

이동 로봇을 위한 하이브리드 이미지 안정화 시스템의 개발

Development of Hybrid Image Stabilization System for a Mobile Robot

최 윤 원, 강 태 훈, Dilshat Saitov, 이 동 춘, 이 석 규*
(Yun Won Choi¹, Tae Hun Kang², Dilshat Saitov¹, Dong Chun Lee¹, and Suk Gyu Lee¹)

¹Yeungnam University

²Pohang Institute of Intelligent Robotics

Abstract: This paper proposes a hybrid image stabilizing system which uses both optical image stabilizing system based on EKF (Extended Kalman Filter) and digital image stabilization based on SURF (Speeded Up Robust Feature). Though image information is one of the most efficient data for object recognition, it is susceptible to noise which results from internal vibration as well as external factors. The blurred image obtained by the camera mounted on a robot makes it difficult for the robot to recognize its environment. The proposed system estimates shaking angle through EKF based on the information from inclinometer and gyro sensor to stabilize the image. In addition, extracting the feature points around rotation axis using SURF which is robust to change in scale or rotation enhances processing speed by removing unnecessary operations using Hessian matrix. The experimental results using the proposed hybrid system shows its effectiveness in extended frequency range.

Keywords: optical image stabilization, digital image stabilization, hybrid image stabilization, inclinometer, extended Kalman filter

I. 서론

영상 안정화는 원하지 않는 카메라 움직임에 의해 발생하는 영상의 왜곡을 추정하여 이를 제거하여 원하는 영상 정보를 획득하는 기법이다. 이 분야에 관한 기존 연구로는 스프링과 댐퍼를 이용한 안정화[1], 카메라의 움직임을 이용한 안정화[2], 렌즈의 움직임을 이용한 안정화[3], 흔들림이 생긴 영상을 보정한 안정화[4,5] 등 여러 가지 연구가 진행되고 있으며, 기존의 많은 기술은 정지 영상을 위주로 개발되었다.

영상 안정화에 관한 다양한 연구 결과 및 기술이 제안되고 있지만, 아직까지 이동 로봇을 위한 소형화된 영상 안정화 모듈에 관한 연구는 매우 제한적이다. 이동 로봇은 실내뿐 아니라 실외에서도 사용되기 때문에 불규칙한 지면으로 인한 영상의 흔들림은 로봇 주행에 많은 어려움을 야기하고 있다. 또한 로봇을 구성하고 있는 다양한 모터의 미세 진동으로 카메라가 흔들리게 되는 문제점도 생기게 되었다.

그러나 현재까지의 영상처리 기술은 카메라가 고정된 상태에서 작업을 수행하기 위한 방법을 중심으로 발전되어 왔기 때문에 로봇에 설치하여 사용하기 위해서는 새로운 영상처리 시스템이나 기존 영상 처리 시스템을 그대로 유지하면서 미세진동이 심한 로봇이나 실외 로봇에서도 사용이 가능하도록 도와주는 부수적인 시스템이 포함된 시스템이 필요하다.

디지털 카메라의 발전으로 인하여 다양한 측면에서의 이

미지 보정 기술이 개발되어 왔지만, 로봇을 위한 영상시스템 개발은 소수 연구자들에 의해 연구 되어 왔으며, 주로 진동의 영향이 적은 바퀴 구동형 로봇을 중심으로 이루어 졌다. 따라서 기존의 여러 영상 처리 방법들은 다양한 형태의 로봇에 사용하기에는 적합하지 않은 것이 사실이다. 스프링과 댐퍼를 이용한 안정화는 카메라 움직임 전체에 부정적인 영향을 주게 되고 렌즈를 움직일 경우 안정화 할 수 있는 범위가 작다는 단점이 있고, 영상 처리를 통한 안정화는 많은 계산량을 요구한다는 단점을 가지고 있다. 일반적으로 로봇에 적합한 영상 안정화 시스템은 특성상 경량, 저전력, 소형 시스템이 적합하다[6].

본 논문에서는 지난 연구를 통해 성능 향상을 확인한 EKF-OIS (Optical Image Stabilization) 기법을 바탕으로 SURF (Speeded Up Robust Feature)를 이용한 디지털 이미지 안정화 시스템을 융합한 시스템을 제안한다. 본 논문에서 제안한 시스템의 1차 부분은 1-DOF로 좌우의 진동만을 보정하는 시스템이며 그 진동을 기울기 센서와 Gyro 센서를 통해 인식하게 되며 이 진동을 바탕으로 EKF를 이용하여 다음 진동을 예측하고 이미지 안정화를 취하게 되고 2차 부분은 영상을 받은 컴퓨터 프로그램에서 처리하게 된다. DIS (Dual Image Stabilization)에서는 이미지에서 흔들린 각도를 추출하여 이미지를 안정화한다.

본 논문 II 장에서는 현재 디지털 카메라 영역에서 많이 적용되어 있는 이미지 안정화 시스템에 대해서 서술하며 특징을 비교하였다. III 장에서는 실제로 로봇에 적용하기 위한 영상 안정화 시스템을 제안하였다. IV 장에서는 EKF-OIS의 실험 결과와 정지영상에서의 SURF-DIS의 시뮬레이션 결과를 보여주고 있으며, V 장에서는 제안된 영상 안정화 방법을 실험 장비에 적용하여 특정 진동을 주었을 경우 그 실효성을 검증하였다.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2010. 12. 21, 수정: 2010. 12. 27, 채택확정: 2010. 12. 30.
최윤원, Dilshat Saitov, 이동춘, 이석규: 영남대학교 전기공학과
(empire6@lycos.co.kr/dilshat_saitov@yahoo.com/dclee@yynu.ac.kr/sglee@yynu.ac.kr)

강태훈: 포항지능로봇연구소 책임연구원(bigxihm@postech.ac.kr)

※ 본 연구는 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국산업기술평가원의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(No. 10033216).

II. 영상 안정화 시스템 관련 기존 연구

1. 광학 영상 안정화 시스템

이 시스템은 정지영상과 움직이는 영상에서 모두 사용이 가능하며, 진동 보상을 위해 빛 경로를 이용하기 때문에 광전자 이미지 안정화 시스템이라고도 한다. 이 방법은 기본적으로 광학적 경로로 렌즈를 움직여서 초점을 조정하여 이미지의 블러링을 피하는 방법을 이용한다. 진동에 의해 블러링된 이미지는 진동의 반대방향으로 이미지를 복원하여 수정하게 되는데 이것은 광학 축에 수직 방향으로 움직여 줌으로써 가능하게 된다. 즉 속도 센서를 사용하여 진동을 측정하고 이를 모터를 이용하여 복원하는 방식인데 이는 이미지 안정화 시스템에 가장 일반적인 방식 중에 하나이다.

속도 센서와 연결된 마이크로프로세서는 측정된 속도를 이용하여 이미지가 흔들린 정도와 각도를 계산하고 이를 제어 시스템에 전송하게 된다. 제어 시스템은 렌즈를 움직일 각도와 방향을 계산하고 직접 VCM (Voice-Coil Motor)을 움직여 렌즈를 직접 움직여서 진동이 없는 안정된 이미지를 얻게 된다.

광학적 이미지 안정화 시스템과 다음 설명할 전기 기계적인 안정화 시스템은 특정 부분을 움직여서 이미지를 안정화시키는 기능은 매우 유사하지만 그 움직이는 부분이 다른 것이 제일 상이한 점이다.

2. 전기기계 복합 영상 안정화 시스템

이 시스템은 CCD 시프트 보정 기술이라고도 하며, Konica Minolta에서 처음 소개하였다. 이 시스템의 큰 특징은 흔들림을 보정하기 위해 이미지 센서가 직접 움직인다는 것이다. 광학적 이미지 안정화 시스템과 다르게 EMIS가 장착된 카메라에 렌즈와 상관없이 사용 가능하다.

이 시스템은 대부분 이미지 센서가 자유롭게 움직이도록 된 디자인을 바탕으로 하고 있으며, 작은 움직임에도 민감한 망원렌즈 또는 마이크로 단위의 거리에서의 흔들림으로 인한 이미지 안정화에 탁월한 성능을 가지고 있다. 또한 다른 조명이 없고 물체에 반사되는 빛이 적은 환경에서 물체를 인식하는데 적합하다.

3. 디지털 영상 안정화 시스템

기존 방식은 하드웨어에 독립된 장비로 구성되어 있지만 디지털 이미지 안정화 시스템은 이미지를 영상처리를 통해서 복원한다. 이 시스템은 센서를 통해서 들어온 흔들림 정보를 기반으로 이미지를 안정화 시키는 방식과 이미지의 정보를 분석하여 흔들림 정보를 분석하고 이미지를 안정화 시키는 방식으로 분류할 수 있다

센서 데이터를 이용하여 이미지를 안정화시키는 시스템에서는 영상 센서를 통해서 저장된 이미지와 그림 1에서 보는 것과 같이 장비에서 카메라의 흔들림 정보를 받아서 영상 처리를 통하여 이미지를 안정화시킨다. 흔들림에 대한 정보를 이미 가지고 있기 때문에 기존 중심 영역을 기준으로 움직여 줌으로써 흔들림을 보정할 수가 있다.

두 번째로 이미지에서 정보를 얻어 이미지를 안정화하는 시스템은 그림 2에서 볼 수 있는 블록 정합 알고리즘(block matching motion detection algorithm) [12]을 이용하거나 Optical Flow, Diamond Search 알고리즘을 이용한다. 이 알고리즘들은

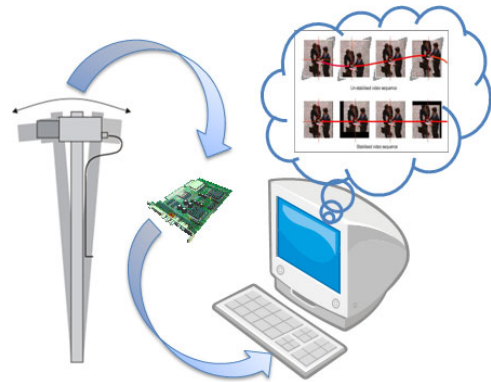


그림 1. 움직임 정보를 가지고 있는 DIS.

Fig. 1. DIS with motion pictures [11].

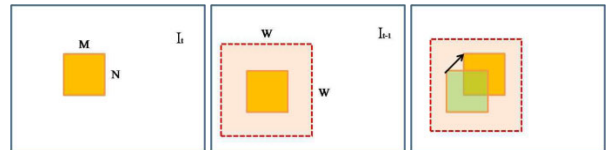


그림 2. 블록 정합 알고리즘.

Fig. 2. Block matching motion detection.

유사한 방식을 사용하는데 이전 이미지와 현재 이미지를 비교하여 유사한 부분에서 움직임 벡터를 구하여 이미지를 안정화시킨다. 이 알고리즘은 이미지의 각 부분의 여러 움직임 벡터를 추정하는 부분과 이들을 이용하여 전체 프레임의 움직임 벡터를 결정하는 부분들로 구성된다. 얻어진 전체 프레임의 움직임 벡터로 이미지의 흔들림 정보를 파악하고 이미지 안정화하게 된다. 기본적인 방식은 유사하나 이전 이미지와 현재 이미지 사이의 유사한 부분을 추출하는 방법이 다르며 처리 속도 부분에 많이 차이가 있는 알고리즘들이다.

이미지에서 흔들림 정보를 추출하는 방식 중, 움직임 벡터를 찾아내는 방식은 많은 계산량과 계산시간이 필요하다는 단점이 있다. 따라서 디지털 카메라에서는 순간적으로 여러 사진을 찍어서 그 사진들을 비교하여 안정된 이미지를 다시 만들어 보여주는 방식을 사용하기도 한다.

4. 이중 영상 안정화 시스템

기존 시스템들은 위의 세가지 방식 중에서 한가지를 선택하여 사용해 왔으나, 이중 영상안정화 시스템(dual image stabilization system)도 사용되고 있다. 이 시스템에서는 Lens-Shift 방식의 광학식 이미지 안정화 시스템으로 흔들림 보정을 하고 이미지 처리 속도 및 화질 표현을 개선한 디지털 이미지 안정화 시스템을 동시에 사용하여 이미지를 안정화시킨다.

표 1. 기존 이미지 안정화 시스템 비교

Table 1. Comparison of conventional image stabilization Methods

	OIS	EMIS	DIS
장점	영상 손실 최소화 간단한 구조 외부 광원의 영향에 강인	간단한 구조	하드웨어 불필요.
단점	느린 반응 진동 발생	좁은 안정화 영역	긴 프로세서 시간

III. 제안된 하이브리드 이미지 안정화 시스템

1. 타깃 시스템

본 논문에서는 일반적인 이동 로봇에 적용 가능한 영상 안정화 시스템을 제안하고자 한다. 기본적인 진동은 Roll 축으로만 존재한다고 가정하고 한 축으로 만 이미지 안정화하는 시스템을 구성하였다. 90도 이상 각도는 로봇의 상태가 복원할 수 없는 상태임을 의미하기 때문에 인식 범위는 ±90도로 가정하며, 주파수 대역은 0~15Hz로 한다.

2. 하이브리드 이미지 안정화 시스템(Hybrid IS)

본 논문에서 제안하는 하이브리드 이미지 안정화 시스템은 그림 3에서 보는 것과 같이 두 가지의 개별 시스템을 하나로 합쳐서 이미지를 안정화 하는 방식을 사용한다. 첫 번째 시스템은 이전 연구를 통하여 개발했으며 두 센서의 데이터를 입력 받아서 EKF를 통한 각도 추정치를 계산하고 이 데이터를 이용하여 카메라에 직결된 모터를 구동하여 이미지 안정화 하는 방식을 사용한다[11]. 두 번째 시스템은 SURF (Speeded Up Robust Feature)를 이용한 디지털 이미지 안정화 시스템으로 물체 매칭에 탁월한 성능을 보여주는 SURF 알고리즘을 이전 영상과 현재 영상을 비교하여 동일한 물체를 매칭함으로써 그 흔들린 각을 산출하고 이미지를 안정화 하는 방식을 사용한다. 이 두 시스템을 순차적으로 동작하여 안정화 시키는 방식을 본 논문에서 제안한다.

다시 말해 HIS는 입력 받은 센서 데이터를 EKF에 적용하여 각도를 예측하고 그 각도를 이용하여 OIS로 1차 처리를 한다. 그 후 현재의 이미지에서 SURF를 통해 각도 데이터를 산출하고 DIS를 통해서 2차 처리를 하여 이미지를 안정화 시킨다.

3. Hybrid IS의 EKF - OIS 부분

1) 기계 및 전자부: 그림 4에서 보는 것과 같이 제안한 시스템은 하모닉 드라이브와 모터가 직결되어 있으며 모터 뒷부분에 각도를 측정하는 기울기 센서 및 컨트롤러가 부착되어 있다. 이 시스템에 사용된 하모닉 드라이브는 50:1의 감속

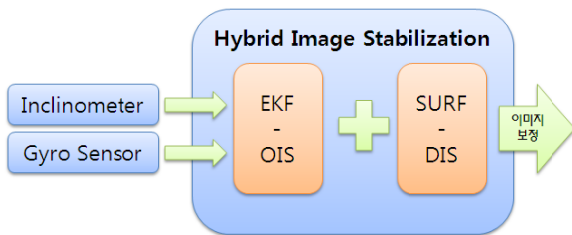


그림 3. 제안된 시스템의 개략도.
Fig. 3. Outline of the proposed system.



그림 4. 제안된 시스템의 하드웨어 부분.
Fig. 4. Hardware of the proposed system.

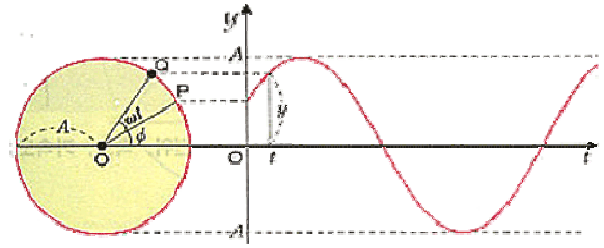


그림 5. 진동 모델링.
Fig. 5. The vibration model.

비를 가지고 있으며 모터는 무부하 시 4810rpm 보통 시 4080rpm의 속도를 가지고 있다. 또한 본 시스템에서는 0.025°의 분해 능을 가지며 360° 측정이 가능한 각도 측정기와 ±300%/s로 측정이 가능한 Gyro 센서를 사용하여 카메라의 흔들린 정도를 파악하게 된다.

2) 제어부: 흔들림은 진동의 특성을 가지고 있고 이 진동은 비선형적 특성을 가지고 있기 때문에 Kalman filter를 비선형에 접목시킨 EKF를 사용하였다. 각도와 각속도를 EKF에 입력하여 다음 상태의 각도를 예측하였다.

그림 5는 진동을 모델링한 그래프이다. 이 그래프에서 보는 것과 같이 진동을 삼각함수로 표현하면 (1)과 같다.

$$y = A \sin(\omega_{(k)}nT) \tag{1}$$

(1)을 이용하여 진동에 관한 상태 방정식을 만들면 (3)과 같으며, A는 진폭, $\omega_{(k)}$ 는 각속도를 나타낸다. 또한 EKF의 상태 벡터는 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\vec{x}_{(k)} = [\theta, \omega]^T, \quad \vec{z}_{(k)} = [\theta, \omega]^T \tag{2}$$

이 상태 벡터를 이용하여 시스템을 상태 방정식으로 표현하면 아래와 같다.

• Prediction model

$$\begin{aligned} \vec{x}_{(k+1)} &= f(\vec{x}_{(k)}) + w_{(k)} \\ \theta_{(k+1)} &= \theta_{(k)} + \omega_{(k)}AT \cos(\omega_{(k)}nT) \\ \omega_{(k+1)} &= \omega_{(k)} \end{aligned} \tag{3}$$

• Measurement model

$$\vec{z}_{(k+1)} = h(\vec{x}_{(k+1)}, m_{(k)}) + v_{(k)} \tag{4}$$

EKF에 적용하기 위해 f를 선형화하면, (5)와 같은 자코비언 행렬을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} F_{(k)} &= \begin{bmatrix} 1 & AT\cos(\omega_{(k)}nT) - A\omega_{(k)}nT^2\sin(\omega_{(k)}nT) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\ Q_{(k)} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & q_1 \end{bmatrix} \\ R_{(k)} &= \begin{bmatrix} r_1 & 0 \\ 0 & r_2 \end{bmatrix} \end{aligned} \tag{5}$$

위 식의 T는 샘플링 시간을 나타내며 n은 스텝 수를 나타낸다. 이 함수는 이전 추정에서 상태 예측을 계산하는데 사용하고 동시에 이전 측정에서 측정 예측을 계산하는데 사용한다. 그러나 f와 h는 직접적으로 공분산에 적용할 수 없어 (5)를 이용하여 선형화하였다.

또한 시스템 모델을 EKF에 적용하고, 처음으로 상태 예측

과 공분산을 계산하면 (6)과 같다.

• Time update

$$\hat{x}_{(k+1|k)} = f(\hat{x}_{(k)}, 0)$$

$$P_{(k+1|k)} = F_{(k)}P_{(k|k)}F_{(k)}^T + Q_{(k)} \quad (6)$$

예측한 다음 측정된 각도 데이터를 이용하여 측정 업데이트를 진행한다. 이노베이션과 이노베이션의 공분산을 계산하면 (7), (8)과 같다.

• Measurement update

$$\tilde{A}_{(k+1|k)} = z_{(k+1)} - h(x_{(k+1|k+1)}, 0) \quad (7)$$

$$S_{(k+1)} = H_{(k+1)}P_{(k+1|k)}H_{(k)}^T + R_{(k+1)} \quad (8)$$

H 는 관측 모델의 자코비언을 나타낸다. 그 후에 칼만 변수를 계산하면 (9)와 같다.

$$K_{(k+1)} = P_{(k+1|k)}H_{(k+1)}^T S_{(k+1)}^{-1} \quad (9)$$

위 식들을 이용하여 마지막으로 상태의 추정과 시스템을 공분산을 얻으면 아래와 같다.

$$\hat{x}_{(k+1|k+1)} = \hat{x}_{(k+1|k)} + K_{(k+1)}\tilde{A}_{(k+1)} \quad (10)$$

$$P_{(k+1|k+1)} = P_{(k+1|k)} - H_{(k)}^T + K_{(k+1)}S_{(k+1)}K_{(k+1)}^T \quad (11)$$

“”은 예측치를 나타내고 있으며, \hat{x} 는 다음 각도의 예측치를 나타낸다. 이것을 이용하여 EKF를 설계하였다.

4. Hybrid IS의 SURF-DIS 부분

1) SURF를 이용한 회전축 주변의 특징 점 추출: SURF (Speeded Up Robust Features)는 SIFT (Scale Invariant Feature Transform)의 속도를 개선한 알고리즘으로서 SIFT와 마찬가지로 스케일이나 회전 변화에도 안정적인 성질을 가지고 있다. SURF는 적분 영상을 사용하여 연산속도를 향상시켰으며 Hessian 행렬식을 이용하여 특징점을 추출함으로써 불필요한 연산을 제거하였다. 그리고 본 논문에서는 SURF의 특징점 추출을 적당한 선에서 인식하기 위해서 진동축을 포함하는 특정 영역을 한정하여 특징점을 추출한다.

2) 이미지 보정 알고리즘: 특징 점들의 위치를 이용하여 이미지의 중심을 원점으로 두고 각도를 추정한다. 움직임이 발생하기 전의 좌표를 구하게 되면 이를 바탕으로 영상이 회전한 각도를 구할 수 있는데 본 논문에서는 이동한 좌표를 탄젠트 역함수에 대입하여 영상의 회전 각도를 추정하였다. 또한 이미지의 중심점을 기준으로 특징점이 이동한 각도를

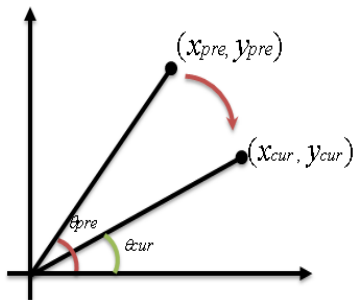


그림 6. 움직임벡터와 흔들린 각도 추정.
Fig. 6. Estimation of vibration angle in SURF.

추출하여 그 각도만큼 보정한다.

추정된 회전 각도를 이용해 영상을 회전시키는 경우, 영상의 회전은 Warping을 이용하여 수행한다. Warping이란 영상을 늘리거나 크기를 조절하는 기하학적인 처리로서 순수한 스케일링과 달리 크기 변화의 정도가 영상 전체에 대해 균일하지 않은 알고리즘이다.

$$\theta_{cur} = \arctan\left(\frac{x_{cur} - x_{org}}{y_{cur} - y_{org}}\right)$$

$$\theta_{pre} = \arctan\left(\frac{x_{pre} - x_{org}}{y_{pre} - y_{org}}\right) \quad (8)$$

$$\theta_{shaking} = \frac{1}{n} \int_0^n \theta_{cur} - \theta_{pre}$$

IV. 시뮬레이션 결과

1. EKF - OIS 부분의 시뮬레이션 결과

이전 연구에서 EKF - OIS를 Matlab을 이용하여 시뮬레이션한 결과는 표 2와 같이 오차가 크지 않은 편이다. 그리고 모서리 수가 32인 이미지를 기준으로 시스템에 진동을 주어서 EKF를 사용했을 경우와 사용하지 않았을 경우에 얼마나 많

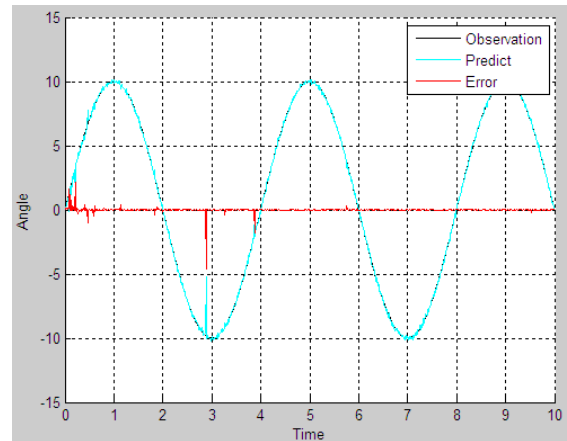


그림 7. 0.25 Hz에서의 시뮬레이션 결과.
Fig. 7. Simulation result at 0.25 Hz.

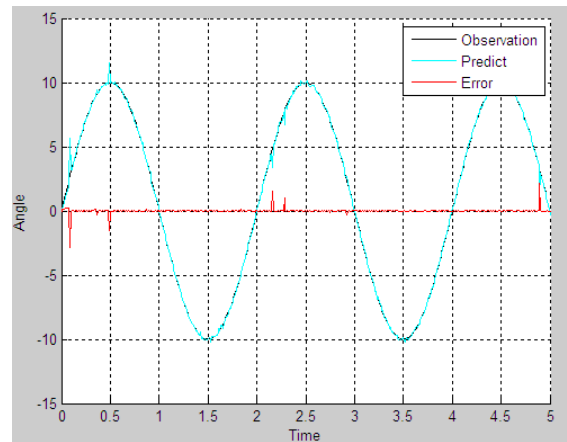


그림 8. 0.5 Hz에서의 시뮬레이션 결과.
Fig. 8. Simulation result at 0.5 Hz.

표 2. 시뮬레이션 결과 비교 (1).

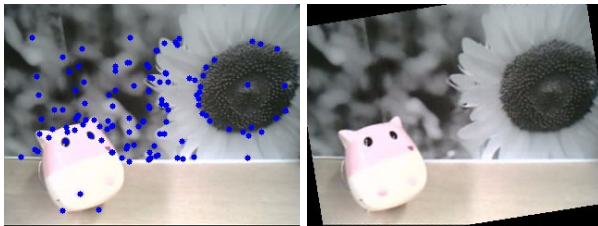
Table 2. The comparison of simulation results (1).

	0.25Hz	0.5Hz	2.5Hz	5.0Hz
오차	-0.003424	-0.017394	-0.283652	-0.557989

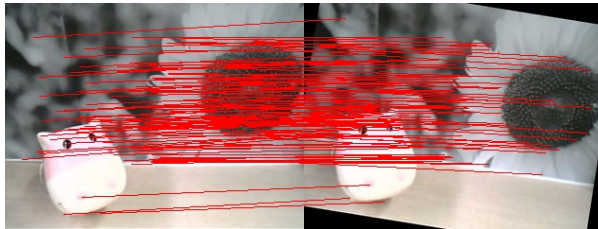
표 3. 시뮬레이션 결과 비교 (2).

Table 3. The comparison of experiment results (2).

	0.1Hz	0.25Hz	0.5Hz	2.5Hz	5.0Hz
IS	98.2%	90.0%	89.4%	84.2%	54.4%
IS + EKF	99.4%	97.6%	93.4%	90.5%	82.8%



(a) Feature points of original image. (b) Compensated Image.



(c) Matching image using SURF.

그림 9. SURF 기반의 디지털 영상 안정화 결과.

Fig. 9. Experiment result of digital image stabilization based on speeded Up robust features.

은 모서리 수를 찾아내는지 실험하였다.

실험 결과는 표 3에 나타나 있으며, 5.0Hz까지 EKF를 사용했을 경우에 모서리 수를 더 많이 찾아내었다. 이 결과를 볼 때 EKF를 사용하여 각도를 예측한 시스템이 좀더 좋은 성능을 낼 수 있다는 것을 확인하였다.

2. SURF-DIS 부분의 시뮬레이션 결과

SURF를 이용한 디지털 이미지 안정화는 정지 영상만에 대해서 시뮬레이션하였다. 원 영상에서 특징점을 추출하고 흔들린 영상과 특징점의 위치를 매칭하게 된다. 동일한 특징점일 경우 쌍을 이루게 되는데 동일한 특징점이 움직인 각도를 모두 산출하여 이미지가 흔들린 각도를 추출하고 이미지를 보정한다.

V. 실험 결과

1. 실험 방법

제안한 이미지 안정화 시스템의 성능 평가를 위하여 진동의 진폭과 주파수를 조절할 수 있는 진동 장치를 만들어 이 시스템을 강제로 진동시키면서 이미지를 촬영하는 실험을 실시 하였다. 실제 실험 장비는 그림 10에서 보는 것과 같이 DC 모터로 연결된 큰 원통형으로 구성되어 있다. 모터를 이용한 각도제어를 통하여 주파수가 0~15Hz중에서 5개를 골라서 이미지 안정화 장치로 입력하여 성능을 평가하였다.

제안한 이미지 안정화 시스템은 End-point에 부착된 카메라

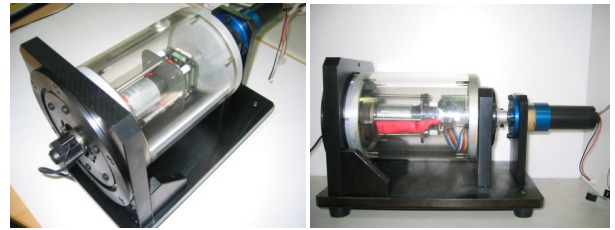


그림 10. 실험장비.

Fig. 10. Experimental equipment.

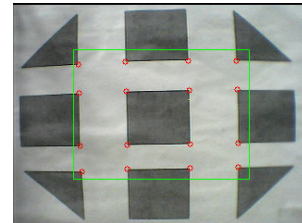


그림 11. 실험 영상.

Fig. 11. Test image.

를 통하여 그림 11을 입력으로 받는다. 이 입력 받은 이미지의 모서리 수를 Harris Corner Detection 알고리즘을 이용하여 검출하고 이를 성능 검증 데이터로 이용하게 된다.

2. Hybrid Image Stabilization의 실험 결과

그림 12~17에서와 같이 0.25, 0.5, 1.0 2.5 5.0 10 Hz의 다양한 주파수로 실험한 결과, 이전 연구에서 EKF를 이용한 OIS의 결과보다 적은 오차를 얻었다.

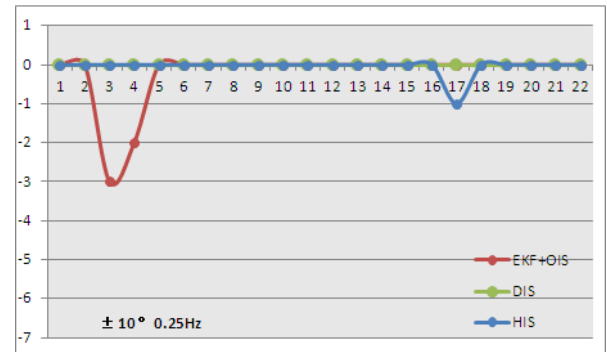


그림 12. 0.25 Hz에서의 실험 결과.

Fig. 12. Experiment result at 0.25Hz (2.5deg/s).

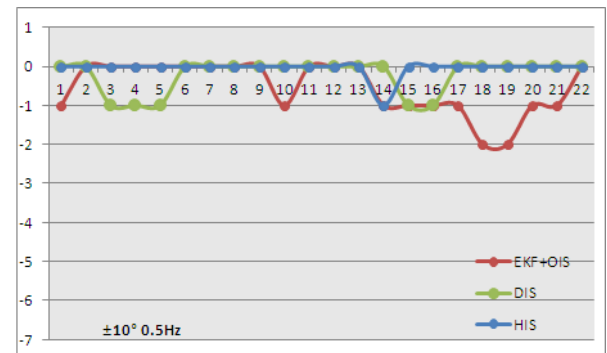


그림 13. 0.5 Hz 에서의 실험 결과.

Fig. 13. Experiment result at 0.5Hz (5deg/s).

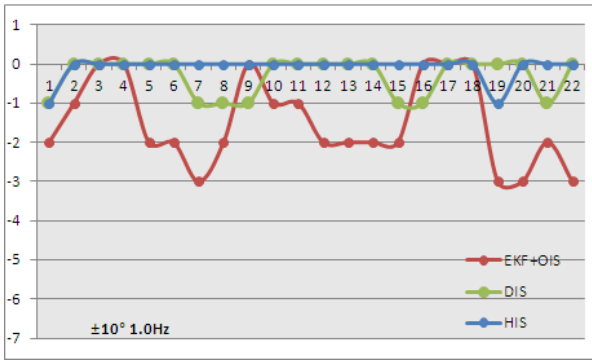


그림 14. 1.0 Hz에서의 실험 결과.
Fig. 14. Experiment result at 1Hz (10deg/s).

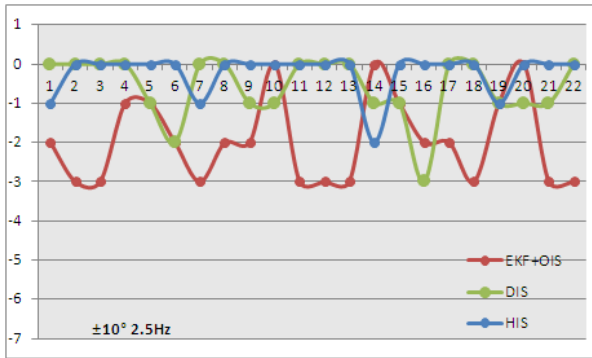


그림 15. 2.5 Hz에서의 실험 결과.
Fig. 15. Experiment result at 2.5Hz (2.5deg/s).

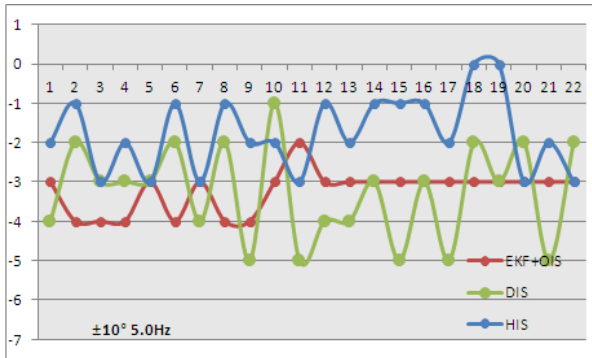


그림 16. 5.0 Hz에서의 실험 결과.
Fig. 16. Experiment result at 5.0Hz (50deg/s).

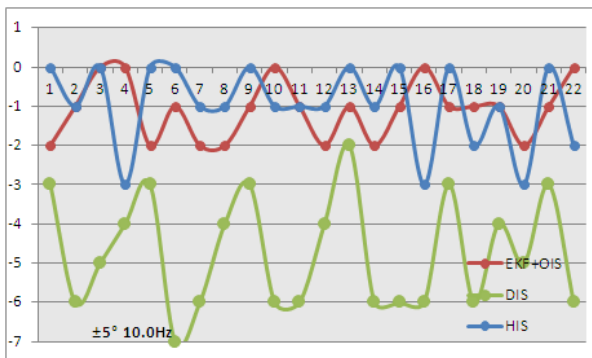


그림 17. 10.0 Hz에서의 실험 결과.
Fig. 17. Experiment result at 10.0Hz (50deg/s).

표 4. 실험 결과 비교.

Table 4. Comparison of the experimental results.

주파수	0.25Hz	0.5Hz	1.0Hz	2.5Hz	5.0Hz	10Hz
Amp.	10°	10°	10°	10°	10°	5°
OIS	98.2%	90.0%	89.4%	84.2%	54.4%	-
EKF+OIS	99.4%	97.6%	93.4%	90.5%	82.8%	94.3%
DIS	98.6%	98.4%	98.0%	97.1%	81.3%	75.3%
HIS	99.6%	99.6%	99.5%	98.8%	89.5%	94.6%

표 4에서는 기존 OIS와 EKF-OIS, DIS, HIS를 다양한 주파수 영역에서 실험한 결과를 비교하였다. 개별 시스템을 사용하였을 경우 이미지가 안정화되었지만, EKF-OIS, DIS를 융합한 HIS가 많이 향상된 이미지 안정화 성능을 보여주었다. 특히 이전에 크게 향상되지 못한 ±10.0°, 5.0Hz 영역에서도 많은 안정화 성능을 보여주었다.

VI. 결론

본 논문에서는 이미지 안정화 시스템의 성능 향상을 위하여 EKF를 적용한 시스템에 DIS를 융합하는 시스템인 HIS (Hybrid Image Stabilization)를 제안하였다. 하드웨어적으로 이미지를 안정화시키는 OIS or EMIS는 성능이 하드웨어 성능에 따라서 어느 특정 범위까지만 안정화 할 수 있다. 따라서 이미지 안정화 능력을 확대하기 위해서 DIS와 융합을 통하여 좀더 넓은 범위와 좀더 빠른 주파수대역의 이미지를 더 안정화 시킬 수 있는 시스템을 제안했다. 제안한 시스템을 검증하기 위하여 외부에서 0.25~10Hz의 진동을 입력하여 이미지 안정화 정도를 파악하는 실험을 수행한 결과, 이전 연구에서 많이 안정화 되지 않던 5.0Hz 영역까지 상당히 안정화 되는 결과를 얻었다.

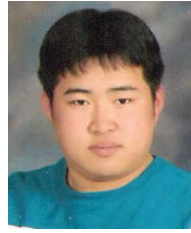
향후 다양한 축을 가진 이미지 안정화 시스템에 관한 연구를 진행해야 할 것이며, DIS 알고리즘의 최적화를 통한 이미지 복원 속도에 향상에 관한 연구도 진행할 예정이다. 또한 현 시스템을 기존의 일반 DC Motor가 아닌 소형의 BLDC를 이용한 형태나 EMIS 형태의 컴팩트한 사이즈로 제작하여 지면의 형태에 영향을 많이 받는 로봇에 시스템을 부착하여 현 시스템의 안정화 성능을 검증할 예정이다.

참고문헌

- [1] Jesse S. Jin, Member, Z. Zhu, and G. Xu, "A stable vision system for moving vehicles," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 1, no. 1, pp. 32-39, Mar. 2000.
- [2] K. Kawano, I. Hirokazu, Y. Shunya, and K. Kazuhide, "Development of new camera stabilizer ACE-3000," Technology Report, Japan Aviation Electronics Industry, Ltd, vol. 23, pp. 85-89, 2000.
- [3] K. Sato, S. Ishizuka, A. Nikami, and M. Sato, "Control techniques for optical image stabilizing system," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 39, no. 3, pp. 461-466, 1993.
- [4] R. Kurazume and S. Hirose, "An experimental study of teleoperation system for walking robots using high-speed image stabilization system" *Journal of the Robotics Society of Japan*, vol. 18, no. 7, pp. 1011-1018, 2000.
- [5] J.-Y. Chang, W.-F. Hu, M.-H. Cheng, and B.-S. Chang, "Digital image translational and rotational motion stabilization using

optical flow technique,” *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 48, no. 1, Feb. 2002.

- [6] K. Hayashi, Y. Yokokohji, and T. Yoshikawa, “Tele-existence vision system with image stabilization for rescue robots,” *Proc. of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Barcelona, Spain*, pp. 50-55, 2006.
- [7] Y.-W. Choi, T.-H. Kang, and S.-G. Lee, “The development of an image stabilization system using an extended Kalman filter used in a mobile robot,” *Journal of the Korea Robotics Society*, vol. 5, no. 4, pp. 85-92, 2010.
- [8] H.-J. Lee, Y.-W. Choi, T.-H. Kang, and S.-G. Lee, “Digital image stabilization based on edge detection and lucas-kanade optical flow,” *Journal of the Korea Robotics Society*, vol. 5, no. 2, pp. 85-92, 2010. 5.
- [9] 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, no. 3, Aug. 1998.
- [10] F. A. Ibrahim, “Optimal linear neuron learning and Kalman filter based backpropagation neural network for DGPS/INS integration,” *Position, Location and Navigation Symposium, 2008 IEEE/ION*, Monterey, CA, pp. 1175-1189, May 2008.
- [11] B. Golik, “Development of a test method for image stabilizing systems,” *Diploma Thesis at the Department of Imaging Sciences and Media Technology Cologne University of Applied Sciences*, 2006.
- [12] K. Uomori, A. Morimura, H. Ishii, T. Sakaguchi, and Y. Kitamura, “Automatic image stabilizing system by full-digital signal processing,” *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 26, pp. 510-519, Aug. 1990.
- [13] Y.-C. Peng, H.-A. Chang, C. J. Kao, and H. Homer, “Digital image stabilization and its integration with video encoder,” *Proc. Consumer Communications and Networking Conference*, pp. 544-549, Jan. 2004.
- [14] J. Telleen, A. Sullivan, J. Yee, O. Wang, P. Gunawardane, I. Collins, and J. Davis, “Synthetic shutter speed imaging,” *Journal compilation ©2007 The Eurographics Association and Blackwell Publishing Ltd*, vol. 26, no. 3, 2007.
- [15] S. Erturk, “Real-time digital image stabilization using Kalman filters,” *Real-Time Imaging*, vol. 8, no. 4, pp. 317-328, Aug. 2002.
- [16] A. Litvin, J. Konrad, and W. C. Karl, “Probabilistic video stabilization using Kalman filtering and mosaicking,” *Proc. of SPIE-IS&T Electronic Imaging*, vol. 5022, Santa Clara, 2003.
- [17] H.-K. Kwak and J. Lyou, “Euler angle-based global motion estimation model for digital image stabilization,” *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 16, no. 11, pp. 1053-1059, Nov. 2010.
- [18] J. K. Park, Y. G. Bae, and S. Jung, “Experimental studies of a time-delayed controller to stabilize image stabilization system,” *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 13, no. 1, pp. 58-64, Jan. 2007.



최 윤 원

2009년 영남대학교 전기공학과(공학사) 졸업. 2009년~현재 영남대학교 대학원 전기공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 Image Processing, Robotics, Omni-Directional Vision, Multi-robot.



강 태 훈

2000년 성균관대학교 기계설계학과(공학사). 2002년 성균관대학교 기계설계학과(공학석사). 2006년 성균관대학교 기계설계학과(공학박사). 2006년~현재 (재)포항지능로봇연구소 연구팀장. 관심분야는 Biomimetics, Quadruped Walking Robot.



Dilshat Saitov

2005년 Tashkent Univ. of Information Technologies(공학사). 2008 영남대학교 대학원 전기공학과(공학석사). 2008년~현재 영남대학교 대학원 전기공학과 박사과정. 관심분야는 Robotics, Path Planning.



이 동 훈

1985년 서울대학교 전기공학과(공학사). 1987년 서울대학교 전기공학과(공학석사). 1993년 서울대학교 전기공학과(공학박사). 1994년~현재 영남대학교 전기공학과 교수. 관심분야는 Power Electronics, Motor Drive and Control,

Control Theory and DSP Applications.



이 석 규

1979년 서울대학교 전기공학과(공학사). 1981년 서울대학교 전기공학과(공학석사). 1990년 UCLA 전기공학과(공학박사). 1982년~현재 영남대학교 전기공학과 교수. 관심분야는 Control Theory, Robotics.