

움직임 활동도를 이용한 적응형 육각 탐색에 관한 연구

김명호*, 박경완*, 오영걸*, 곽노운*

*백석대학교 정보통신학부

e-mail:nykwak@bu.ac.kr

A Study on Adaptive Hexagonal Search Using Motion Activity

Myoung-Ho Kim*, Kyoung-Wan Park*, Young-Geol Oh*, No-Yoon Kwak*

*Div. of Information and Communication Engineering, Baekseok University

요 약

본 논문은 적응형 육각 탐색에 기반한 고속 블록 정합 알고리즘의 성능 개선에 관한 것으로, 이전 프레임의 움직임 활동도를 산출한 후, 웨이블릿 변환의 다단계 저주파 부영상들로 구성된 피라미드 계층 구조상에서 이 움직임 활동도에 따라 초기 움직임 탐색 계층을 적응적으로 선택하면서 적응형 육각 탐색에 기반한 계층적 블록 정합을 수행함으로써 움직임 벡터 추정 of 고속화를 실현함과 동시에 국부 최소화를 효과적으로 병감시할 수 있는 블록 정합 알고리즘을 제안함에 그 목적이 있다. 우선, 초기 연속된 두 프레임에 대해 적응형 육각 탐색을 이용하여 움직임 벡터를 추정한 후 움직임 활동도를 산출한다. 이후, 움직임 활동도가 낮은 경우, 다음 프레임의 움직임 벡터 추정 시 최하위 계층에서 적응형 육각 탐색을 수행하고, 움직임 활동도가 높은 경우 피라미드 계층 구조상의 최상위 계층에서부터 상하 계층들 간에 움직임 탐색 영역을 중복시키면서 움직임 벡터를 추정한다. 제안된 방법의 타당성과 보편성을 검증하기 위해 서로 다른 움직임 특성을 갖는 복수의 영상 시퀀스들을 대상으로 움직임 보상 화질과 수렴시간 측면에서 그 성능을 평가·분석하였다. 제안된 방법에 따르면, 고속 움직임 탐색이 가능한 적응형 육각 탐색의 장점을 유지하면서도 움직임 활동도가 높은 영상에서 야기되는 국부 최소문제를 효과적으로 억제시키고 있음을 확인할 수 있었다.

1. 서론

블록 정합 알고리즘(BMA: Block Matching Algorithm)은 MPEG-1,2,4, H.261, H.263, H.264 등으로 대표되는 동영상 부호화 국제 표준들의 프레임간 부호화 방식[1-5]으로 널리 채택되어 있다. 다수의 블록 정합 알고리즘들 중 전역 탐색 방식은 최적의 성능을 제공하는 반면에 정합될 수 있는 경우의 수가 탐색 영역의 크기에 따라 기하급수적으로 증가하는 단점이 있다. 이에 따라 단계적으로 예상 변위를 줄여나감에 따라 정합 연산량을 감소시키고 동시에 정확한 움직임 벡터를 탐색하려는 의도에서 출발한 고속 블록 정합 알고리즘들이 다수 제안되어 있다. 대표적인 것으로는 삼단계 탐색(TSS; Three Step Search), 2-D 대수적 탐색(2-D logarithmic search), 공액축 탐색(conjugate direction search), 병렬 계층 1-D 탐색(parallel hierarchical 1-D search)[1][2], 마름모꼴 탐색(diamond search)[6], 1D 기울기 감소 탐색(1D gradient descent search)[7], 계층적 탐색(hierarchical search) [8][9][10], 육각 탐색(hexagonal search)[11-14] 등이 있다. 그러나 이러한 고속 블록 정합 알고리즘들은 전역 탐색에 비해 추정 오차가 크고, 추정된 움직임 벡터의 신뢰성이 현저히 떨어지는 문제점을 내포하고 있다. 추정된 움직임 벡터에 대한 신뢰성을 최대한 유지하면서 탐색 영역과 연산량에 대한 문제를 적응적으로 해결하기 위한 일환으로 적응형 육각 탐색(adaptive hexagonal search) 방법[15]이 제안되어 있다. 하지만 적응형 육각 탐색[15]은 빠른 수렴에 기초하여 고속 움직임 추정이 가능한 반면에 그 동작 특성상 통상의 육각 탐색의 단점인 국부 최소 문제를 근본적으로 해결하지 못하는 한계가 있다. 본 논문에서는 적응형 육각 탐색[15]의 문제점을 최소화하기 위해 움직임 벡터의 활동도를 예측하여 움직임이 작은 경우, 적응형 육각 탐색을 수행하고 움직임이 큰 경우 웨이블릿 변환의 다단계 저주파 부영상들로 구성된 피라미드 계층 구조상에서 상하 계층들 간에 움직임 탐색 영역을 중복시키면서 적응형 육각

탐색에 기반한 계층적 블록 정합을 수행함으로써 움직임 추정 성능을 개선한 고속 움직임 탐색 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안된 방법의 타당성과 보편성을 검증하기 위해 서로 다른 움직임 특성을 갖는 영상 시퀀스들을 대상으로 움직임 보상 화질과 수렴시간 측면에서 그 성능을 분석·평가하였다.

2 기존의 적응형 육각 탐색

2.1 기본 탐색 패턴

그림 1은 기존의 적응형 육각 탐색을 이용한 블록 정합 알고리즘[15]에서 사용하는 기본 탐색 패턴들을 나타낸 것이다. 그림 1(a)와 그림 1(b)의 각 패턴을 보면 8개의 후보 탐색점들로 구성되어 있다. 각 탐색점들은 수평 및 수직 방향으로 편향된 패턴(biased pattern) 상에 분포된다. 그림 1(a)는 수평축에 편향된 방향으로 후보 영역을 조사하는 수평 편향 패턴(Horizontal Biased Pattern; HBP)을 나타낸 것이고, 그림 1(b)는 수직축에 편향된 방향으로 후보 영역을 조사하는 수직 편향 패턴(Vertical Biased Pattern; VBP)을 나타낸 것이다.

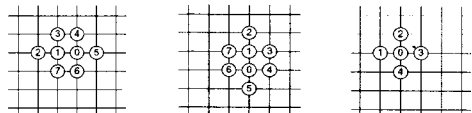


그림 1. 적응형 육각 탐색의 기본 탐색 패턴

그림 1(a)과 그림 1(b)와 같이 각각 수평 및 수직 방향으로 편향된 육각 패턴은 기울기 감소 방향에 가중치를 두면서 전역 최소점으로 탐색하기 위한 것이다. 편의상 각 패턴을 구성하는 탐색점들은 정점(vertex), 표면점(surface point) 및 내부점(inner point)으로 구분한다. 정점은 '2'와

'5' 위치이고 표면점은 '3', '4', '6', '7' 위치이며 내부점은 '0'과 '1'이 된다. 특히, '0'은 중심점으로 정의한다. 그림 1(c)는 초기 탐색 패턴을 나타낸 것으로, '0'은 중심점이고 '1', '2', '3', '4'는 정점들이다.

2.2 적응형 육각 탐색

그림 2는 이후 단계에서 적용될 탐색 패턴을 선택하는 과정을 예시한 것이다. 적응형 육각 탐색은 현재 탐색 패턴에서 최소 SSD(Sum of Square Difference) 값 또는 SAD(Sum of Absolute Difference)를 갖는 위치가 다음 탐색 패턴의 중심점으로 선택된다.

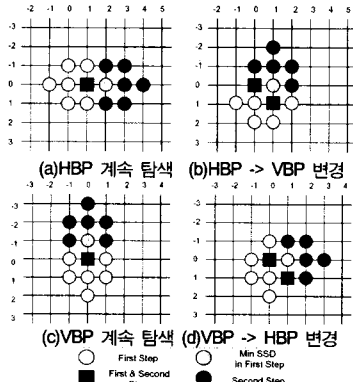


그림 2. 각 위치에 대한 HBP와 VBP의 탐색 예시

왜곡 평가 척도가 SSD일 경우, 최소 SSD 값을 갖는 위치가 정점이면 현재 탐색 패턴의 방향을 그대로 유지하면서 다음 단계의 탐색 후보점들을 선택하고, 표면점이면 탐색 패턴의 방향을 변경하여 탐색 후보점을 선택하며 내부 점일 경우에는 탐색을 종료하고 해당 위치를 최종 정합점으로 삼는다.

최소 SSD 값을 갖는 위치는 수평 편향 패턴과 수직 편향 패턴 중 어떤 패턴을 사용할지 여부를 결정함과 동시에 다음 탐색 단계에 중심점으로 사용한다. 각 패턴에 있는 정점들은 현재 탐색 단계의 기울기 감소 방향과 일치한다. 따라서, 최소 SSD 값을 갖는 위치가 정점들에서 발생할 경우, 탐색 패턴의 방향은 그대로 유지된다. 반면에 최소 SSD 값을 갖는 위치가 표면점들에서 발생할 경우, HBP에서 VBP로 또는 VBP에서 HBP로 탐색 패턴의 방향을 변경한다.

예컨대, 그림 1(a)의 HBP 경우, 최소 SSD가 2번과 5번 위치에서 발생한다면 다음 탐색 단계에 대한 탐색 패턴은 HBP가 된다. 이와 반대로 3번, 4번, 6번, 7번 위치에서 발생한다면 다음 탐색 패턴은 HBP에서 VBP로 변경된다.

그림 2는 수평 및 수직에서 발생할 수 있는 최소 SSD 값의 위치에 따라 탐색 패턴을 적응적으로 선택하는 전략을 도시한 것이다. 이러한 선택 전략의 목적은 현재의 탐색 과정에서 사용된 탐색 패턴에 따라 발생하는 탐색 영역의 협소함을 보완하기 위한 것이다. 탐색 과정에서 탐색 영역은 균일한 분포를 이루으로써 후보 점들의 선택 확률을 균등하게 배분하는 것이 바람직하고, 이를 위해 탐색 패턴을 원형(circle)으로 구성하는 것이 이상적이다. 적응형 육각 탐색 알고리즘에서 사용하고 있는 수평 편향 패턴과 수직 편향 패턴에 의해 탐색 영역의 비균등성이 발생하는 것을 보완하기 위해 기울기 감소 방향에 적합하도록 탐색 패턴의 방향을 변경함으로써 현재 탐색 과정에서 제외된 유효 탐색 영역을 다음 탐색 과정에서 포함시켜 탐색한다.

3. 제안된 적응형 육각 탐색

3.1 개요

계층적 블록 정합 알고리즘(HBMA; Hierarchical Block Matching Algorithm)은 점진적인(coarse-to-fine) 움직임 추정 방식으로써 낮은 해상도를 갖는 영상에서는 전체적

인 움직임의 오정합을 없애주고 높은 해상도로 감에 따라 초기에 추정된 값을 재조정함으로써 고속으로 움직임을 탐색할 수 있는 블록 정합 알고리즘의 하나이다[8]. 제안된 방법은 계층적 블록 정합 알고리즘에 기초한 움직임 탐색의 일종으로, 그림 3은 순서도를 나타낸 것이다.

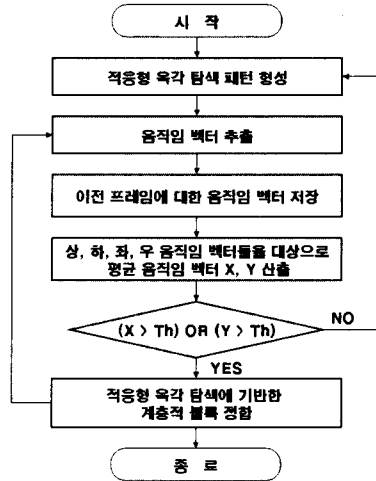


그림 3. 제안된 움직임 탐색 방법의 순서도

통계적인 측면에서 볼 때 통상의 동영상 시퀀스들의 움직임 벡터 분포는 탐색 영역의 중심 부근에 집중적으로 분포하는 것이 일반적이다[14]. 따라서 탐색 영역의 중심 부근에서 고속으로 움직임을 추정할 수 있는 탐색 패턴을 사용하면 양호한 추정 화질을 획득하면서도 탐색 시간을 현저하게 경감시킬 수 있다. 육각 탐색 알고리즘들은 이러한 분포 특성을 효과적으로 이용하고 있는 것이다. 하지만 탐색 영역의 중심 부근에서의 빠른 수렴에 기초하여 고속 움직임 추정이 가능하다는 이점이 있는 반면에 상대적으로 움직임이 큰 동영상 시퀀스에서는 그 동작 특성상 탐색 시간이 증가할 뿐만 아니라 그 편차가 유동적이고 국부 최소로 수렴할 가능성이 높은 것이 단점이다.

전술한 적응형 육각 탐색(adaptive hexagonal search) 방법[15]은 육각 탐색 패턴의 방향성에 적응성을 부여하여 고속 움직임 추정이 가능하면서도 상대적으로 개선된 성능을 제공하고 있다. 하지만 육각 탐색에 기반한 탐색 알고리즘이기 때문에 탐색 시간의 편차 문제와 국부 최소 문제를 근본적으로 해결하지는 못하고 있다.

제안된 방법은 이러한 단점을 최소화하기 위한 것으로, 이전 프레임의 움직임 활동도를 산출한 후, 웨이블릿 변환의 다단계 저주파 부영상들로 구성된 피라미드 계층 구조상에서 이 움직임 활동도에 따라 초기 움직임 탐색 계층을 적응적으로 선택하면서 적응형 육각 탐색에 기반한 계층적 블록 정합을 수행함으로써 움직임 벡터 추정의 고속화를 실현함과 동시에 국부 최소화를 효과적으로 경감시킬 수 있다. 우선, 초기 연속된 두 프레임에 대해 적응형 육각 탐색을 이용하여 움직임 벡터를 추정한 후 움직임 활동도를 산출한다. 이후, 움직임 활동도가 낮은 경우, 다음 프레임의 움직임 벡터 추정 시 최하위 계층에서 적응형 육각 탐색을 수행하고, 움직임 활동도가 높은 경우 피라미드 계층 구조상의 최상위 계층에서부터 상하 계층들 간에 움직임 탐색 영역을 중복시키면서 적응형 육각 탐색을 수행하여 움직임 벡터를 추정한다.

3.2 웨이블릿 변환에 의한 피라미드 계층 공간

제안된 방법은 먼저 계층적인 움직임 추정을 위해 저주파 부영상으로 구성된 피라미드 계층 공간을 생성한다. 이를 위해 연속된 두 프레임에 대해 단계적인 저주파 부영상만을 추출하는 각각 두 번의 웨이블릿 변환을 수행한 후, 원영상과 단계적으로 생성된 두 장의 저주파 부영상들

로 구성된 3단계의 피라미드 계층 쌍을 만든다. 그림 4는 3회에 걸친 연속된 웨이블릿 변환을 통해 영상을 분해하는 과정을 도시한 것이다.

제안된 방법에서는 원영상이 피라미드 계층 구조의 최하위 계층이 되기 때문에 이전 영상과 현재 영상에 각각에 대해 2번의 웨이블릿 변환만 필요하다. 이때, 웨이블릿 변환의 고속화를 기하기 위해 필터 탭의 길이가 2인 하르 기저(Haar basis)[16]를 이용한다. 피라미드 계층 구조는 저주파 부영상만으로 구성되기 때문에 불필요한 연산을 배제하기 위해 고주파 분해 영역에 대한 변환은 생략하고 저주파 부영상에 대한 웨이블릿 변환만을 수행한다. 또한 실수 연산이 아닌 정수 연산을 수행함으로써 큰 폭의 성능저하를 초래하지 않는 범위 내에서 피라미드 계층 구조를 구성하는데 필요한 연산량을 최소화시킨다. 달리 말하면 이것은 양선형 보간 필터(bilinear interpolation filter)에 기반한 연이은 영상 축소(image down-sampling) 과정이라고 볼 수 있다.

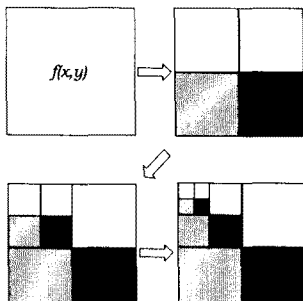


그림 4. 웨이블릿 변환에 의한 영상 분해 과정

3.3 움직임 활동도에 기반한 초기 탐색 계층 선택

초기 연속된 두 프레임에 대해 적응형 육각 탐색을 이용하여 움직임 벡터를 추정한 후 움직임 활동도를 산출한다. 움직임 활동도는 이전 프레임에서 현 움직임 추정 블록 위치의 상, 하, 좌, 우에 인접한 블록의 움직임 벡터들의 수평 성분 및 수직 성분을 각각 합산한 후 평균함으로써 구할 수 있다. 다시 말해서 이전 프레임의 평균 움직임 벡터(X, Y)를 움직임 활동도로 정의한 것이다.

다음 프레임의 움직임 벡터 추정 시, 움직임 활동도가 임계치보다 작거나 같을 경우 원영상에서 적응형 육각 탐색을 수행하고, 그렇지 않고 움직임 활동도가 임계치보다 클 경우 원영상과 두 장의 저주파 부영상으로 구성된 3단계의 피라미드 계층 쌍에서 계층적으로 적응형 육각 탐색을 수행하여 움직임 벡터를 추정한다. 움직임 활동도의 임계치(Th)는 실험적으로 산출한 값(예컨대, 3)을 이용하였다. 즉, 평균 움직임 벡터의 수평 성분 또는 수직 성분의 3보다 클 경우 피라미드 계층 구조상에서 상하 계층들 간에 움직임 탐색 영역을 중복시키면서 적응형 육각 탐색을 수행하여 움직임 벡터 추정의 고속화를 실현함과 동시에 국부 최소화를 효과적으로 경감시킬 수 있다.

3.4 계층적 움직임 탐색

제안된 적응형 육각 탐색은 움직임 벡터의 활동도가 클 경우 피라미드 계층 구조상에서 상하 계층들 간에 움직임 탐색 영역을 중복시키면서 마름모 패턴을 이용한 초기 탐색에 연이어 국부 정합점의 위치에 따라 수직 편향 패턴과 수평 편향 패턴을 선택적으로 적용하는 적응형 육각 탐색에 기반한 계층적 블록 정합을 각각 수행하여 최종적인 움직임 벡터를 계층적으로 추정한다. 이를 통해 연산속도와 보상 화질 양측면에서 개선된 성능을 제공하는 고속 움직임 추정을 수행할 수 있었다. 제안된 방법의 움직임 추정 블록의 크기는 16pixels×16pixels이고, 탐색 영역은 ±16pixels이며 왜곡 평가 척도는 SSD를 사용한다.

웨이블릿 변환을 이용하여 계층의 구성을 k 단계로 분할하고, 이때 분해되는 과정에서 얻어지는 각 계층에서의

저주파 성분의 부영상들을 저장한다. 이 저주파 부영상들만을 이용하여 계층적 움직임 추정을 수행하기 위한 3단계의 피라미드 계층 공간을 구성한다.

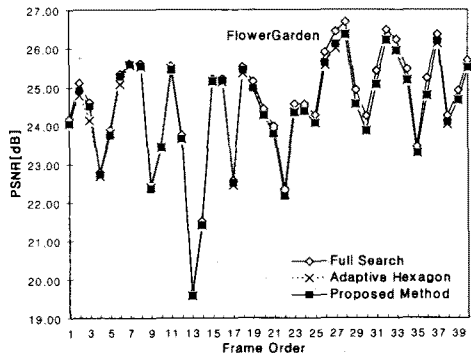
이 피라미드 계층 공간상의 상위 계층에서 하위 계층 방향으로 진행하면서 점진적으로 움직임 벡터의 추정 정밀도를 재조정하여 최종적으로 움직임 벡터를 결정한다. 편의상 k 계층 저주파 부영상, k-1 계층 저주파 부영상 및 원영상을 각각 최상위 계층 영상, 중간 계층 영상 및 최하위 계층 영상으로 명한다. 움직임 추정 블록의 크기는 최하위 계층 영상을 기준할 때, 다수의 표준 코덱들이 사용하는 16×16을 사용하는데, 이에 따라 중간 계층 영상에서의 추정 블록의 크기는 8×8, 최상위 계층 영상에서는 4×4로, 계층이 증가함에 따라 추정 블록의 크기는 옥타브(octave)적으로 감소된다.

초기 탐색 계층을 최상위 계층으로 선택하고, 초기 탐색 계층으로 선택한 최상위 계층에서 ±4pixels, 중간 계층에서 ±3pixels, 최하위 계층에서 ±2pixel의 순으로 탐색 영역을 설정한다. 이와 같이 상하 계층 간에 탐색 영역을 중복시켜 설정한 상태에서 적응형 육각 탐색[15]에 기반한 계층적 블록 정합을 수행하여 움직임 벡터의 추정 정밀도를 계층적으로 재조정한다. 이때, 계층들 간의 움직임 추정은 상위 계층에서 추정된 움직임 벡터의 2배를 다음 계층의 움직임 추정 초기값으로 설정한다. 이러한 과정을 최하위 계층까지 반복하여 최종적으로 부호화할 움직임 벡터를 추정하게 된다. 이에 따르면, 원영상을 기본 탐색 공간으로 가정할 때, 움직임 블록은 한 프레임 간에서 최대 ±24pixels의 탐색 영역을 가질 수 있다. 이에 따라 중간 계층과 최하위 계층에서는 최종 움직임 벡터를 기준할 때 ±16pixels를 초과하는 움직임 벡터가 발생하는 위치는 탐색 후보점에서 제외시킨다.

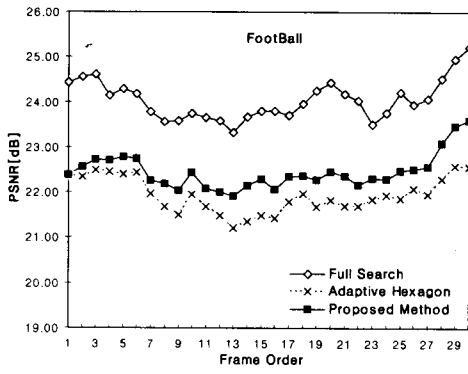
4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 연구에서는 제안된 방식의 타당성을 평가하기 위해, 서로 다른 동적 특성을 갖는 복수의 동영상을 대상으로 기존의 방식과 제안된 방식에 대한 Pentium M 1.70GHz(512MB RAM)에서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시험 영상 시퀀스는 360×288의 SalesMan(#0~#40), 352×224의 FlowerGarden(#40~#80), TableTennis(#100~#140), 720×480의 Football(#0~#30)의 256 계층 화도 영상을 이용하였다. 제안된 방법의 움직임 추정 블록의 크기는 16×16이고, 탐색 영역은 ±16이며 왜곡 평가 척도는 SSD를 사용하였다. 그림 5는 4개의 영상 시퀀스에 대한 각 방식의 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio) 비교를 통한 성능 평가 결과를 나타낸 것이다.

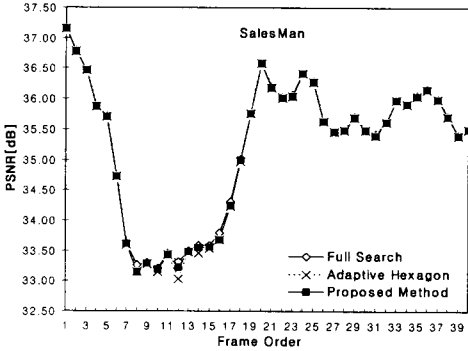
상대적으로 움직임이 작은 SalesMan 시퀀스와 FlowerGarden 시퀀스의 경우, 네 가지 방법은 모두 전역 탐색에 근접하는 양호한 결과를 제공하는 반면에 움직임이 상대적으로 큰 TableTennis 시퀀스와 Football 시퀀스의 경우, 국부 최소에 빠지는 빈도가 상대적으로 높은 것을 알 수 있다. 그러나 제안된 방법들은 계층적 블록 정합 알고리즘을 기반으로 적용적으로 육각 탐색을 수행함으로써 기존의 적응형 육각 탐색의 결점을 부분적으로 보완하고 있다.



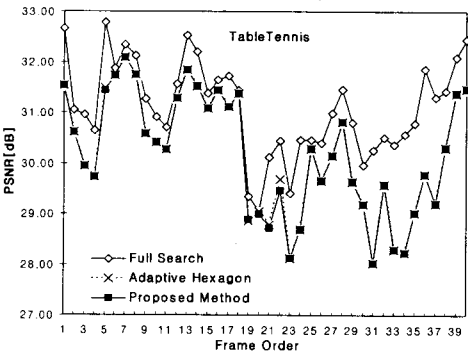
(a) FlowerGarden(#40~#80)



(b) Football(#0~#30)



(c) SalesMan(#0~#40)



(d) TableTennis(#100~#140)

그림 5. 영상 시퀀스들에 대한 각 방식의 PSNR 비교

그러나 제안된 방법은 움직임을 찾는 과정에서 초기 적응형 육각 탐색을 수행한 후 다음 프레임에 대한 움직임 활동도를 산출하여 적응형 육각 탐색에 기반 계층적 블록 정합 알고리즘을 수행하기 때문에 TableTennis와 Football에 대해 기존의 적응형 육각 탐색에 비해 각각 평균적으로 약 1.2~1.4배 정도의 연산시간이 소요된다. 그 이유는 움직임이 클수록 확장된 탐색 패턴에 의한 수렴 시간이 상대적으로 더 큰 폭으로 증가하기 때문이다.

5. 결 론

제안된 방법은 움직임 활동도가 클 경우 웨이블릿 변환의 다단계 저주파 부영상들로 구성된 피라미드 계층 구조상에서 상하 계층들 간에 움직임 탐색 영역을 중복시키면서 적응형 육각 탐색에 기반한 계층적 블록 정합을 수행함으로써 움직임 벡터 추정의 고속화를 실현함과 동시에 국부 최소화를 효과적으로 경감시킬 수 있었다.

제안된 방법에 따르면, 고속 움직임 탐색이 가능한 적응형 육각 탐색의 장점을 유지하면서도 움직임 활동도가 높은 영상에서 야기되는 국부최소문제를 효과적으로 억제시키고 있음을 확인할 수 있었다.

그러나, 제안된 알고리즘은 적응적인 블록 정합 알고리즘의 일종이기에 움직임 추정을 위한 연산 시간이 입력 영상에 의존적이고, 하드웨어적 구현을 위해서는 기존의 블록 기반의 영상 코덱에 각 계층의 저주파 부영상으로 구성된 피라미드 계층 구조를 저장하기 위한 기억 공간을 추가해야 하는 단점이 있다.

제안된 방법은 상위 계층에서 추정된 움직임 벡터로부터는 전역적인 움직임에 대한 특성을 알 수 있으며, 하위 계층으로 갈수록 국부적인 움직임에 대한 상세한 움직임 벡터를 얻을 수 있다. 이와 같은 움직임 추정 기법상의 특성에 의해 기존의 적응형 육각 탐색이 갖고 있던 단점을 어느 정도 보완할 수 있었다. 그러나 상위 계층에서 국부 최소에 빠질 경우, 그 영향이 하위 계층에 전달되고 하위 계층에서는 그 영향을 충분히 상쇄시킬 수 없는 계층형의 특성이 잔존하기 때문에 국부 최소 문제를 근본적으로 해결할 수는 없었다. 향후, 이러한 문제들에 효과적으로 대응하기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] Borke Furht, Joshua Greenberg, Raymond Westwater, 'Motion Estimation Algorithms for Video Compression', Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [2] Guido M. Schuster, Aggelos K. Katsaggelos, 'Rate-Distortion Based Video Compression', Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [3] K. R. Rao, J. J. Hwang, 'Techniques and Standards for Image, Video, and Audio Coding', Prentice Hall, 1996.
- [4] Iain E. G. Richardson, 'H.264 and MPEG-4 Video Compression', Wiley, 2003.
- [5] Fernando Pereira and Touradj Ebrahimi, 'The Mpeg-4 Book', Prentice Hall, 2002.
- [6] J. Y. Tham, S. Ranganath, M. Ranganath, and A. A. Kassim, "A Novel Unrestricted Center-biased Diamond Search Algorithm for Block Motion Estimation," *IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 8, pp. 369-377, Aug. 1998.
- [7] Oscar. T.-C. Chen, "Motion Estimation Using a One-dimensional Gradient Descent Search," *IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 10, pp.608-616, Jun. 2000.
- [8] S. Panchanathan, E. Chan and X. Wang, "Fast Multiresolution Motion Estimation Scheme for a Wavelet Transform Video Coder," *SPIE*, vol. 2308, pp. 674-681, 1994.
- [9] 김성만, 이규원, 정학진, 박규태, "웨이브렛 변환 영역에서의 2 단계 가변 블록 다해상도 움직임 추정", *한국통신학회 논문지*, vol. 22, no. 7, pp. 1487-1504, 1997.
- [10] 박노윤, 황병원, "카메라 패닝 보상 기반 계층적 블록 정합 알고리즘", *정보처리학회논문지*, 제6권, 제8호, pp. 2271- 2280, 1999. 8.
- [11] C. Zhu, X. Lin, and L. P. Chau, "Hexagon-based Search Pattern for Fast Block Motion Estimation", *IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol.* vol. 12, pp. 349-355, May 2002.
- [12] Z. Guanfeng, L. Guizhong and S. Rui, "A Modified Hexagon-Based Search Algorithm for Block Motion Estimation", *Proceedings of the 2003 International Conference on Neural Networks and Signal Processing*, vol. 2, pp. 1205-1208, Dec. 2003.
- [13] C. Zhu, X. Lin, L. P. Chau, "An Enhanced Hexagonal Search Algorithm for Block Motion Estimation", *Proceedings of the 2003 International Symposium on Circuits and Systems(ISCAS '03)*, vol. 2, pp. II-392-II-395, May 2003.
- [14] 박인영, 남현우, 위영철, 김하진, "십자와 육각패턴을 이용한 고속 블록 정합 동작 예측 기법", *정보처리학회논문지B*, 제10권, 제7호, pp. 811-814, 2003. 12
- [15] 전병태, 김병찬, "고속 움직임 추정을 위한 적응형 육각 탐색 방법", *한국통신학회 논문지*, 제27권, 제7A호, pp. 828-835, 2004. 7.
- [16] Ingrid Daubechies, 'Ten Lectures on Wavelets,' Society for Industrial and Applied Mathematics, pp. 10-16, 1992.