

# 회전 및 병진 흔들림 영상의 안정화 기법

## A Stabilization Method for Rotated and Translated Images

석 호 동, 유 준\*

(Ho-Dong Seok and Joon Lyou)

**Abstract :** This paper presents a rotational motion estimation and correction technique for digital image stabilization. An equivalent rotation model is derived so as to accommodate a combined rotational and the translational motion. Thanks to this simplification, the suggested estimation algorithm can directly find the rotational center using geometric characteristic of local motion vectors instead of using searching method. And we also present recursive version of frame to reference algorithm(FRA) for the real time implementation. The proposed DIS system does not require time consuming parameter searching process, while showing comparatively good performance compared with the previous ones. To show the effectiveness of the DIS scheme, the algorithm has been implemented on the DSP based hardware system and experimental results are also discussed.

**Keywords :** image stabilization, motion estimation, motion compensation, peak signal to noise ratio

### I. 서론

기동 플랫폼에 탑재된 영상센서를 활용하여 독립적으로 움직이는 물체를 탐지, 인식, 추적하고자 하는 분야에서 동적 영상해석 및 영상전시, 가시화 등을 위해서 필수적으로 선행되어야 될 사전준비작업이 영상 안정화이다. 또한, 무인차량 시스템을 원격 제어할 경우, 원격 조종자에게 흔들림이 제거된 안정된 영상을 제공하는 것은 필수적인 요소이며, 이동 차량과 독립적으로 움직이는 표적 추적 등을 위해서 영상센서 출력의 모션을 제거하면 배경화면이 고정되어 있는 정지 영상과 같게 되어 표적추적이 간단히 처리 될 수도 있다.

기존에 사용된 안정화 방식으로서는 관성센서와 구동 메카니즘을 결합한 기구적인 안정화 방식이 주류였으나 최근에 기구적 안정화 장치에 비해 가격이 저렴하고 형상을 최소화 할 수 있는 디지털 영상안정화 장치가 제안되고 있다. 디지털 영상안정화는 순수한 영상신호처리에 의한 움직임량 추정을 통하여 영상 재현영역을 재구성 함으로서 영상을 안정화 하는 기법이다.

디지털 영상 안정화는 원치 않는 카메라 움직임에 의해 발생하는 영상의 왜곡을 추정하여 제거하는 기법이다. 이 분야의 기존 연구로는 병진 움직임을 주로 다루고 있어[1-5] 회전 움직임이 주종을 이루는 경우에는 성능이 저하 되거나, 회전 움직임을 다루고 있다라도[6,7] 수평선과 같은 특징 점을 필요로 하거나 계산량이 많아 충분한 대역폭을 확보하기 어려운 등 제한사항을 가지고 있다. Chang[8]은 광류(optical flow) 기법을 이용하여 병진 및 회전 움직임을 추정할 수 있는 디지털 영상 안정화 기법을 제안하였다. 그러나 Chang의 알고리즘은 회전 중심을 구하기 위하여 부가적인 탐색 기법을 사용함으로써 과도한 연산 시간에 의해 실시간 적용에 제한이 따른다. 또한 [9,10]에서는 탐색기법을 적용하지 않는 영상안정화 기법을 제안하였으나 전차에 장착된 조준경과 같이 영

상의 병진 움직임이 거의 나타나지 않고 회전 움직임이 우세한 경우에만 적용할 수 있는 제한사항이 있었다. 본 논문에서는 회전 및 병진 흔들림 영상에 대한 디지털 영상안정화 기법을 제시한다. 움직임 추정에서는 회전과 병진 움직임을 하나의 등가 회전모델로 표현될 수 있음을 보이고 이 등가 회전모델을 기반으로 회전각도 및 회전중심을 추정하는 방법과 추정된 값을 기준으로 움직임 보상을 함으로서 회전과 병진 흔들림이 동시에 발생하는 경우에도 적용 가능한 기법임을 확인하였다. 제안된 기법은 움직임 추정에 과도한 연산 시간이 소요되는 탐색기법을 적용하지 않았음에도 실 영상 및 합성영상에 대한 실험결과 기존 연구결과보다 상대적으로 우수하였다.

### II. 디지털 영상안정화

디지털 영상안정화는 움직임 추정과 움직임 보상으로 나누어지며 움직임 추정은 카메라에서 획득된 연속된 영상에서 영상 각 화소의 움직임을 블록정합, 광류기법, 특징점 추출을 통해 추정하는 영상의 국부적 움직임 추정부와 모션모델을 기반으로 지역 움직임 벡터를 활용하여 영상전체의 움직임을 추정하는 영상 전체의 움직임 추정부로 구성된다. 움직임 보상은 광역 움직임 추정결과에 의거 카메라의 움직임에 의해 발생한 영상 변화를 제거하는 과정이다. 그림 1은 일반적인 영상안정화 장치의 구성을 나타낸다.

#### 1. 영상화소의 국부적 움직임 추정

영상의 움직임 크기는 영상 각화소의 국부적인 움직임량을 기반으로 구할 수 있는데, 국부적인 움직임 추정을 위해

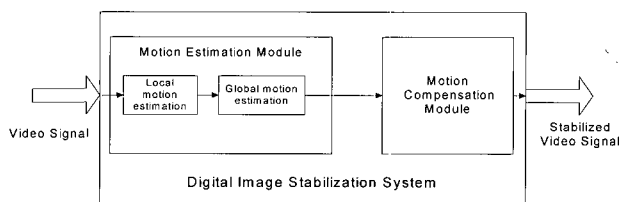


그림 1. 일반적인 디지털 영상안정화 구조.

Fig. 1. Digital image stabilization process.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 1. 9., 채택확정 : 2006. 3. 29.

석호동, 유준 : 충남대학교(hodong@cnu.ac.kr/jlyou@cnu.ac.kr)

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2003-000-10857-0) 지원으로 수행되었음.

서 본 연구에서는 블록 정합법을 사용하였다. 지역 움직임 추정 할 때 MAD(Minimum Mean Absolute Difference)를 이용하면 오차는 다음 식과 같이 정의 된다[9].

$$MAD(d_1, d_2) = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{(x,y) \in B} |s(x,y,k) - s(x+d_1, y+d_2, k+1)| \quad (1)$$

여기서 B는 정합대상 영상 블록이며,  $N_1, N_2$ 는 정합블록 B의 가로, 세로 크기를 나타낸다.  $s(x,y,k)$ 는 k번째 영상프레임에서  $(x,y)$  화소의 영상 밝기이며  $s(x+d_1, y+d_2, k+1)$ 은 k+1번째 영상프레임에서  $(x+d_1, y+d_2)$  위치 화소의 영상 밝기이다.

움직임 추정은 다음식에 의해 구해진다.

$$[\hat{d}_1, \hat{d}_2] = \arg \min_{(d_1, d_2)} MAD(d_1, d_2) \quad (2)$$

여기서  $\hat{d}_1, \hat{d}_2$ 은 화소의 움직임 벡터 추정값이다.

## 2. 영상전체의 움직임 추정

### 2.1 영상전체의 움직임 모델

연속된 영상 시퀀스가 임의의 회전중심  $(x_0, y_0)$ 에서 회전각도  $\theta$ 만큼 순수회전이 있는 경우 영상 프레임 간의 영상 각 화소의 움직임은 그림 2와 같다.

이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x^2 \\ y^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x^1 - x_0 \\ y^1 - y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서 순수 회전만 있는 경우 두 번째 영상의 화소  $(x^2, y^2)$ 는 첫 번째 영상의 화소  $(x^1, y^1)$ 와 정합된다. 만약 병진운동을 결합하면 (3)은 (4)과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} x^2 \\ y^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x^1 - x_0 \\ y^1 - y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d_x \\ d_y \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서  $d_x, d_y$ 는 영상 프레임간의 각각 x 축과 y 축 방향의 병진운동량을 나타낸다. 만약 회전각도가 작다고 가정하면 (4)는 다음과 같이 간략화 될 수 있다.

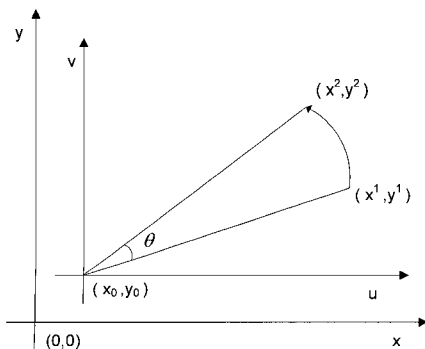


그림 2. 영상의 순수 회전시 화소의 움직임.  
Fig. 2. Movement of pixel point after pure rotational motion.

$$\begin{bmatrix} x^2 \\ y^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\theta \\ \theta & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x^1 - x_0 \\ y^1 - y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d_x \\ d_y \end{bmatrix} \quad (5)$$

5개의 미지수 ( $\theta, x_0, y_0, d_x, d_y$ )를 추정하기 위해 (5)를 사용하여 N개의 정합되는 영상화소의 국부적 움직임 벡터를 기준으로 2N개의 선형 방정식을  $\bar{b} = A\bar{x}$ 의 행렬형태로 만들면 다음 식과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} x_1^2 - x_1^1 \\ x_2^2 - x_2^1 \\ \vdots \\ x_N^2 - x_N^1 \\ y_1^2 - y_1^1 \\ y_2^2 - y_2^1 \\ \vdots \\ y_N^2 - y_N^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -y_1^1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ -y_2^1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -y_N^1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ x_1^1 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ x_2^1 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_N^1 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ K \\ L \\ d_x \\ d_y \end{bmatrix}, \bar{b} = A\bar{x} \quad (6)$$

여기서 K와 L은 각각  $x_0\theta, y_0\theta$ 을 치환한 값이다. (6)에서 행렬 A의 랭크가 3임으로 5개의 미지수를 직접 구할 수가 없다. 따라서 연속된 영상프레임간의 더 많은 정보가 필요로 하거나 새로운 방법으로 접근할 수밖에 없다. Chang은 회전과 병진 운동이 동시에 있는 경우에 대한 영상안정화 방법으로 탐색기법을 적용하였다. 먼저 탐색기법을 적용하여 회전중심을 추정하고 이를 기준으로 병진운동을 추정하였다. 그러나 이 방법은 몇 가지 제한사항이 있는데 탐색기법을 사용함으로써 과도한 연산시간에 의해 실시간 적용에 제한이 따르며, 더욱이 탐색영역을 이전 프레임에서 추정한 회전중심을 기준으로 설정함으로 첫 번째 영상의 경우 전체를 탐색해야 한다. 또한 현재 영상프레임에서 추정된 회전중심이 잡음에 의해 탐색영역 밖의 값으로 추정하는 경우에는 다음 영상 프레임부터 심각한 추정오차를 보이게 된다.

이에 본 연구에서는 이러한 제한 사항을 극복할 수 있는 새로운 기법을 제안하였다.

### 2.2 새로운 회전모델 제안

회전과 병진운동의 파라미터를 각각 추정하는 대신 회전운동과 병진운동을 모두 수용할 수 있는 하나의 등가 회전운동 모델을 제안한다. 회전운동과 병진운동을 추정할 수 있는 모션모델인 (4)를 변형하여 하나의 회전 모델을 다음과 같이 정의하자.

$$\begin{bmatrix} x^2 \\ y^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x^1 - \alpha \\ y^1 - \beta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} \quad (7)$$

(4)와 (7)로부터  $\alpha, \beta$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$\alpha = \{(1 - \cos \theta)(-\cos \theta \cdot x_0 + \sin \theta \cdot y_0 + x_0 + d_x) + \sin \theta(\sin \theta \cdot x_0 + \cos \theta \cdot y_0 - y_0 - d_y)\} / \{2(1 - \cos \theta)\} \quad (8a)$$

$$\beta = \frac{1}{1 - \cos \theta} [-\sin \theta \cdot x_0 - \cos \theta \cdot y_0 + y_0 + d_y + \sin \theta \{(1 - \cos \theta)(-\cos \theta \cdot x_0 + \sin \theta \cdot y_0 + x_0 + d_x) + \sin \theta(\sin \theta \cdot x_0 + \cos \theta \cdot y_0 - y_0 - d_y)\} / \{2(1 - \cos \theta)\}] \quad (8b)$$

여기서  $\theta \neq n \cdot \pi$  ( $n$ 은 자연수임).

(7)과 (8)로부터 회전과 병진운동이 모션이 하나의 회전모 델로 표현될 수 있음을 보였으며 이제 회전운동과 병진운동 이 동시에 발생하더라도 (8)을 이용하여 하나의 회전 운동으 로 간주하여 회전중심  $\alpha, \beta$ 와 회전각도  $\theta$ 를 추정함으로써 영상안정화를 간단히 구현할 수 있게 되었다. 또한, 순수 병진 움직임만 있을 때는 (8)의  $\alpha, \beta$  값이  $\infty$ 가 되므로 실제 적용 과정에서 회전중심추정결과가 일정한 값 이상인 경우 순수 병진 움직임으로 판단하여 안정화가 가능하다. 순수 병진 움직임 경우는 지역움직임 벡터의 평균값으로 병진 움직임 량을 추정할 수 있다.

2.3 회전중심 추정

회전운동과 병진운동이 동시에 발생하는 일반적인 카메라 움직임에 대해서도 (8)과 같이 새로운 회전중심으로 회전운동만 있는 것으로 간주할 수 있으므로 연속된 영상에 대해 영상화소의 국부적 움직임 벡터로부터 회전중심과 회전각도 만 추정하면 영상안정화를 구현할 수 있다. 따라서 [10]에서 제안한 회전중심 추정방법을 그대로 적용하였다.

회전 움직임만 있는 경우 영상의 모든 점에서 움직임 벡터 는 동심원의 접선 방향과 일치하게 된다. 따라서, 임의의 모든 점에서 움직임 벡터에 대한 법선들은 영상의 회전 중심에서 만나게 된다. 그림 3은 임의의 두 점에 대한 경우를 설명하고 있다.

점  $A_1(x_1, y_1)$ 과  $A_2(x_2, y_2)$ 에서의 국부적 움직임 벡터 의 1/2지점에서 수직선은 각각 (9)과 (10)로 표현된다.

$$y = a_1x + b_1 \tag{9}$$

여기서,  $a_1 = -\frac{u_1}{v_1}$ ,  $b_1 = (y_1 + \frac{v_1}{2}) - a_1(x_1 + \frac{u_1}{2})$ 와  $u_1, v_1$ 는

점  $A_1$ 에서 국부적 움직임 벡터이다.

점  $A_2$ 에 대해서는

$$y = a_2x + b_2 \tag{10}$$

여기서  $a_2 = -\frac{u_2}{v_2}$ ,  $b_2 = (y_2 + \frac{v_2}{2}) - a_2(x_2 + \frac{u_2}{2})$ 와  $u_2, v_2$ 는 점  $A_2$ 에서 국부적 움직임 벡터이다.

$n$ 개의 화소점의 움직임 벡터를 활용해서 회전중심을 찾는 경우는 (11)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} -a_1 & 1 \\ -a_2 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -a_N & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_N \end{bmatrix} \tag{11}$$

여기서  $x_0, y_0$ 는 회전중심으로 (7)의  $\alpha, \beta$ 와 동일한 의미를 가진다. (11)을 행렬과 벡터 형태로 표현하면 다음과 같다.

$$Ax = b \tag{12}$$

이 경우 회전중심은 최소 자승법을 적용하여 (13)로부터 구할 수 있다.

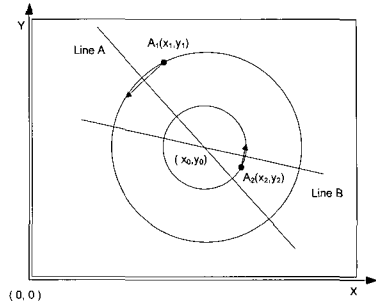


그림 3. 회전중심 추정.  
Fig. 3. Rotation center estimation.

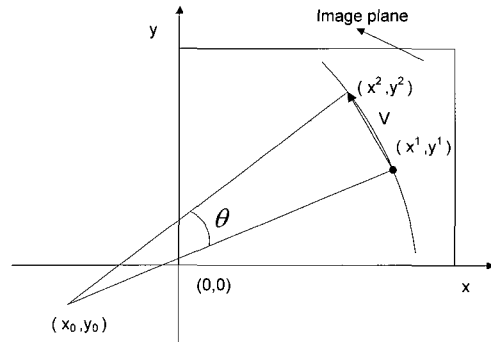


그림 4. 회전각도 추정.  
Fig. 4. Rotation angle estimation.

$$x = (A^T A)^{-1} A^T b \tag{13}$$

2.4 회전각도 추정

추정된 회전중심을 기준으로 회전각도는 그림 4에서 보는 바와 같이 삼각법을 이용하여 추정할 수 있다.

점  $(x_0, y_0)$ 는 추정된 회전 중심이며 회전각도는 (15)와 같이 추정할 수 있다.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{(y_2 - y_0)(x^1 - x_0) - (x^2 - x_0)(y_1 - y_0)}{(x^2 - x_0)(x^1 - x_0) + (y_2 - y_0)(y_1 - y_0)} \tag{14}$$

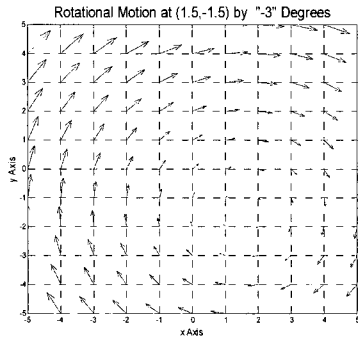
(13)으로부터 추정된 회전중심과 한 화소에 대한국부적 움직임벡터만 구하면 회전각도를 추정할 수 있으나 영상에 잡음이 포함되거나 프레임간 충분한 대조비(contrast)가 확보되지 않는 경우에는 오차를 유발하게 된다. 일반적으로 영상의 잡음은 랜덤한 성분의 오차를 유발하므로 실제 계산시는 잡음과 대조비의 변화 등에 대한 강인성을 고려하여  $N$ 개의 각도 추정치의 평균값을 적용하였다.

2.5 입증시험

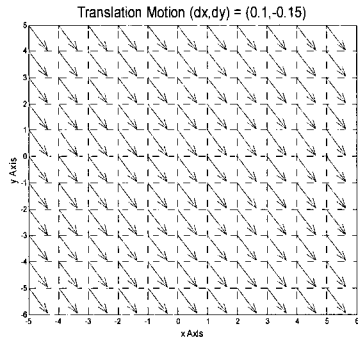
제안된 알고리즘의 실효성을 입증하기 위해 인위적으로 회전과 병진운동을 포함한 두 개의 연속된 영상에 대해 추정된 회전중심과 (7), (8)에 의해 계산된 값을 다음 두 가지 경우에 대해 실험하였다.

2.5.1 회전중심이 영상영역 내에 있는 경우

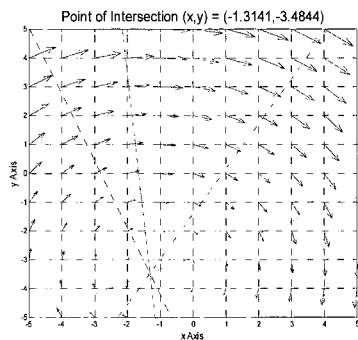
그림 5(a)는 회전 중심 (1.5,-1.5)에서 시계방향으로 3도 회전하였을 때 국부적 움직임 벡터이며, 그림 5(b)는 (0.1, -0.15)만큼 병진운동을 하였을 때 국부적 움직임 벡터이며, 그림



(a)



(b)



(c)

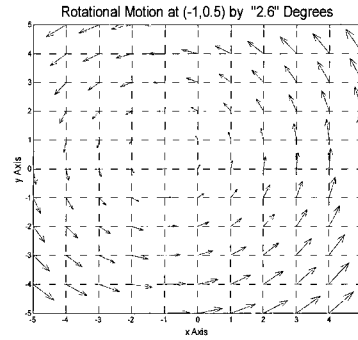
그림 5. 경우 (2.5.1)에 대한 지역움직임 벡터: (1-a) 순수회전, (1-b) 순수 병진, (1-c) 합성 움직임.

Fig. 5. Traces of the local motion vectors for three cases of (2.5.1): (1-a) a pure rotation, (1-b) a pure translation, and (1-c) the combined motion.

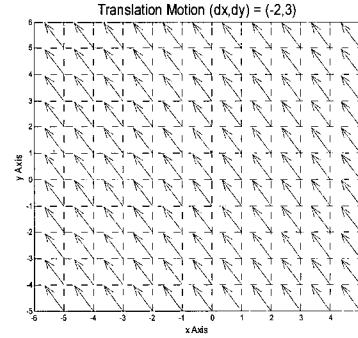
5(c)는 그림 5(a)와 5(b)를 합성했을 때 국부적 움직임 벡터를 나타내고 있다. 제안된 알고리즘에 의해 추정된 회전중심은 (-1.314134, -3.484423)이며 (7), (8)의해 계산한 회전중심은 (-1.314134, -3.484423)로서 거의 동일 결과를 보였다.

2.5.2 회전중심이 영상영역 밖에 있는 경우

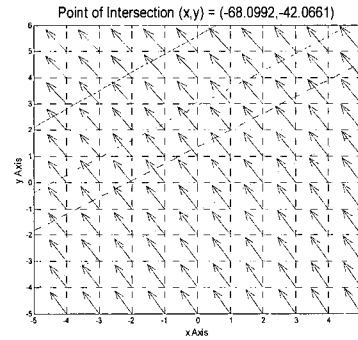
그림 6(a)는 회전 중심 (-2.0,1.8)에서 반시계방향으로 3도 회전하였을 때 국부적 움직임 벡터이며, 그림 6(b)는 (-2, 3)만큼 병진운동을 하였을 때 국부적 움직임 벡터이며, 그림 6(c)는 그림 6(a)와 6(b)를 합성했을 때 국부적 움직임 벡터를 나타내고 있다. 제안된 알고리즘에 의해 추정된 회전중심은 (-68.0992, -42.0661)이며 (7), (8)의해 계산한 회전중심은 (-68.0992, -42.0661)로서 거의 동일 결과를 보였다.



(a)



(b)



(c)

그림 6. 경우 (2.5.2)에 대한 지역움직임 벡터: (2-a) 순수회전, (2-b) 순수 병진 (2-c) 합성 움직임.

Fig. 6. Traces of the local motion vectors for three cases of (2.5.2): (2-a) a pure rotation, (2-b) a pure translation, and (2-c) the combined motion.

위의 실험결과로부터 추정된 회전중심은 계산된 회전중심과 거의 동일한 결과를 나타내고 있다. 결과적으로 제안된 회전모델 및 회전중심/회전각도 추정기법은 회전 및 병진운동이 동시에 있는 경우에 대한 영상안정화에 직접 적용이 가능한 방법으로 판명되었다.

3. 움직임 보상

전 절에서 설명된 움직임 추정은 두 영상을 이용하여 움직임 크기를 계산하는 것이며, 움직임 보상은 추정된 움직임 변수를 활용하여 안정화된 영상 시퀀스를 구하는 과정이다.

영상을 안정화하는 방법으로는 크게 두 가지를 고려할 수 있다. 두 개의 연속된 영상간의 추정된 움직임을 보상하는 프레임간 안정화 알고리즘(Frame-to-Frame Algorithm : FFA)과

기준영상에 대해 입력되는 각 영상 프레임을 안정화하는 기준영상과 입력 프레임간 안정화 알고리즘(Frame-to-Reference Algorithm : FRA)이 있다[7]. 프레임간 안정화 알고리즘은 [10]에 제시된 방법을 이용하였으며 기준영상과 입력프레임간 안정화 알고리즘은 실시간 적용을 위해 반복계산이 가능하도록 제안하였다.

영상의 1프레임과 2프레임간의 관계식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_2 - x_{c2} \\ y_2 - y_{c2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_{c2} \\ y_{c2} \end{bmatrix} \quad (15)$$

여기서  $x_1, y_1$ 은 1프레임 영상의 좌표,  $x_2, y_2$ 는 2프레임의 좌표,  $x_{c2}, y_{c2}, \theta_2$ 은 1프레임과 2프레임간의 회전중심 추정 및 회전각도추정 결과이다. 식을 간단히 정리하면 아래와 같다.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \mathfrak{R}_2 \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_2 \\ L_2 \end{bmatrix} \quad (16)$$

여기서

$$\mathfrak{R}_2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} K_2 \\ L_2 \end{bmatrix} = -\mathfrak{R}_2 \begin{bmatrix} x_{c2} \\ y_{c2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_{c2} \\ y_{c2} \end{bmatrix} \text{이다.}$$

영상 2프레임과 3프레임간의 관계식을 (16)과 같은 방법으로 정리하고 이를 (15)와 결합하여 영상 1프레임과 3프레임의 관계식으로 정리하면 (17)과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \mathfrak{R}_2 \mathfrak{R}_3 \begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \end{bmatrix} + \mathfrak{R}_2 \begin{bmatrix} K_3 \\ L_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_2 \\ L_2 \end{bmatrix} \quad (17)$$

이와 같이 확장하면 k번째 영상프레임에 대해서는 (18)과 같이 정리된다.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \mathfrak{R}_2 \mathfrak{R}_3 \cdots \mathfrak{R}_{k-1} \mathfrak{R}_k \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \end{bmatrix} + \mathfrak{R}_2 \mathfrak{R}_3 \cdots \mathfrak{R}_{k-1} \begin{bmatrix} K_{k-1} \\ L_{k-1} \end{bmatrix} + \mathfrak{R}_2 \mathfrak{R}_3 \cdots \mathfrak{R}_{k-2} \begin{bmatrix} K_{k-2} \\ L_{k-2} \end{bmatrix} + \cdots + \mathfrak{R}_2 \begin{bmatrix} K_3 \\ L_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_2 \\ L_2 \end{bmatrix} \quad (18)$$

k-1번째 영상 프레임 입력시 이미 계산된 부분과 k번째 영상프레임 입력시 추가 계산해야 하는 부분을 구분하여 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \mathfrak{R}_2^{k-1} \mathfrak{R}_k \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \end{bmatrix} + \mathfrak{R}_2^{k-1} \begin{bmatrix} K_{k-1} \\ L_{k-1} \end{bmatrix} + S_{k-1} \quad (19)$$

여기서  $\mathfrak{R}_2^{k-1} = \mathfrak{R}_2 \mathfrak{R}_3 \cdots \mathfrak{R}_{k-1}$ 이며,  $S_{k-1}$ 는 (18)에서 좌측 3번째 이하 항으로서 k-1번째 영상프레임 입력시 계산된다. 따라서, 영상프레임이 증가됨에 따라 계산량 증가 없이 반복적 계산이 되므로 실시간 적용이 가능하다.

또한 영상프레임 중 순수병진만 있는 경우가 포함될 때에도 반복계산이 가능한데 만약 k+1번째 영상이 병진움직임만 있다면 제 1영상 프레임과의 관계식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \mathfrak{R}_2^{k-1} \mathfrak{R}_k \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \end{bmatrix} + \mathfrak{R}_2^{k-1} \begin{bmatrix} K_{k-1} \\ L_{k-1} \end{bmatrix} + S_{k-1} - \mathfrak{R}_2^{k-1} \mathfrak{R}_k \begin{bmatrix} t_{k+1} \\ v_{k+1} \end{bmatrix} \quad (20)$$

여기서  $t_{k+1}, v_{k+1}$ 는 k프레임과 k+1프레임간의 x방향 및 y방향 병진량이다. (19)의 마지막 항은 순수병진움직임만 있는 영상프레임이 포함될 때마다 추가되는 항으로서 프레임 증가에 따른 계산량 증가 없이 누적계산이 가능하다.

### III. 실험 및 검토

제안된 알고리즘을 검증하기 위해 합성영상과 실 영상에 대해 실험을 수행하였다. 합성영상에 대한 실험은 MATLAB을 사용하였으며 실영상에 대한 실험은 DSP보드를 이용한 실험장치를 구성하여 수행하였다. 또한 제안된 영상 안정화의 성능을 평가하기 위해 안정화된 영상 프레임간의 최대 신호대 잡음 비(Peak Signal-to-Noise Ratio: PSNR) [11]를 사용하였다.

연속되는 영상 프레임  $I_1$ 와  $I_0$  간의 PSNR은 다음과 같이 정의된다.

$$PSNR(I_1, I_0) = 10 \log \frac{255^2}{MSE(I_1, I_0)} \quad (21)$$

여기서, 평균자승오차(Mean Squared Error : MSE)는 두 영상 프레임의 각 화소간의 명암도의 차이의 자승에 대한 평균오차를 의미한다. 또한 화소의 최대 밝기는 255이다. 안정화된 영상간의 PSNR이 크다는 것은 안정화 성능이 우수하다는 것을 의미한다.

#### 1. 합성영상에 대한 실험

##### 1.1 두 개의 연속된 영상

그림 7의 실험영상에 대해 인위적으로 회전 및 병진움직임을 인가하여 [10]에서 수행한 방법으로 제안된 영상 전체의 움직임 추정 및 보상기법을 적용한 결과를 Chang의 알고리즘 적용결과와 비교하여 표 1에 나타내었다. Chang의 방법과 비교하였을 때 제안된 영상안정화 기법은 기존의 방법에 비해 상대적 성능이 우수함을 보여주고 있으며, 일부 조건에서는 적은 계산을 통해서도 기존의 전역탐색을 적용한 방법과 동등 수준의 성능을 보여준다.

##### 1.2 연속된 영상

연속된 합성영상은 (4)를 기준으로 생성하였다. 병진 움직임  $d_x, d_y$  및 회전각도  $\theta$ 는 각각  $d_x = 20 \sin(2\pi kT)$ ,  $d_y = 15 \sin(2\pi kT)$  및  $\theta = 15 \sin(2\pi kT)$ 로 설정하였다. 여기서 k는 영상 프레임 번호이며 T는 프레임간 주기이다. 첫 번째 영상 프레

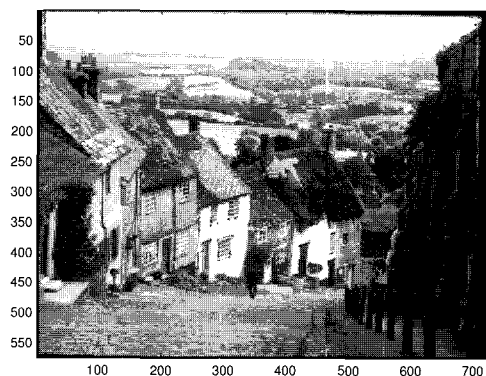


그림 7. 실험용 합성영상.  
Fig. 7. Test synthetic image.

표 1. 두개의 연속된 합성영상에 대한 실험결과.

Table 1. Evaluation results for the two consecutive images.

실험조건				실험결과						
회전 (도, 좌표)		병진 (화소)		PSNR (dB)			각도 (도)		회전중심* (좌표)	
각도	회전중심	X	y	UB값	제안	Chang	제안	Chang	추정값	계산값
1	(432,540)	3	-3	40.54	36.78	34.60	1.0136	1.0255	(618,698)	(605, 710)
-1.5	(432,180)	-2	-2	40.15	34.61	34.70	1.4534	1.4632	(516,99)	(507,102)
-0.5	(144,180)	3	-2	40.56	37.33	32.40	-0.4768	-0.4485	(-117,-189)	(-84,-164)
5	(144,180)	1	-1	38.95	33.89	27.75	4.9285	4.9473	(153,186)	(156,191)

지역움직임 추정 매개변수(블록정합): 탐지영역 = 11, 블록 크기 = 11

Chang의 알고리즘에 의한 중심 찾기에 적용된 매개변수: 탐지영역 = 11, 블록크기 = 11

(7), (8)에 의해 계산된 회전중심

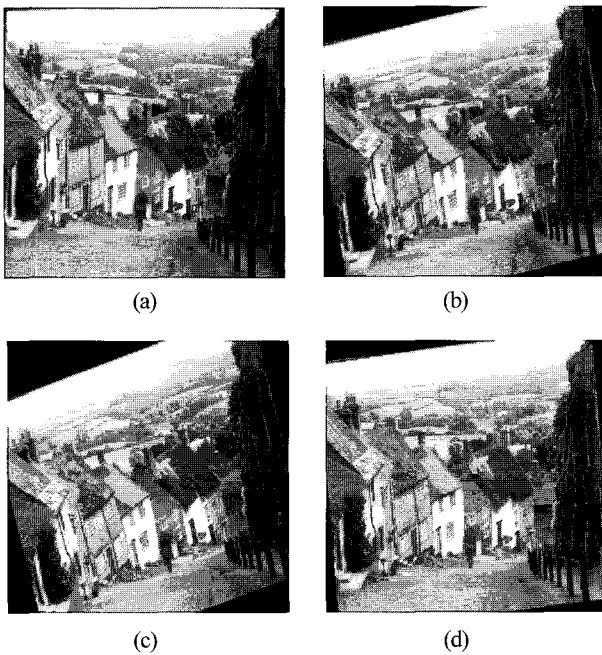


그림 8. 합성영상 표본: (a) 첫번째 영상, (b) 10번째 영상, (c) 22번째 영상, (d) 37번째 영상.

Fig. 8. Synthetic image sequence: (a) 1st frame, (b) 10th frame, (c) 22th frame, and (d) 37th frame.

임에서 회전중심은 영상중심으로 하였으며 두 번째 영상 프레임부터는 x축과 y축 방향으로 각각  $x_{c\_akt}=20\sin(2\pi kT)$ ,  $y_{c\_akt}=15\sin(2\pi kT)$ 로 이동하게 하였다. 표본 영상프레임을 그림 8에 나타내었다.

40개의 연속된 합성영상에 대해 제안된 기법으로 안정화를 수행한 후 그 결과를 그림 9에 나타내었다. 그림 9(a)에서 LB(Lower Bound)는 기준영상프레임과 현재 영상프레임간에 영상안정화를 수행하지 않은 경우에 대한 PSNR, 즉 최소성능을 나타낸다. Chang의 방법과 제안된 방법과의 PSNR을 비교하였으며, 그림 9(b)는 영상프레임간의 추정각도를 그림 9(c) 및 9(d)는 각각 회전중심의 x축 값과 y축 값을 계산된 값과 추정된 값을 비교하였다.

실험결과 연속영상에 대해서도 제안된 알고리즘이 비교적 Chang의 방법에 비해 우수하였으며, Chang의 알고리즘이 갖

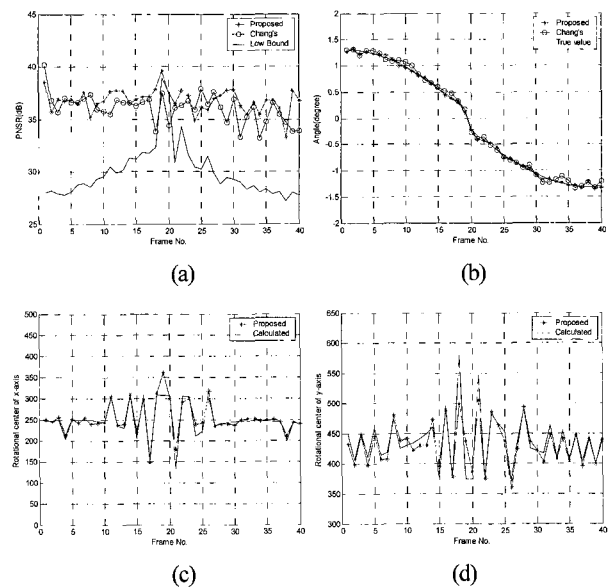


그림 9. 실 영상에 대한 실험결과: (a) PSNR (b) 회전각도 추정 결과, (c, d) 회전중심 추정결과 (x축, y축).

Fig. 9. Evaluation results for synthetic image sequence: (a)PSNR, (b)Rotation angle, (c, d) Rotation center (x-axis, y-axis).

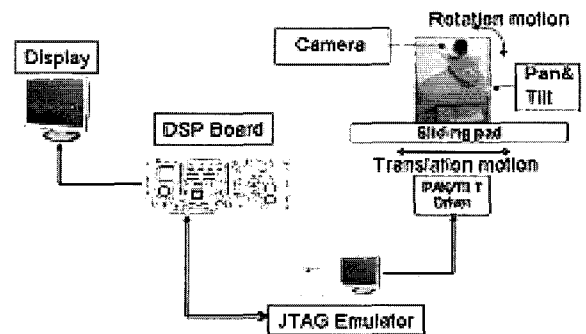


그림 10. 구현된 디지털 영상안정화 장치.

Fig. 10. Realized DIS system.

고 있는 제한사항인 회전중심을 찾기 위해 탐색알고리즘을 사용함에 따른 계산시간의 과다문제, 첫 번째 영상과 두 번째 영상간의 최초 회전중심을 찾기 위해 영상전체를 탐색하

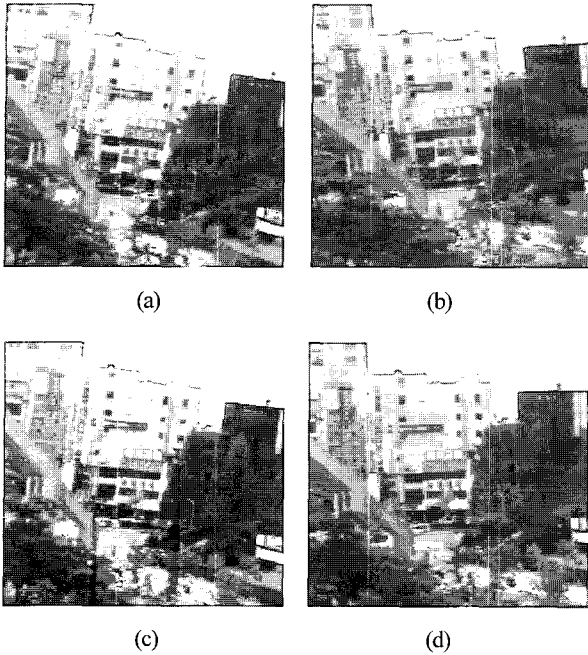


그림 11. 실영상 표본: (a) 첫번째 영상, (b) 149번째 영상, (c) 211번째 영상 (d) 268번째 영상.

Fig. 11. Real image sequence: (a)1st frame, (b) 149th frame, (c) 211th frame, and (d) 268th frame.

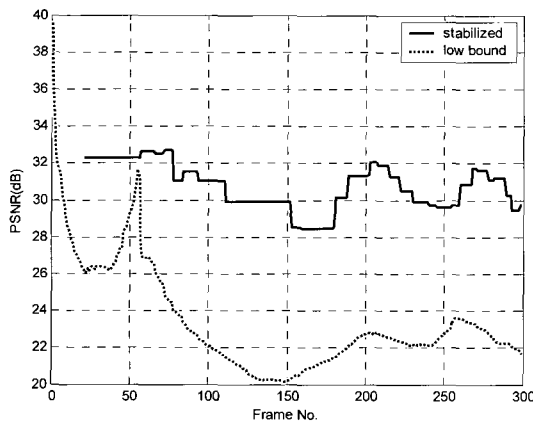


그림 12. 기준영상에 대해 입력되는 각 영상 프레임에 안정화 결과.

Fig. 12. FRA test result.

는 문제, 회전중심 추정오차가 탐색윈도우를 벗어나는 경우 그 다음 영상프레임부터 안정화가 되지 않는 문제 등을 고려하면 제안된 알고리즘이 실제 시스템에의 적용성이 우수하다 할 수 있다.

2. 실영상에 대한 실험

본 디지털 영상안정화장치는 TMS320CM642보드를 사용하여 그림 10과 같이 구현하였다. 실험결과를 정리하면 입력영상프레임 수는 총 300프레임이며 각각의 영상프레임의 크기는 256×256 화소이고 그 중 경계효과를 없애기 위해 가장자리 20화소를 잘라 236×236 화소로 안정화하였다.

그림 11은 영상프레임의 표본이다.

FRA(Frame to Reference Algorithm)을 적용하여 실영상에 대한 PSNR을 그림 12에 나타내었고 처리속도는 대략 초당 16 프레임의 성능을 보였다.

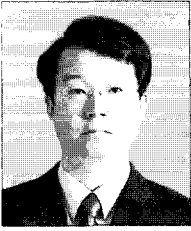
실험결과에서 보는 바와 같이 제안된 알고리즘은 실제 시스템에 적용 가능한 처리속도 및 성능을 보였다.

IV. 결론

회전 및 병진 흔들림 영상에 대한 디지털 영상안정화 알고리즘을 제안하였다. 하나의 회전모델이 회전과 병진이 동시에 발생하는 모션을 수용할 수 있다는 것을 보였으며 이 결과로서 회전 및 병진 움직임이 있는 영상에 대해 회전과 병진에 대한 움직임 량을 모두 찾지 않고 회전중심 및 각도 추정만으로 만족할 만한 영상안정화를 구현할 수 있었다. 또한 기존연구에서 움직임 추정을 위해 사용하는 탐색기법을 본 연구에서는 적용하지 않고 구현함으로써 움직임 추정에 대한 계산 부담이 경감되어 실시간 적용성을 높였다. 제안된 FRA를 DSP보드에 구현한 결과 초당 약 16프레임의 처리속도 보였다.

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. Pail, 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," *IEEE Proceedings on Image Vision and Signal Processing*, vol. 127, pp. 95-102, 2000.
- [6] A. Burt, and P. Anandan, "Image stabilization by registration to a reference mosaic," *Proceedings of ARPA Image Understanding Workshop*, pp. 425-434, 1994.
- [7] C. Morimoto, and R. Chellappa, "Fast electronic digital image stabilization for off-road navigation," *Real-Time Imaging*, vol. 2, pp. 285-296, 1996.
- [8] 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. 108-115, 2002.
- [9] A. Murat Tekalp, *Digital Video Processing*, Prentice Hall, 1995.
- [10] 석호동, 유준, 김도중, "영상 안정화를 위한 회전중심 및 각도추정기법," 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제10권 제7호, pp. 611-617, 2004.
- [11] C. Morimoto and R. Cellappa. "Evaluation of image stabilization algorithms," *Proceedings of IEEE Conf. on Acoustics, Speech, and Signal processing*, vol. 5, pp. 2789-2792, Seattle, WA, May 1998.



**석 호 동**

1961년 2월 27일생. 1984년 경북대 전자공학과(공학사). 1992년 충남대 전자공학과(공학석사). 2002년~현재 충남대 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 영상 안정화, 센서신호처리.



**유 준**

1978년 서울대학교 전자공학과(공학사). 1980년, 1984년 한국과학기술원 전기전자공학과(공학석사, 공학박사). 1984년 9월~현재 충남대학교 전기정보통신공학부 교수. 1989년 2월~1990년 2월 미쉬건 주립대학교 객원교수. 1993년 12월~1994년 2월 독일 후라운호퍼 생산공학 및 자동화(IPA) 연구소 방문연구원. 1997년 2월~1998년 2월 캘리포니아 주립대학교(데이비스) 객원교수. 관심분야는 산업공정제어, 센서신호처리, IT 기반 로봇, 항법시스템 등임.