

논문 2010-47SD-1-11

고속 움직임 추정을 위한 시공간적 상관관계 기반의 효율적인 부분 왜곡 탐색 알고리즘

(An Efficient Partial Distortion Search Algorithm using the Spatial and Temporal Correlations for Fast Motion Estimation)

하 동 원*, 조 효 문**, 이 중 화**

(Dong Won Ha, Hyo Moon Cho, and Jong Hwa Lee)

요 약

H.264/AVC와 같은 영상압축표준에서 움직임 추정 및 보상은 비디오 코딩 과정에서 가장 많은 연산량을 차지하는 중요한 처리 과정이다. 영상 코덱에서 일반적으로 사용되는 전역 탐색 기법(Full Search)은 가장 좋은 화질을 보여주긴 하지만 매우 많은 계산량이 필요하다는 단점이 있다. 따라서 좋은 화질을 유지하면서도 계산량을 낮추기 위한 많은 고속 알고리즘들이 제안되었다. 그 중 NPDS(Normalized Partial Distortion Search)는 개선된 블록 정합 오류 연산을 이용하여 계산량을 낮추면서도 전역 탐색 기법에 거의 근접한 화질을 얻어 낼 수 있었다. 본 논문에서는 움직임 예측 벡터를 이용하여 초기에 최소 정합에러를 결정하고, 새로운 탐색 순서를 적용한 알고리즘을 제안한다. 실험결과에 따르면 제안하는 알고리즘은 기존의 전역탐색 알고리즘에 비해 비교적 화질 열화가 없고 계산량이 평균적으로 약 95% 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

Abstract

In video standards such as H.264/AVC, motion estimation (ME) / compensation (MC) is regarded as a vital component in a video coder as it consumes a large amount of computation resources. The full search technique, which is used in general video codecs, gives the highest visual quality but also has the problem of significant computational load. To solve this problem, many fast algorithm has been proposed. Among them, NPDS show that can maintain its video quality very close to the full search technique while achieving computation reduction by using a half-way-stop technique in the calculation of block distortion measure. In this paper, we proposed algorithm by determining minimum distortion measure with predictive motion vector and using the new search order. As the result, we can check that the proposed algorithm reduces the computational load 95% in average compared to the full search, respectively with the PSNR lost about 0.04dB.

Keywords : H.264/AVC, Noarmalized Parital Distortion Search(NPDS), Median predictor

I. 서 론

MPEG-1/2/4, H.264/AVC 표준에서는 영상 압축을 위해서 움직임 추정 및 보상, 이산 직교변환(DCT)을

이용한 변환 및 양자화, 엔트로피 부호화 등이 사용된다. 영상의 부호화과정에서 복잡도에 가장 큰 영향을 미치는 움직임 예측 (Motion Estimation)과 움직임 보상 (Motion Compensation)은 프레임간의 상관관계를 이용하여 시간적 중복성을 제거하는 기술을 말한다. 이 과정은 동영상 압축에서 일반적으로 연산량의 60% 이상을 차지하고 있는 중요한 처리 과정이다.^[1]

움직임 추정 및 보상에는 수행시간의 단축과 하드웨어 구현의 용이성을 위해 블록 정합 알고리즘(Block Matching Algorithm, BMA)이 많이 사용되고 있다.^[2]

* 학생회원, ** 정회원, 울산대학교 전기전자정보시스템 공학부

(School of Electrical Engineering, University of Ulsan)

※ 본 연구는 2009년 울산대학교의 교비연구비 지원에 의해 수행된 연구임

접수일자: 2009년10월29일, 수정완료일: 2009년12월30일

이때 블록의 정합척도로는 평균 자승 오차와 비슷한 성능을 가지면서도 계산량이 적은 SAD(Sum of Absolute Difference)가 널리 사용된다.^[3]

BMA 중 가장 고전적인 방법인 전역 탐색 기법(Full search)은 최적의 정합블록을 찾기 위해 이전 프레임의 탐색 영역내의 모든 위치에서 SAD값을 비교하는 것으로, 정확한 움직임 벡터를 찾을 수 있으나 연산량이 많은 단점이 있다. 이런 문제를 개선하기 위해서 많은 고속 움직임 예측 알고리즘들이 연구되어왔다. 이들 고속 알고리즘들은 크게 세 그룹으로 나눌 수 있다.

첫번째로는 원점을 중심으로 정해진 탐색패턴에 의해서 탐색을 수행하는 방식으로 Three-Step Search(TSS)^[4], Diamond Search(DS)^[5], Cross-Diamond Search(CDS)^[6] 등을 대표로 들 수 있다. 그러나 이 방식들은 탐색속도는 향상되지만 정합 블록을 정확하게 찾지 못하여 영상 부호화 이후 화질을 크게 열화시키는 단점이 있다.

둘째로는 시간적/공간적 상관관계를 이용하여 초기 탐색시작 지점을 예측하고 이에 따라 탐색패턴을 유동적으로 변형시키는 PMVFAST(Predictive Motion Vector Field Adaptive Search Technique)^[7], Adaptive Dual-Cross Search^[8] 등이 있다. 이들 방식은 탐색속도를 한층 더 최소화시키면서도 화질 또한 기존의 방법보다 향상시킬 수 있다. 그러나 후보 블록들을 전부 탐색하지 않기 때문에 그에 따른 화질 열화를 초래하는 단점이 존재한다.

마지막 세 번째로 전역탐색법의 움직임 추정오차와 동일한 결과를 주면서 계산량을 줄이는 알고리즘으로, PDS(Partial Distortion Search Algorithm)^[9~10], SEA(Successive Elimination Algorithm)^[11] 등이 이 부류의 알고리즘에 속한다. 이들은 탐색 영역 내에 있는 후보 블록들을 전부 탐색하기 때문에 전역 탐색 알고리즘과 동일한 화질을 유지하면서도 기준 블록과 후보 블록의 블록 오차 합을 이용하여 불필요한 계산량을 줄임으로써 속도 향상을 가져온다.

본 논문은 전역 탐색 방식의 NPDS(Noarmalized Partial Distortion Search)를 기반으로 하여 기준 블록과 후보 블록들에서 불필요한 후보 블록들을 초기에 제거하기 위해서 중간값 예측기를 사용하는 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 정확한 최소 정합 에러를 구하고 영상의 움직임 벡터 분포를 통해 기존의 나선형 탐색방법 대신에 새로운 탐색패턴을 적용함으로써 움직

임 추정의 계산량을 줄일 수 있음을 확인하였다.

본 논문의 구성은 II장에서는 기존의 부분 왜곡 탐색 알고리즘의 특성을 살펴보고 III장에서는 새로운 고속 움직임 추정 알고리즘을 제안한다. 그리고 IV장에서는 제안한 알고리즘과 기존의 알고리즘과의 비교를 통하여 제안한 알고리즘의 성능을 비교하게 되며 마지막으로 V장에서는 결론을 맺는다.

II. 기존 부분 왜곡 탐색 알고리즘

1. NPDS 알고리즘

대부분의 고속 움직임 추정 알고리즘은 움직임 추정 오차가 움직임 방향으로 단조 감소한다는 가정을 이용하여 움직임 벡터를 추정한다. 그러나 그림 1에서 보인 바와 같이 움직임 추정의 에러 표면은 하나의 Global minimum 뿐만 아니라 많은 Local minimum이 존재하므로 픽셀간의 블록 오차값이 거리에 선형적으로 비례한다고 할 수가 없다. 이러한 이유로 움직임 추정 연산에서는 Local minimum이 중요한 문제점이 되었었다. 이러한 문제점을 해결 할 수 있는 알고리즘이 전역탐색 예측방법 중에서 부분 왜곡 탐색방법을 이용한 NPDS이며 이를 정리하면 다음과 같다.

NPDS는 전역탐색기법과 같이 탐색영역내의 모든 탐색점에 대해 연산하나 연산량을 감소시키기 위해 부분적으로 축적된 SAD(D_p)와 minSAD(D_{min})을 비교하여 불필요한 움직임 벡터 추정 연산을 제거하는 기법이다. 탐색패턴은 움직임 벡터가 원점을 중심으로 집중되어 있다는 사실을 근거로 나선형으로 탐색이 이루어진다. 그림 2는 16x16 블록에 대한 부분 왜곡 d_p 계산 순서를 나타낸다. 식 (1)은 부분 왜곡을 이용한 블록 정합

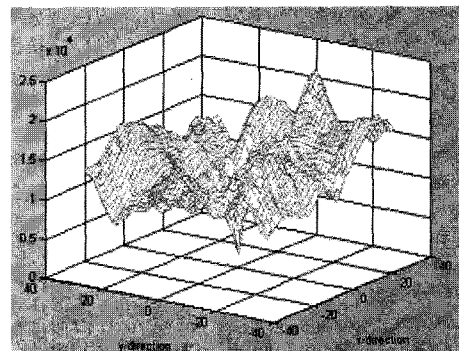


그림 1. 움직임 추정의 에러 표면

Fig. 1. Error surface of motion estimation.

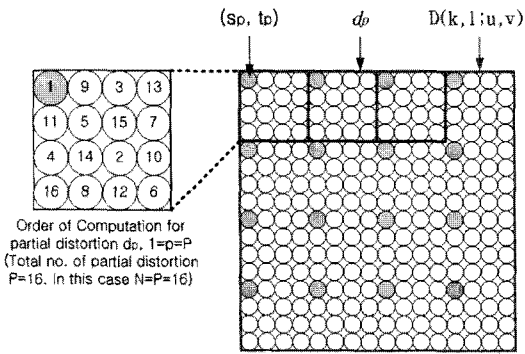


그림 2. 16x16블록의 부분 왜곡 탐색의 계산 순서
Fig. 2. Computation order of partial distortion d_p of 16x16 block.

$D(k,l;u,v)$ 를 구하는 것으로 16개의 부분 블록(d_p)로 구성 되어있다.

$$D(k,l;u,v) = \sum_{i=0}^{15} \sum_{j=0}^{15} |I_t(k+i,l+j) - I_{t-1}(k+i+u,l+j+v)| \quad (1)$$

$I_t(i,j)$ 는 현재 프레임의 (i,j) 좌표에서 화소의 휘도 값, $I_{t-1}(i,j)$ 는 이전 프레임의 (i,j) 좌표에서 화소의 휘도 값을 나타낸다. 그리고 (k,l) 은 블록의 위치 좌표, (u,v) 는 탐색영역에서의 탐색점의 위치이다.

$$d_p(k,l;u,v) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 |I_t(k+4i+s_p,l+4j+t_p) - I_{t-1}(k+4i+s_p+u,l+4j+t_p+v)| \quad (2)$$

식 (2)는 부분 왜곡 d_p 는 4x4크기의 서브 블록의 분할 영역으로 p번째 부분 왜곡 블록 매칭 오차값이다. 분할된 블록의 부분 왜곡 오차값은 p=1에서 p=16까지 순차적으로 계산된다.

$$D_p(k,l;u,v) = \sum_{i=1}^p d_i(k,l;u,v) \quad (3)$$

식 (3)는 p번째 축적된 부분 왜곡 블록 매칭 오차값의 합(D_p)이다.

2. NPDS 성능의 문제점

움직임 벡터가 $(0,0)$ 위치 부근에 있을 때에는 나선형 탐색이 효과적으로 움직임 예측을 수행한다. 하지만 움직임 벡터가 $(0,0)$ 위치 부근에 있지 않을 경우에는 최적의 움직임 벡터를 찾는데 많은 비용이 필요하게 된다. 그림 3은 여러 영상에서의 움직임 벡터 분포를 나

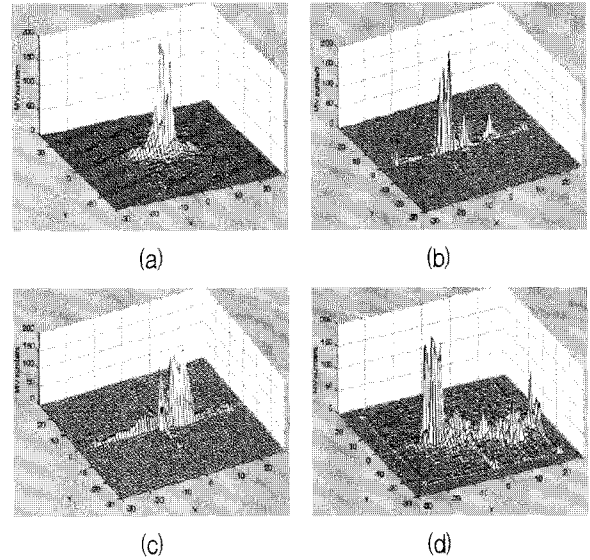


그림 3. Full Search에 의해 추정된 움직임벡터 분포
(a) foreman, (b) bus, (c) stefan, (d) football
Fig. 3. Distribution of motion vector by full search
(a) foreman, (b) bus, (c) stefan, (d) football.

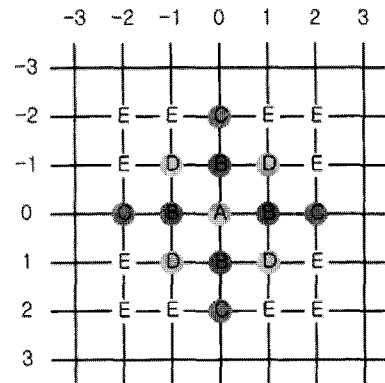


그림 4. 움직임벡터 분포도
Fig. 4. Distribution of motion vector.

타낸다.

그림 3의 (a)는 foreman 시퀀스의 경우로 움직임 벡터가 $(0,0)$ 중심으로 집중되어 있어 기존의 NPDS 알고리즘의 나선형 탐색이 효율적이다. 그러나 (b)의 bus와 (c)의 stefan 시퀀스의 경우는 움직임 분포가 X축 방향으로 넓게 분포되어 수평 움직임이 많으며, (d)의 football 시퀀스는 뒷배경과 선수 각각의 움직임으로 인한 복잡한 분포를 가지므로 원점 중심으로 움직임 벡터가 분포되어 있다는 가정은 효율이 떨어진다. 즉, 상대적으로 많은 움직임 특성을 가지는 화면에서 비교 연산을 위한 초기 최소 정합 어려움이 커지므로 최적의 블록 정합 오차값을 찾기 위한 계산량이 증가한다.^[12~13]

그림 4는 움직임 벡터의 분포를 나타내는데 ± 1 픽셀

의 대각선에 위치한 지점보다 ±2픽셀의 수직과 수평 방향에 움직임 벡터가 존재할 확률이 상대적으로 더 높았다. 이에 방향성 없이 중심에서부터 멀어지는 순서로 탐색하는 나선형 탐색 알고리즘의 적용은 움직임 추정 효율을 저하시키게 된다.^[14]

III. 제안하는 고속 움직임 추정 알고리즘

본 장에서는 II장에서 서술한 부분 왜곡 탐색 알고리즘의 특성을 기반으로 새로운 움직임 추정 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 중간값 예측기 (Median Predictor)를 이용하여 초기 정합 오차값을 찾고, 영상의 특성을 이용한 탐색 순서를 적용하여 전체적인 계산량을 줄인다. 제안하는 고속 움직임 추정 알고리즘의 전체 연산 흐름도를 그림 5에 나타내었다. 먼저 확장된 예측기를 사용하여 최소 정합 에러의 최소 근사치를 계산하고 수직과 수평방향의 움직임 특성을 반영하는 다이아몬드형 탐색 순서를 적용하여 움직임 예측 알고리즘을 수행한다.

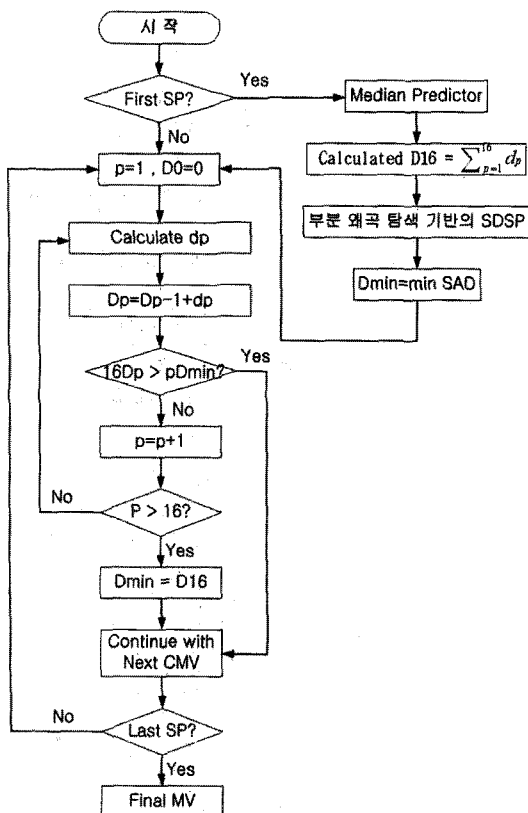


그림 5. 고속 움직임 추정 연산 흐름도
Fig. 5. Fast motion estimation flow.

1. 확장된 중간값 예측기의 적용

부분 왜곡 탐색 알고리즘에서 가장 중요한 것은 탐색 초기에 탐색 영역 내에서 최소 정합 에러를 찾는 데 있다. 이는 최소 정합 에러가 최소치에 근접할수록 SAD 연산량이 감소하여 최적화된 고속 전영역 탐색을 할 수 있기 때문이다. 여기서 초기에 최대한 빠르게 최소 정합 에러를 찾기 위해서, 본 논문에서는 예측 움직임 벡터를 이용하여 중간값 예측기법을 제안한다.

기존의 중간값 예측기는 주변 블록들 간에 공간적인 연관성만을 이용한 좌측, 상단, 우상단 예측 벡터를 이용하였다. 그런데 연속된 화면들 사이에서 배경이나 객체의 움직임이 가지는 시간적인 상관관계도 높기 때문에 시공간적인 예측 움직임 벡터를 이용하여 확장된 중간값 예측기를 사용하면 보다 더 정확한 움직임 예측을 할 수 있다. 제안한 알고리즘에서의 중간값 예측은 프레임내의 매크로 블록의 위치에 따라 사용 할 수 있는 예측 움직임 벡터 후보군이 다르므로 아래와 같은 식으로 구할 수 있다.

시공간적인 움직임 벡터를 모두 다 사용 할 수 있는 경우에는 예측 움직임 벡터가 가지는 상관성을 높이기 위해서 4개의 움직임 벡터 모두를 사용한다. 이를 식 (4)로 표현하였다.

$$pred_mv = \frac{1}{2} \left\{ \sum_i mv_i - \max(mv_i) - \min(mv_i) \right\}$$

$$i \in \{left, top, top-right, t-1\}$$

(4)

프레임의 첫 번째 열에 존재하는 매크로블록의 경우는 좌측 예측 벡터가 존재하지 않으므로 식 (5)로 표현되고 기존의 중간값 예측기를 그대로 적용한다.

$$pred_mv = median(mv_{top}, mv_{top-right}, mv_{t-1})$$

(5)

또한 프레임의 첫 번째 행에 존재하는 매크로블록의 경우, 상단과 우상단 예측 벡터가 존재하지 않으므로 기존의 중간값 예측기를 그대로 적용하기 위해서 영벡터를 추가한다. 이를 식 (6)으로 표현하였다.

$$pred_mv = median(mv_{left}, mv_{t-1}, 0)$$

(6)

그리고 프레임의 첫 번째 매크로블록, 즉 (0,0)에 위치한 매크로블록의 경우에는 존재하는 예측 벡터가 이전 프레임의 대응 블록의 움직임 벡터뿐이므로 이것을

그대로 사용한다.

중간값 예측기를 통해 계산된 화소에서의 최소 정합 에러는 최소치에 근사하지 않을 수 있기 때문에 최소 정합 에러를 근사치에 가깝게 선택하는 것이 중요하다. 이를 위해 중간값 예측기를 통해 예측한 벡터의 위치로부터 Small Diamond 형태로 탐색 영역을 확장하여 움직임 탐색을 먼저 수행한다. 이 방법은 제안한 확장된 중간값 예측기로 구한 초기 최소 정합 에러보다 최소에 근사한 최소 정합 에러를 가질 수 있는 가능한 후보들을 탐색할 뿐만 아니라 전체적인 연산량의 증가가 없기 때문에 확장된 예측기를 적용하여 계산된 최소 정합 에러를 적용하면 효율적으로 불가능한 후보들을 빨리 제거할 수 있다.

2. 탐색 패턴

기존의 부분 왜곡 탐색 알고리즘에서 사용하는 나선형 탐색 방법은 중심에서 시작하여 탐색 지점을 나선형으로 이동하면서 움직임 예측을 수행한다. 그러나 영상에서 물체의 움직임은 대각 방향 보다는 수평과 수직 방향에 움직임 벡터가 존재할 확률이 더 높고 영상의 화면 비율에 있어 가로 화면이 세로 화면보다 더 큰 특성과 카메라 패닝(panning)으로 인해서 영상의 수평적인 움직임이 수직 축에 존재하는 움직임 보다 크다는 사실을 이용하여 그림 6의 다이아몬드형 탐색 알고리즘을 제안한다. 제안한 다이아몬드형 탐색 알고리즘을 적용하면 기존의 탐색 알고리즘인 나선형 탐색 알고리즘보다 가로 방향으로 먼저 탐색을 하기 때문에 가로 방

향 움직임이 많은 영상에서 보다 빠른 움직임 예측을 수행할 수 있다. 또 가로 방향 움직임이 작은 영상을 예측할 경우를 보완하기 위해 (0,0)을 중심으로 탐색하기 때문에 가로 방향 움직임이 적은 영상에도 적용하여 사용할 수 있는 장점이 있다.

IV. Simulation 및 설계 결과

본 논문에서 제안한 고속 움직임 추정 알고리즘을 검증하기 위해 움직임 분포가 서로 다른 foreman, bus, coastguard, mobile, stafen과 football 총 6개의 영상 시퀀스가 사용되었다. 모든 영상은 IPPP로 부호화 되었고, 영상 시퀀스의 해상도로는 CIF (Common Intermediate Format)를 사용하였다. 움직임 탐색 영역은 ±8범위 안에서 이루어졌으며, 참조 영상의 개수는 1장으로 설정하였다.

제안하는 움직임 추정 알고리즘의 성능 비교를 위해서 표 1, 2와 같이 FS, DS, NPDS 대해 계산량, 영상의 화질(PSNR), 속도에 대해 비교하였다. 우선 표 1의 각 알고리즘에 대한 계산량의 결과는 절대치 (Abs.), 덧셈과 뺄셈 (Add.), 비교 (Comp.) 그리고 이동 (Shift.)과 같이 총 4개 연산에 대해 측정된 것이다. 여기에서 절대치, 덧셈과 뺄셈, 비교는 블록 정합 오차값의 측정을 위한 SAD 연산의 항목이다. 이동은 제안하는 알고리즘과 NPDS에서 비교를 위한 $\min\text{SAD}(D_{\min})$ 의 변환 연산이다. 즉, 측정된 부분 왜곡 탐색 $16D_p$ 가 pD_{\min} 보다 작으면 비교 연산을 위한 $\min\text{SAD}(D_{\min})$ 값을 바꾸는 연산이다. 표 1의 실험 결과를 통해 제안하는 알고리즘이 기존의 NPDS의 이동 계산량 보다 2.63배 줄어 들었다. 이는 확장된 중간값 예측기를 이용하여 초기에 최소 정합 블록 오차값을 탐색하기 때문이다.

최종적으로 제안하는 알고리즘은 실험 결과를 통해 FS와 비교하여 PSNR 차이는 -0.04dB 계산량은 95%

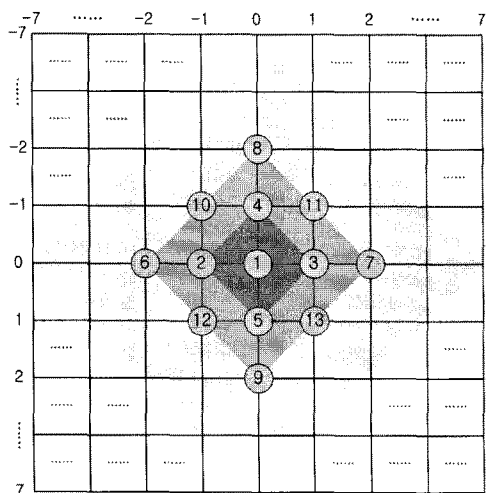


그림 6. 다이아몬드 탐색 패턴
Fig. 6. Diamond Search Pattern.

표 1. "bus" 영상에 대한 각 블록의 평균 연산량
Table 1. Average operation per block for "bus".

BMA	Abs.	Add.	Comp	Shift	Total
FS	65536	130816	255	-	196607
DS	3433.98	6854.55	13.41	-	10301.94
NPDS	5035.77	10051.88	447.91	55.18	15590.75
Proposed	2229.18	4449.66	210.54	20.98	6910.37

표 2. FS, DS, NPDS와 비교한 화질과 속도에 대한 실험 결과

Table 2. Simulation results of proposed algorithm in terms of "PSNR(dB)" and "Speedup" compared with FS, DS and NPDS.

Sequence	PSNR	BMA			
	Speedup	FS	DS	NPDS	Proposed
foreman	PSNR	30.37	29.91	30.20	30.35
	Speedup	1	16.32	14.34	21.29
bus	PSNR	25.97	25.58	25.85	25.95
	Speedup	1	19.01	12.56	28.34
coastguard	PSNR	26.87	26.28	26.71	26.82
	Speedup	1	17.03	12.87	23.08
mobile	PSNR	24.72	24.46	24.54	24.66
	Speedup	1	15.42	13.36	20.57
stafen	PSNR	24.86	24.57	24.77	24.83
	Speedup	1	17.58	12.42	27.43
football	PSNR	28.47	27.78	28.25	28.38
	Speedup	1	14.76	11.96	24.89

감소를 NPDS와 비교하여서는 PSNR은 +0.11dB 계산량은 53% 감소를 나타내었다.

V. 결 론

본 논문에서는 부분 왜곡 탐색의 움직임 추정의 특성을 이용한 효율적인 부분 왜곡 탐색 알고리즘을 제안하였다. 기존의 NPDS 알고리즘은 나선형 탐색방식으로 움직임이 적은 영상에 대해서 좋은 성능을 보였지만 움직임이 많은 영상에 대해서는 성능 향상이 미비하였다. 제안하는 알고리즘은 시공간적인 유사성을 이용한 움직임 벡터의 확장된 중간값 예측기를 이용하여 최적의 초기 최소 비용을 구하였으며 기존의 나선형 탐색방법 대신에 영상내의 움직임 벡터의 분포 특성을 반영하는 다이아몬드형 탐색 패턴을 적용하여 불가능한 후보 블록들을 일찍 제거할 수 있었다. 이로 인하여 불필요한 계산량을 최대한 줄일 수 있었으며 움직임이 적은 영상뿐만 아니라 움직임이 많은 영상에 대해서도 계산량이 확연히 줄어드는 것을 확인하였다. 실험 결과를 통해서 제안한 방법은 전역 탐색 알고리즘과 비교해 계산량이 평균적으로 95% 감소하였으며 PSNR의 객관적인 화질 열화는 0.04db로 미비하였다.

참 고 문 헌

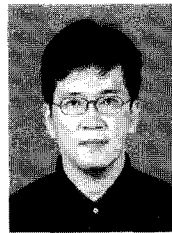
- [1] J. Ostermann, T. Weide, et al., "Video coding with H.264/AVC: tools, performance, and complexity", IEEE Circuits and Systems Magazine, vol. 4, pp. 7-28, 2004.
- [2] W. Li, E. Salari, "Successive elimination algorithm for motion estimation," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 4, pp. 105-107, Jan. 1995.
- [3] M. Bruning, W. Niehsen, "Fast full-search block matching," IEEE Trans. on Circuits and System for Video Technology, vol. 11, pp. 241-247, Feb. 2001.
- [4] R. Li, B. Zeng, and M. L. Liou, "A new three-step search algorithm for block motion estimation," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technology, vol. 4, pp. 438-443, Aug. 1994.
- [5] Shan Zhu and Kai-Kuang Ma, "A New Diamond Search Algorithm For Fast Block Matching Motion Estimation." IEEE Trans. Image Processing. vol.9. no.2. February 2000
- [6] C. H. Cheung, and L. M. Po, "A Novel Cross-Diamond Search Algorithm for Fast Block Motion Estimation", IEEE Trans, Circuits Syst. Video Technol., vol. 12, no. 12, Dec 2002.
- [7] Alexis Michael Tourapis, Oscar C. Au, Ming L. Liou, "Predictive Motion Vector Field Adaptive Search Technique (PMVFAST) Enhancing Block Based Motion Estimation," Proceedings of Visual Communications and Image Processing 2001 (VCIP'01)
- [8] X. Q. Banh and Y. Peng. Tan, "Adaptive Dual-Cross Search Algorithm for Block-Matching Motion Estimation", IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 50, pp. 766 - 775, May 2004
- [9] C. K. Cheung and L. M. Po, "Normalized partial distortion search algorithm for block motion estimation," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 10, no. 3, pp. 417 - 422, Apr. 2000.
- [10] 홍원기, 오태명, 김영로 "움직임 추정을 위한 제한된 부분 왜곡 탐색 알고리즘", 대한전자공학회 논문지, 제 43권 1E편 2호, 49-53, 2006년 6월.
- [11] X.Q. Gao, C.J. Duanmu, and C.R. Zou, "A multilevel successive elimination algorithm for block matching motion estimation," IEEE Trans. Image Processing, vol. 9, pp. 501 - 504, Mar. 2000.
- [12] Z. Chen, P. Zhou, Y. He, "Fast Integer Pel and Fractional Pel Motion estimation in for JVT" JVT-F017rl.doc, Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG, 6th meeting, Awaji, Island, JP, 5-13 December, 2002.

- [13] 최진하, 이원재, 김재석 “H.264/AVC의 효율적인 전 영역 움직임 추정을 위한 새로운 움직임 벡터 예측 방법 제안”, 대한전자공학회 논문지, 제 44권 SP편 3호, 70-79, 2007년 5월.
- [14] Q. Liu and S. Hiratsuka S. and Goto and T. Ikenaga, “Two-Steps Cross-Diamond Fast Search Algorithm on Motion Estimation in H.264”, ICCAS Int, Conf. Communications, Circuits and Systems pp.782 - 786, July 2007.

— 저 자 소 개 —



하 동 원(학생회원)
 2008년 울산대학교 전기전자정보
 시스템공학부 학사 졸업.
 2009년 울산대학교 전기전자정보
 시스템공학부 석사 과정.
 <주관심분야 : 영상·비디오 코딩,
 VLSI 설계>



조 효 문(정회원)
 1990년 울산대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1992년 울산대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 2006년 울산대학교 전기전자정보
 시스템공학부 박사 수료
 2008년 울산대학교 객원교수
 <주관심분야 : CMOS VLSI 및 SoC 설계, 영상
 압축 및 처리>



이 증 화(정회원)
 1974년 울산대학교 전기공학과
 시스템공학부 학사 졸업.
 1976년 한국과학기술원
 재료공학과 석사 졸업.
 1986년 Brunel University
 물리학과 이학 박사 졸업.
 1972년~현재 울산대학교 전기전자정보시스템
 공학부 교수
 1998년~1999년 Novosibirsk State Technical
 Visiting Scholar
 <주관심분야 : 반도체소자, VLSI 설계>