

부화소 움직임 추정을 위한 고속 탐색 기법

A Fast Search Algorithm for Sub-Pixel Motion Estimation

박동균*, 조성현**, 조효문**, 이종화**

Dong-Kyun Park*, Seong-Hyeon Jo**, Hyo-Moon Cho**, Jong-Hwa Lee**

Abstract – The motion estimation is the most important technique in the image compression of the video standards. In the case of next generation standards in the video codec as H.264, a high compression-efficiency can be also obtained by using a motion compensation. To obtain the accurate motion search, a motion estimation should be achieved up to 1/2 pixel and 1/4 pixel units. To do this, the computational complexity is increased although the image compression rate is increased. Therefore, in this paper, we propose the advanced sub-pixel block matching algorithm to reduce the computational complexity by using a statistical characteristics of SAD(Sum of Absolute Difference). Generally, the probability of the minimum SAD values is high when searching point is in the distance 1 from the reference point. Thus, we reduced the searching area and then we can overcome the computational complexity problem. The main concept of proposed algorithm, which based on TSS(Three Step Search) method, first we find three minimum SAD points which is in integer distance unit, and then, in second step, the optimal point is in 1/2 pixel unit either between the most minimum SAD value point and the second minimum SAD point or between the most minimum SAD value point and the third minimum SAD point. In third step, after finding the smallest SAD value between two SAD values on 1/2 pixel unit, the final optimized point is between the most minimum SAD value and the result value of the third step, in 1/2 pixel unit i.e., 1/4 pixel unit in totally. The conventional TSS method needs an eight search points in the sub-pixel steps in 1/2 pixel unit and also an eight search points in 1/4 pixel, to detect the optimal point. However, in proposed algorithm, only total five search points are needed. In the result, 23 % improvement of processing speed is obtained.

Key Words : 'H.264', 'SAD', 'motion estimation', 'search algorithm', 'sub-pixel'

1. 장 서론

H.264 비디오 표준은 현재, MPEG-2 및 MPEG-4를 대체하는 새로운 비디오 표준으로서, 전 세계적으로 신 개념 멀티미디어 서비스의 기본 기술로 채택이 유력시된다. 한국에서는 DMB 서비스를 위한 비디오 코덱으로, 미국 및 유럽 등에서는 차세대 HD서비스를 위한 비디오 코덱으로 받아들여지고 있어 HD급 H.264 시스템 기술경쟁이 날로 치열해지고 있다.[4]

일반적으로 영상 압축방법은 시간적, 공간적, 그리고 통계적 중복성을 제거하여 구현되고 있으며 H.264는 기존의 코덱보다 적은 비트로 좋은 화질을 제공하는 장점을 가지고, 연산 양의 폭증한다는 단점을 가지고 있다. 따라서 실시간 부호기 등 빠른 압축 처리시간이 요구되는 장치 구현 시, 연산 시간을 줄이기 위한 여러 가지 고속 알고리즘들이 요구되고 있다. 특히 움직임 탐색 시에 소요되는 연산은 H.264 압축 알고리즘의 핵심 부분으로 이에 대한 고속 알고리즘의 중요

저자 소개

- * 박동균 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학과
- ** 조성현 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학과
- ** 조효문 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학과
- ** 이종화 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학과

성이 날로 증가되고 있는 상황이다.

움직임 탐색은, 참조 프레임에서 탐색 영역 내의 모든 탐색 점에서 탐색을 행하여 움직임 벡터를 찾는 전역 탐색 알고리즘(Full Search Block Matching Algorithm)을 사용하면 고정밀도의 영상을 구현할 수 있지만 처리시간과 연산 양이 늘어나는 단점이 있다. 이를 개선하기 위해, 인간 시각 체계의 색체 민감도가 문화되는 특징을 이용하여, 비슷한 화질의 영상을 가지면서도 비슷한 영역 내의 탐색 점에서만 탐색을 행하는 고속 탐색 알고리즘(Fast Search Algorithm)이 주로 사용되고 있다.[1]

동영상에서 물체의 움직임은 샘플링 격자 간격의 정수 단위로만 일어나지 않기 때문에 정수 격자 단위의 움직임 벡터가 정확한 움직임 벡터가 아닐 수도 있다. MPEG-4에서는 1/2화소 단위의 움직임 추정알고리즘이 사용되었으나 H.264에서는 더욱 정확한 움직임 추정이 가능한 1/2화소 단위와 1/4화소 단위의 움직임 추정 알고리즘이 사용된다. 그 결과 기존의 H.263이나 MPEG-4 part 2와 같은 비디오 표준에 비하여 그 수행 횟수가 현격히 증가하였기 때문에 전체 움직임 탐색 연산량이 상대적으로 많은 비중을 차지한다.

본 논문에서는 이러한 부화소 움직임 탐색의 연산량을 줄이기 위해 움직임 추정의 탐색 점을 줄인 더욱 효율적인 알고리즘을 제안한다. 또한 제안한 방법의 성능평가를 위해

JM11.0에서 실험한 결과와 비교하였다.[5]

2. 장 기존의 움직임 추정 기법

2.1 절 오차 값과 오차 표면 특성

움직임 추정 과정에서 블록 단위당 움직임 벡터를 구할 때 가장 비슷한 블록을 찾는 오차 추정 값으로 연산 과정에서 곱셈이 필요 없고 계산이 간단한 SAD가 주로 사용된다.

$$SAD = \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{N-1} |c_{ij} - r_{ij}| \quad (1)$$

식(1)에서 NXN은 블록 사이즈, c 와 r 는 각각 현재프레임과 참조 프레임의 (i, j) 위치의 영상신호 샘플을 의미한다. 정수 화소에서 찾아진 결과의 거리 1의 화소 내에서 부 화소의 휘도는 식(2)와 같이 Bilinear Interpolation 기법을 이용하여 얻어진다.

$$\begin{aligned} I(x_s, y_s) &= I(x, y)(x+1-x_s)(y+1-y_s) \\ &+ I(x+1, y)(x_s-x)(y+1-y_s) \\ &+ I(x, y+1)(x+1-x_s)(y_s-y) \\ &+ I(x+1, y+1)(x_s-x)(y_s-y) \end{aligned} \quad (2)$$

$I(x, y)$ 는 (x, y) 의 정수 화소 점에서의 휘도 (x_s, y_s) 는 부 화소의 위치이다.

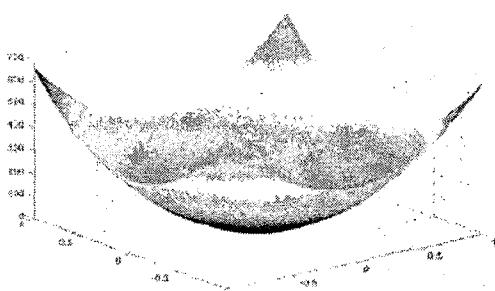


그림 1. 일반적인 SAD 오차표면 특성[3]

그림 1은 식(2)를 이용하여 정수화소 단위에서 찾아진 최소 SAD를 갖는 위치에서 ±1내에 있는 부 화소단위에서의 SAD 오차 값을 표현한 그래프이다. 그림 1과 같은 SAD 오차 표면은 표1에서의 실험값을 통해 나타날 확률이 높음을 알 수 있다. 그림 1을 통해 정수 배 화소 단위에서 찾아진 SAD 값을 중심으로 ±1내의 8점은 더 큰 값을 가지며, 이 범위에서 부 화소 단위의 움직임 벡터를 포함한다는 가정을 할 수 있다.[3]

표 1에서는 몇 가지 시퀀스의 SAD 오차 표면 특성을 나타낸다. 실험 결과는 표에서와 같이 96% 이상이 가장 작은 SAD값을 기준으로 주변의 SAD값들이 포물선 모양의 분포를 나타내었다.

표 1. 정수화소 단위 위치의 ±1내에 있는 이웃화소들의 SAD 분포 통계

Sequence	Number of frames	Number of blocks	Number of single valley blocks	Ratio
Claire	494	48807	47140	96.58%
News	300	29601	28908	97.66%
Salesman	449	44352	44106	99.45%
Trevor	150	14751	14199	96.26%

2.2 절 일반적인 움직임 추정 기법

일반적인 움직임 추정에서는 전역 탐색방법(FS)이 사용된다. FS는 $(2R+1)^2$ 개의 후보를 모두 탐색하는 알고리즘이다. FS방법은 탐색범위 내의 모든 위치를 탐색하기 때문에 가장 최적의 움직임 벡터를 찾을 수 있으나 많은 계산량이 요구되어 실시간 동영상 압축 시스템에 적용하기에는 문제가 있다. 따라서 이를 개선하기 위해 많은 고속 알고리즘이 제안되고 있다.

이 중 가장 널리 쓰이고 있는 방법 중의 하나인 Three Step Search(TSS) 방법은 탐색범위(R) ±7에서 탐색 포인트 간격이 첫째, 둘째, 셋째 단계에서 각각 4, 2, 1인 경우, 이 알고리즘에서 탐색 포인트 수는 $9 + 8 + 8 = 25$ 개이고, 225개의 포인트를 탐색하는 FS와 비교하였을 때 약 9배의 계산량 감소를 얻을 수 있다. New Three Step Search(NTSS) 방법은 중앙에 치우친 분포를 활용하여 TSS방법을 개선하였다. 작은 MV에 적응하기 위해 TSS 방법에서 탐색범위의 중앙을 둘러싼 8포인트를 포함하여 탐색하였다. 이 추가된 8개의 포인트를 탐색하는 경우 탐색 포인트 측면에서 기존의 TSS방법의 25개보다 적은 18개의 탐색 포인트만으로도 탐색을 마칠 수 있다. 따라서 TSS 방법과 유사한 성능을 얻으며 더 적은 탐색 포인트를 사용하였다.

3. 장 제안된 알고리즘

본 논문에서는 6-tap FIR 필터로 1/2 화소를 보간 하는 H.264의 특성에서 보간 하려는 화소 양 옆의 점이 가장 큰 영향을 미친다는 것을 이용하여 SAD가 가장 작은 위치에서 SAD가 두 번째로 작은 위치와 SAD가 세 번째로 작은 위치 사이의 1/2 화소와 1/4 화소에서의 움직임 추정을 제안한다.[2]

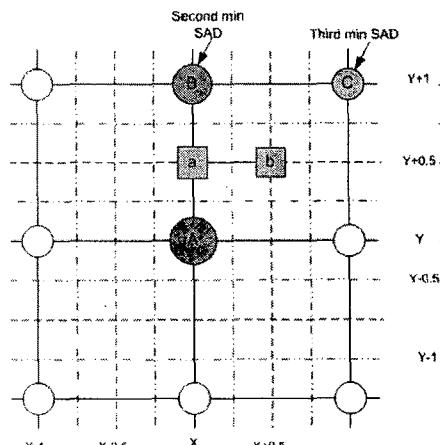


그림 3. 제안한 1/2화소 단위에서의 움직임 추정

(x, y) 점에서 SAD 값이 최소일 경우 1/2 화소 단위의 움직임 벡터는 다음과 같이 구한다.

단계 1. 정수 화소 단위에서 SAD가 가장 작은 점 (x, y) 를 구하고 ±1내의 이웃하고 있는 정수화소 점에서 두 번째로 작은 SAD와 세 번째로 작은 SAD점을 찾는다.

단계 2. SAD가 가장 작은 점을 기준으로 두 번째 작은 SAD 점과 세 번째 작은 SAD 점 사이의 1/2 화소 단위의 SAD 점을 찾는다.

다음과 같은 1/2화소 단위의 탐색 점은 최소 SAD에서 두 번째와 세 번째 작은 SAD 방향으로 움직임 추정이 이루어지므로 2개의 탐

색 점으로도 충분하다.

또한 1/2화소 단위의 탐색 점을 이용하여 그림 4와 같은 1/4화소 단위 탐색 점을 구할 수 있다.

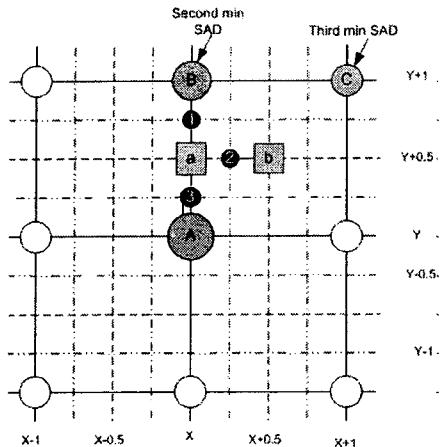


그림 4. 제안한 1/4화소 단위에서의 움직임 추정

1/2화소 단위에서 찾아진 두 개의 점으로 그림 4에서와 같이 1/4 화소 단위의 SAD 값을 찾는다. 두 개의 1/2화소 탐색점 중 a가 더 작은 값의 SAD라고 가정할 경우 다음의 수식을 적용하여 가장 최적의 움직임 추정 값을 찾는다. 또한 계산 도중 최소 SAD 값을 넘는 값이 나올 때는 연산을 중지함으로써 움직임 추정 과정의 효율을 높인다.

$$\begin{aligned} 1 &= \partial(a+B)/2 \\ 2 &= \partial(a+b)/2 \\ 3 &= \partial(a+A)/2 \end{aligned} \quad (3)$$

그리므로 기존의 방법이 1/2 화소와 1/4 화소 단위에서 각각 8개의 총 16개의 점을 탐색하던 것을 1/2화소에서 2개 1/4화소에서 3 개의 탐색으로 줄여서 움직임 추정 과정에서의 연산의 복잡도를 줄이고, 처리 시간을 빠르게 하는 장점을 가지게 하였다.

4. 장 실험 결과

테스트 시퀀스는 foreman, akiyo, news 등과 같이 움직임이 적은 시퀀스들과 table tennis, mobile 등과 같이 평형이동이 많고 오브젝트들의 움직임이 많은 시퀀스들을 사용하였고, 시퀀스의 크기는 QCIF이며, 탐색영역은 20을 사용하였다.

표 2. JM과 제안한 알고리즘과의 성능비교

	Algorithm	PSNR (dB)	Bit-rate (Kbit/s)	(A)	(B)
foreman	JM 11.0	38.7	85.2	48.2	7.68
	Proposed	38.4	84.5	36.1	4.21
akiyo	JM 11.0	40.5	44.4	44.2	7.91
	Proposed	40.1	43.3	33.9	4.40
news	JM 11.0	40.2	87.8	46.9	8.12
	Proposed	40.0	86.3	38.1	4.45
table tennis	JM 11.0	39.2	87.8	47.8	8.49
	Proposed	38.1	86.3	37.0	4.82
mobile	JM 11.0	38.2	105.1	49.9	8.52
	Proposed	37.9	107.9	37.9	4.55

(A) : Encoder processing time (sec)

(B) : Sub-pixel processing time (sec)

실험은 JM11.0 오픈 소스를 이용하여 구현하였고 그 결과는 표 2 와 같다. 정수화소에는 JM11.0에 구현된 고속 탐색 알고리즘을 그대로 사용하였고, 1/2와 1/4화소 단위에서 탐색 점을 줄이는 제안한 방법과 기존의 위치에서 전부 탐색하는 방법을 비교하여 그 결과를 정리하였다. 제안한 알고리즘은 기존의 알고리즘과 비교하여 화질을 판단할 수 있는 PSNR이 거의 같은 성능을 구현한다고 볼 수 있다.

5. 장 결론

본 논문에서 압축효율이 우수한 차세대 영상압축 코덱인 H.264 인코더에서 주된 연산을 차지하는 움직임 추정과정의 효율적인 처리가 가능하도록 낮은 복잡도의 부 화소 단위에서 움직임 추정 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 SAD의 오차 표면 특성과 화소 보간 특성을 이용하여 부 화소 단위에서의 오차 값이 작은 방향을 예측하여 움직임 벡터를 찾는 방법이다. SAD값의 차이에 의하여 예측된 방향으로만 탐색하여 기존의 부 화소에서 총 16개 탐색하던 방법에서 탐색 점을 1/2화소 2개 1/4화소 3개로 대폭 줄일 수 있었다. 제안한 방법으로 실현한 결과 기존의 JM 11.0의 성능과 비교해 볼 때 인코더 처리 과정에서 약 23%의 연산 시간 감소가 있었고, 부 화소 단위의 움직임 추정에서는 약 52%의 감소를 확인할 수 있었다. 따라서 제안한 방법의 움직임 추정 기법이 효율성을 입증할 수 있었다.

감사의 글

“이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원과 IT-SoC 실험프로젝트의 지원을 받아 수행된 연구임” (KRF-2006-511-D00292)

참 고 문 헌

- [1] Cheng Du, Yun He, and Junli Zheng, PPHS: A Parabolic Prediction-Based, Fast Half-Pixel Search Algorithm for Very Low Bit-Rate Moving-Picture Coding", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 13, No.6, June 2003.
- [2] Bo Zhao and Jian Chen, "A Fast Two-Step Search Algorithm for Half-Pixel Motion Estimation", Dept. of Electronic Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China
- [3] P. Hosur and K. Ma, "Motion vector field adaptive fast motion estimation," Second International Conference on Information, Communications and Signal Processing (ICICS '99), Singapore, 7-10, December
- [4] Telecommunication Standardization Sector (ITU-T), International Telecommunication Union
- [5] Joint Video Team(JVT), International Telecommunication Union
- [6] A.M. Tekalp, Digital Video Processing, Prentice Hall. 1995,
- [7] H. M. Wong, O. C. Au, J. Huang, S. Zhang and W. Z. Yan, "Sub-Optimal Quarter- Pixel Inter-Prediction Algorithm(SQIA)," Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2005. Proceedings.(ICASSP '05). IEEE International Conference on Volume 2, pp. 921-924, March 18-23, 2005.
- [8] <http://iphome.hhi.de/>