

## 우선순위와 문턱치를 가지고 최적 후보 조기 검출을 사용하는 고속 움직임 예측 알고리즘

김종남\*

부경대학교 IT융합응용공학과

### Fast Motion Estimation Algorithm Using Early Detection of Optimal Candidates with Priority and a Threshold

Jong-Nam Kim\*

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

**요약** 본 논문에서는 우선순위와 문턱치를 가지고 최적 후보의 조기 탐지를 이용한 움직임 추정의 고속 블록 매칭 알고리즘을 제안한다. 전 영역 탐색(full search) 알고리즘의 계산량을 줄이기 위해 많은 고속 움직임 추정 알고리즘이 발표되었지만, 여전히 움직임 추정 성능을 향상시키기 위한 많은 연구가 보고되고 있다. 제안된 알고리즘은 이전 부분 매칭 오류에서 우선순위가 높은 각 후보에 대한 블록 매칭 오류를 계산한다. 제안된 알고리즘은 대부분의 기존 고속 블록 매칭 알고리즘에 추가적으로 적용하여 속도를 높일 수 있다. 그렇게 함으로써 최소 오류 지점을 조기에 찾고 불가능한 후보에 대한 불필요한 계산을 줄임으로써 속도를 높일 수 있다. 제안된 알고리즘은 전 영역 탐색 알고리즘과 동일한 예측 화질을 가지면서 기존의 고속 무손실 탐색 알고리즘보다 적은 계산을 사용한다. 실험결과로서, 제안된 알고리즘은 예측 화질 저하 없이 PDE 및 전 영역 탐색 방법의 계산에 비해 30 ~ 70%까지 줄일 수 있으며, 다른 고속 손실 알고리즘을 사용하면 더욱 감소시키는 것으로 나타났다.

• **주제어** : 움직임 예측, 최적 후보, 비디오 부호화, 우선순위, 문턱치

**Abstract** In this paper, we propose a fast block matching algorithm of motion estimation using early detection of optimal candidate with high priority and a threshold. Even though so many fast algorithms for motion estimation have been published to reduce computational reduction full search algorithm, still so many works to improve performance of motion estimation are being reported. The proposed algorithm calculates block matching error for each candidate with high priority from previous partial matching error. The proposed algorithm can be applied additionally to most of conventional fast block matching algorithms for more speed up. By doing that, we can find the minimum error point early and get speed up by reducing unnecessary computations of impossible candidates. The proposed algorithm uses smaller computation than conventional fast full search algorithms with the same prediction quality as the full search algorithm. Experimental results shows that the proposed algorithm reduces 30~70% compared with the computation of the PDE and full search algorithms without any degradation of prediction quality and further reduces it with other fast lossy algorithms.

• **Key Words** : Motion estimation, Optimal candidate, Video encoding, Priority, Threshold

Received 15 March 2020, Revised 18 May 2020, Accepted 05 June 2020

\* **Corresponding Author** Jong-Nam Kim, Dept. of IT Convergence & Applications Engineering, Pukyong National University, 45, Yongso-ro, Nam-gu, Busan, Korea. E-mail: jongnam@pknu.ac.kr

## I. 서론

비디오 부호화는 비디오 데이터에 내재하는 중복성을 제거하는 것이 목표인데, 이는 시간적 중복성과 공간적 중복성이 있다. 비디오 데이터에 있는 시간적 중복성을 제거하기 위한 움직임 예측부에서 가장 많은 계산과 시간을 소모한다. 움직임 예측 방법에서 블록 기반 매칭 방법이 널리 사용되는데, 기본적인 방법인 전 영역 탐색(FS: full search)이다. 이는 주어진 탐색 영역에서 모든 후보점에 대하여 래스터 스캔 방식으로 매칭 에러(matching error)를 계산 후에 최소의 매칭 에러를 갖는 위치인 움직임 벡터를 찾는 것이다. 전 영역 탐색 방법은 비교적 알고리즘 구조가 간단하지만 소요되는 계산량이 방대한 문제점이 있으며, 이를 해결하기 위해 방대한 연구들이 진행되어 왔다.

수많은 고속 움직임 예측방법들을 크게 두 그룹으로 나누어 볼 수 있는데, 하나는 전 영역 탐색 방법에 비해 예측 화질 저하를 갖는 손실 예측 방법, 다른 하나는 예측 화질 저하가 없는 무손실 예측 방식이다. 손실 움직임 예측 방법을 구체적으로 몇 가지 개념으로 나누어 보면, TSS(Three Step Search), NTSS(New Three Step Search), DS(Diamond Search), HXS(Hexagonal Search) 등을 포함하는 선택적 후보점을 선별하여 탐색하는 기법, 피라미드 구조의 다해상도 영상을 이용하는 계층적 탐색(Multi-resolution motion estimation), 한 화소의 비트해상도에서 비트의 개수를 줄인 낮은 비트 해상도 기법, 탐색 영역의 크기를 조절하는 가변 탐색 영역 기법, 문턱치를 이용하여 특정한 조건에서 탐색을 중단하는 문턱치에 의한 중간 멈춤 기법, 간소화된 에러 비교 방법 등이 이에 포함된다[1-8]. 그리고 전 영역 탐색 방법에 비하여 예측 화질의 저하가 없는 무손실 움직임 예측 기법에는 기준 블록과 후보 블록의 블록합을 이용한 후보 제거 알고리즘(SEA: successive elimination algorithm)과 전체의 블록 에러값을 이용하지 않고 부분 매칭 에러값을 이용한 후보 제거(PDE: partial distortion elimination) 알고리즘 및 그 응용 방법[9-12] 등이 있다.

본 논문에서는 불필요한 계산을 줄임으로써 예측 화질의 저하 없는 고속의 무손실 움직임추정 알고리즘을 제안한다. PDE 알고리즘을 기반으로 하는 제안된 알고리즘은 이미 획득 된 부분 매칭 오류로부터 우선 순위가 높은 각 후보에 대한 블록 매칭 오류를 계산한

다. 이를 위해 블록 매칭 절차를 N 단계로 나누며, 각 단계에 대해 최소 오류 지점을 찾고, 나머지 후보를 높은 우선순위와 낮은 순위로 분류한다. 이후, 우선순위가 높은 후보에 대해 블록 매칭 오류를 먼저 계산하고 모든 단계에 대해 우선순위가 높은 후보를 선택한다. 이를 통해 최소 오류 지점을 조기에 찾고 불필요한 계산을 줄여 계산 속도를 높일 수 있으며, 오버 헤드 계산 및 예측 화질의 저하 없이 다른 고속 알고리즘에도 적용 할 수 있다.

본 논문은 다섯 장으로 구성되어 있다. 제II장에서 기존의 고속 움직임 예측 방법들을 소개할 것이다. 제 III장에서는 본 논문의 제안 알고리즘과 특징을 기술하며, 제IV장에서는 본 논문의 알고리즘 성능 비교를 위해 실시한 실험 결과 및 비교 분석이 기술될 것이다. 마지막 제 V 장에서 결론으로 마무리를 할 것이다.

## II. 관련 연구

많은 고속 움직임 예측 알고리즘들을 몇 가지 개념 별로 나누어 보면 TSS, NTSS, DS, HXS, 등을 포함하는 선택적 후보점을 선별하여 탐색하는 기법, 다해상도 탐색기법, 매칭 에러의 문턱치를 이용한 멈춤기법, 탐색 영역의 크기를 가변하는 가변 탐색영역기법, 저해상도 비트 영상기법, 행/열 프로젝트 기법 등 많은 연구 결과가 발표되어 왔다[1-8]. 여기서 대량의 계산 감축을 위해서는 단일에러모드의 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 로그 탐색, 블록 기반 경사하강 탐색, 십자형 탐색, 다이아몬드 탐색, 크로스 다이아몬드 탐색, 육각형 탐색, 검사 영역 탐색 방법 등이 있으며, 이들을 통하여 계산량 감축과 화질 향상을 개선해 오고 있다[1-8].

대부분의 빠른 모션 추정 알고리즘은 대략적인 검색 또는 일치로 인해 예측 이미지의 성능이 저하된다. 제한된 비트 전송률의 응용분야에서 이러한 잘못된 예측으로 인한 데이터 증가로 인해 화질 저하의 심각한

문제가 될 수 있다. 모션 추정의 많은 하드웨어 구현에서 전체 검색은 좋은 예측과 간단한 탐색규칙으로 인해 널리 사용되었다. 고속의 무손실 탐색 알고리즘의 동기는 기본 전체 검색에 비해 예측 이미지의 저하 없이 불필요한 계산을 제거하는 것입니다. 따라서 모든 탐색 후보에 대해 블록 매칭 에러의 계산을 수행하지만 SEA (연속 제거 알고리즘)와 같은 일부 기술에 대해서는 모든 후보 포인트의 매칭 오류 계산이 수행되지 않는다.

또 다른 무손실 고속 움직임 추정 방법이 부분에러 제거 (PDE: partial distortion elimination)기법인데, 이는 블록 매칭 기반의 움직임 예측에서 블록 매칭의 에러값을 계산할 때 절대 오차의 합(SAD: sum of absolute difference)을 한 번에 계산하지 않고 지정된 작은 블록 단위로 계산하여 그 단위로 후보들의 다음 에러 계산을 결정한다. 식 (1)은 SAD 계산을 위한 식이며, PDE 방법에서는 부분 블록 매칭 에러값이 현재까지의 최소 블록 매칭 에러의 값보다 크다면 나머지 부분에 대해서는 계산을 중단하고 불가능한 후보 벡터로 결정하게 되며, 나머지 부분에 해당하는 계산량만큼 줄어 들게 된다.

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

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.  $N$ 은 매칭 블록의 크기를 나타낸다.

그러나 이러한 무손실 예측방법들은 여전히 계산량의 감소가 제한적인 문제점이 있으며, 고속의 손실 예측 방법들은 지역 최소화(local minimum)의 함정에 빠지며, 특정 영상에서는 심각한 화질 저하를 초래하기도 한다. 이러한 이유로 손실 기반의 움직임 예측에 있어 계산 속도와 예측 화질에 대한 성능 향상의 요구가 계속 제기되고 있다.

### III. 제안 방법

빠른 무손실 움직임 추정에서 부분 에러 제거 (PDE) 알고리즘은 일치하는 블록에 남아있는 계산을 중지하여 불필요한 계산만을 효율적으로 줄인다. PDE 알고리

즘에서 중간 부분 합이 해당 지점에서의 현재 최소 에러의 합을 초과하면 해당 블록에 대한 나머지 에러 계산이 중지되며 그만큼 계산량을 줄일 수 있다.

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

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

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

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 매칭 블록에서  $k$ 행까지의 누적 부분 블록 매칭 에러이다.  $N$ 은 매칭 블록의 크기를 나타내며,  $SAD_{min}$ 은 계산 시점에서 최소의 블록 매칭 에러인 SAD 값을 의미한다.

개선된 PDE 알고리즘은 변경된 매칭 순서 스캔을 이용하여 더 큰 부분 에러의 합계를 찾는다. 제안된 방법에서는 오버 헤드 계산으로 최소 오류 지점을 찾으려고 한다. 이전 방법은 식 (2)에 주어진  $k$ 로 더 큰 누적 부분 SAD를 얻으려고 하지만, 제안하는 방법에서는 식에 주어진  $k$ 로  $SAD_{min}$ 을 낮추려고 한다. 검색 범위에서 최소 오류 지점을 찾으려면 주어진  $k$ 로  $SAD_{min}$ 을 낮출 수 있다. 이를 위해 블록 매칭 오류 계산을 매칭 블록의 크기인  $N$  단계로 나눈다. 그림 1은 초기 부분 매칭 오류에서 우선순위에 따라 검색 범위에서 후보를 분류하는 제안된 알고리즘의 절차를 나타낸다.

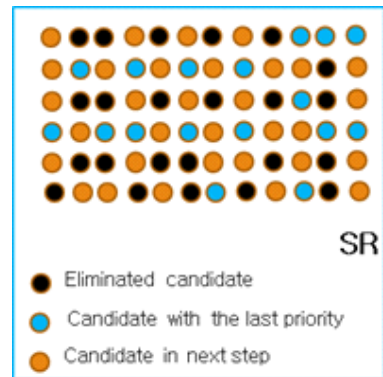


Fig. 1. Classified candidates in the proposed algorithm

부분 일치 오류가 작은 후보는 다음 단계에서 우선 순위가 높고, 부분 일치 오류가 큰 후보는 다음 단계에서 우선순위가 낮다. 그림 2와 같이 탐색 범위에서 우선순위가 높은 후보를 선택하고 식 (2)에서 우선순위가 높은 후보에 대해서만 부분 SAD를 계산한다.

그 단계에 대한 부분 일치 오류 계산을 마친 후 식 (4)을 사용하여 단계 후보의 우선순위를 다시 결정한다. 그렇게 함으로써 가능한 한 빨리 검색 범위에서 최소 오류 지점을 찾을 수 있으며, 식 (3)에서  $SAD_{min}$ 을 낮추는 것이다.

요약하면, 이전 단계에서 선택한 후보에 따라 검색 범위의 모든 부분 오류를 계산한다. 그 단계에서 선택된 후보는 상대적으로 높은 우선순위를 가지며, 그런 다음 최소 부분 오차와 그 위치를 찾는다. 식 (4)를 이용하여 결과에 따라 부분 정합 오차의 최소 및 최대 값을 구한다. 부분 SAD가 최소인 지점에 대해 전체 일치 오류를 계산하고 SAD를  $SAD_{min}$ 으로 설정한다.  $SAD_{min}$ 은 이전 단계의  $SAD_{min}$ 에 따라 그 단계에서 변경되거나 변경되지 않을 수 있다. 마지막으로 불가능한 후보를 제거하고 각 단계에 대해 위의 절차를 반복한다.

$$TH_k = (\min(APSAD_k) + \max(APSAD_k)) / \alpha$$

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

(4)

제안 알고리즘은 그림 2와 같이 동작하는데, 대략적인 동작은 다음과 같다. 처음에는 검색 범위에 있는 모든 후보에 대해  $PSAD(x, y)$ 를 계산한다. 그런 다음 최소 및 최대 부분 SAD를 찾고 식 (4)를 사용하여 임계 값을 계산한다. 현재 단계와 이전 단계 사이에 차이가 없으면 현재 단계에 대해 이전 단계의 SAD를 그대로 사용하며, 현재 단계와 이전 단계 사이의 차이가 있을 경우 현재 단계에서 블록 에러를 매칭하기 위한 전체 SAD를 계산한다. 그 SAD와 식 (3)을 이용하여 가능성이 없는 후보를 탐색 영역 후보에서 제거한다. 이후, 다음 단계에 대한 유효한 후보를 업데이트하고 이전 단계를 반복한다. 제안하는 방법은 모든 후보점의  $PSAD$ 를 각 후보마다 순차적으로 계산하는 것이 아니고, 여러 단계로 나누어서 최적의 움직임 벡터 후보가 될 가능성이 높은 후보들을 선별하여 걸러내고, 그 선별된 후보 순으로 먼저 후보들을 먼저  $PSAD$ 를 계산하면 더 빨리 움직임 벡터를 찾아내고, 그때의  $SAD_{min}$ 을

가지고 남은 후보를 검사하면 탐색 계산량과 시간을 줄일 수 있다는 것이다.

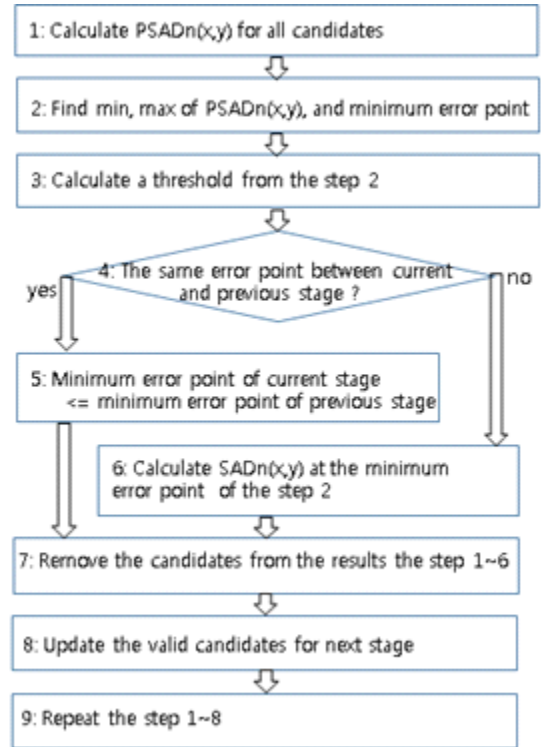


Fig. 2. Procedure of the proposed algorithm

#### IV. 실험 결과 및 고찰

제안 알고리즘의 객관적인 성능 평가를 위해, 720×480 SD급 영상의 “bus”, “bally”, “bicycle”, “flower garden”, “football” 비디오 데이터를 이용하여 실험을 수행하였다. 이들 비디오 데이터는 통상 움직임 예측 및 비디오 압축을 위해 표준적으로 사용하고 있는 영상으로서 영상의 공간 복잡도, 움직임의 크기, 움직임의 복잡도를 고려하여 선별되었다. 움직임 벡터 계산을 위해 블록의 크기는 16×16이며, 탐색 영역의 범위는 ±15 화소, 비디오 프레임 수는 150이다. 식 (4)에서의 가변 상수  $\alpha$ 의 값은 2로 설정하였다. 알고리즘의 성능 비교 실험 결과는 움직임 벡터 계산에 사용된 평균 계산량과 움직임 벡터의 정확도와 예측 화질 평가를 위하여 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)로 나타내었다.

본 논문에서는 전 영역 탐색 결과와 고속의 무손실

탐색 방법 및 최근의 손실 고속 탐색방법의 결과를 비교하고 있다. 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], MTZS(Modified Test Zone Search)[8]등이 있다.

손실이 있는 그룹과 무손실의 성능을 비교하는 것은 의미가 약하지만 제안된 알고리즘으로 추가 계산 감소 가능성을 보여주기 위해 CDMHS 및 MTZS 알고리즘을 실험에 포함시켰다.

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

	bus	bally	bycl	flower	football
FS	16 (100%)	16 (100%)	16 (100%)	16 (100%)	16 (100%)
PDE H.264	9.9 (61)	7.5 (46)	9.5 (59)	6.6 (41)	7.5 (46)
Comp. PDE	8.9 (55)	6.3 (39)	8.2 (51)	5.6 (35)	6.4 (40)
PDE HD	9.0 (56.)	6.5 (40)	8.3 (51)	5.7 (35)	6.7 (41)
MSEA	10.9 (68)	8.4 (52)	10.6 (66)	7.8 (48)	10.8 (67)
Proposed	7.3 (45)	5.9 (36)	7.0 (43)	4.3 (26)	5.9 (36)
CDMHS	1.136 (7.1)	1.072 (6.7)	1.12 (7.0)	1.008 (6.3)	1.088 (6.8)
Proposed + CDMHS	0.4 (2.9)	0.4 (2.7)	0.4 (2.8)	0.4 (2.5)	0.4 (2.7)
MTZS	0.7 (4.6)	0.6 (4.3)	0.7 (4.5)	0.7 (4.2)	0.7 (4.4)
Proposed + MTZS	0.3 (2.0)	0.3 (1.9)	0.3 (2.0)	0.2 (1.8)	0.3 (2.0)

표 1은 각 방법에 대한 계산량을 나타내고 표 2는 모든 시퀀스에서 다양한 알고리즘에 대해 계산된 평균 계산 및 예측 화질을 나타낸다. 표 1에서 계산량을 나타낼때 매칭 블록의 행수와 괄호 안에는 전 영역 탐색의 계산량을 기준으로 상대적인 비율을 %로 나타내었으며, 제안된 알고리즘은 예측 영상에 영향을 주지 않고, 위의 알고리즘보다 훨씬 적은 계산을 수행함을 알 수 있다. CDMHS + Proposed 및 MTZS + Proposed의 결과는 제안된 알고리즘을 기존의 고속 알고리즘에 적

용하여 움직임 추정 계산을 더욱 줄일 수 있음을 보여 준다.

표 2에서 보는 바와 같이 제안된 알고리즘의 움직임 벡터의 정확도는 다른 무손실 알고리즘과 정확히 동일하다. 표 1에서 볼 수 있듯이 고속 알고리즘의 계산량은 비디오 시퀀스마다 다르다. 일반적으로 움직임이 적은 비디오 시퀀스는 계산량이 적으며, “bally” 및 “football” 시퀀스는 다른 시퀀스와 비교하여 모션 추정을 위한 계산량의 작은 차이를 보여준다. 제안된 알고리즘은 각 매칭 블록에 대한 우선순위와 각 단계에 대한 순차적 제거를 사용하여 다른 고속 PDE 알고리즘보다 우수한 성능을 얻는다. 제안 알고리즘은 예측 이미지에 영향을 주지 않고 원래 PDE 알고리즘의 약 30%, 전체 검색 알고리즘의 약 70%까지 계산 부하를 줄일 수 있다. MTZS + Proposed는 표 1과 같이 전체 계산량의 98 %까지 계산을 줄일 수 있으며, 움직임 벡터 예측에서 다른 임계 값 기반 중간 멈춤 또는 가변 검색 범위를 사용하여 추가로 줄일 수도 있다.

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
Comp. PDE	26.0	31.5	23.5	27.7	36.5
PDE HD	26.0	31.5	23.5	27.7	36.5
MSEA	26.0	31.5	23.5	27.7	36.5
Proposed	26.0	31.5	23.5	27.7	36.5
MHDS	24.6	30.4	22.1	25.8	35.4
Proposed + MHDS	24.6	30.4	22.1	25.8	35.4
MTZS	24.5	30.0	21.9	25.5	35.1
Proposed + MTZS	24.5	30.0	21.9	25.5	35.1

## V. 결론

본 논문에서는 전 영역 탐색 알고리즘과 동일한 예측 화질을 가지면서 계산량을 줄인 고속 움직임 추정 알고리즘을 제안했다. 제안된 알고리즘은 부분 매칭 에러에서 우선순위가 높은 각 후보에 대한 블록 매칭

에러를 계산한다. 이를 통해 최소 에러 지점을 조기에 찾고 불필요한 계산을 줄여 계산 속도를 높일 수 있다. 제안된 알고리즘은 전체 검색 알고리즘과 동일한 예측 화질로 기존의 빠른 검색 알고리즘보다 적은 계산을 사용한다. 실험 결과에서 알 수 있듯이 제안된 알고리즘은 예측 이미지에 영향을 주지 않으면서 원래 PDE 알고리즘의 약 30%, 전 영역 탐색 알고리즘의 약 70% 까지 계산 부하를 줄일 수 있다. 결과는 기존의 고속 알고리즘과 제안된 알고리즘을 통합하면 계산을 더욱 줄일 수 있음을 보여주어 있으며, 제안된 알고리즘은 실시간 비디오 코딩 애플리케이션에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

### ACKNOWLEDGMENTS

본 논문은 부경대학교 자율창의연구(2019)의 지원을 받아 수행된 것임.

### REFERENCES

[1] T. Tan, R. Weerakkody, 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] F. Luo, S. Wang, S. Wang, X. Zhang, S. Ma, W. Gao, "GPU-based hierarchical motion estimation for high efficiency video coding," IEEE Trans. on Multimedia, vol. 21 no. 4, pp. 851-862, 2019.

[3] T. Lee, Y. Chan, W. Sui, "Adaptive search range for HEVC motion estimation based on depth information," IEEE Transactions on Circuits System & Video Technology, vol. 27, no. 10, pp. 2216-2230, 2017.

[4] Z. Pan, J. Lei, Y. Zhang, X. Sun, 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] S. Gogoi, R. Peesapati, "A hybrid motion estimation search algorithm for HEVC/H.265," Proceeding of International Symposium on Smart Electronic Systems, pp. 129-132, 2019.

[6] N. Alnajdawi, M. Alnajdawi, 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] A. Paramkusam, "Efficient motion estimation algorithm on the layers," IEE Electronics Letters, pp. 467-468, 2017.

[8] N. Vayalil, M. Paul, 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.

[9] X. Q. Gao, C. J. Duanmu, 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, 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/](http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download/old_jm/)

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

---

### 저자 소개

---

김 종 남 (Jong-Nam Kim)



1997년 2월 : 광주과학기술원  
정보통신공학과(공학석사)  
2001년 8월 : 광주과학기술원  
기전공학과(공학박사)  
2001년 8월~2004년 2월 : KBS  
연구원  
2004년 3월~현재 : 부경대학교

IT융합응용공학과 교수

관심 분야 : 비디오압축, 영상처리, 컴퓨터비전