

다중 문턱치 필터를 이용한 고속 움직임 예측 알고리즘

김종남

부경대학교 IT융합응용공학과

Fast Motion Estimation Algorithm using Filters of Multiple Thresholds

Jong-Nam Kim

Dept. of IT Convergence & Applications Engineering, Pukyong National University

요약 기존의 전영역 탐색 방법의 많은 계산량으로 인하여 예측 화질 향상과 연산량 감축을 위한 연구가 진행되어 왔으며, 본 논문에서는 전영역 탐색기반의 방법과 비교하여 예측화질은 거의 유지하면서 효율적으로 계산량을 줄이는 방법을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 다중 문턱치 필터를 이용하여 각 후보 지점에 대하여 부분 블록 에러 합을 계산하고, 이를 여러 문턱치 필터에 적용하여 각 후보들을 영역별로 분류 또는 제거하고, 이에 따라 다음 단계에서 진행할 후보들을 선별하고, 최소 에러지점의 최적후보에 대해 단계별 부동 회수를 비교 판단하여 그 다음 단계의 진행 여부를 결정함으로써 최적의 움직임 벡터를 고속으로 계산한다. 이를 통하여 전체의 최소블록매칭에러를 갖는 움직임 벡터를 조기에 발견하고, 불필요한 후보들을 더 빨리 제거함으로써 불필요한 계산량을 줄이고 계산속도 향상을 얻을 수 있다. 또한 제안하는 알고리즘은 단독으로 사용할 뿐만 아니라 기존의 고속 알고리즘들과 결합하여 사용해도 예측화질대비 우수한 연산량 감소를 얻을 수 있으며, 실험결과에서 이를 검증한다.

• 주제어 : 움직임 예측, 최적후보, 비디오 부호화, 블록 매칭, 다중 문턱치 필터

Abstract So many fast motion estimation algorithms for prediction quality and computational reduction have been published due to tremendous computations of full search algorithm. In the paper, we suggest an algorithm that reduces computation effectively, while keeping prediction quality as almost same as that of the full search. The proposed algorithm based on multiple threshold filter calculates the sum of partial block matching error for each candidate, selects the candidates for the next step, compares the stability of optimal candidates with minimum error, removes impossible candidates, and calculates optimal motion vectors by determining the progress of the next step. By doing that, we can find the minimum error point as soon as possible and obtain the better performance of calculation speed by reducing unnecessary computations. The proposed algorithm can be combined with conventional fast motion estimation algorithms as well as by itself, further reduce computation while keeping the prediction quality as almost same as the algorithms, and prove it in the experimental results.

• Key Words : Motion estimation, Optimal candidate, Video coding, Block matching, Partial block error

Received 15 December 2018, Accepted 30 December 2018

* Corresponding Author Jong-Nam Kim, Dept. of IT Convergence & Applications Engineering, Pukyong National University, 45, Yongso-ro, Nam-gu, Busan, Korea. E-mail: jnkim1225@gmail.com

I. 서론

비디오 부호화기는 비디오 데이터에 내재된 시간적 중복성을 제거하기 위한 움직임 예측부에서 가장 많은 계산량을 차지한다. 블록 기반 움직임 예측 방법에서 기본적인 전영역 탐색(FS: full search) 방법이 가장 기본적인 방법인데, 이는 주어진 탐색 영역에서 모든 후보점에 대하여 모든 매칭 에러를 계산 후에 최소의 매칭 에러(matching error)를 갖는 후보 지점을 찾는 것이다. 전영역 탐색 방법은 알고리즘 구조가 간단하여 구현하기가 쉬운 반면 그에 필요한 계산량이 많은 문제점 때문에 이를 해결하기 위해 많은 연구들이 진행되어 왔다 [1].

블록 기반의 고속 움직임 예측 알고리즘들을 크게 두 그룹으로 나누어 볼 수 있는데, 하나는 전영역 탐색 방법에 비해 예측 화질 저하를 갖는 손실 예측 방법이고, 다른 하나는 예측 화질 저하가 없는 무손실 예측 방식이다. 손실 움직임 예측 방법을 다시 몇 가지 개념으로 나누어 보면, 탐색영역의 크기를 변경하는 가변 탐색 영역 기법[2],[3], TSS(Three Step Search), DS(Diamond Search), HXS(Hexagonal Search) 등을 포함하는 단일 모드 에러 표면 가정 (UESA: unimodal error surface assumption) 기법[4]-[7], 다해상도 영상을 이용하는 계층적 탐색[8], 비트의 개수를 줄인 낮은 비트 해상도, 특정한 조건에서 탐색을 중단하는 문턱치에 의한 중간 멈춤 기법, 간소화된 에러 비교 방법 등이 이에 포함 된다. 그리고 전영역 탐색 방법에 비하여 예측화질의 저하가 없는 무손실 움직임 예측 기법에는 기준 블록과 후보 블록의 블록합을 이용한 후보 제거 알고리즘(SEA: successive elimination algorithm)[9]과 전체의 블록 에러값을 이용하지 않고 부분 매칭 에러값을 이용한 후보 제거(PDE: partial distortion elimination) 알고리즘 및 그 응용 방법 [10]-[12] 등이 있다.

본 논문에서 제안하는 방법은 복수개의 문턱치와 순차적인 탐색 및 특정 조건에서의 멈춤기법을 이용하여 불필요하다고 판단되는 후보점들을 효율적으로 제거하여 고속의 움직임 예측을 수행한다. 본 논문에서는 복수개의 문턱치와 최종 블록매칭에러(block matching error)의 크기를 인접 주위 블록의 매칭에러와 비교하여 추가적인 검사를 함으로써 지역 최소점으로 인한 화질저하를 최소화 하여 예측화질을 향상시키

며, 단계수와 중간에 최소 에러 지점의 부동 횟수를 이용하여 추가적인 연산량 감소를 얻는다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 탐색 영역의 샘플링된 후보점을 기반으로 시작하며, 각 후보점에 대하여 한 번에 전체 매칭에러를 계산하는 것이 아니라 몇 단계로 나누어서 매칭에러를 계산하면서, 중간에 특정 조건에서 불가능한 후보를 제거한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있는데, 2장에서 기존의 고속 움직임 예측 알고리즘을 소개할 것이다. 3장에서는 본 논문의 제안 알고리즘을 기술하며, 4장에서는 본 논문의 알고리즘 성능 비교를 위해 실험 결과 및 분석이 기술될 것이다. 마지막 5장에서 결론으로 마무리를 할 것이다.

II. 관련 연구

수많은 고속 움직임 예측 알고리즘들이 연구되어 왔는데, 몇 가지 개념별로 나누어 보면 탐색영역의 크기를 가변하는 가변 탐색영역기법[2],[3], TSS (Three Step Search), NTSS(New Three Step Search), DS(Diamond Search), HXS(Hexagonal Search), 등을 포함하는 단일 모드에러표면가정 기법 [4]-[7], 다해상도 탐색기법 (Multi-resolution motion estimation) [8], 매칭 에러의 문턱치값을 이용한 멈춤기법, 저해상도 비트 영상기법, 행/열 프로젝트 기법 등 많은 연구결과가 발표되어 왔다. 여기서 대량의 계산 감축을 위해서는 단일 에러 모드의 개념을 이용하여 탐색점을 선별하는데, 이는 특정 상황에서는 심각한 화질 저하를 갖는 문제점을 가지고 있다. 최근까지도 이러한 문제를 해결하고자 하는 연구들이 발표되고 있으며, 더 나은 성능을 얻는 결과들이 보고되고 있다. 단일 에러 모드 가정에 근거한 대표적인 방법이 TSS 방법인데, 이는 탐색점의 후보 선별을 3단계로 나누어 각 단계로 진행하면서 화소의 간격을 줄이면서 움직임 예측을 수행한다. 이외에 로그탐색, 블록기반 경사하강 탐색, 십자형 탐색, 다이아몬드 탐색, 크로스 다이아몬드 탐색, 육각형 탐색, 검사영역 탐색 방법등이 있으며, 이들을 통하여 계산량 감축과 화질향상을 개선해 오고 있다.

기존의 전역 탐색방법과 비교하여 예측화질의 손실이 발생하지 않는 무손실 방법으로는 (SEA: successive elimination algorithm) [9]와 부분 오차 제거(PDE: partial distortion elimination) 계열 [10]-[12] 알고리즘이

있다. 블록매칭기반의 움직임 예측에서 블록매칭의 에러값을 계산할 때 절대 오차의 합(SAD: sum of absolute difference)을 가장 많이 사용하는데, 이는 식 (1)과 같다. PDE 방법에서는 식 (2), 식 (3)에서 보듯이 부분 블록매칭 에러값이 현재까지의 최소 블록 매칭에러의 값보다 크다면 나머지 k값에 대해서는 계산을 중단하고 불가능한 후보벡터로 결정하게 되며, 나머지 k 값에 해당하는 계산량만큼 줄어들게 된다. 이 방법에서는 가능한 일찍 나머지 계산을 중단하는 것이 좋은데, 탐색 영역 내에서 최소 블록매칭에러를 일찍 발견하든지, 또는 블록 매칭 에러의 값이 큰 값을 먼저 계산하면 불필요한 계산을 더 많이 줄일 수 있다.

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

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

where $k = 1, 2, \dots, N$

$$PSAD_k \leq SAD_{\min}, \quad (3)$$

where $k = 1, 2, \dots, N$

위의 식에서, $f_t(i,j)$ 는 t 시간의 영상 (i, j) 위치에서 화소값을 나타내고, $f_{t-1}(i+x,j+y)$ 는 $t-1$ 시간의 영상 $(i+x, j+y)$ 에서 화소값을 나타낸다. 여기서 $PSAD_k$ 는 매칭블록에서 k행까지의 누적 부분 블록매칭에러이다. N 은 매칭 블록의 크기를 나타내며, SAD_{\min} 은 계산 시점에서 최소의 블록매칭에러인 SAD 값을 의미한다.

그러나 이러한 무손실 예측방법들은 계산량의 감소가 제한적인 문제점이 있다. 손실 예측 방법들은 지역 최소화의 함정에 빠질 위험을 가지고 있으며, 특정 영상에서는 심각한 화질 저하를 초래한다. 손실 기반의 움직임 예측에 있어 계산 속도와 예측화질에 대한 성능향상의 요구가 계속 제기되고 있다.

III. 제안 방법

본 논문의 제안 방법은 손실 움직임 예측 기법에 속하며, 다중 문턱치 필터를 이용하여 계산량과 예측 화질을 쉽게 조절이 가능한 특징을 가진다. 연산량 대비 우수한 예측 화질을 가지며, 움직임 예측을 하는 중간에 멈추더라도 그 시점까지 최적의 움직임 벡터를

찾을 확률이 가장 높은 방법이며, 이는 다중 문턱치 필터를 기반으로 한다.

선별된 각 후보점에 대하여 블록 매칭 에러를 한번에 모두 계산하지 않고 탐색영역 내에서 여러 단계로 나누어 순차적으로 블록매칭 에러를 계산한다. 이를 통하여 여러 단계의 중간에서 최적의 움직임 벡터를 조기에 찾을 확률이 높아지고, 이를 기반으로 특정 조건에서 중간에 탐색을 중지하여 더 많은 계산량을 줄일 수 있는 수단을 제공한다. 또한 다중의 문턱치를 이용하여 중간에서 불가능한 후보를 판정하면 그 후보의 나머지 계산을 중지하여 계산량 감축을 얻고, 조건에 따라 다음 단계로 진행할 후보를 선별하여 그 후보에 대해서 우선적으로 탐색을 진행하며, 이를 통하여 최적의 움직임 벡터를 더 빨리 찾을 수 있고, 더 많은 계산량 감축을 얻을 수 있다. 우선 순위에 밀려 다음 단계로 진행을 못한 후보들은 최소에러를 가질 확률이 낮기 때문에 특정조건에서 더 엄격한 기준으로 그 후보들을 검사한다면 계산량을 더 효율적으로 줄일 수 있다. 마지막으로 절대 계산량 제한을 위하여 진행 단계의 문턱치를 설정하고, 중간에 최소 에러 위치의 불변동에 대한 횡수와 함께 적용하여 계산량 감소를 보장할 수 있다.

우선 탐색 영역의 선별을 위해 가로 세로 2:1의 샘플링을 한다. 선택된 탐색 후보점의 블록 매칭 에러의 크기에 따라 조기에 선별되지 못한 후보점들은 버려지기도 하고, 추후에 그 인접 후보점들을 검사하기도 한다. 각 탐색 후보에 대해 한번에 블록매칭에러를 구하는 것이 아니라 몇 단계로 나누어 순차적으로 계산하면서 불가능한 후보와, 나중에 검사할 후보, 다음단계에서 진행할 후보를 선별한다. 매칭블록의 크기를 $N \times N$ 이라 할 때 N 단계로 나누어 진행하는데, 이때 블록의 매칭 에러를 구할 때 부분 블록 에러합을 구하는데, 이는 식 (2)를 가지고 계산할 수 있다. 초기 탐색 후보 지점에 대하여 부분 블록 에러합을 계산하고, 최소 에러 지점을 찾은 후, 최소 에러 지점 주위 8개의 후보 지점에 대해 추가적으로 부분 블록 에러합을 계산하고, 최소값을 갖는 후보 지점에 대해 식 (1)을 이용하여 블록에러합을 계산한다. 첫 단계에서의 블록 매칭 에러합을 SAD_1 로 지칭하고 식 (3)을 가지고 초기 후보점의 부분 블록 에러합과 비교하여 불가능한 후보지점을 제거한다.

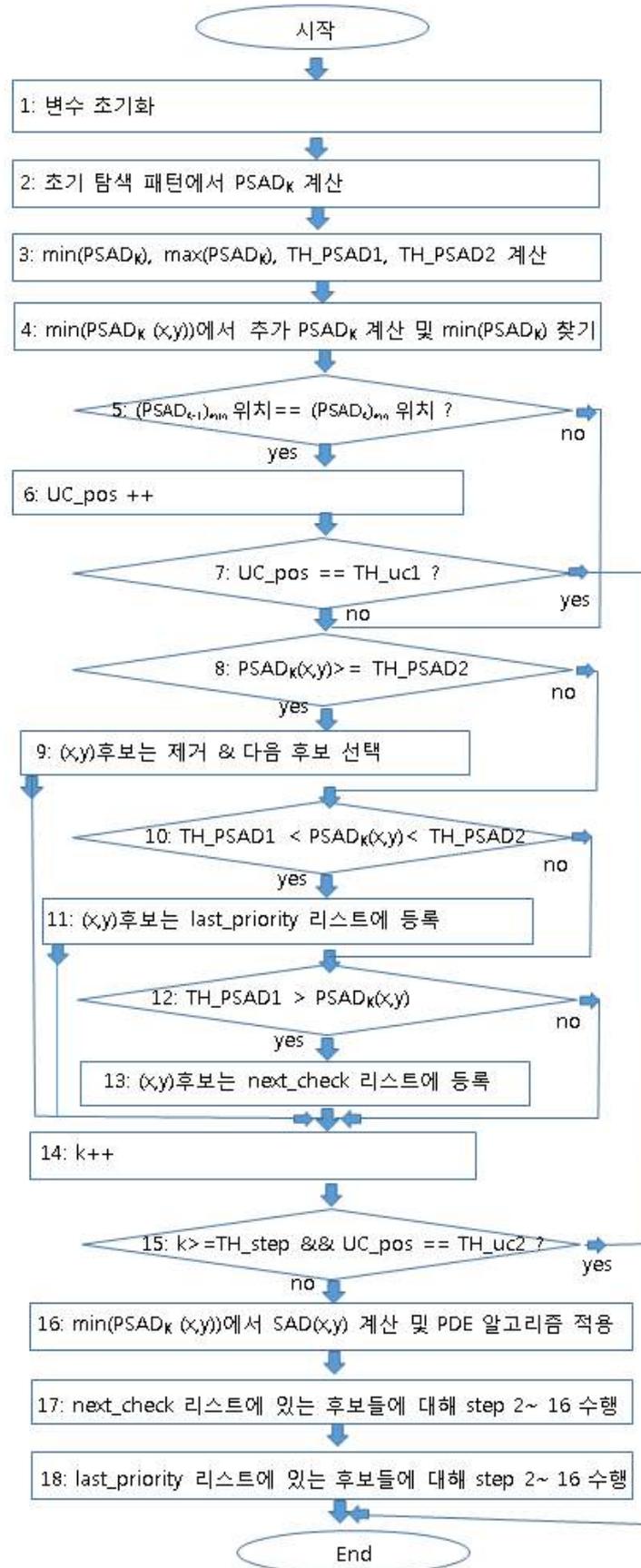


Fig. 1. Procedure of the proposed algorithm

이때 각 후보점의 부분 블록 에러합이 식 (5)의 TH_PSAD_2 보다 크다면 이는 불가능한 후보로 확정되어 이후 계산에서는 배제된다. 각 후보점의 부분 블록 에러합이 식 (4)와 식 (5)의 TH_PSAD_1 , TH_PSAD_2 의 사이에 있으면 이들은 마지막 우선순위를 가지며 다음 단계에서는 탐색에서 배제되고 제일 나중에 처리하게 된다.

$$TH_PSAD_1 = \min(PSAD_k) * \alpha_k \quad (4)$$

where $k = 1, 2, \dots, N$

$$TH_PSAD_2 = (\min(APSAD_k) + \max(APSAD_k)) * (1/2 + \beta_k) \quad (5)$$

where $k = 1, 2, \dots, N$

식 (4), 식 (5)에서 $\min(PSAD_k)$ 는 k단계에서 최소의 부분 블록 에러를 의미하며, $\max(PSAD_k)$ 는 k단계에서 최대의 부분 블록 에러를 나타내고, α_k, β_k 는 k 단계에서 적절한 상수이다.

그림 1은 제안 알고리즘의 진행절차를 도식화한 것이며, 위에서 설명한 것과 같은 절차로 진행된다. 우선 각종 변수를 초기화 하고, 모든 탐색 지점에 대해 초기 탐색패턴에서 $PSAD_k$ 를 계산한다. $\min(PSAD_k)$ 과 $\max(PSAD_k)$ 를 찾은 후 식 (4)와 식 (5)를 이용하여 TH_PSAD_1 , TH_PSAD_2 를 계산한다. 이때 $\min(PSAD_k)$ 와 $\min(PSAD_{k-1})$ 의 위치를 비교하여 이의 위치가 부동이면서 동시에 이전의 동일 위치 횡수가 문턱치 TH_uc1 과 동일하면 이때의 최소 부분 블록에서의 위치가 최종 움직임 벡터로 간주되고 탐색을 종료한다.

$\min(PSAD_k)$ 와 $\min(PSAD_{k-1})$ 의 위치가 동일하지 않다면 식 (4), 식(5)의 문턱치를 이용하여 탐색 배제 그룹, 제일 나중 우선순위 그룹, 다음 단계에서의 우선순위 그룹으로 나누고, 각각 그룹의 리스트에 저장한다. 최소에러 위치의 부동 횡수에 대한 문턱치를 만족하고 단계수의 문턱치를 만족하면 중간에 탐색을 종료한다.

이의 조건을 만족하지 않으면 최소의 부분 블록 매칭 에러의 위치에서 최소 에러합을 계산하고, PDE 방법으로 불가능한 후보 벡터를 제거한다. 그 후, 다음 단계에서 검사할 next_check 리스트에 저장된 후보 지점에 대해 이전 절차를 반복하고, 마지막으로, last_priority 리스트 있는 후보에 대해 이전 절차를 반복하여 최종적인 움직임 벡터를 계산한다. 이러한 절

차를 이용하여 불가능한 후보를 조기에 제거하고, 최적의 후보 발견 가능성을 높여 더 많은 연산량 감축을 얻을 수 있다.

IV. 실험 결과 및 고찰

제안 알고리즘의 성능 평가를 위해, “bus”, “bally”, “bicycle”, “flower garden”, “football”의 비디오 데이터를 이용하여 실험을 수행하였는데, 이들 비디오 데이터는 표준 테스트 영상으로서 영상의 공간 복잡도, 움직임의 크기, 움직임의 복잡도를 고려하여 선별하였다. 움직임 벡터를 계산을 위한 블록의 크기는 16×16 화소이며, 탐색 영역 크기는 ± 15 화소이다. 영상 해상도는 720×480 화소이며, 비디오 프레임수는 95이다. 실험 결과는 블록매칭 에러 계산에 사용된 평균 계산량을 전영역 탐색 방법에서 계산량과의 비율과 예측화질 평가를 위하여 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)로 나타내었다. 각 방법에 대한 계산량은 전영역 탐색 방법과 각 비교 알고리즘의 계산량을 %로 나타내었다. 또한, 문턱치 계산을 위해 식 (4)와 식 (5)에서 사용된 상수는 각각 차레대로 1.3과 0.1을 사용하였다. 최소 부분 블록 에러의 위치가 지속되는 횡수에 대한 문턱치를 나타내는 TH_uc1 은 5를 설정하였고, TH_uc2 는 3으로 설정하였다. TH_uc2 와 연동하는 단계 횡수에 대한 문턱치 TH_step 은 8로 설정하였다.

전 영역 탐색 결과와 고속의 무손실 탐색 방법 및 최근의 손실 고속 탐색방법의 결과를 비교하고 있는데, 고속의 무손실 움직임 예측방법으로는 H.264에서 사용되는 PDE 알고리즘 (PDE H264) [11], Hadamard 변환을 이용한 고속 PDE 방법 (PDE HD) [12], 손실 고속 방법으로 CDMHS (Cross-Diamond Modified Hierarchical Search)[6], ARTZS (Angle Restricted Test Zone Search)[7] 등이 있다.

표 1과 표 2는 각 움직임 예측 방법에 대하여 각 비디오 시퀀스별로 움직임 벡터 계산을 위해 평균 계산량과 움직임 벡터를 이용한 예측화질 결과를 나타내었는데, 계산량은 FS방법을 100% 기준으로 놓을 때 각 방법별로 상대적인 비율로 나타내었다.

표 1은 영상 시퀀스별 각 알고리즘의 평균 계산량을 나타낸 것인데, 표에서 보는 바와 같이 전영역 탐색방법의 계산량은 모든 비디오 시퀀스에서 고정적으로 100%이다. 나머지 방법들은 고정된 계산량이 아니고

영상에 따라 가변적임을 알 수 있다.

표 1에서 보면 “flower” 시퀀스에서 계산량이 가장 적으며, “bus” 시퀀스에서 계산량이 상대적으로 많음을 알 수 있다. 이런 결과에 대한 이유로는 비디오 영상의 움직임 크기와 영상의 공간적 주파수에 기인한다고 볼 수 있다. 결과에서 보듯이, 무손실 방법들은 연산량의 감축이 손실 방법에 비하여 훨씬 적음을 알 수 있으며, 계산량의 현저한 감소를 위하여 손실 예측 방법의 사용이 불가피하다고 결론 지을 수 있다. 제안 알고리즘은 모든 영상에서 기존의 손실 예측 방법들보다 더 적은 계산량을 사용함을 알 수 있다.

Table 1. Computational amount of each algorithm for sequences (%)

	bus	bally	bycl	flower	football
FS	100	100	100	100	100
PDE H.264	61.9	46.9	59.4	41.3	46.9
PDE HD	56.3	40.6	51.9	35.6	41.9
ARTZS	5.6	5.0	5.6	5.0	5.0
CDMHS	6.9	6.3	6.9	6.3	6.3
CDMHS+Proposed	2.1	1.8	2.2	1.5	1.7
Proposed	14.6	13.5	14.8	12.7	13.6

Table 2. Prediction quality of each algorithm for sequences (dB)

	bus	bally	bycl	flower	football
FS	26.0	31.5	23.5	27.7	36.5
PDE H.264	26.0	31.5	23.5	27.7	36.5
PDE HD	26.0	31.5	23.5	27.7	36.5
ARTZS	24.0	29.9	22.1	24.9	35.0
CDMHS	24.4	30.2	22.0	25.4	35.2
CDMHS+Proposed	24.2	29.9	21.8	25.2	35.1
Proposed	25.6	30.8	22.9	27.3	35.8

표 2는 모든 알고리즘의 예측화질 결과를 나타냈었는데, 무손실 방법들은 전영역 탐색 방법에 비하여 예측화질의 저하가 전혀 없으며, 기존의 손실 방법들은 예측 화질의 손실이 현저함을 알 수 있다. 또한 제안 알고리즘은 기존의 손실 방법들보다 예측화질이 많이 향상되었으며, 무손실 방법들과 비교해 보면 예측화질 대비 연산량 감소가 현저히 차이가 나는 것을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 움직임 예측에서 전영역 탐색방법에 비하여 예측화질의 저하가 적으면서 사용되는 계산량을 현저히 줄이는 손실 예측 움직임 예측방법을 제안하였다. 제안하는 알고리즘은 다중 문턱치 필터를 이용하여 각 후보 지점에 대하여 부분 블록 에러 합을 계산하고, 이를 여러 문턱치 필터에 적용하여 각 후보들을 영역별로 분류 또는 제거하고, 이에 따라 다음 단계에서 진행할 후보들을 선별하고, 최소 에러지점의 최적후보에 대해 단계별 안정성을 비교 판단하여 그 다음 단계의 진행 여부를 결정함으로써 최적의 움직임 벡터를 고속으로 계산하였다. 본 논문의 제안방법은 고속 무손실 탐색 알고리즘과 비교하여 약간의 화질저하를 감수하면서 현저하게 적은 계산량을 사용하며, 기존의 고속 손실 방법들보다 더 높은 예측화질과 더 적은 계산량을 갖는 결과를 보이고 있다.

ACKNOWLEDGMENTS

본 논문은 부경대학교 자율창의연구사업(2017-2018)의 지원을 받아 수행된 것임.

REFERENCES

- [1] T. Tan, R. Weerakkody, and G. Sullivan, “Video quality evaluation methodology and verification testing of HEVC compression performance,” *IEEE Transactions on Circuits System & Video Technology*, Vol. 26, No. 1, pp. 76-90, 2016.
- [2] T. Lee, Y. Chan, and W. Siu, “Adaptive search range by neighbouring depth intensity weighted sum for HEVC texture coding,” *IEE Electron. Letters*, Vol. 52 No. 12, pp. 1018-1020, 2016.
- [3] H. Choi, J. Kim, S. Jung, “Fast Motion Estimation Algorithm

using Importance of Search Range and Adaptive Matching Criterion,” *The Journal of Korea Institute of Signal Processing and Systems*, Vol. 16, No. 4, pp. 129-133, 2015.

[4] Z. Pan, j. Lei, Y. Zhang, X. Sun, and S. Kwong, “Fast motion estimation based on content property for low-complexity H.265/HEVC encoder,” *IEEE Transactions on Broadcasting*, Vol. 63, No. 3, pp. 675-684, 2016.

[5] P. Bhalge and S. Amdani, “Modified hexagonal search for motion estimation”, *Proceeding of International Conference on Intelligent Computing and Control Systems*, pp. 94-96, 2017.

[6] N. Alnajdawi, M, Alnajdawi, and S. Tedmori, “Employing a novel cross-diamond search in a modified hierarchical search motion estimation algorithm for video compression,” *Elsevier Information Sciences*, Vol. 268, pp. 425-435, 2014.

[7] N. Vayalil, M. Paul, and Y. Kong, “A novel angle-restricted test zone search algorithm for performance improvement of HEVC”, *Proceeding of IEEE International Conference on Image Processing*, pp. 6-10, 2017.

[8] A. Paramkusam, “Efficient motion estimation algorithm on the layers,” *IEE Electron. Letters*, pp. 467-468, 2017.

[9] X.Q. Gao, C.J. Duanmu, and C.R. Zou, “A Multilevel Successive Elimination Algorithm for Block Matching Motion Estimation,” *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 9, No. 3, pp. 501-504, 2000.

[10] J. Kim, S. Byun, Y. Kim, and B. Ahn, “Fast Full Search Motion Estimation Algorithm Using Early Detection of Impossible Candidate Vectors,” *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 50, No. 9, pp. 2355-2365, 2002.

[11] H.264/AVC reference software, http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download/old_jm/

[12] 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, 2008.

저자 소개

김 종 남 (Jong-Nam Kim)



1997년 2월 : 광주과학기술원
정보통신공학과 졸업(공학석사)
2001년 8월 :광주과학기술원
기전공학과 졸업(공학박사)
2001년 8월~2004년 2월 : KBS
연구원
2004년 3월~현재 : 부경대학
IT융합응용공학과 교수
관심분야 : 비디오압축, 영상처리, 컴퓨터비전 등