

영상 복잡도와 다양한 매칭 스캔을 이용한 고속 전영역 움직임 예측 알고리즘

(A Fast Full-Search Motion Estimation Algorithm using
Adaptive Matching Scans based on Image Complexity)

김 종 남 [†]

(Jong-Nam Kim)

요약 본 논문에서는 기존의 전영역 탐색 방식의 계산량을 현저히 줄임과 동시에 동일한 예측 화질을 얻기 위해, 기준 블록의 복잡도 순서와 정방향 서브블록을 가지고 복잡한 영역 세분화를 통한 고속 블록 매칭(block matching) 알고리즘을 제안하였다. 매칭 에러가 기준 블록 기울기 크기에 비례한다는 것을 이용하여 종래의 순차적인 매칭 스캔(matching scan) 과 행/열 기반의 적응 매칭 스캔 대신, 복잡도에 기초한 정방향 서브 블록(sub-block) 적응 매칭 스캔을 가지고 불필요한 계산을 효율적으로 줄였다. 제안된 알고리즘은 예측 화질의 저하 없이 기존의 PDE(partial distortion elimination) 알고리즘을 이용한 전영역 탐색 방법에 비해 30%의 계산량을 줄였으며, MPEG-2 및 MPEG-4 AVC를 이용하는 비디오 압축 응용 분야에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

키워드 : 영상 압축, 움직임추정, 전영역 탐색, 영상 복잡도, 매칭 스캔

Abstract In this paper, we propose fast block matching algorithm by dividing complex areas based on complexity order of reference block and square sub-block to reduce an amount of computation of full search(FS) algorithm for fast motion estimation, while keeping the same prediction quality compared with the full search algorithm. By using the fact that matching error is proportional to the gradient of reference block, we reduced unnecessary computations with square sub-block adaptive matching scan based image complexity instead of conventional sequential matching scan and row/column based matching scan. Our algorithm reduces about 30% of computations for block matching error compared with the conventional partial distortion elimination(PDE) algorithm without any prediction quality, and our algorithm will be useful in real-time video coding applications using MPEG-4 AVC or MPEG-2.

Key words : image compression, motion estimation, full search, image complexity, matching scan

1. 서론

MPEG-2와 MPEG-4 비디오 압축에서 블록 매칭 움직임 예측 방식의 전영역 탐색 방식은 주어진 탐색 영역에서 최소의 매칭 에러를 갖는 후보 지점을 찾는 것이다. 이 탐색 방식은 간단하고 쉬운 하드웨어 구현 때문에 비디오 데이터 부호화에서 널리 사용되어져 왔다. 하지만 큰 탐색 영역을 가질 때, 이 방식의 방대한 계산

량은 실시간 부호화 응용 분야에서 심각한 문제점으로 남겨져 왔다. 지난 십 수년간 전 영역 탐색 방식의 계산량을 줄이기 위해 많은 고속 알고리즘들이 연구 되어져 왔는데, 이들 고속 알고리즘들은 크게 두 그룹으로 나누어 질 수 있다. 하나는 전 영역 탐색 방식에 비해 예측 화질의 손실을 갖는 것이고, 다른 하나는 예측 화질의 손실을 갖지 않는 방식이다. 전자는 다음의 세부 그룹으로 다시 나누어 질 수 있다. 단일 에러 표면 가정(uni-modal error surface assumption--UESA) 기법, 다해상도(multiresolution) 기법, 움직임 벡터의 시/공간 상관관계를 이용한 가변 탐색 영역 기법, 매칭 에러의 문턱값을 이용한 중간 멈춤 기법, 매칭 블록의 행/열의 투영(integral projection technique) 기법, 더 낮은 비트 해상도(low bit resolution) 기법, 매칭 블록의 서브샘플

· 본 연구는 한국학술진흥재단에서 주관하는 "차세대물류IT기술연구사업단"에 의해 지원 받은 연구임.

[†] 정 회 원 : 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수

jongnam@pknu.ac.kr

^{**} 논문접수 : 2005년 2월 21일

심사완료 : 2005년 8월 29일

링(subsampling) 기법 등이 있다[1,12-13]. 그리고 후자의 무손실 움직임 예측 기법에는 다음과 같은 것들이 있다. 기준 블록과 후보 블록의 블록합을 이용한 후보 제거 알고리즘(successive elimination algorithm--SEA) 및 그것의 변형된 알고리즘들[2-8], 고속의 2차원 FIR 필터링 방법을 이용한 고속 알고리즘[9], 기준 블록과 후보 블록에 대해 수직, 수평, 블록 전체의 투영(vertical, horizontal and massive projection)을 이용한 알고리즘[10-11], 그리고 부분 매칭 에러값을 이용한 후보 제거(partial distortion elimination -PDE) 알고리즘 및 그 변형 알고리즘[12-16] 등이 있다.

본 논문에서는 기존의 전영역 탐색 방식의 계산량을 줄임과 동시에 동일한 예측 화질을 얻기 위해, 기준 블록의 복잡한 영역을 세분화한 고속 블록 매칭 알고리즘을 제안한다. 기준 블록과 후보 블록들에서 블록 매칭 어려가 기준 블록의 기울기 크기에 비례한다는 것을 이용하여 종래의 순차적인 매칭 스캔 방법에 비해 복잡도 기초한 매칭 스캔 방법을 가지고 불필요한 계산을 효율적으로 줄였다. 실험적으로, 제안된 알고리즘은 예측 화질과 계산 감축면에서 아주 효율적이고 동시에 기존의 PDE 알고리즘을 이용한 전영역 탐색 방법들에 비해 약 30%의 계산량 감소를 보였다.

본 논문은 다음과 같이 구성 되어 있는데, 2장에서는 본 논문의 배경 연구로서 기존의 고속 전영역 탐색 알고리즘을 정리했으며, 3장에서는 기준 블록의 기울기 크기와 매칭 어려의 관계를 제시하고, 영상의 복잡도에 근거한 매칭 스캔 알고리즘과 서브 블록을 이용한 복잡도 계산 및 매칭 스캔 알고리즘을 제안했다. 그리고 4장에서는, 본 논문의 알고리즘 검증에 위한 실험 결과 및 이에 대한 분석을 했으며, 5장에서 결론으로 마무리를 지었다.

2. 기존의 고속 전영역 탐색 알고리즘

고속 움직임 예측 알고리즘의 대부분은 정확하지 못한 움직임 벡터 때문에 예측 화질의 열화를 초래한다. 특히, 비트율이 제한된 응용 분야에서, 고속 알고리즘으로 인한 부정확한 움직임 벡터는 증가된 예측 어려로 인해 심각한 문제를 야기시킬 수 있다. 이러한 문제점과 함께, 간단하고 하드웨어 구현 용이성이 전영역 탐색 방법으로 하여금 널리 사용되게 한 주요 원인이다. 움직임 예측을 위한 연구 중에 대부분은 전영역 탐색에 비해 화질 저하를 초래하는 손실 움직임 예측 방법들이며, 예측화질의 열화가 전혀 없는 무손실 예측방법은 크게 SEA(successive elimination algorithm)과 PDE(partial distortion elimination)이 있는데, 이를 정리하면 다음과 같다.

SEA는 기준 블록의 합과 후보 블록의 합 그리고 그

때 까지의 최소의 매칭 에러를 이용하여 후보 지점들을 제거하는 것이다[2]. 이 알고리즘은 연속 제거 알고리즘이라 지칭되는데, 먼저, 기준 블록의 합과 후보 블록합의 중복 계산을 줄이기 위해 행의 합 또는 열의 합을 계산한다. 탐색 영역의 중앙점 또는 움직임 벡터의 상관관계(correlation)로부터 정해진 후보점의 초기 매칭 에러를 구한 후, 식 (1)을 가지고 불필요한 후보점들을 제거한다. 식 (1)에서, R 은 현재 프레임의 기준 블록을 의미하고 $C(x,y)$ 는 이전 프레임에서 후보 벡터(x,y)를 갖는 후보 블록합을 나타낸다. SAD_{min} 은 그때까지의 최소의 매칭 에러를 나타낸다. 식 (1)을 가지고, 예측 화질의 열화 없이 불필요한 후보 벡터를 효율적으로 제거한다. 이전 프레임의 후보 블록 합이 식 (1)의 조건을 만족하면 두 블록간의 매칭 어려(sum of absolute difference--SAD)를 계산하며, 그렇지 않으면 그 후보점은 무시하고 다음 후보점을 조사한다.

$$R - SAD_{min} \leq C(x, y) \leq R + SAD_{min} \quad (1)$$

그 이후에, SEA에 기초한 몇몇의 변형 알고리즘들이 발표되어 왔다. SEA의 속도 문제는 초기 매칭 에러를 어떻게 잘 선택하느냐에 따라 크게 좌우된다. 이런 맥락에서, G.C. de Oliveira[3]는 이웃하는 움직임 벡터로부터 더 작은 매칭 에러를 갖는 변형된 알고리즘을 제안했다. J.Y. Lu[4]은 다섯 개의 레벨을 갖는 민코우스키 부등식(Minkowski's inequality)을 이용하여 후보 점의 개수를 더 많이 줄였다. M.Z. Coban[5]는 최적화된 비트율-외곡을 갖는 움직임 벡터를 결정하기 위해 아래 식 (1)의 개념을 이용하였다. 따라서, 방대한 계산을 줄이기 위해 가중 스케일을 갖는 비트율 항을 덧붙임으로써 식 (1)을 확장시켰다. H.S. Wang[6]는 식 (1)에 PDE 알고리즘과 제곱근과 제곱항을 이용하여 계산을 줄이는 시도를 하였다. 한편, X.Q. Gao와 T.M. Oh는 식 (1)을 일반화하며 매칭 블록을 서브 블록화하여 부등식의 경계조건을 더 좁게 설정함으로써 불가능한 후보 벡터들을 더 많이 줄였다[7,8].

또 하나의 효율적인 알고리즘이 부분 에러 제거 알고리즘(PDE: partial distortion elimination)이다[12-16]. 이 방법은 하나의 블록의 완전한 계산을 하기 전에 부분 매칭 에러를 가지고 최소 에러와 비교함으로써 불필요한 계산을 줄이는 것이다. 즉, 매칭 에러의 중간 합이 그때까지의 최소 에러보다 크다면 나머지 계산을 할 필요가 없다는 것이다. 식 (2)은 일반적인 SAD에서 각 행마다 중간 계산을 점점하도록 고친 것이다.

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^N |f_t(i, j) - f_{t-1}(i+x, j+y)| \quad k=1,2,\dots,N \quad (2)$$

식 (6)에서 N 은 블록 크기를 의미한다. 앞에서 언급

했듯이, $k < N$ 일 때 부분 매칭 에러 합이 그때까지의 최소 에러보다 크다면 $k+1$ 부터 N 까지의 행에 대한 매칭 에러 계산을 절약할 수 있다. J.N. Kim[12]에서는 기존의 순차적인 Top-to-bottom방식의 매칭 스캔 대신 영상의 기울기 크기에 따라 순차적으로 Top-to-bottom, Bottom-to-top, Left-to-right, Right-to-left의 네 방향을 가지고 매칭 에러를 구해서 불필요한 계산을 줄였다. 그리고 J.N. Kim[13]에서는 가변적인 순차적 매칭 스캔 대신 기울기의 크기대로 매칭 스캔 순서를 재정렬해서 매칭 에러를 구해 계산 감축을 얻었다. B. Erol [14]은 실시간 MPEG 소프트웨어 코덱을 만드는데 있어 PDE 알고리즘을 이용하였다. PDE 방법은 전 영역 탐색 방법 뿐만 아니라 다른 고속 탐색 방법에서도 계산을 효율적으로 줄이기 위해 사용되어질 수 있다. PDE 알고리즘을 가지고 움직임 벡터를 구할 때 계산의 감소는 주어진 탐색영역에서 전체 최소 에러를 가능한 빨리 찾은 것과 해당 매칭 블록에서 매칭 에러가 큰 영역을 먼저 계산함으로써 얻을 수 있다.

3. 제안된 알고리즘

PDE의 변형된 알고리즘들은 시/공간적으로 인접한 움직임 벡터의 사용, 나선형 탐색방법, 그리고 이들 개념을 복합한 방법들이다[12-16]. 탐색 방법에 있어서는, 주어진 탐색 영역(search range)에서 나선형 탐색 (spiral search) 방법을 사용한다. 이전의 실험 결과에서도 보듯이, 나선형 탐색 방식을 갖는 PDE 알고리즘이 단순한PDE 알고리즘보다 더 많은 계산량을 줄임을 알 수 있다[12-13]. 따라서, 제안하는 알고리즘에서는 나선형 탐색 방법을 함께 사용 할 것이다.

SAD(Sum of Absolute Difference)에 기초한 고속 전영역 탐색 알고리즘들에서 PDE알고리즘 기반의 무 손실의 고속 매칭에 대한 시도는 참고문헌 [12]와 [13]이 전부일 정도이다. J.N. Kim[12]에서는 기존의 순차적인 Top-to-bottom방식의 매칭 스캔 대신 영상의 기울기 크기에 따라 순차적으로 Top-to-bottom, Bottom-to-top, Left-to-right, Right-to-left 의 네 방향의 가지고 매칭 에러를 구해서 불필요한 계산을 줄였다. 그리고 J.N. Kim[13]에서는 가변적인 순차적 매칭 스캔 대신 기울기의 크기대로 매칭 스캔 순서를 재정렬 해서 매칭 에러를 구해 계산 감축을 얻었다. PDE알고리즘에서 최종적인 목적은 불가능한 후보 벡터들을 가능한 빨리 걸출해서 이를 제거하여 불필요한 계산을 줄이는 것이다.

제안하는 알고리즘은 이렇게 불가능한 후보들을 더 빨리 걸출해서 제거하는 방법을 제시한다. 그렇게 하기 위해, 기준 블록의 영상 복잡도와 이를 통해 매칭 스캔 순서의 재정렬, 그리고 가로 또는 세로 벡터 대신 정방

형 서브 블록 등을 이용하여 불필요한 계산을 효율적으로 줄일 것이다. 먼저 블록 매칭 에러가 기준 블록의 기울기 크기에 비례한다는 것은 참고문헌[12,13]에서 보였다. 이렇게 검증된 관계를 이용하여, 먼저 복잡도에 근거한 매칭 스캔의 새로운 알고리즘을 제안하고, 복잡도를 측정하지 않고 미리 정해진 순서로 매칭 스캔의 순서를 조정하는 알고리즘을 제안하며, 이들을 통해 계산 감축을 얻을 것이다. 이를 적절히 이용함으로써, 기존의 PDE 알고리즘보다 더 빠르며, 동시에 예측화질의 저하가 없는 움직임 예측을 얻을 것이다.

3.1 적응 매칭 순서 결정

먼저, Taylor series expansion을 이용하여 매칭 에러와 기준 블록의 기울기 크기와의 관계를 정리할 것이다. 가령, $(t+1)$ 번째 프레임의 어떤 위치 $p=(x,y)$ 에서 화소값을 $\{f_{t+1}(p), p=(x,y)\}$ 이라 하자. 그리고, 그 위치의 움직임 벡터를 $mv=(mvx, mvy)$ 이라고 하자. 식 (3)에서 처럼, 이전 프레임과 현재 프레임 사이의 관계를 기술할 수 있다.

$$\begin{aligned} f_{t+1}(p) &= f_t(p+mv) \\ d_{t+1}(p) &= |f_{t+1}(p) - f_t(p+mv)| \\ &= |f_t(p+mv) - f_t(p+cmv)| \\ &\approx \left| \frac{\partial f_t(p+mv)}{\partial x} (cmvx - mvx) + \frac{\partial f_t(p+mv)}{\partial y} (cmvy - mvy) \right| \\ &\approx \left| \frac{\partial f_{t+1}(p)}{\partial x} (cmvx - mvx) \right| + \left| \frac{\partial f_{t+1}(p)}{\partial y} (cmvy - mvy) \right| \end{aligned} \quad (3)$$

변형된 Taylor series expansion을 사용하여 매칭 에러와 기준 블록의 기울기 크기간의 관계를 식 (4)에서 처럼 나타낼 수 있다. 여기서, $cmv=(cmvx, cmvy)$ 는 그 매칭 에러에 해당하는 후보 벡터를 나타낸다. 식 (4)으로부터, 탐색 영역 안에서 기준 블록과 후보 블록의 매칭 에러는 기준 블록의 기울기 크기에 비례한다는 것을 알 수 있다. 즉, 영상의 복잡도에 따라 매칭 에러가 비례한다는 것을 의미한다.

여기서 중요한 문제는 영상의 복잡도가 매칭 블록의 행 벡터 또는 열 벡터의 형태일 때가 최적이나는 것이다. 영상의 복잡도를 더 잘 측정함으로써 계산 감축을 더 얻을 수 있는데, 영상의 평균적인 성질을 볼 때 매칭 블록의 전체 길이에 걸쳐 있기 보다는 어떤 부분 영역으로 걸쳐있는 경우가 더 많다는 것이다. 이에 대한 추측은 뒤의 실험 결과에서 확연하게 나타날 것이며, 영상 복잡도 측정은 상하 또는 좌우 화소간의 차를 통하여 인접 화소들간의 복잡도를 측정할 수 있다. 영상의 복잡도를 측정하는 방법은 주파수 변환 후 고주파 영역 계수 에너지 합을 이용할 수 있으며, 또한 상관관계(correlation)를 이용하여 상관관계 계수를 계산하여 측정할 수도 있으며, 에지(edge)검출을 통하여 영상의 복잡도를 측정할 수 있다. 하지만 이들 방법은 비교적 많

은 계산량을 요구하기 때문에 본 논문에서는 영상의 복잡도를 측정하기 위하여 인접 화소들 중에서 좌측 화소와 상측화소와의 차의 절대값을 더하여 각 화소에서의 복잡도를 계산한 후에 이들을 정방형 서브-블록별로 누적값을 구한다. 이렇게 구한 서브-블록별 절대치 합이 크기 순서대로 복잡도의 순서가 결정된다.

인접 화소와의 절대치 차를 이용하여 (i, j)지점에서 화소별 복잡도 $C_i(i,j)$ 를 아래와 같이 구할 수 있다.

$$C_i(i,j) = |f_i(i,j) - f_i(i-1,j)| + |f_i(i,j) - f_i(i,j-1)| \quad (5)$$

화소별 복잡도를 바탕으로 서브-블록의 복잡도 $S_i(m,n)$ 를 아래와 같이 구할 수 있다. 여기서 M, N은 서브-블록의 가로 세로 크기를 나타낸다.

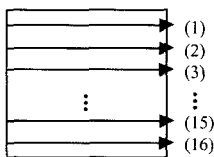
$$S_i(m,n) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M C_i(i,j) \quad (6)$$

3.2 적응 매칭 순서에 따른 PDE 매칭 에러 계산

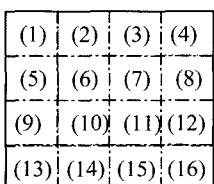
기존의 1×16의 행 벡터로서 매칭 에러를 구하지 않고 4×4의 정사각형의 서브 블록의 형태로 복잡도를 측정하여 PDE 매칭 에러를 계산한다면, 식 (5)처럼 나타낼 수 있다. 이는 위에서 언급한 복잡도에 근거한 매칭 스캔에서 4×4 서브 블록들을 이용한 방법이 1×16행 벡터들을 이용한 방법보다 영상의 복잡도를 더 잘 영역화 한다고 볼 수 있기 때문이다. 여기서 s는 서브 블록의 크기를 나타내며, m은 4×4의 정사각형의 서브 블록 형태의 복잡도로 부터 재정렬된 매칭 스캔의 순서를 나타낸다.

$$\sum_m^k \sum_{i=1}^{N/s} \sum_{j=1}^{N/s} |f_i(i,j) - f_{i-1}(i+x, j+y)|$$

$k = 1, 2, \dots, N/s * N/s,$
 $m \in local_complexity_order[]$ (7)



(a) 종래의 행 기반 매칭 스캔 순서



(b) 정방형 서브블럭 순차적 매칭 스캔 순서

그림 1 종래의 행 기반 매칭 스캔 순서 및 정방형 서브블럭 순차적 매칭 스캔 순서

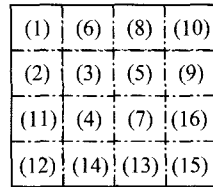


그림 2 정방형 서브블럭 적응 매칭 스캔 순서

그림 1은 종래의 행 기반 매칭 스캔 순서 및 정방형 서브블럭 순차적 매칭 스캔 순서를 나타내고 있는데, 그림 1(a)는 종래의 순차적인 행(row) 기반 매칭스캔 순서를 나타낸다. 상단에서 하단으로 PDE를 적용하면서 매칭에러를 계산해 나간다. 반면 1(b)는 정방형 서브블럭 기반의 순차적 매칭스캔 순서를 나타내며 이 순서대로 매칭 에러를 구해나간다. 한편 그림 2는 영상의 복잡도에 따라 계산된 적응 매칭스캔 순서를 나타내고 있는데, 이 그림에서는 좌측 상단 서브블록이 첫번째로 매칭 에러를 계산하며, 2번 블록이 두 번째, 그리고 3번 블록이 세 번째를 보여주고 있다. 이렇게 함으로서 PDE를 적용할 때 같은 계산량으로 불가능한 후보벡터를 더 빨리 검출하여 불필요한 계산만 효율적으로 제거할 수 있는 것이다. 앞서서도 언급했듯이, 순차적인 매칭 스캔 또는 행/열 기반의 적응 매칭스캔 [12]-[13] 보다 제안하는 정방형 서브블럭 기반의 적응 매칭 스캔이 영상의 복잡도를 더 잘 영역화 하기 때문에 불필요한 계산을 더 많이 줄일 수 있으며, 다음 실험 결과에서 이를 분명히 보여주고 있다.

4. 실험 결과 및 토의

제안된 알고리즘과 기존의 알고리즘의 성능을 비교하기 위해, “foreman”, “car phone”, “trevor”, “akio”, “claire”, “grandmother”의 비디오 시퀀스를 가지고 실험을 하였다. 이들 시퀀스에서, “foreman”과 “car phone”은 다른 시퀀스에 비해 비교적 큰 움직임을 가지고 있다. 한편 “akio”, “claire”, “grandmother”는 이전 두 시퀀스보다 비교적 작은 움직임을 갖는다. “trevor” 시퀀스는 이들 두 부류의 중간 정도 움직임을 갖는 것이라고 할 수 있다. 매칭 블록의 크기는 16×16이며, 탐색 영역의 범위는 ±7 화소로 선택했다. 프레임의 크기는 QCIF(176 by 144)이다. 실험 결과는 계산된 평균 행의 수와 PSNR로 나타내었다. 계산된 평균 행의 수는 하나의 스캔 블록에서 계산 되는 평균 행의 수치이다. 표 1~표 2의 모든 수치는 복잡도를 측정하기 위해 모든 부가적인 계산을 고려한 값들이다. 여기서 테스트되는 모든 매칭 스캔 알고리즘은 탐색 영역에서 나선형 탐색 방법을 사용한 것이다. 이는 움직임 벡터들의 분포

상태를 효율적으로 이용하는 방법으로서 PDE 및 SEA 알고리즘들에서는 널리 사용하고 있다.

그림 3~그림 4는 10 Hz의 'foreman'과 'car phone' 영상 시퀀스에서 4×4 서브 블록과 1×16행 벡터에 대해 다양한 매칭 스캔의 계산된 평균 행의 수를 보여 준다. 이들 그림에서 주목할 것은 영상의 복잡도에 근거한 매칭 스캔 알고리즘은 종래의 순차적인 방법에 비해 매칭 에러를 계산하는데 있어 불필요한 계산을 현저히 줄이는 것이다. 그리고, 복잡도에 근거한 매칭 스캔 알고리즘에서 4×4 서브 블록들을 이용한 방법이 1×16행 벡터들을 이용한 방법보다 불필요한 계산을 더 줄일 수 있다는 것이다. 이는 4×4 서브 블록들을 이용한 방법이 1×16행 벡터들을 이용한 방법보다 영상의 복잡도를 더 잘 영역화 한다고 볼 수 있다.

표 1~2는 30 Hz, 10 Hz의 모든 영상 시퀀스에서 4×4 서브 블록과 1×16행 벡터에 대해 순차적, 복잡도에 크기에 기초한 매칭 스캔의 계산된 평균 행의 수를 보여 준다. 위에서 언급한 결과들을 이들 표에서도 동일하게 확인할 수 있다. 고속 알고리즘을 전혀 사용하지 않은 원래의 전영역 탐색 알고리즘은 표에서 보는 바와 같이 평균 계산 행의 수가 매칭 블록의 크기인 16이 된

다. 위에서도 나선형 탐색을 언급하였는데, 참고문헌 [12]-[13]에서는 PDE 알고리즘에서 나선형 탐색 방법의 효율성과 중요성을 보여 준다. 4×4 서브 블록과 1×16행 벡터에 대해 계산된 평균 행의 수의 계산 감축 비율을 구해 보면 다음과 같다.

우선 표 1의 'foreman' 영상 시퀀스에서 4×4 서브 블록에 대해 복잡도에 기초한 매칭 스캔 알고리즘은 순차적인 매칭 스캔 알고리즘에 비해 31% $((4.1307-2.8373) \times 100 / 4.1307)$ 의 계산 감축을 얻을 수 있다. 그리고 1×16행 벡터에 근거한 방법과도 비교한다면, 4×4 서브 블록에 대해 복잡도에 기초한 매칭 스캔 알고리즘이 9% $((3.0452-2.8373) \times 100 / 3.0452)$ 의 계산 감축을 더 얻을 수 있음을 볼 수 있다.

표 3은 전영역 탐색 방법을 이용해서 얻은 예측영상을 원래의 영상과 비교해서 얻은 PSNR이다. 물론, 이 값은 표 1~2에서의 모든 알고리즘에 대해서 동일한 값을 얻었다. 여기서 동일한 예측화질을 얻은 이유는 원래의 전영역 탐색방법으로부터 얻은 예측 화질과는 동일 하면서 단지 불필요한 계산을 어떻게 더 효율적으로 줄일 수 있는가에 대해 접근한 방법이기 때문이다. 본 논문에서 새로 얻은 결과를 정리하면, 복잡도에 기초한 매

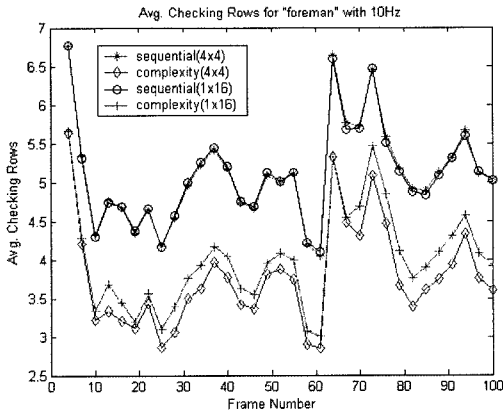


그림 3 10 Hz의 'foreman' 영상 시퀀스에서 4×4 서브 블록과 1×16행 벡터에 대해 다양한 매칭 스캔의 계산된 평균 행의 수

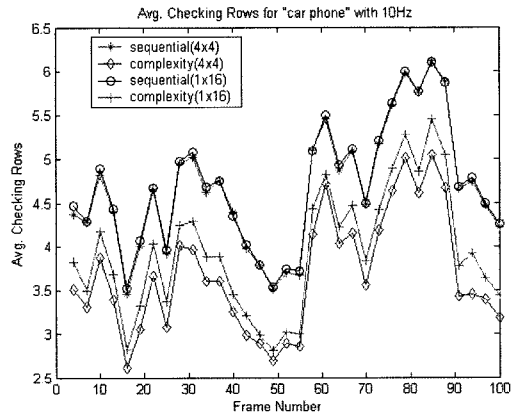


그림 4 10 Hz의 'car phone' 영상 시퀀스에서 4×4 서브 블록과 1×16행 벡터에 대해 다양한 매칭 스캔의 계산된 평균 행의 수

표 1 30 Hz 영상 시퀀스에서 4×4 서브 블록과 1×16행 벡터에 대해 다양한 매칭 스캔의 계산된 평균 행의 수

Sequences	Foreman	Car phone	Trevor	Claire	Akio	Grand
Algorithms						
Original FS	16.0000	16.0000	16.0000	16.0000	16.0000	16.0000
Top_to_bottom (4×4)	4.1307	3.9088	3.2132	4.0352	1.7221	3.6589
Complexity localized (4×4)	2.8373	3.0040	2.4906	3.1405	1.3161	2.9419
Top_to_bottom (1×16)	4.1264	3.9211	3.1599	3.8764	1.5833	3.5025
Complexity localized (1×16)	3.0452	3.2041	2.6381	3.2473	1.3449	3.0545

표 2 10 Hz 영상 시퀀스에서 4×4 서브 블록과 1×16행 벡터에 대해 다양한 매칭 스캔의 계산된 평균 행의 수

Sequences Algorithms	Foreman	Car phone	Trevor	Claire	Akio	Grand
Original FS	16.0000	16.0000	16.0000	16.0000	16.0000	16.0000
Top_to_bottom (4×4)	5.1080	4.6651	4.6792	4.6466	2.1944	4.2284
Complexity localized (4×4)	3.7755	3.6818	3.7610	3.5565	1.5801	3.4105
Top_to_bottom (1×16)	5.1036	4.6947	4.6740	4.5143	2.0875	4.0928
Complexity localized (1×16)	4.0134	3.9400	4.0125	3.7227	1.6673	3.5931

표 3 30 Hz, 10 Hz 영상 시퀀스에서 모든 매칭 스캔 알고리즘에 대한 평균 PSNR

Sequences Frequency	Foreman	Car phone	Trevor	Claire	Akio	Grand
30	34.4384	33.4491	33.2838	41.2994	42.3456	42.2903
10	31.8750	30.8233	28.1307	35.6657	36.8318	37.5095

칭 스캔 방법의 우수성과 1×16행 벡터에 대한 4×4 서브 블록의 우수한 복잡영역 추출 등을 들 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 매칭 에러와 기준 블록의 기울기 크기 사이의 관계를 이용하여 두 가지 매칭 스캔 알고리즘을 제안 하였다. 후보 블록과 기준 블록 사이의 매칭 에러가 기준 블록의 기울기 크기에 비례 한다는 것을 보임으로써, 기존의 순차적 매칭 방식이 아닌 영상의 복잡도에 기초한 매칭 스캔 알고리즘을 제안하였다. 4×4 서브 블록을 이용해서 복잡도에 근거한 매칭 스캔 알고리즘을 가지고 30 Hz의 'foreman' 영상 시퀀스에 대해 예측 화질의 저하 없이 순차적인 방법에 비해 약 30% 정도 까지 더 많은 계산 감축을 얻을 수 있었다. 영상의 복잡도를 측정할 때 1×16의 행 벡터 형태보다 4×4의 서브 블록으로 나누어서 구하는 것이 더 효율적이라는 것을 실험을 통해 보였으며, 이로부터 약 9%의 계산 감축을 더 얻었음을 알 수 있었다. 따라서 제안하는 알고리즘은 MPEG-2 및 MPEG-4 AVC를 이용한 실시간 비디오 압축 응용 분야에 유용하게 사용 될 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, Jun. 1995.
- [2] W. Li and E. Salari, "Successive elimination algorithm for motion estimation," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 4, pp. 105-107, Jan. 1995.
- [3] G.C. de Oliveira and A. Alcaim, "On fast motion compensation algorithms for video coding," *Proc. PCS*, pp. 467-472, 1997.
- [4] J.Y. Lu, K.S. Wu, and J.C. Lin, "Fast full search in motion estimation by hierarchical use of Minkowski's inequality (HUMI)," *Pattern Recog.*, vol. 31, pp. 945-952, 1998.
- [5] M.Z. Coban and R.M. Mersereau, "A fast exhaustive search algorithm for rate-constrained motion estimation," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 7, pp. 769-773, May 1998.
- [6] J.N. Kim, D.K. Kang, S.C. Byun, I.L. Lee and B.H. Ahn, "A fast full search motion estimation algorithm using sequential rejection of candidates from hierarchical decision structure," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 48, pp. 43 - 46, Mar. 2002.
- [7] 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.
- [8] T.M. Oh, Y.R. Kim, W.G. Hong, and S.J. Ko, "A fast full search motion estimation algorithm using the sum of partial norms," *Proc. ICCE*, pp. 236-237, 2000.
- [9] Y. Naito, T. Miyazaki, and I. Kuroda, "A fast full-search motion estimation method for programmable processors with a multiply-accumulator," *Proc. ICASSP*, pp. 3221-3224, 1996.
- [10] Y.C. Lin and S.C. Tai, "Fast full-search block-matching algorithm for motion-compensated video compression," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 45, pp. 527-531, May 1997.
- [11] V.L. Do and K.Y. Yun, "A low-power VLSI Architecture for full-search block-matching motion estimation," *IEEE Trans. Circuits Syst. for Video Technol.*, vol. 8, pp. 393-398, Aug. 1998.
- [12] J.N. Kim, and et al., "Adaptive matching scan algorithm based on gradient magnitude for fast full search in motion estimation," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 45, pp. 762-772, Aug. 1999.
- [13] J.N. Kim, and et al., "A fast full-search motion-estimation algorithm using representative pixels and adaptive matching scan," *IEEE Trans. Circuits Syst. for Video Technol.*, vol. 10, pp.

- 1040-1048, Oct. 2000.
- [14] B. Erol, F. Kossentini, and H. Alnuweiri, "Efficient Coding and mapping algorithms for software-only real-time video coding at low bit rates," *IEEE Trans. Circuits Syst. for Video Technol.*, vol. 10, pp. 843-856, Sept. 2000.
- [15] S. Eckart and C. Fogg, "ISO/IEC MPEG-2 software video codec," *Proc. SPIE*, vol. 2419, pp. 100-118, 1995.
- [16] ITU-T Recommendation H.263 software implementation, Digital Video Coding Group at Telenor R&D, 1995.



김 종 남

2001년 8월 광주과학기술원 박사졸업
 2001년 7월~2004년 2월 KBS 기술연구
 소 연구원. 2004년 3월~현재 부경대학교
 전자컴퓨터정보통신공학부 교수. 2005년
 3월~현재 ㈜홈캐스트 사외이사. 관심분
 야는 멀티미디어 데이터 압축, 멀티미디어

어 통신 및 신호처리, 콘텐츠 보안, MPEG-2/4/7/21