속 움직임 예측 알고리즘

(A Fast Motion Estimation Algorithm using Probability Distribution of Motion Vector and Adaptive Search)

박 성 모 † 유 태 경 †† 김 종 남 †††
(Seong-Mo Park) (Tae-Kyung Ryu) (Jong-Nam Kim)

요 약 본 논문에서는 전영역 탐색기반의 방법에 비하여 예측화질은 거의 같게 유지하면서 불필요한 계산량을 현저히 줄이는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 방법은 움직임 벡터의 확률분포에 따라 탐색패턴을 달리하며, 블록매칭 기준의 비교값을 다르게 함으로써 예측화질을 유지하면서 계산량만 효율적으로 감축할 수 있다. 제안한 알고리즘은 기존의 전영역 탐색 기반인 H.264 PDE 고속 알고리즘과 비교하여 예측화질의 저하가 0~0.02dB이며, 소요된 계산량은 20%~30%정도이다. 제안한 알고리즘은 MPEG-2/4 AVC를 이용하는 실시간 비디오 압축 응용분야에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

키워드 : 움직임 추정, 전역 탐색, 유사 무손실, 부분 에러 제거, 적응 탐색 패턴

Abstract In the paper, we propose an algorithm that significantly reduces unnecessary computations, while keeping prediction quality almost similar to that of the full search. In the proposed algorithm, we can reduces only unnecessary computations efficiently by taking different search patterns and error criteria of block matching according to distribution probability of motion vectors. Our algorithm takes only 20~30% in computational amount and has decreased prediction quality about 0~0.02dB compared with the fast full search of the H.264 reference software. Our algorithm will be useful to real-time video coding applications using MPEG-2/4 AVC standards.

Key words : Motion Estimation, Full search, Quasi-lossless, Partial distortion elimination, Adaptive search pattern

1. 서 론

비디오 부호화를 위한 움직임 예측에서 전영역 탐색 방법의 계산량을 줄이기 위해 많은 고속 알고리즘들이 연구되어져 왔는데, 이들 고속 알고리즘들은 크게 두 그룹으로 나누어 질 수 있다. 하나는 전역 탐색 방식에 비해 예측 화질의 손실을 갖는 것이고, 다른 하나는 예측 화질의 손실을 갖지 않는 방식이다[1,2]. 본 논문에서 이에 대한 정의를 한다면 전자는 손실 움직임예측이라 하고, 후자는 무손실 움직임예측이라 한다. 전자는 다음의 세부 그룹으로 다시 나누어 질 수 있다. 단일모달에러표현 가정기법, 계층적탐색, 낮은 비트 해상도, 가변 탐색법, 문턱치에 의한 중간 멈춤기법, 간소화된 에러 비교 방법등이 이에 포함된다[2]. 그리고 후자의 무손실 움직임 예측 기법에는 기준 블록과 후보 블록의 블록합을 이용한 후보 제거 알고리즘(SEA: Successive Elimination Algorithm) 및 그 응용, 그리고 부분 매칭 에러값을 이용한 후보 제거(PDE: Partial Distortion Elimination) 알고리즘 및 그 응용 등이 있다[3-5]. 그러나 손실 움직임 예측 방법들은 계산량 감축은 많지만 예측 화질이 영상에 따라 심각하게 저하되는 문제점을 지니

· 본 연구는 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업과 중소기업청의 선도기술개발사업에서 지원을 받았습니다.

† 비 회 원 : 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부
ps22222@hanmail.net
†† 정 회 원 : 동서대학교 영상콘텐츠학과
tkryu@gdsu.dongseo.ac.kr
††† 비 회 원 : 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수
jongnam@pknu.ac.kr

논문접수 : 2009년 9월 2일
심사완료 : 2010년 1월 20일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

고 있다. 반면, 무손실 움직임 예측 방법은 예측 화질은 전영역 탐색방법과 같지만 계산량의 감축이 많지 않다는 것이다.

본 논문에서는 예측화질은 무손실 예측 방법과 거의 같으면서 방대한 계산량을 현저히 줄이는 새로운 움직임 예측 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 움직임벡터의 분포 확률을 이용하여 적응적인 탐색 방법을 취할 것이다. 그리고 블록 매칭 에러에 따라 적응적인 매칭 기준을 설정하여 불필요한 계산을 효율적으로 제거할 것이다.

2. 제안한 움직임 추정 알고리즘

기존의 전역 탐색방법과 비교하여 예측화질의 손실이 발생하지 않는 무손실 방법으로 대표적인 방법이 PDE 방법이다. PDE방법에서는 매칭 에러의 중간 합이 그때까지의 최소 에러보다 크다면 나머지 계산을 할 필요가 없다는 것이다.

$$APSAD_k = \sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{N}\left|f_t(i,j) - f_{t-1}(i+x, j+y)\right|, \quad \text{where} \quad k=1, 2, \cdots, N \tag{1}$$

$$APSAD_k \le SAD_{\min}, \quad \text{where} \quad k=1, 2, \cdots, N \tag{2}$$

식 (1)과 (2)는 일반적인 PDE에서 사용되는 SAD값의 행별 부분비교를 나타낸 것이다. 식 (1)에서, $f_t(i,j)$는 t 시간의 매칭블록 (i, j)에서 픽셀값을 나타내고, $f_{t-1}(i+x,j+y)$는 t-1 시간의 (i+x, j+y)에서 화소값을 나타낸다. 여기서 $APSAD_K$는 매칭블록에서 K행까지의 누적 부분 블록매칭에러이다.

본 논문의 제안 알고리즘은 예측화질에 있어서는 무손실 움직임 예측방법과 거의 같으면서 계산량 감축은 손실 예측방법과 비슷한 성능을 얻는 방법이다. 본 논문에서 새로운 용어를 정의한다면, 무손실 움직임 예측방법에 비하여 0.1 dB 이하의 예측 화질 차이가 발생하는 방법군을 유사 무손실 움직임 예측 방법이라 칭할 것이다. 본 논문의 핵심은 움직임 벡터의 확률 분포에 따라 후보점 탐색 패턴을 다르게 하여 효율적인 계산량 감축을 하며, 움직임 벡터의 확률 분포 및 주변 후보점의 에러 크기에 따라 블록 매칭 에러 기준을 다르게 하여 예측화질을 높임과 동시에 계산량을 감축하는 것이다.

본 논문에서는 움직임 벡터의 확률 분포를 이용하여 그림에서 보는바와 같이 (a)에서 (e)까지 다섯단계의 영역을 설정하고 이에 따라 탐색패턴을 변경할 것이다.

우선 움직임 벡터가 가장 많이 분포하는 (a)영역은 PDE 알고리즘을 이용하여 블록 매칭 에러를 계산한다. (a) 영역은 가장 중요한 영역이기 때문에, (a)영역을 부분 탐색 영역을 PSR1이라 할 때 PSR1내의 모든 후보점에 대해서는 완전 무손실 예측 알고리즘을 이용하여 가장 정밀하게 탐색을 할 것이다. 본 논문에서는 (a)영역의 무손실 예측 알고리즘을 적용할 때, 기존의 고속 알고리즘의 복합 사용을 고려하여 H.264의 고속 무손실 예측 알고리즘으로 사용되는 PDE(Partaial Distortion Elimination) 알고리즘을 사용한다.

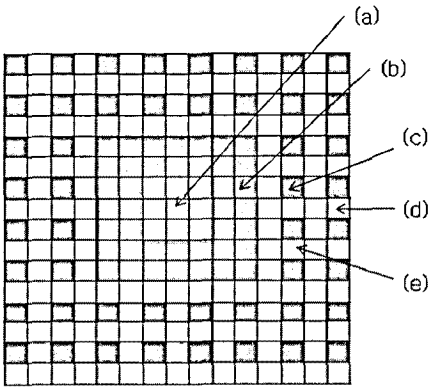

그림 1 적응적인 탐색을 위한 영역 구분

(b)영역은 그 다음으로 중요한 영역으로서, (a)영역처럼 모든 탐색점의 블록 매칭 에러를 구한다. (b)영역의 부분 탐색영역을 PSR2라고 할 때 PSR2내의 후보지점들은 모두 탐색하는 대신 매칭 에러 기준을 (a)영역과는 다른 기준을 사용한다. 여기서 사용하는 매칭에러기준은 다음 식 (3)과 같이 정의할 수 있다.

$$APSAD_k \le (k^*x/N)^*SAD_{\min}, \quad \text{where} \quad k=1, 2, \cdots, N \tag{3}$$

기존의 PDE 방법은 $Apass$를 현재 지점까지의 최소 에러와 비교하여 대소 여부에 따라 블록내의 나머지 계산을 계속하거나 중단하였다. 그러나 이러한 매칭기준을 아래 식처럼 변경을 한다면 불필요한 계산을 더 효율적으로 줄일 수 있다. 블록매칭에러가 균일하다면, $APSAD_k$의 매칭에러는 $k*SADmin/N$과 비교를 해야 한다. 그러나 실제 영상에서는 블록매칭에러의 분포는 균일하지 않고 그 분포를 계산을 하지 않고서는 알 수 없는 상황이다. 이러한 사실 때문에 x만큼의 스케일 변수를 두어 블록매칭에러의 불균일 분포에 대비해야 한다. x 스케일 변수를 두지 않는다면 계산량 감축은 더 얻을 수 있지만, 실제 매칭에러의 불균일 분포로 인하여 중간에 블록매칭에러 계산을 멈추지 말아야 할 후보지점에 대해 계산을 멈추고 이로 인하여 실제 최소 움직임 벡터의 찾지 못할 확률이 아주 높다. x값을 키울수록 움직임 벡터를 정확하게 찾고, 반면 소요되는 계산량은 더 많아진다. (b)영역은 움직임 벡터의 분포상 두 번째로 중요한 영역이기 때문에 x값을 $x1$이라는 큰 값으로 지정한다.

(c)영역은 움직임벡터의 분포확률이 낮기 때문에 (a), (b)영역과는 달리 한 화소씩 건너뛰어 탐색하며, 식 (3)의 매칭에러기준을 적용하는데 있어 x값을 낮은 단계인 $x2$ 값으로 설정하여 중간 멈춤을 결정한다. (c)영역에서 새로운 최소 매칭 에러가 발생하는지 유무에 따라 (d)영역 또는 (e)영역이 결정된다.

(d)영역은 (c)영역에서 새로운 최소 매칭 에러가 발생하지 않은 경우인데, 이럴 경우는 주위의 인접 최소 에러가 발생할 확률도 아주 희박하다. 따라서 이 영역은 추가적인 계산을 하지 않고 불가능한 후보지점이라 판단하여 블록매칭에러를 계산하지 않는 것이다.

(e)영역은 (c)영역에서 새로운 최소 매칭 에러가 발생한 경우인데, 이러한 경우는 인접한 주변에서 새로운 최소 에러 발생 확률이 아주 높은 경우이다. 따라서 인접 8연결방향에 대해 매치에러 계산을 실시하며, 매칭 에러 기준도 아주 정밀한 검색을 할 수 있도록 x 스케일 변수값을 키워서 $x3$이라는 값으로 스케일 값을 설정한다.

3. 실험 및 고찰

제안한 알고리즘과 기존의 알고리즘의 성능을 비교하기 위해, "foreman", "car phone", "trevor", "akio", "grandmother"의 비디오 시퀀스를 가지고 실험을 하였다. 매칭 블록의 크기는 16×16이며, 탐색 영역의 범위는 ±15 화소로 설정하였다. 프레임의 크기 정보로서 QCIF (176×144)를 사용하였다. 실험 결과는 계산량 감축률과 평균 연산량과 PSNR(peak signal to noise ratio)로 나타내었으며, 계산량 감축은 기존의 전영역 탐색방법의 계산량을 100%로 두고 이의 상대적 비율로 나타내었다. 그림 1에서 (a), (b)영역의 부분 탐색영역인 PSR1, PSR2는 각각 +-1, +-5로 설정하였으며, (b), (c), (e)영역에서 식 (3)에 사용될 스케일 상수 x, $x2$, $x3$ 은 각각 3, 1, 3으로 설정하였다.

기준이 되는 전영역 알고리즘(FS), 복잡도 기반의 고속 PDE 방법(PDE Complex)[3], H.264에서 사용되는 PDE 알고리즘(PDE H264)[4], 하다마드 변환을 이용한 고속 PDE 방법(PDE HD)[5], 그리고 다해상도 기법(MRME) 방법들과 제안알고리즘의 결과를 비교하였다. 여기서 다해상도 계층은 두 계층으로 나누었다.

그림 2는 "car phone" 영상 시퀀스에서 프레임별로 다양한 방법들의 소요된 계산량을 나타내고 있다. 그림에서 가로축은 프레임수를 나타내고, 세로축은 전영역 탐색의 계산량을 100%라고 할 때 계산감축 비율을 나타내며 [%]의 단위를 갖는다. 그림에서 보듯이 제안된 방법의 연산량이 전영역 탐색 계산량과 비교할 때 5% 이하를 차지함을 알 수 있다.

표 1과 2는 각 방법에 대하여 각 비디오 시퀀스별로

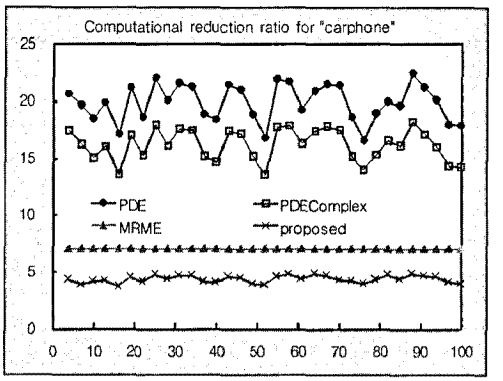

그림 2 "Carphone" 영상에서 프레임별 계산 감축 결과

평균 연산량 감축과 예측화질 결과를 정량적으로 나타내었다. 표 1에서 보는바와 같이 전영역 탐색방식에 비하여 제안 방법은 2.6~4.6%의 계산량을 차지한다. H.264에서 사용중인 PDE 방법과 비교하면 이를 기준으로 20%~30%의 계산량을 차지한다. 많은 계산량 감축에도 불구하고 표 2를 본다면 예측화질은 거의 전영역 탐색과 같은 수준으로 볼 수 있다. 일반적으로 0.5dB 이하이면 시각적 차이를 무시할 수 있다고 하는데, 표 2에서 보면 전영역 탐색대비 예측화질의 최대 차이가 0.02dB이하이다.

표 1 영상 시퀀스별 각 알고리즘의 계산 감축량 결과

	foreman	carphone	trevor	akiyo	grandma
FS	100	100	100	100	100
PDE H.264	20.1	19.5	15.1	8.6	19.5
PDE Comp.	15.8	16.2	12.8	7.3	16.5
PDE HT	15.9	16.3	12.9	7.7	17.2
MRME	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
Proposed	4.2	4.4	3.7	2.6	4.6

표 2 영상 시퀀스별 각 알고리즘의 예측화질 결과

	foreman	carphone	trevor	akiyo	grandma
FS	32.58	34.05	34.07	44.14	43.45
PDE	32.58	34.05	34.07	44.14	43.45
PDE Comp.	32.58	34.05	34.07	44.14	43.45
PDE HD	32.58	34.05	34.07	44.14	43.45
MRME	31.47	33.67	33.84	44.14	43.44
Proposed	32.56	34.03	34.08	44.14	43.44

5. 결 론

본 논문에서는 예측화질은 기존의 전영역 탐색방식인 무손실 움직임예측방법과 같은 성능을 가지면서 계산량은 손실 움직임예측 방법과 견줄 수 있는 유사 무손실 움직임 예측 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 방법은 움직임 벡터의 확률분포에 따라 적응적인 탐색 패턴과 적응적인 블록매칭기준을 이용하였다. 전영역 탐색 방법의 연산량과 비교할 때 2.6~4.6% 정도의 계산량 감축을 얻었다. 제안한 알고리즘은 MPEG-2 및 MPEG-4 AVC과도 호환이 되며, 이를 이용하는 실시간 비디오 압축 응용분야에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] F. Dufaus and F. Moscheni, "Motion estimation techniques for digital TV: A review and a new contribution," *Proceedings. IEEE*, vol.83, pp.858-876, June 1995.

[2] J.N. Kim, "A study on fast block matching algorithm of motion estimation for video compression," Ph.D. Thesis of GIST, 2001.

[3] J.N. Kim, S.C. Byun, Y.H. Kim, and B.H. Ahn, "Fast full search motion estimation algorithm using early detection of impossible candidate vectors," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol.50, pp.2355-2365, Sep. 2002.

[4] http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download/old_jm/

[5] S. Jin and H. Lee, "Fast partial distortion elimination algorithm based on hadamard probability model," *IEE Electron. Letters*, vol.44, no.1, pp. 17-19, Jan. 2008.

박 성 모

2006년 2월 신라대학교 컴퓨터공학과 석사. 2007년 3월~현재 부경대학교 대학원 컴퓨터공학과 재학. 관심분야는 비디오 압축, 워터마킹, 영상처리, 객체인식

유 태 경

1997년 8월 부경대학교 전자공학과 졸업(공학사). 2000년 2월 부경대학교 전자공학과 석사(공학석사). 2008년 2월 부경대학교 전자공학과 박사(공학박사). 2009년 3월~현재 동서대학교 영상콘텐츠학과 관심분야는 영상신호처리, 멀티미디어 보안 등

김 종 남

1995년 2월 금오공과대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1997년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과 석사(공학석사). 2001년 8월 광주과학기술원 기전공학과 박사(공학박사). 2001년 7월~2004년 2월 KBS 기술연구소 선임연구원. 2004년 4월~현재 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 부교수. 2003년 3월~현재 (주)홈캐스트 사외이사. 관심분야는 영상신호처리, 멀티미디어 보안 등