

2축 안정화 시스템에서 zero-crossing을 이용한 영상 안정화

Digital Image Stabilization in the 2-axes Stabilization System using Zero-crossing of the Rotational Motion

김 동 노, 김 기 흥, 정 태 연, 권 영 도, 김 덕 구

경북대학교 전자공학과(전화:(053)940-8625, 팩스:(053)950-5505, E-mail : noh317@palgong.knu.ac.kr)

Abstract : This paper proposes a simple digital image stabilization(DIS) algorithm for roll motion, which has not been compensated in the 2-axes mechanical stabilization system, using zero-crossing of the rotational motion vectors. The 2-axes stabilization system cannot stabilize rolled images, which causes the deteriorated performance of the object detection and recognition. In this paper, we propose the rotational motion stabilization algorithm which estimates and compensates global motion in terms of rotational center and rotational angle. Both the synthetic images with undesirable rotational disturbance and the real images from 2-axes stabilization system are used to evaluate the proposed algorithm. The results show that our proposed algorithm suppresses the undesirable rotational disturbance effectively.

Keywords : Digital image stabilization, Block matching algorithm, Rotational motion estimation.

1. 서론

이동 중인 차량에서 목표물을 정확히 조준 및 관측하기 위해서 안정화 장치 (stabilization system)가 있는 조준경 장치 (sight system)가 필수적으로 요구된다. 안정화 장치는 외부로부터 들어오는 엔진 진동 및 야지 지형의 변화에 따른 움직임을 제거시켜 주는 고가의 기구적 장치이다. 그러나 보통 차량에 탑재된 안정화 장치는 기구, 공각 및 비유적인 측면을 고려하여 2축 방향 (yaw, pitch)에 대해서만 움직임을 보상한다. 즉, 2축 안정화 장치에서 영상은 회전 (roll) 방향으로 보상이 되지 않아 회전 방향으로 흔들리는 경우가 생기므로 목표물의 식별이 용이하지 않다. 본 논문에서는 2축 안정화 장치에 회전축 방향으로 전자적으로 영상을 안정화시키는 기법을 제안하였다.

디지털 영상 안정화 (DIS)는 원하지 않는 카메라의 움직임에 의한 영상의 흔들림을 보상하여 안정된 연속적인 영상을 만들어 주는 기법이다. 현재까지 제안된 디지털 영상 안정화 기법은 국부 움직임 벡터를 통한 전체 움직임 추정 방법 [1], 에지의 패턴 정합기반 움직임 추정 방법 [2], 비트 플레인 정합에 의한 움직임 방법 [3],[4], 그리고 위상 상관 (phase correlation) 기반의 전체 움직임 추정 방법 [5]들로 구분된다. 하지만 기존 방법은 병진 운동에 대해서는 강한 특성을 보이지만, 회전 운동이 포함된 영상에 대해서는 성능 저하를 나타낸다.

Chang [6]은 광류 (optical flow)기법을 이용하여 영상의 병진 및 회전 움직임에 대한 안정화 방법을 제안하였다. 이 방법은 광류 기법에 의해 추정된 국부 움직임 벡터를 이용하여 회전의 중심과 각속도를 계산

하였다. 또한, 전체 프레임의 움직임은 계산된 회전 중심과 회전 각속도를 이용하여 결정한다. 하지만 Chang의 광류 기법에 의한 국부 움직임 추정과 회전 중심을 찾기 위해서는 많은 계산량을 가진다.

본 논문에서 제안한 방법은 추정된 국부 움직임 벡터로부터 zero-crossing 기법을 이용하여 계산된 회전의 중심과, 몇 개의 특정 움직임 벡터들로부터 계산된 회전 각속도로 전체 프레임의 움직임 벡터를 결정하고 보상한다. 제안한 방법의 성능을 평가하기 위해서, 인위적으로 회전시킨 영상과 회전 방향에 대하여 보상되지 않은 2축 안정화 시스템에서 얻은 실제 영상을 이용하여 컴퓨터 모의 실험을 하였다. 실험 결과, 제안한 영상 안정화 방법은 기존의 방법에 비하여 우수한 결과를 가졌다.

II. 영상의 회전에 대한 디지털 영상 안정화

1. 전체 프레임의 움직임 추정

본 논문에서는 영상의 회전에 대한 디지털 영상 안정화를 위하여 전체 프레임의 움직임을 회전의 중심과 회전 각속도로써 결정한다. 우선, 국부 움직임 벡터를 추정하고, 움직임 벡터들의 zero-crossing 좌표로부터 회전의 중심을 계산한다. 그리고 회전 중심의 수직 및 수평 좌표상의 특정 벡터들로부터 회전 각속도를 계산한다.

1.1 국부 움직임 벡터 추정

실제 움직임 정보 (true motion information)를 얻기 위해서는 일반적으로 매우 복잡하고 계산량이 많은 방법을 동원해야 한다. 움직임 추정 기법 중 수행 시간이 빠르고 하드웨어 구현이 용이한 블록 정합 알고

리듬 (BMA : Block Matching Algorithm)이 많이 사용되고 있으며, 기존의 압축 표준에서도 BMA를 사용하고 있다. 그러므로 본 논문에서도 움직임 추정 기법으로 BMA를 사용하였으며, 블록의 정합 오차를 구하기 위한 왜곡 척도 (distortion measure)로는 MSD (mean square difference)와 성능이 비슷하면서 이보다 계산량이 훨씬 적은 MAD (mean absolute difference)를 사용하였다. 블록 $B(k, l)$ 의 움직임 벡터 $V(k, l)$ 를 구하기 위한 블록의 MAD는 다음과 같다.

$$MAD_{(k, l)}(x, y) = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=0}^{N-1} |I_n(k+i, l+j) - I_{n-1}(k+x+i, l+y+j)| \quad (1)$$

식(1)을 이용하여 (k, l) 에서 블록의 움직임 벡터는

$$V(k, l) = \arg \min MAD_{(k, l)}(x, y) \quad (2)$$

와 같이 구한다.

BMA는 정합될 수 있는 모든 탐색점에 대하여 MAD를 구하고, 그 중 가장 작은 MAD 값을 갖는 탐색점 (x, y) 의 값을 움직임 벡터로 결정한다. 결국, BMA의 결과로 블록의 위치 (k, l) 에 따른 움직임 벡터 $V(k, l) = (u(k, l), v(k, l))$ 로 구성된 motion field를 얻을 수 있다. 모든 탐색점에 대하여 탐색을 행하여 정합 척도가 최적인 블록을 찾지 못하면 움직임 추정 오차 측면에서 최적인 움직임 벡터를 얻을 수 있지만 많은 계산량을 필요로 한다. 따라서 본 논문에서는 계산량을 줄이기 위해 영상의 움직임을 고려하여 탐색 영역을 제한하였다. 실제 영상에서 인접 픽셀간의 밝기 유사성으로 인하여 움직임 벡터의 잡음이 존재한다. 이러한 움직임 벡터의 잡음 효과를 줄이기 위하여 motion field에 중간값 여파기(median filter)를 적용하였다.

1.2 회전 중심 추정

현재 영상과 기준 영상 또는 이전 영상간의 블록 정합 후 중간값 여파기를 적용하여 얻어진 motion field $V(x, y) = (u(x, y), v(x, y))$ 의 각 블록에서의 움직임 벡터는 아래와 같다.

$$u(x, y) = \frac{dx}{dt}, \quad v(x, y) = \frac{dy}{dt} \quad (3)$$

회전 성분만 존재하는 영상의 움직임을 고려할 때, 회전의 중심에서는 움직임 벡터의 크기는 0이 된다. 또한 회전의 중심 좌표인 (x_0, y_0) 을 기점으로 상·하간 $u(x, y)$ 의 방향과 좌·우간 $v(x, y)$ 의 방향은 서로 반대가 된다. 본 논문에서는 그림 1에서와 같이 국부 움직임 벡터 추정 단계에서 얻은 motion field를 수평 벡터 성분인 $u(x, y)$ 와 수직 벡터 성분인 $v(x, y)$ 로 분리하였다. $u(x, y)$ 의 motion field와 $v(x, y)$ 의 motion

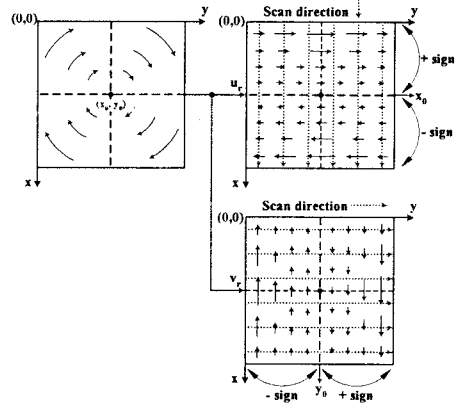


그림 1. 회전 중심 추정

field로부터 각각의 zero-crossing 좌표를 다음과 같이 검출한다.

$$X_0 = \{x_k | |u_1(x_k) - u_2(x_k)| > \max(|u_1(x_k)|, |u_2(x_k)|)\} \\ Y_0 = \{y_k | |v_1(y_k) - v_2(y_k)| > \max(|v_1(y_k)|, |v_2(y_k)|)\} \quad (4)$$

여기서 $u_1(x_k) = u(x_k + 1, y)$, $u_2(x_k) = u(x_k - 1, y)$ 이고 $v_1(y_k) = v(x, y_k + 1)$, $v_2(y_k) = v(x, y_k - 1)$ 이다.

회전의 중심 좌표 (x_0, y_0) 는 식(4)에서 검출된 X_0 와 Y_0 로부터 다음과 같이 결정된다.

$$x_0 = \frac{1}{N_x} \sum_{x_i \in X_0} x_i, \quad y_0 = \frac{1}{N_y} \sum_{y_j \in Y_0} y_j \quad (5)$$

여기서 N_x 와 N_y 는 식(4)에 의해 검출된 x_i 와 y_j 의 개수이다.

1.3 회전 각속도 추정

회전의 중심을 구한 뒤, 회전 각속도 w 는 최소 자승법 (least squares method)으로 계산할 수 있다.

그림 2에서와 같이 회전 중심의 y_0 축에 위치하는 움직임 벡터는 u 성분만 가지게 되고, x_0 축에 위치하는 움직임 벡터는 v 성분만 가지게 된다. 따라서 회전 각속도 w 를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$w = \frac{du}{dx} \quad \text{or} \quad \frac{dv}{dy} \quad (6)$$

여기서 dx , dy 는 회전의 중심 (x_0, y_0) 과의 거리이며, du , dv 는 해당 위치에서의 움직임 벡터 크기이다.

x_0 축과 y_0 축 상의 임의의 표본 벡터들과 식(6)으로부터 회전 각속도 w 를 최소 자승법으로 구할 수 있다. $2N$ 개의 표본 벡터들을 고려할 때 회전 각속도 w 는 다음과 같다.

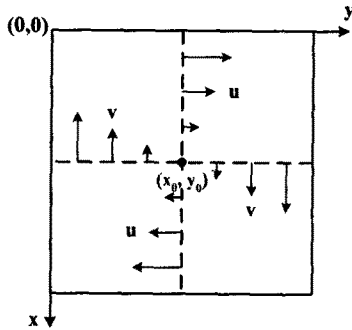


그림 2. 회전 각속도 추정을 위한 특징 벡터 추출

$$\begin{bmatrix} du_1 \\ du_2 \\ \vdots \\ du_N \\ dv_1 \\ dv_2 \\ \vdots \\ dv_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} dx_1 \\ dx_2 \\ \vdots \\ dx_N \\ dy_1 \\ dy_2 \\ \vdots \\ dy_N \end{bmatrix} w \quad (7)$$

식(7)은 행렬 벡터로써 $b = Aw$ 로 나타낼 수 있다. 따라서 회전 각속도 w 는 다음과 같이 최소 자승법으로 계산되어진다.

$$w = (A^T A)^{-1} A^T b \quad (8)$$

2. 움직임 보상

움직임 보상 방법에는 크게 두 가지 방법이 있다. 그 중 첫 번째는 연속적인 두 프레임을 사용하는 FFA (frame-to-frame algorithm)이고, 다른 방법은 기준 프레임 (reference frame)과 현재 프레임을 사용하는 FRA (frame-to-reference algorithm)이다.

영상의 움직임이 큰 경우 정확한 움직임 벡터를 얻기 힘들다. 따라서 본 논문에서는 FFA 방법으로 움직임 보상을 하였다. 회전 움직임의 보상을 위한 회전 전의 좌표와 회전 후의 좌표의 연관식은 아래와 같다.

$$\begin{pmatrix} x_{new} \\ y_{new} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos w & -\sin w \\ \sin w & \cos w \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{org} + c_x \\ y_{org} + c_y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c_x \\ c_y \end{pmatrix} \quad (9)$$

여기서 (x_{org}, y_{org}) 는 영상 회전 전의 좌표값을 나타내고, (x_{new}, y_{new}) 는 회전 후의 새로운 좌표값을 나타낸다. 식(9)에 의한 영상의 회전 움직임 보상을 위해서 역방향 매핑 과정을 이용하면 간단하게 구현을 할 수가 있다. 따라서 식(9)를 다음과 같이 변환하여 움직임 보상을 할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} x_{org} \\ y_{org} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos w & \sin w \\ -\sin w & \cos w \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{new} - c_x \\ y_{new} - c_y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c_x \\ c_y \end{pmatrix} \quad (10)$$

여기서 원 좌표값이 정수가 아닌 경우 이중 선형 보간 (bilinear interpolation) 과정을 통하여 밝기값을 계산하였다.

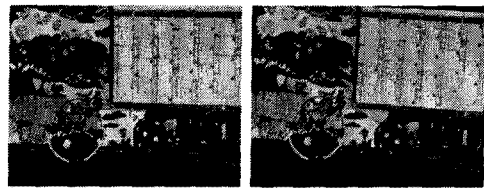
III. 실험결과

본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 한 프레임의 영상을 임의의 각도로 회전시킨 영상과 2축 안정화 시스템에서 영상의 회전이 보상되지 않은 실제 영상을 사용하였다. 영상 안정화의 성능 평가 기준으로는 PSNR (peak signal to noise ratio) 을 사용하였으며 식은 다음과 같다.

$$PSNR(I_r, I_c) = 10 \log \frac{255^2}{MSE(I_r, I_c)} \quad (11)$$

1. Synthetic Image

기존 방법과 제안한 방법의 성능 비교를 위하여 "mobile and calendar"의 한 프레임을 임의의 각도로 회전시켜 실험에 사용하였다. 실험 영상은 그림 3과 같으며, 블록 정합 기법을 이용하여 추정된 국부 움직임 벡터에 중간값 여파기를 적용한 결과는 그림 4와 같다. 인위적으로 회전시킨 영상에 대한 실험 결과는 표 1에 나타내었다.



(a)

(b)

그림 3. "mobile and calendar" 실험 영상
(a) 원 영상 (b) 회전 영상

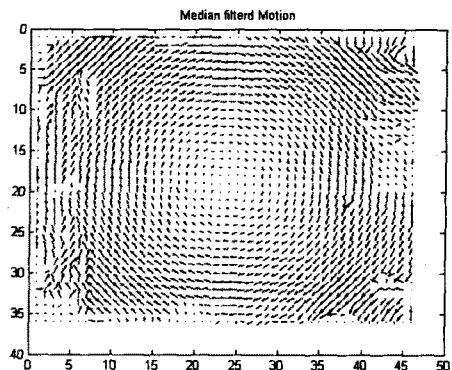


그림 4. Median filtered motion vectors

2. Real Image

실험에 사용된 영상은 시험대 위에 장착한 2축 안정화 장치로부터 얻었다. 그림 5와 같이 영상의 크기는 400×400 픽셀이며, 40 프레임은 실험에 사용하였다. 그림 6에서 제안한 방법의 성능을 Chang의 성능과 비교하여 PSNR로 나타내었고, 제안한 방법이 더욱 우수한 성능을 가짐을 확인하였다.

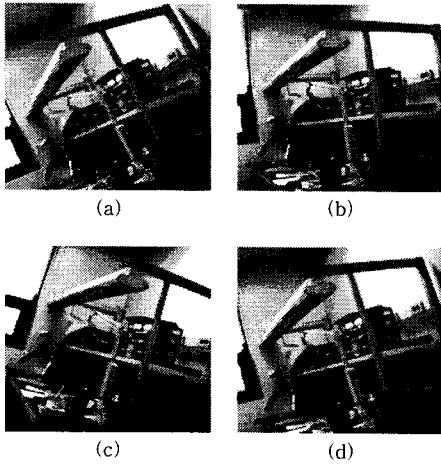


그림 5. Sample of real image. (a) frame 1. (b) frame 10. (c) frame 20. (d) frame 30.

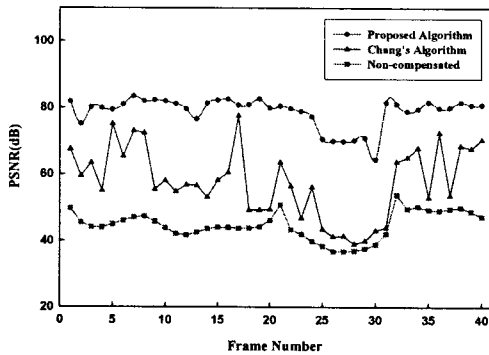


그림 6. Experimental result of PSNR.

표 1. 인위적 회전 영상에 대한 실험결과

rotational angle			rotation center			PSNR (dB)		
Exact value	Proposed algorithm	Chang's algorithm	Exact value	Proposed algorithm	Chang's algorithm	Non-compensated	Proposed algorithm	Chang's algorithm
-3 degree	-3.0064	-3.0927	(200, 256)	(198, 254)	(219, 200)	43.9121	78.0570	49.9308
-2 degree	-1.9938	-1.9533	(200, 256)	(198, 259)	(217, 253)	46.3257	78.0587	67.1092
-1.1 degree	-1.0935	-1.3027	(200, 256)	(200, 257)	(243, 258)	50.6846	78.9576	60.5561
1.1 degree	1.0931	1.3027	(200, 256)	(198, 254)	(240, 261)	50.6291	78.8918	61.1816
2 degree	1.9968	1.9529	(200, 256)	(200, 256)	(207, 245)	46.2108	78.3378	70.8034
3 degree	2.8897	3.0844	(200, 256)	(202, 254)	(197, 200)	43.7219	73.8380	51.1814

IV. 결론

본 논문은 2축 안정화 시스템에서 보상되지 않는 회전 방향 움직임에 대한 영상 안정화 기법을 제안하였다. 블록 정합 기법을 이용하여 예측된 국부 움직임 벡터의 zero-crossing 좌표로부터 회전 중심과 회전 각속도를 구하였다. 그리고 회전 중심과 회전 각속도로써 결정된 전체 움직임 벡터를 이중 선형 보간법으로 보상함으로써 회전 영상을 안정화시켰다. 인위적 회전 영상과 실제 영상에 대한 실험으로 제안한 방법의 우수한 안정화 성능을 확인하였다.

참고문헌

- [1] K. Uomori, A. Morimura, and H. Ishii, "Electronic image stabilization system for video cameras and VCRs," Journal of the Society of Motion Picture Television Engineers, vol. 101, pp. 66-75, 1992.
- [2] J. K. Paik, Y. C. Park, and D. W. Kim, "An adaptive motion decision system for digital image stabilizer based on edge pattern matching," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 38, pp. 607-615, 1992.
- [3] S. J. Ko, S. H. Lee, and K. H. Lee, "Digital image stabilizing algorithms based on bit-plane matching," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 44, pp. 617-622, 1998.
- [4] S. J. Ko, S. H. Lee, S. W. Jeon, and E. S. Kang, "Fast digital image stabilizer based on gray-coded bit-plane matching," IEEE Transactions on Consumer Electronics vol. 45, pp. 598-603, 1999.
- [5] S. Ertürk and T. J. Dennis, "Image sequence stabilization based on DFT filtering," IEE Proceedings on Image Vision and Signal Processing, vol. 127, pp. 95-102, 2000.
- [6] J. Y. Chang, W. F. Hu, M. H. Cheng, and G. S. Chang, "Digital image translational and rotational motion stabilization using optical flow technique," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 48, No. 1, pp. 108-155, 2002.