

논문 2004-41SP-2-8

움직임 모델링과 해석을 통한 고속 블록정합 움직임 예측 방법

(A Fast Block-Matching Motion Estimation Algorithm with Motion Modeling and Motion Analysis)

임 동근*, 호 요 성**

(Dong-Keun Lim and Yo-Sung Ho)

요 약

본 논문에서는 블록정합 알고리즘을 영상 블록들의 상관도 함수로 모델링하여, 고속 블록정합 방법을 위한 탐색 패턴을 유도하였으며, 이는 고속 블록정합 방법에서 주로 사용되는 다이아몬드 형태의 탐색 패턴에 대한 이론적인 기반을 제공한다. 이와 더불어, 능동적인 탐색 패턴과 물체의 움직임에 따른 통계적인 특성을 사용하여 새로운 고속 블록정합 움직임 예측방법을 제안하였다. 적절한 움직임 탐색 패턴을 얻기 위해 움직임 벡터와 영상간 블록들의 차이값 사이의 통계적인 관계를 이용하였다. 제안한 방법을 움직임 탐색 패턴을 능동적으로 변화시키면서 다른 고속 블록정합 방법들과 비교해 보면, 요구되는 탐색점의 개수를 감소시키면서 움직임 예측성능을 향상됨을 확인할 수 있었다.

Abstract

By modeling the block matching algorithm as a function of the correlation of image blocks, we derive search patterns for fast block matching motion estimation. The proposed approach provides an analytical support for the diamond-shape search pattern, which is widely used in fast block matching algorithms. We also propose a new fast motion estimation algorithm using adaptive search patterns and statistical properties of the object displacement. In order to select an appropriate search pattern, we exploit the relationship between the motion vector and the block differences. By changing the search pattern adaptively, we improve motion prediction accuracy while reducing required computational complexity compared to other fast block matching algorithms.

Keywords: Motion Modeling, Diamond Search Pattern, Fast Block-Matching Motion Estimation

I. 서 론

최근 무선 인터넷을 통한 영상전화와 같은 실시간 멀티미디어 서비스에 관심이 고조되고 있다. 이러한 서비스를 위해 만들어진 여러 영상 부호화 표준에서는 물체의 움직임을 이용하기 위해 움직임 예측 방법을 사용한다. 움직임 예측은 여러 영상 부호화 방법과 표준에서 움직임 정보를 구하는 방법으로 많이 사용되고 있으며, 영상 데이터 압축을 위한 중요한 기술 중의 하나이다. 움직임 예측 방법 중에서 블록정합 방법은 움직임 벡터

를 구하기 위해 일반적인 영상 부호화 표준에 적용된 기술이다. 블록정합 방법들 중에서 전역 탐색법(full search)은 움직임 벡터를 구하기 위해 탐색 영역(search range) 안에서 모든 위치의 후보점들에서 정합기준값(matching criterion)을 검사한다. 따라서, 전역 탐색법은 최적의 예측성능을 가지지만, 많은 계산량을 요구한다. 이 문제를 해결하려고 고속 블록정합 방법들이 개발되었다. 고속 블록정합 방법들은 복원 화질과 계산량의 관점에서 볼 때, 적절한 선택을 하기 위하여 경험적인 방법(heuristic)을 사용한다.

본 논문에서는 영상 블록들간의 상관도(correlation)에 기반하여 블록정합 방법을 해석하여 적절한 형태의 탐색 패턴을 유도하였다. 유도된 탐색 패턴은 이미 다른 고속 블록정합 방법들에서 사용하는 탐색 패턴들에 대한 이론적인 분석 방법을 제공하였다. 사각형의 블록을 사용한 블록정합 방법의 경우에 다이아몬드 형태의

* 정회원, 삼성전자주식회사

(Samsung Electronics Co., Ltd.)

** 정회원, 광주과학기술원 정보통신공학과

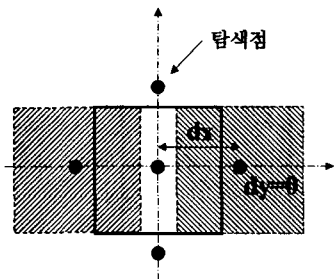
(Dept. of Information and Communications, Kwangju Institute of Science and Technology)

접수일자: 2003년7월1일, 수정완료일: 2004년3월1일

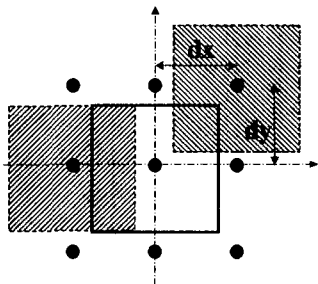
탐색 패턴이 최적임을 보였다. 또한, 물체의 움직임과 영상간 블록들의 차이와의 연관성을 이용하여 능동적인 움직임에 따라서 탐색 패턴과 탐색 방법을 변화시켰다. 제안된 알고리즘이 효과적인 움직임 예측을 수행함을 실험을 통하여 입증하였다.

II. 최적의 탐색 패턴

고속 블록정합 방법에서 탐색 패턴의 모양과 크기는 움직임 예측의 수렴 속도와 예측 성능을 결정짓는 중요한 요소이다. 일반적으로 블록정합 방법에서는 현재 화면 위치의 블록과 이전 화면의 탐색 영역 내에 있는 후보 블록간의 오차를 정합기준에 따라서 계산한다. 이때, 고속 움직임 탐색 방법에서는 검사하는 후보 지점의 위치와 개수를 적절히 조절하여 움직임 예측의 정확도와 수렴 속도를 조절한다. 따라서, 후보 블록 위치인 탐색 점을 결정하는 방법은 고속 블록정합 방법의 성능을 결정짓는 매우 중요한 요소가 된다.



(a) 2차원 로그 탐색법 (TDL)



(b) 3단계 탐색법 (TSS)

그림 1. 고속 블록정합 방법에서의 탐색 패턴

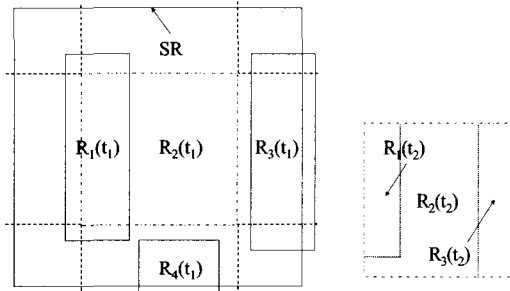
Fig. 1. Search Patterns in Fast Block-Matching Algorithms(TSS and TDL).

그림 1과 같이 3단계 탐색법^[1]의 탐색 패턴은 사각형 형태인 반면에 2차원 로그 탐색법^[1]의 탐색 패턴은 십자가 형태로 구성된다. 블록 매칭을 할 때, 이 탐색 패턴의 위치에 대하여 정합 기준값을 계산하게 된다. 그림 1에서 dx 와 dy 는 탐색 패턴내의 탐색점간의 거리로 3단계 탐색법과 2차원 로그 탐색법에 대해서 표 1과 같이 정리된다.

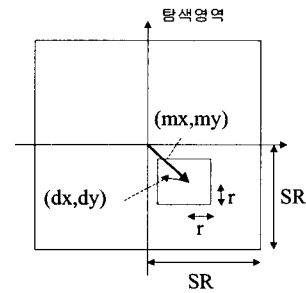
표 1. 탐색점들간의 간격

Table 1. Spaces between Search Points.

3단계 탐색법 (TSS)	1 단계	2 단계	3 단계
	4화소 간격	2화소 간격	1화소 간격
2차원 로그 탐색법 (TDL)	각 단계		최종 단계
	2화소 간격		1화소 간격



(a) $t=t_1$ (이전 화면) (b) $t=t_2$ (현재 화면)



(c) 블록 영역에 대한 정의값들

그림 2. 블록 영역의 정의

Fig. 2. Parameter Definition of Block Region.

만약, 블록이 비슷한 특성을 가지는 제안된 수의 영역들로 분리되어 있다면, 각 영역을 대표하는 고유값이 존재한다. 그림 2에서 $R_i(t_k)$ 은 시간 k 에서 영역 R_i 의 고유값을 의미한다. 현재 블록과 이전 화면에 있는 탐색 영역에서 (x, y) 위치에 있는 블록간의 정합기준값이라 할 때, $OA_{(x,y)}(Cost(R_i, R_j))$ 는 영역간의 오차 $Cost(R_i, R_j)$ 를 가진 겹친 영역의 오차가 된다.

최적의 정합 위치를 찾기 위해, 탐색영역 전체에 대해서 식 (1)과 같이 오차를 계산한다. 그 중에서 최소의 오차 위치를 찾고, 그 때의 위치를 식 (2)와 같이 움직임 벡터 $MV(mx, my)$ 로 정의한다.

$$TotalCost(x, y) = \sum_{\substack{R_i \in Region(t=1) \\ R_j \in Region(t=2)}} OA_{(x,y)}(Cost(R_i, R_j)) \quad (1)$$

$$MV(mx, my) = \min_{(x,y) \in SR} TotalCost(x, y) \quad (2)$$

간략한 해석을 위하여 단일한 값을 가진 블록이 그것과 상관도가 전혀 없는 배경상에서 움직인다고 가정하자. 이 가정에 의해서 상관도를 정합기준으로 사용할

수 있으며 다음과 같이 정의된다.

$$OA_{(x,y)}(Cos(R_i, R_j)) = \begin{cases} 0, & \text{if } i \neq j \\ 1, & \text{if } i = j \end{cases} \quad (3)$$

그림 2(c)에서 r은 움직임 벡터 (mx, my)를 둘러싼 조그마한 영역이다. (dx, dy)는 최적의 값을 가지는 탐색 지점과 현재 탐색 지점간의 화소 편차이다.

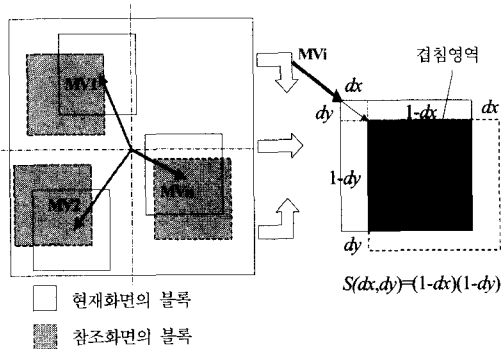


그림 3. 영상블록간의 상관도
Fig. 3. Correlation between Image Blocks.

비록 그림 2(c)의 (mx, my) 혹은 그림 3의 MV_i를 모를지라도, 탐색 패턴에 있는 검사 지점들을 (dx, dy)의 함수로서 표현되는 등가 상관도를 가지는 지점으로 계산함으로써 분석적인 탐색 패턴을 구할 수 있다.

분석적인 탐색 패턴을 유도하기 위하여, 상관도 S(dx, dy)는 그림 3의 접힌 영역의 넓이를 계산함으로써 다음과 같이 구해진다.

$$S(dx, dy) = (1 - |dx|)(1 - |dy|), \quad 0 \leq |dx|, |dy| \leq 1 \quad (4)$$

여기서 |dx|와 |dy|는 블록의 크기로 정규화시킨 값이다.

분석적인 탐색 패턴은 등가의 상관도값을 가지는 곡선 위의 점에서 정합기준값을 최적화시키는 후보점을 찾을 때 도움을 준다. 실제로 움직임 예측시에 움직임 벡터 MV(mx, my)를 구하기 위하여 움직임 벡터라고 예상되는 탐색패턴 중심의 주위 점들을 이용하였다. 이 점을 중심으로 할 때, 작은 오차를 얻을 수 있었다. 등가 상관도 곡선의 함수는 (dx, dy)로 다음과 같이 구해진다.

상관도 S(dx,dy)는 다음과 같이 대칭성을 가진다.

$$S(dx, dy) = S(dx, -dy) = S(-dx, dy) = S(-dx, -dy) \quad (5)$$

식 (4)를 전개하면, 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$|dx||dy| - |dx| - |dy| + 1 - S(dx, dy) = 0 \quad (6)$$

블록 안에 있는 dx와 dy의 관계를 다음과 같이 선형적인 관계로 정의하면,

$$dy = c \cdot dx, \quad c \in R \quad (7)$$

식 (6)과 식 (7)로부터, 식 (8)을 얻을 수 있다.

$$dx = \frac{(c+1) \pm \sqrt{(c-1)^2 + 4c \cdot S(dx, dy)}}{2c} \quad (8)$$

식 (7)과 식 (8)의 c와 S(dx,dy)값을 변화시킴으로써 그림 4와 같은 등가 상관도 곡선을 그릴 수 있다. 이 결과로 볼 때, 이론적인 탐색 패턴은 다이아몬드 형태로 구성됨을 알 수 있다.

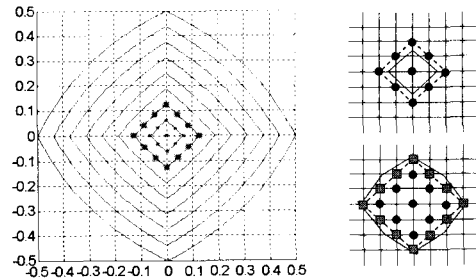


그림 4. 이론적인 탐색패턴
Fig. 4. Analytic Search Pattern.

이 연속적인 등가 상관도 곡선 위의 탐색점을 샘플링함으로써 적절한 탐색 패턴을 구할 수 있다. 다이아몬드의 모양의 탐색 패턴으로부터 다양한 크기와 여러 가지 형태의 탐색점을 취할 수 있다.

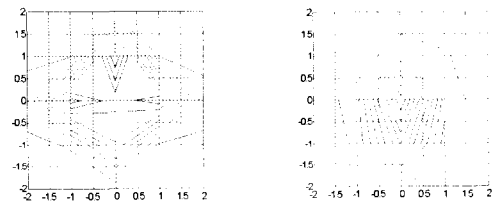


그림 5. 실제적인 움직임 분포
Fig. 5. Actual Motion Distribution.

그림 5는 움직임 벡터들을 실험적으로 구한 경우이다. 이론적인 탐색 패턴과 유사하게 움직임 벡터들이 다이아몬드 형태로 분포함을 볼 수 있다.

III. 적응적 움직임 탐색법

영상통신 신호의 대부분의 블록들은 움직임이 없거나 아주 작다고 볼 수 있다. 일반적으로 영상의 물체가 탐색 영역 내에서 큰 움직임을 가지면 큰 블록간 오차(Block Difference)를 발생시킨다고 볼 수 있다. 이러한 특성을 잘 이용하면 효과적인 움직임 탐색을 수행 할 수 있다.

그림 6에서 점들은 영상간에서 밝기값이 분명한 차이를 나타내는 화소들의 위치를 의미한다. 블록간의 차이를 구하기 위해 절대값 차이의 합(SAD; sum of absolute difference)을 사용하였다. 이때, 다음과 같은 예외적인 상황이 발생할 수 있다.

<경우 1> 실제적인 물체의 움직임은 크지만 블록간의 차이가 작을 경우이다. 이 상황은 비슷한 화소값을

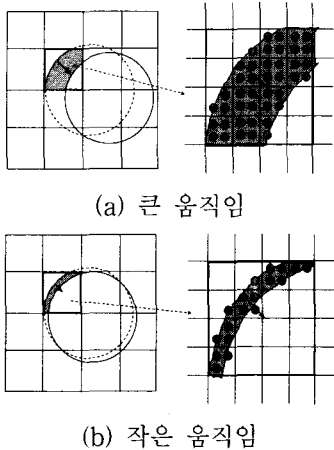


그림 6. 물체의 움직임과 블록간 차이
Fig. 6. Object Movement and Block Difference.

가지는 블록들이 비슷한 양의 움직임만큼 동일한 방향으로 움직였을 경우이다. 이 경우는 구경 문제^[1]를 발생시키며, 정확하게 문제를 해결하진 못한다. 블록간 오차가 작기 때문에 블록이 작은 움직임을 가진 경우로 설정하였다.

<경우 2> 실제적인 물체의 움직임은 작지만 블록간의 차이가 클 경우이다. 이 경우에는 배경과 움직이는 물체간의 화소값 차이가 클 경우에 발생한다. 이때는 블록간의 분명한 화소차이를 나타내는 화소의 수 (N_s)를 세어서 이 값이 작을 경우에는 블록이 작은 움직임을 가진다고 가정한다.

그림 7은 제안한 적응적 움직임 탐색 방법의 개략적인 흐름도이다. 여기서 N_s 는 블록간에서 분명한 차이를 나타내는 화소의 수이다. 경계값 $TH1$ 과 $TH2$ 는 실험적으로 구해진다.

만약 블록간 오차값이 크다면, 그림 8(a)와 같은 초기 탐색 패턴을 먼저 사용한다. 초기 탐색 패턴은 탐색 영역 내에서 균일한 간격의 격자들로 구성된다. 초기 탐색 패턴 내에서 최소 오차 위치가 구해지면 이 점을 중

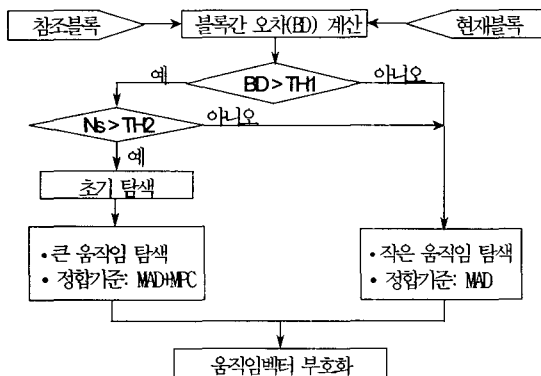


그림 7. 적응적 움직임 탐색 알고리즘
Fig. 7. Adaptive Motion Search Algorithm.

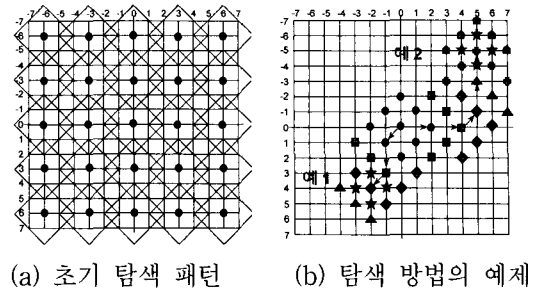


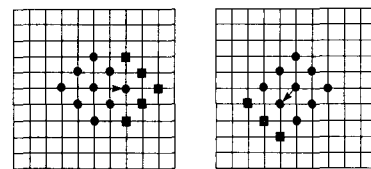
그림 8. 적응적 움직임 탐색 방법
Fig. 8. Adaptive Motion Search.

심으로 그림 8(b)와 같은 탐색이 시작된다. 그림 8(b)에서는 두 가지의 탐색 방법의 예제를 보여주고 있다. 가장 최근의 최소 오차 위치에 따라서 다음 단계에서는 3점 혹은 5점이 추가적으로 탐색되는 후보점이 된다. 그림 9(a)와 같이 이전의 후보점이 탐색 패턴의 대각선에 위치하면 3점이 추가되어 새로운 형태의 다이아몬드 탐색 패턴을 구성하며, 수평이나 수직 위치인 경우는 5점이 추가된다. 이 과정은 최소 오차 위치가 더 이상 변동하지 않을 때까지 수행된다. 최종적으로는 현재 최소 오차 위치를 중심으로 주변의 한 화소 간격의 위치들에서 정합 기준값을 계산한다.

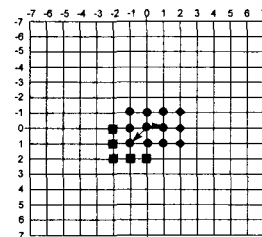
만약 블록간 오차값이 작다면 탐색 영역은 좀 더 제한된 영역으로 한정된다. 작은 움직임을 위한 탐색과정은 앞에서 설명한 큰 움직임을 위한 탐색 과정과 유사하며, 그림 9 (b)와 같이 3x3의 사각형 탐색 위치에서 시작한다.

IV. 실험결과

본 연구에서는 CIF의 크기를 가지는 영상에 대하여 실험을 수행했으며, 움직임 예측 성능은 식 (10)과 같이



(a) 큰 움직임에 대한 탐색 방법



(b) 작은 움직임에 대한 탐색 방법

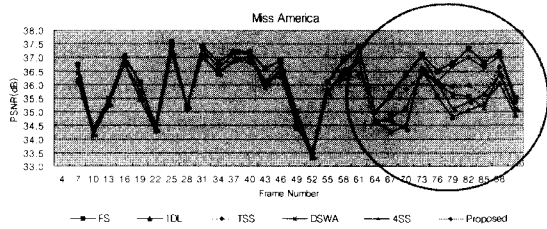
그림 9. 움직임 탐색방법
Fig. 9. Motion Search Method.

PSNR값을 사용하였다.

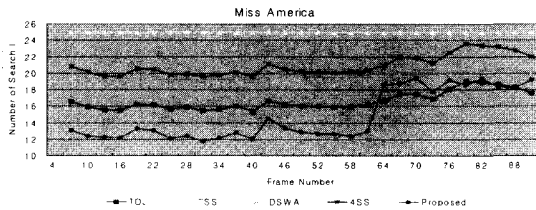
$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} (I_r(m, n) - I_r(m, n))^2 \quad (9)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \quad [dB] \quad (10)$$

여기서 CIF영상의 경우에 M=352, N=288이다. $I_r(m, n)$ 은 원 영상을 의미하고, $I_r(m, n)$ 은 복원된 영상을 의미한다.



(a) 복원 영상 성능 (PSNR)



(b) 탐색점의 수

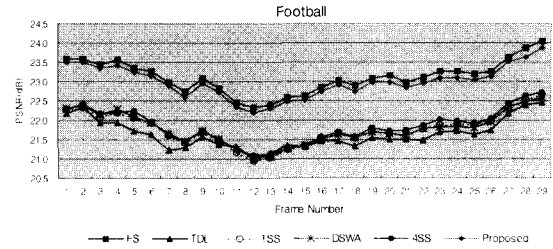
그림 10. 탐색 성능 비교 (MISS AMERICA)
Fig. 10. Performance Comparisons (MISA).

그림 10과 그림 11에서 제안한 방법(AMS)을 전역 탐색법(FS), 2차원 로그 탐색법(TDL)^[1], 3단계 탐색법(TSS)^[1], 4단계 탐색법(4SS)^[2], 동적 탐색윈도우 변환 탐색법(DSWA)^[3]과 비교하였다. 그림 10에 있는 MISS AMERICA (MISA) 영상번호 60에서 85의 위치에서 제안한 방법은 극명하게 다른 탐색법들보다 뛰어난 성능을 보임을 알 수 있다. 제안한 방법은 움직임이 많은 영상에 대하여 좀 더 효과적인 움직임 예측을 할 수 있는데, 그림 11의 FOOTBALL (FB) 영상에 대한 결과로부터 좀 더 분명하게 알 수 있다.

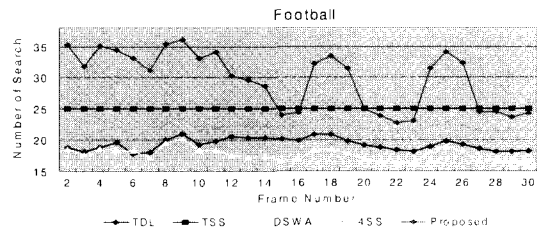
일반적인 고속 블록정합 방법들과의 결과가 표 2에 정리되었다. 여기서 우리는 제안한 적응적 움직임 탐색법(AMS)이 평균 탐색점(CP)의 수를 줄이면서도 효과적인 움직임 예측을 수행함을 볼 수 있다.

V. 결과의 해석

다이아몬드 탐색법^[4-3]과 영역 탐색법^[6-7]은 MPEG-4 표준에 채택된 고속 탐색법이다. 그 중에서 영역 탐색법은 다이아몬드 영역 탐색법과 원형 영역 탐색법이 있

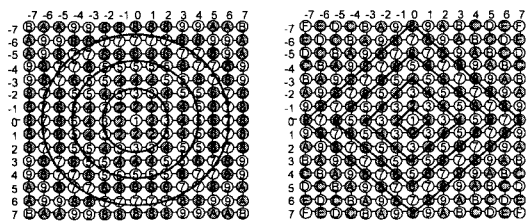


(a) 복원 영상 성능 (PSNR)



(b) 탐색점의 수

그림 11. 탐색 성능 비교 (FOOTBALL)
Fig. 11. Performance Comparisons (FB).



(a) 원형 영역 탐색법 (b) 다이아몬드 영역 탐색법

그림 12. 영역 탐색법에서의 탐색 패턴
Fig. 12. Search Pattern in Zonal Search.

표 2. 블록정합 방법들의 평균 성능 비교
Table 2. Average Performance of Block-Matching Algorithms.

탐색방법	PSNR(dB)		평균 탐색점수	
	MISA	FB	MISA	FB
전역탐색법(FS)	36.29	23.12	225.0	225.0
3단계탐색법 (TSS)	35.78	21.77	25.0	25.0
4단계탐색법 (4SS)	35.81	21.84	20.9	21.9
2차원로그탐색법 (TDL)	35.62	21.63	16.6	19.3
동적 탐색법 (DSWA)	35.77	21.78	19.8	17.8
적응적 움직임 탐색법(AMS)	36.17	22.99	14.8	29.7

으며 탐색 패턴은 그림 12와 같다.

그림 4에서 탐색 영역의 크기를 ±7로 제한시켰을 때 이론적인 탐색 패턴의 결과를 보였다. 이제 탐색 영역의 크기를 ±15까지로 확장시키면 그림 13과 같은 확장된 이론적인 탐색 패턴 결과를 얻을 수 있다.

그림에서 보듯이 다이아몬드 탐색 패턴은 원형 탐색 패턴으로 변하다가 최종적으로는 사각형 형태의 탐색 패턴이 되어감을 알 수 있다. 즉, 다이아몬드 탐색 패턴은 작은 움직임을 가지는 경우에 유리하고 큰 움직임을 가

지는 경우에는 원형이나 사각형 형태의 탐색 패턴이 유용함을 보여준다.

일반적으로 탐색 패턴이 고속 블록정합 방법에서 사용될 때에, 탐색 영역의 중심으로부터 같은 거리에 있는 탐색점에서 정합기준값을 먼저 계산한다. 그렇지만, 제안한 결과로부터 거리가 동일한 위치의 탐색점에서 정합기준값을 계산하는 것보다 상관도가 같은 지점에서의 정합기준값 계산이 선행되는 것이 더 중요함을 알 수 있다.

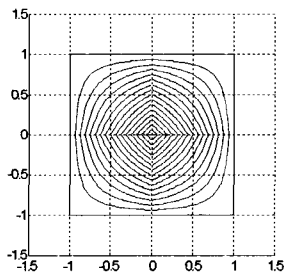


그림 13. 확장된 이론적인 탐색패턴
Fig. 13. Extended Analytic Search Pattern.

VI. 결 론

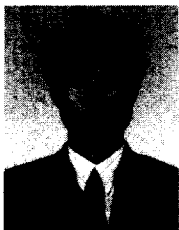
본 논문에서는 간략화시킨 블록정합 모델을 사용하여 블록정합 방법에서의 탐색 패턴을 해석하였다. 비록 이 방법이 간략화된 모델에 대하여 적용되었지만 기존에 사용되는 고속 블록정합 방법들의 특성을 설명할 수 있었다. 결과적으로 등가 상관도 곡선상의 탐색점들이 거리상으로 같은 지점에 위치한 탐색점과의 정확한 관련성은 없지만 등가 상관도의 고려가 거리에 대한 고려보다 우선되어야 함을 보였다. 유도된 탐색 패턴은 등가 상관도의 관점에서 최적의 탐색 패턴이다. 우리는 각 블록간의 블록 오차는 움직임 크기와 연관이 있음을

이용하여 적응적으로 탐색 방법과 탐색 패턴을 다르게 사용하는 효율적인 탐색 방법을 개발하였다. 제안한 방법은 다른 고속 움직임 탐색 방법과 비교하여 계산량을 줄이면서 예측 성능은 향상시켰다.

참 고 문 헌

- [1] H. Musmann, P. Pirsh, H. Grallert, "Advances in Picture Coding," Proc. IEEE, vol. 73, no. 4, pp. 523-548, April 1985.
- [2] L.M. Po, W.C. Ma, "A Novel Four-step Search Algorithm for Fast Block Motion Estimation," IEEE Trans. Circuit and Syst. for Video Tech., vol. 6, no. 3, pp. 313-317, June 1996.
- [3] L.W. Lee, J.F. Wang, J.Y. Lee, J.D. Shie, "Dynamic Search-window Adjustment and Interlaced Search for Block-matching Algorithm," IEEE Trans. Circuit and Syst. for Video Tech., vol. 3, no. 1, pp. 85-87, Jan. 1993.
- [4] J. Tham, S. Ranganath, M. Ranganath, A. Kassim, "A Novel Unrestricted Centerbiased Diamond Search Algorithm for Block Motion Estimation," IEEE Trans. Circuit and Syst. for Video Tech., vol. 8, pp. 369-377, 1998.
- [5] S. Zhu, K. Ma, "A New Diamond Search Algorithm for Fast Block Matching Motion Estimation," IEEE Trans. Image Processing, vol. 92, pp. 287-290, 2000.
- [6] A. Tourapis, O. Au, M. Liou, "New Results on Zonal based Motion Estimation Algorithms-Advanced Predictive Diamond Zonal Search," ISCAS, vol. 5 pp. 183-186, 2001.
- [7] T. Chiang, H. Sun, "Report of Ad hoc Group on Encoder Optimization," ISO/IEC /JTC1/SC29/WG 11 MPEG99/ M5528, 1999.

저 자 소 개



임 동 근(정회원)
1984년 전북대학교 전자공학과 학사
1997년 광주과학기술원 정보통신공학과 석사
2003년 광주과학기술원 정보통신공학과 박사
1993년 11월 ~ 1995년 2월 현대전자ASIC 연구소에서 근무

2003년 8월 ~ 현재 삼성전자 디지털미디어 연구소에서 디지털 TV용 VLSI 개발
<주관심분야: 영상신호처리, 동영상 부호화, 컴퓨터 비전, 고속 VLSI 회로설계>



호 요 성(정회원)
1981년 서울대학교 전자공학과 학사
1983년 서울대학교 전자공학과 석사
1989년 University of California, Santa Barbara 전기공학과 박사
1983년 3월 ~ 1995년 9월 한국전자통신연구소 선임연구원

1990년 ~ 1993년 5월 미국 Philips 연구소 Senior Research Member
1995년 9월 ~ 현재 광주과학기술원 정보통신공학과 정교수
<주관심분야: 디지털 신호처리, 영상신호처리 및 압축, 초저속 영상통신, 디지털 TV와 고선명 TV 방식, 삼차원 영상 모델링 및 부호화>