

논문 2015-52-8-4

모바일 OIS 움직임 검출부의 손떨림 상태 검출 및 오차 보상을 위한 퍼지기반 알고리즘의 설계 및 구현

(Design and Implementation of Fuzzy-based Algorithm for Hand-shake State Detection and Error Compensation in Mobile OIS Motion Detector)

이 승 권*, 공 진 흥**

(Seung-Kwon Lee and Jin-Hyeung Kong[©])

요 약

본 논문은 모바일 광학식 손떨림 보정(OIS) 움직임 검출부의 성능과 안정도를 높이기 위하여 퍼지기반 손떨림 상태 검출 및 오차 보상 알고리즘의 설계 및 구현을 기술한다. OIS 움직임 검출을 위한 자이로 센서 출력에는 소자의 고유 오차가 포함되어 있기 때문에 신속한 손떨림 보정과 안정적인 손떨림 상태 검출을 위해서 정확한 오차 보상이 요구된다. 본 연구에서는 퍼지 알고리즘을 기반으로 낮은 연산량을 통해서 손떨림 주파수에 대한 각도 및 위상 오차를 신속하게 줄여서 보정 성능을 개선하였다. 또한 손떨림 각도 크기에 따라 {정지, 작은 손떨림, 큰 손떨림, 팬/틸트} 등의 손떨림 상태를 적절히 구분해서 시스템의 안정성을 향상시켰다. 모바일 OIS 움직임 검출부를 위해 제안된 알고리즘의 성능 및 안정도를 실제 손떨림과 같은 2~12Hz 주파수 범위의 $\pm 0.5^\circ$, $\pm 0.8^\circ$ 손떨림 진동에 대해서 정량적 및 정성적 실험으로써 평가하였다. 실험 결과를 통해서 기존 BACF/DCF 알고리즘과 비교해서 평균 3.71dB의 개선된 성능을 검증하였고, 4가지 손떨림 상태를 안정적으로 검출하는 동작을 확인하였다.

Abstract

This paper describes a design and implementation of fuzzy-based algorithm for hand-shake state detection and error compensation in the mobile optical image stabilization(OIS) motion detector. Since the gyro sensor output of the OIS motion detector includes inherent error signals, accurate error correction is required for prompt hand-shake error compensation and stable hand-shake state detection. In this research with a little computation overhead of fuzzy-based algorithm, the hand-shake error compensation could be improved by quickly reducing the angle and phase error for the hand-shake frequencies. Further, stability of the OIS system could be enhanced by the hand-shake states of {Halt, Little vibrate, Big vibrate, Pan/Tilt}, classified by subdividing the hand-shake angle. The performance and stability of the proposed algorithm in OIS motion detector is quantitatively and qualitatively evaluated with the emulated hand-shaking of $\pm 0.5^\circ$, $\pm 0.8^\circ$ vibration and 2~12Hz frequency. In experiments, the average error compensation gain of 3.71dB is achieved with respect to the conventional BACF/DCF algorithm; and the four hand-shake states are detected in a stable manner.

Keywords : Fuzzy-based algorithm, Hand-shake state detection, Hand-shake error compensation, Mobile optical image stabilization

* 정회원, ** 평생회원, 광운대학교 컴퓨터공학과

(Department of Computer Engineering, Kwangwoon University)

[©] Corresponding Author(E-mail: kongjh@kw.ac.kr)

※ 이 논문은 2014년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

※ This work was supported by a grant from the IT R&D program of MOTIE/KEIT [10048285, Improving Industrial Infrastructure through embedded system research and development]

Received ; April 6, 2015 Revised ; June 12, 2015 Accepted ; July 31, 2015

I. 서 론

최근 모바일 카메라에서는 고화소화 및 소형화가 급격히 진행되고 있으며, 디지털 카메라에 적용되던 자동초점(AF; Auto Focus), 줌(Zoom), 손떨림 보정(IS; Image Stabilization) 등의 고급 기능들이 요구되고 있다.^[1~2] 특히 모바일 카메라는 작은 크기의 렌즈 때문에 빛을 받아들이는 양이 적고, 느린 셔터속도를 갖게 되기 때문에 흔들림에 더욱 취약하다. 또한 작은 이미지 센서 크기로 인하여 미세한 손떨림에도 이미지에 큰 손상을 야기시킨다.^[3] 이미지 안정화 기술은 크게 전자식(DIS; Digital IS^[4~7])과 광학식(OIS; Optical IS^[8~15])으로 구분된다. 전자식 이미지 안정화 기술(DIS)은 추가적인 HW 없이 영상 복원할 수 있지만 이미지 보정 성능이 떨어지고 화소 수에 따른 연산 오버헤드가 급격히 증가한다. 반면 광학식 이미지 안정화(OIS) 기술은 추가적인 HW 구성이 필요한 고가 시스템이지만 보정 성능이 높고 고화소화에 대한 연산 오버헤드가 크지 않다. 최근 스마트폰의 모바일 카메라는 고화소에 따라 성능 및 오버헤드를 고려하여 OIS 기술을 적용하고 있다.^[9~14]

움직임 검출부의 자이로 센서 출력에는 소자의 고유 오차가 포함되어 있기 때문에, 이를 보상하기 위하여 EKF(Extended Kalman Filter), BACF(Boot Angle Compensation Filter)/DCF(Drift Compensation Filter) 등의 자이로 필터 관련 연구들이 제안되었다.^[8~9] EKF^[8]는 높은 연산량과 복잡도를 가진 예측 과정 때문에 모바일 환경에는 적합하지 않고, BACF/DCF^[9]는 손떨림 주파수에 따라서 각도 보정 성능이 가변적인 문제를 가지고 있다. 또한 움직임 검출부는 손떨림을 포함한 다양한 형태의 신호를 적절히 구분해서 처리하지 않으면 전체 OIS 시스템이 불안정해 질 수 있다.^[17] 이를 위해서 손떨림 주파수 특성을 기반으로 손떨림을 구분하는 연구가 제안되었으나 손떨림 이외의 신호를 구분하지 못하는 문제점을 나타내고 있다.^[14] 퍼지 시스템을 이용한 기존 연구는 정지/손떨림 2가지 신호만을 구분하는 한계를 보이고 있다.^[15]

본 연구에서는 움직임 검출부의 자이로 필터에 대하여 퍼지기반(fuzzy-based) 손떨림 오차 보상 알고리즘을 개발하고자 한다. 퍼지기반 알고리즘은

EKF^[8]에 비해서 연산량 및 복잡도를 낮추면서 자이로 센서 출력 각도의 고유 오차를 신속하게 보상할 수 있다. 또한 LPF(Low Pass Filter) 기반의 BACF/DCF^[9]가 손떨림 주파수 대역에서 일정하지 못한 보정 성능을 보이기 때문에, 손떨림 각도 오차 보정 성능을 평활화(flattening) 시키는 퍼지기반 알고리즘을 설계하였다. 이외에도 손떨림 주파수에 따라 움직임 검출부에 입력된 손떨림 신호와 움직임 보정부 VCM(Voice Coil Motor)의 보상 값 사이에는 위상 차이가 발생한다. 이 오차는 손떨림 주파수에 따라서 비선형적으로 발생하며 시스템의 보정 성능을 떨어뜨린다. 이를 위해서 실시간으로 손떨림 주파수를 스캐닝하고 적절한 오차 보상 이득 값을 구해서, 움직임 보정부의 비선형적 VCM 위상 오차를 보정하는 퍼지기반 보상 알고리즘을 실험적으로 개발하였다.

또한 모바일 OIS 시스템의 안정성을 높이고자 손떨림을 포함한 다양한 신호를 적절하게 구분하는 손떨림 상태 검출 퍼지기반 알고리즘을 개발하였다. {정지, 작은 손떨림, 큰 손떨림, 팬/틸트} 등의 다양한 손떨림 상태를 구분하기 위해서 오차 보상된 손떨림 각도를 이용하는 상태 검출 퍼지기반 알고리즘을 실험적으로 설계하였다. 세분화된 다양한 손떨림 상태 검출은 움직임 보정부의 VCM에 대해서 상태별로 적절한 제어를 수행하여 전체 모바일 OIS 시스템의 안정성을 높이게 된다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 기존 모바일 OIS 시스템의 문제점을 해결하기 위해서 퍼지 알고리즘을 적용한 새로운 OIS 시스템을 설계한다. III장은 제안된 OIS 시스템의 퍼지기반 움직임 검출부를 기술한다. IV장에서 정량적 및 정성적 실험을 통해서 모바일 OIS 시스템의 성능 및 안정성을 검증한다. 마지막으로 결론을 맺는다.

II. 모바일 OIS 시스템 설계

움직임 검출부 및 보정부로 나누어진 모바일 OIS 시스템은 그림 1과 같다. 움직임 검출부는 자이로 센서로 부터 손떨림 신호를 받고, 자이로 필터를 통해서 오차를 보상해서, 손떨림 각도를 검출한다. 그러나 움직임 검출부의 자이로 센서는 출력 값에 고유 오차를 포함하고 있어서 그림 2와 같이 한쪽으로 출력

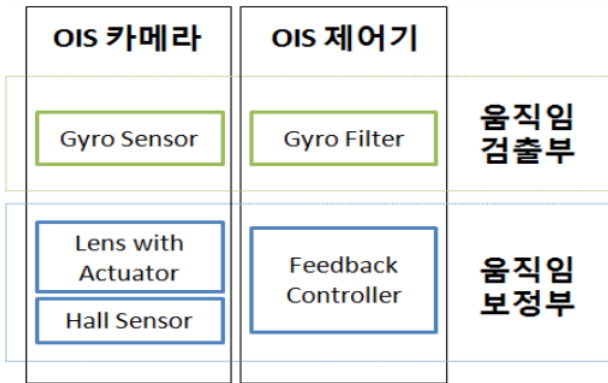


그림 1. OIS 시스템 구성

Fig. 1. OIS system configuration.

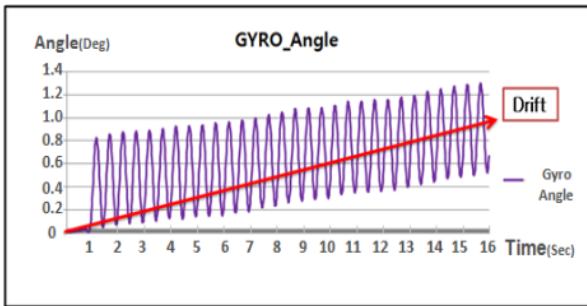
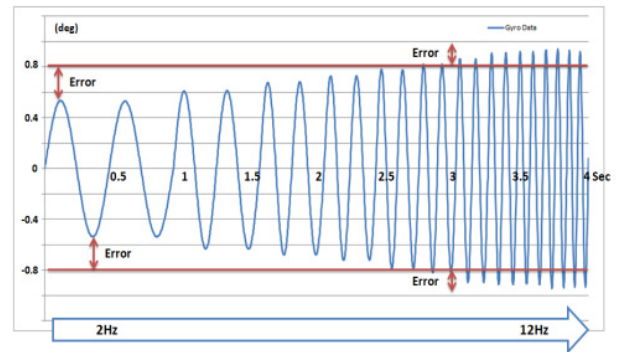


그림 2. 자이로 센서의 드리프트 현상

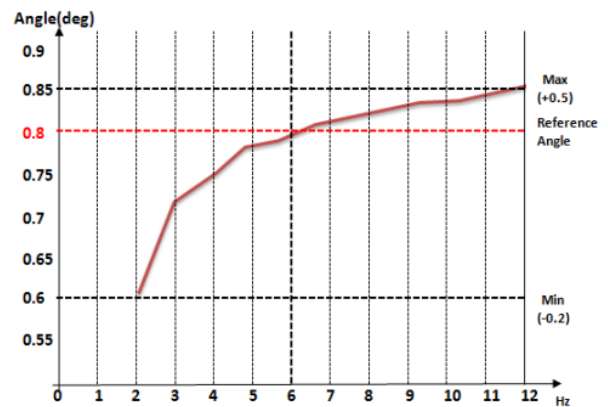
Fig. 2. Drift phenomenon of gyro sensor.

각도가 편향되는 드리프트 현상을 발생시킨다.^[16] 이같은 드리프트 현상을 제거하기 위하여 EKF와 BACF/DCF 등을 이용한 자이로 필터 연구들이 제안되었다.^[8-9] EKF는 비선형적 보상이 가능하지만 정확한 모델링 및 성능을 보장하기 어려우며, 높은 연산량과 복잡도를 가져 모바일 시스템에 적용하기 어렵다.^[8] 반면에 BACF/DCF는 낮은 연산량과 복잡도를 가져 모바일에 적합하지만, LPF 전달 특성 때문에 손떨림 주파수 범위에서 보정 능력이 일정하지 못한 한계를 보이고 있다.^[9] 실제로 그림 3(a)는 BACF/DCF가 낮은 손떨림 주파수 대역에서 보정 능력이 과다하고 높은 주파수 대역에서는 보정능력이 부족한 문제점을 나타내고 있다.

본 연구에서는 손떨림 주파수에 대한 자이로 센서의 출력 각도 오차 값을 그림 3(b)와 같이 실험적으로 구하였다. 6Hz 이하의 주파수에서는 최대 -0.2° 의 각도 오차가 발생하였고, 6Hz 이상의 주파수에서는 최대 $+0.05^\circ$ 의 각도 오차가 나타났다. 이같은 $-0.2^\circ \sim +0.05^\circ$ 범위의 각도 오차 값은 손떨림 주파수 대역에서 비선형적으로 나타나고 있다. 이를 위해서 BACF/DCF



(a) 손떨림 주파수에 대한 BACF/DCF 출력 신호



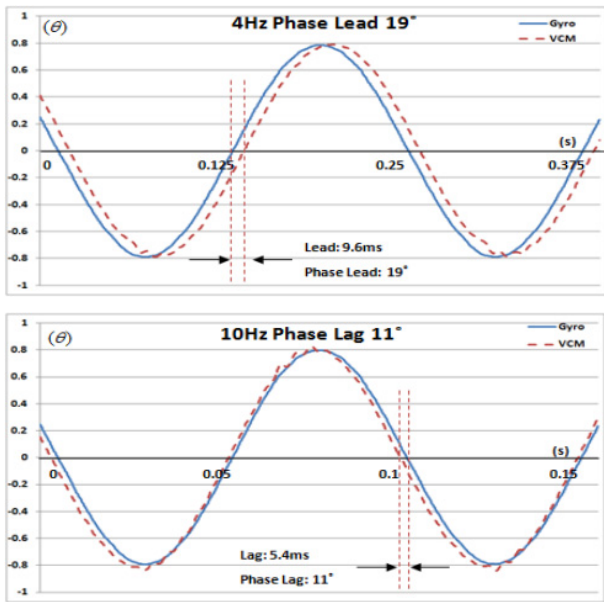
(b) 손떨림 주파수에 대한 BACF/DCF 각도 및 오차

그림 3. 손떨림 주파수에 대한 자이로 센서의 출력 각도 및 오차

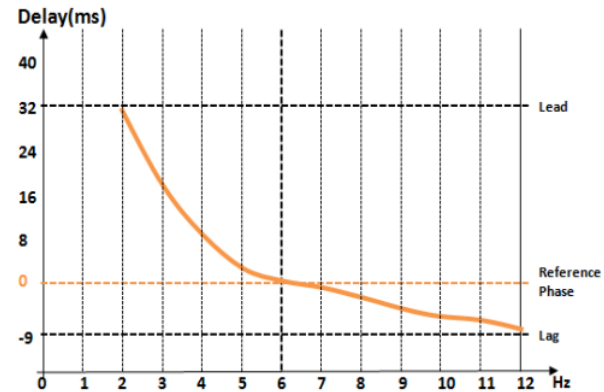
Fig. 3. Output angle and error of gyro sensor vs. hand-shake frequencies.

출력의 비선형적 각도 오차 값을 피드백 보상하는 알고리즘을 설계하였다. 비선형적 보상 알고리즘은 BACF/DCF의 각도 오차 값을 손떨림 주파수에 따라가변적으로 상쇄해서, 각도 오차 보상 성능을 손떨림 주파수 대역에서 일정하게 평활화시키고자 한다.

또한 OIS 시스템에는 손떨림 주파수에 대하여 움직임 검출부에 입력된 손떨림 각도와 움직임 보정부에서 VCM이 렌즈를 움직여 보정한 결과 값 사이에 위상 차이가 발생한다. 그림 4(a)는 4Hz의 낮은 손떨림 주파수 대역에서는 입력된 손떨림 신호보다 VCM의 위상앞섬(phase-lead) 현상이 발생하고, 10Hz의 높은 손떨림 주파수 대역에서는 반대로 입력된 손떨림 신호보다 VCM의 위상지연(phase-lag) 현상이 발생하는 것을 나타내고 있다. 본 연구에서는 그림 4(b)와 같이 손떨림 주파수에 대한 위상 오차 값을 실험적으로 측정하였다. 이같은 VCM의 비선형적 위상



(a) 손떨림 주파수에 대한 위상앞섬과 위상지연



(b) 손떨림 주파수에 대한 위상 오차

그림 4. 손떨림 주파수에 대한 위상 오차
Fig. 4 Phase error vs. hand-shake frequency

오차 응답 특성을 보상하기 위하여 손떨림 주파수 대역에서 제어기의 이득 값을 비선형적으로 역조절해서 위상 오차 보상 능력을 일정하도록 평활화시킨다.

모바일 OIS 움직임 검출부에 입력되는 손떨림 신호는 그림 5와 같이 손떨림 이외의 다양한 신호들이 입력될 수 있는데^[17], 이를 적절히 구분하여 처리하지 못할 경우에 입력되는 손떨림 신호가 VCM의 제어 범위를 초과해서 OIS 시스템이 불안정한 상태가 될 수 있다. 이를 해결하기 위해서 2~12Hz 주파수 범위의 손떨림 상태만을 검출한 연구는 손떨림 이외의 상황에 대하여 불안정 상태를 가져올 수 있다^[14]. 또한 퍼지 시스템을 이용한 연구는 정지/손떨림의 2가지 상태를

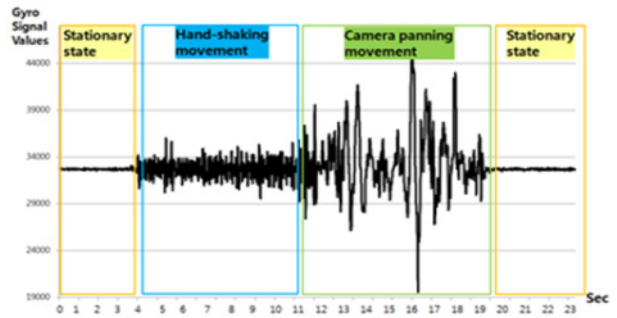


그림 5. 자이로 센서 출력신호의 다양한 형태
Fig. 5. Various types of the output signals of gyro sensor.

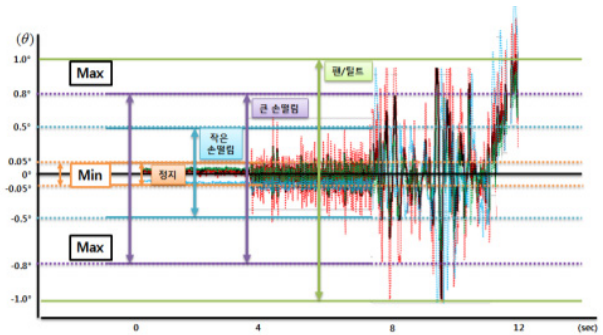


그림 6. 손떨림 신호에 대한 상태 구분
Fig. 6. State decision for hand-shake signals.

구분했지만, 보다 다양한 형태의 손떨림 신호에 대한 검출이 요구된다.^[15]

본 연구에서는 {정지, 작은 손떨림, 큰 손떨림, 팬/틸트}의 4가지 상태를 구분하기 위해서 오차 보상된 손떨림 각도에 대하여 퍼지기반 상태 검출 알고리즘을 실험적으로 개발하였다. 그림 6과 같이 예외처리가 필요한 정지와 팬/틸트 상태와 손떨림 보정이 필요한 작은 손떨림과 큰 손떨림 상태를 분류하고자 한다. 정지 상태는 VCM의 최소 반응 값(Min) 보다 작은 손떨림 각도 범위에서 결정되며, 최대 반응 값(Max) 보다 큰 범위에서는 팬/틸트 상태로 구분된다. 또한 VCM의 [Min, Max]의 구간중 상위 50% 구간은 큰 손떨림 상태로, 하위 50% 구간은 작은 손떨림 상태로 구분된다. 이와 같이 세분화된 손떨림 상태 검출은 움직임 보정부의 VCM에 대한 적절한 제어를 가능하게 하여 전체 모바일 OIS 시스템의 안정성을 높일 수 있다.

III. 퍼지기반 움직임 검출부 설계 및 구현

제안되는 움직임 검출부는 그림 7과 같이 구성된다. 드리프트와 0점 이탈을 방지하는 BACF/DCF, 자이로 센서의 오차가 보정된 손떨림 신호(ω')를 각도(θ)로 변화시키는 적분기, 손떨림 상태(Q)를 검출하고 주파수에 따른 각도 및 위상 오차를 보정하는 ($Gain_{DCF}$, $Gain_{PID}$) 퍼지 시스템으로 이루어진다.

자이로 센서에서 손떨림 신호(ω)가 출력되면, BACF에서 초기 오프셋 값(off)을 결정한 후에 DCF로 전달한다. DCF는 드리프트의 원인인 자이로 센서의 고유 오차를 제거한다. 오차가 제거된 손떨림 신호(ω')는 적분기에 의하여 손떨림 각도(θ)로 변화되어, 퍼지 시스템과 움직임 보정부로 출력된다. 퍼지 시스템은 $Gain_{DCF}$ 을 피드백시켜서 손떨림 주파수에 대한 각도 오차를 보상한다. 또한 퍼지 시스템은 $Gain_{PID}$ 을 움직임 보정부에 전달하여 손떨림 주파수에 대한 위상 오차를 보상하고, 입력된 손떨림 각도(θ)의 크기에 따라 손떨림 상태(Q)를 검출한다.

구성된 퍼지 시스템의 블록도는 그림 8과 같다. 자이로 센서의 출력 신호를 퍼지 언어 변수로 변환하는

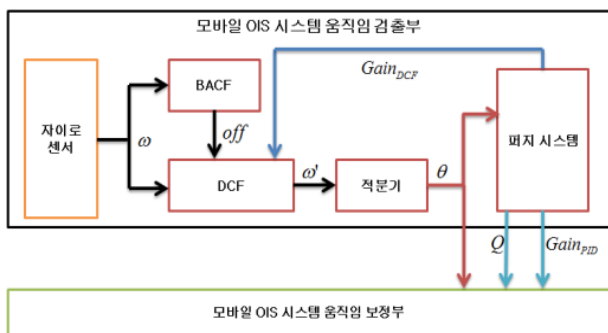


그림 7. 움직임 검출부 블록도
Fig. 7. Motion detection block diagram.

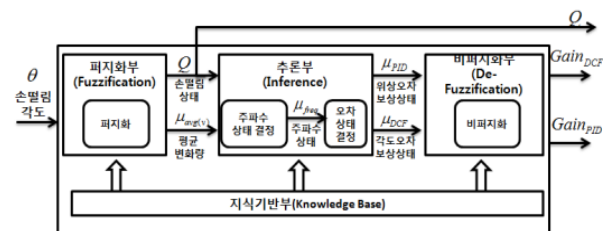


그림 8. 퍼지 시스템 블록도
Fig. 8. Fuzzy system block diagram.

퍼지화부(Fuzzification), 퍼지화된 언어 변수를 퍼지 법칙을 이용하여 결과 값으로 추론하는 추론부(Inference), 추론된 언어적 결과 값을 실제 사용가능한 출력 값으로 변환하는 비퍼지화부 (Defuzzification), 모든 퍼지 연산의 기반이 되는 지식기반부(Knowledge Base) 등으로 구성된다.

퍼지화부에 손떨림 각도(θ)가 입력되면, 움직임 보정부 VCM의 안정적인 구동을 위해서 각도 크기를 이용하여 4가지 손떨림 상태(Q)를 검출한다. 또한 주파수 상태 검출을 위해 각도 변화량을 기반으로 손떨림 신호 평균 변화 상태($\mu_{avg(v)}$)를 산출한다. VCM이 최소로 반응할 수 있는 그림 9의 오차 허용 범위(Error Limit)를 넘어선 손떨림 각도(θ) 값은 방향이 반전되는 변곡점(+ \rightarrow - @A, - \rightarrow + @B)의

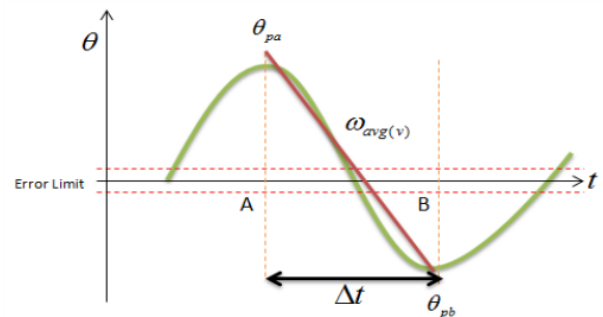
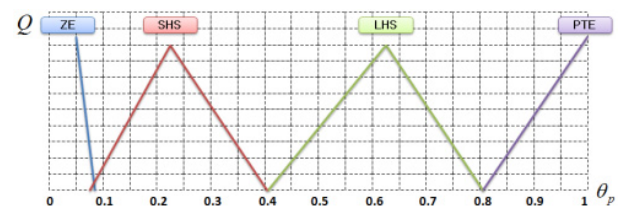
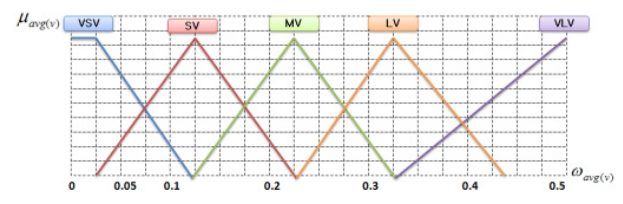


그림 9. 손떨림 각도(θ)와 평균 변화량($\omega_{avg(v)}$)
Fig. 9. Hand-shake angle(θ) and average variation ($\omega_{avg(v)}$).



(a) 손떨림 상태 멤버 함수



(b) 평균 변화 상태 멤버 함수

그림 10. 손떨림 상태와 평균 변화 상태의 멤버 함수
Fig. 10. Membership function of hand-shake state and average variation state.

입력 각도 값(θ_{pa} , θ_{pb})에서 그림 10(a)와 같은 4개의 상태 구분 멤버 함수를 통해서 손떨림 상태 퍼지 집합의 언어적 변수(Q)로 변환된다. 손떨림 상태 멤버 함수는 4개 손떨림 {정지, 작은 손떨림, 큰 손떨림, 팬/틸트} 상태에 대해서 각각 {ZE(Zero Exception), SHS(Small Hand-Shake), LHS(Large Hand-Shake), PTE(Pan/Tilt Exception)}의 손떨림 상태 퍼지 집합(Q)으로 실험을 통해서 정의되었다. 또한 인근 변곡점간의 평균 변화량($\omega_{avg(v)}$)을 식 (1)과 같이 계산한 후에, 그림 10(b)의 5가지 상태 멤버함수를 통해서 손떨림 신호 평균 변화 상태 수($\mu_{avg(v)}$)로 변환된다. 손떨림 신호 평균 변화량($\omega_{avg(v)}$)에 대해서 5개 멤버 함수 VSV(Very Small Variation), SV(Small Variation), MV(Medium Variation), LV(Large Variation), VLV(Very Large Variation) 등의 손떨림 신호 평균 상태 수($\mu_{avg(v)}$)가 실험적으로 정의된다.

$$\omega_{avg(v)} = \frac{\theta_{pa} - \theta_{pb}}{\Delta t} \quad (1)$$

추론부는 퍼지화부에서 출력된 손떨림 상태(Q) 및 평균 변화 상태($\mu_{avg(v)}$)에 따라서 표 1의 퍼지 규칙을 이용하여 손떨림 주파수 상태(μ_{freq})를 결정한다. 손떨림 주파수 상태는 7개의 멤버함수 ZE_P(Zero

표 1. 손떨림 주파수 상태의 퍼지 규칙 표
Table 1. Fuzzy rule table of hand-shake frequency state.

Q	$\mu_{avg(v)}$	VSV	SV	MV	LV	VLV
	ZE	ZE_P	S_P	LP	F_P	PTE_P
	SHS	S_P	L_P	F_P	VF_P	PTE_P
	LHS	VS_P	S_P	LP	F_P	VF_P
	PTE	ZE_P	S_P	LP	F_P	PTE_P

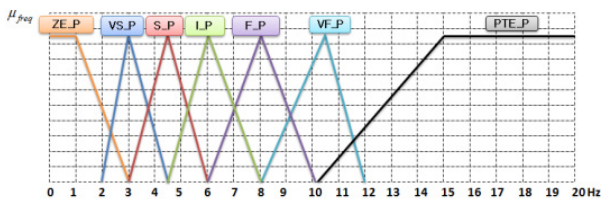


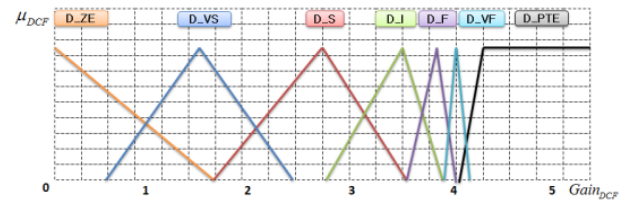
그림 11. 주파수 상태의 멤버함수
Fig. 11. Membership functions of frequency state.

Exception Phase), VS_P(Very Slow Phase), S_P(Slow Phase), I_P(Idle Phase), F_P(Fast Phase), VF_P(Very Fast Phase), PTE_P (Pan/Tilt Exception Phase)로 구분되어, 그림 11과 같이 실험적으로 설계되었다. 손떨림 주파수 상태(μ_{freq})가 결정되면, 표 2의 퍼지 규칙을 통해서 각도 오차 보상 상태(μ_{DCF}) 및 위상 오차 보상 상태(μ_{PID})를 각각 결정하게 된다.

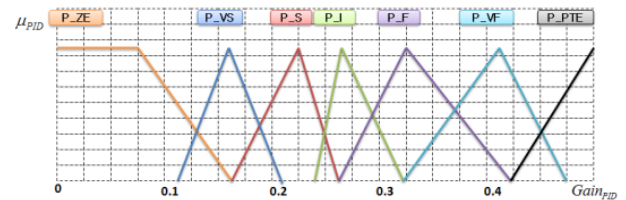
비퍼지화부에서는 각도 오차 보상 값($Gain_{DCF}$) 및 위상 오차 보상 값($Gain_{PID}$)을 산출하기 위하여, 그림 12와 같은 오차 보상 멤버 함수를 실험적으로 설계하였다. 또한 결정된 각각의 오차 보상

표 2. 각도 및 위상 오차 보상 상태의 퍼지 규칙 표
Table 2. Fuzzy rule table of angle and phase error correction state.

오차 보상 상태 주파수 상태	μ_{DCF}	μ_{PID}	
	ZE_P	D_ZE	P_ZE
	VS_P	D_VS	P_VS
	S_P	D_S	P_S
	LP	D_I	P_I
	F_P	D_F	P_F
	VF_P	D_VF	P_VF
	PTE_P	D_PTE	P_PTE

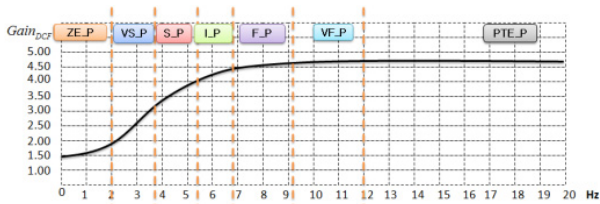


(a) 각도 오차 보상 멤버 함수

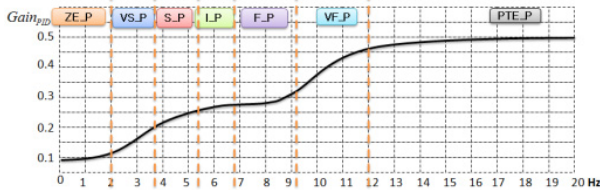


(b) 위상 오차 보상 멤버 함수

그림 12. 손떨림 각도 및 위상 오차 보상 멤버 함수
Fig. 12. Membership functions of hand-shake angle and phase error correction.



(a) 각도 오차 보상 목표 값



(b) 위상 오차 보상 목표 값

그림 13. 손떨림 각도 및 위상 오차의 보상 목표 값
Fig. 13. Compensation target values of hand-shake angle and phase error.

상태(μ_{DCF}, μ_{PID})를 식(2)와 식(3)의 무게중심법을 이용해서 비퍼지화시킨다. 이같은 비퍼지화 과정을 통해서 퍼지 언어적 변수들은 실제 시스템에서 사용될 수 있는 DCF 및 PID 이득 값($Gain$)으로 변환된다. 변환된 각도 오차 보상 값($Gain_{DCF}$) 및 위상 오차 보상 값($Gain_{PID}$)은 손떨림 주파수 상태(μ_{freq})를 통해서 그림 13의 오차 보상 목표 값들이 산출될 수 있도록 각각 실험적으로 설계되었다.

$$Gain_{DCF} = \left(\int \mu \cdot \mu_{DCF}(\mu) du \right) / \left(\int \mu_{DCF}(\mu) du \right) \quad (2)$$

$$Gain_{PID} = \left(\int \mu \cdot \mu_{PID}(\mu) du \right) / \left(\int \mu_{PID}(\mu) du \right) \quad (3)$$

IV. 실험 및 고찰

가진기와 레이저 변위센서, OIS 컨트롤러와 카메라 등으로 구성된 모바일 OIS 시스템 실험환경이 그림 14에 보인다. 가진기를 이용하여 실제 손떨림과 유사한 진동을 발생시키고, OIS 컨트롤러와 모바일 카메라로 영상을 촬영하여, 레이저 변위센서를 통해 실제로 손떨림이 보정된 값을 측정한다. 이를 통하여 제안된 모바일 OIS 움직임 검출부의 성능을 정량적/정성적으로 검증한다.

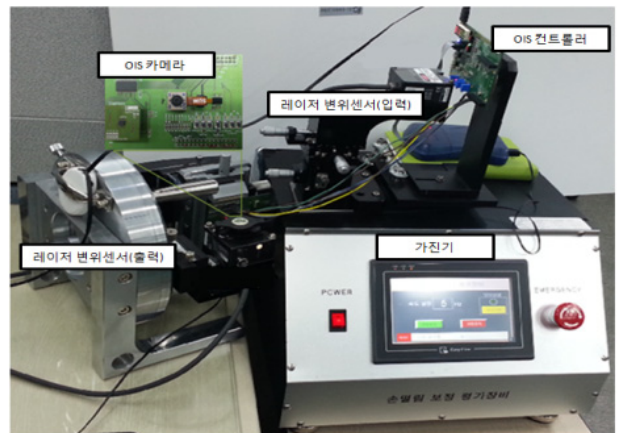


그림 14. 모바일 OIS 시스템 실험 환경
Fig. 14. Mobile OIS system experimental environment.

1. 모바일 OIS 움직임 검출부 성능 검증

퍼지기반 움직임 검출부의 성능 평가를 위하여 손떨림 주파수 상태(μ_{freq})를 검출하였고, 오차 보상 손떨림 각도(θ) 및 위상 차이(delay)를 측정하였다.

가진기에서 손떨림 신호를 $\pm 0.8^\circ$ 각도로 2~12Hz의 주파수를 가변시키면서 OIS 컨트롤러의 입력 신호에 인가하였다. 변위 센서를 이용하여 손떨림 신호를 측정하였으며, 가변된 주파수에 따라서 검출된 손떨림 주파수 상태(μ_{freq}) 결과 값이 그림 15에 보인다. 손떨림 주파수 상태(μ_{freq}) 결정이 $1/4T$ 만에 신속하게 이루어지는 것으로 확인되었다. 또한 손떨림 신호 주파수가 2~12Hz로 가변되는 것에 맞추어서 손떨림 주파수 상태(μ_{freq}) {ZE_P, VS_P, S_P, LP, F_P, VF_P}가 적절하게 검출되는 것이 검증되었다.

손떨림 각도 및 위상 오차 보상 성능을 검증하기 위해서, 가진기에서 입력된 $\pm 0.8^\circ$ 각도 및 2~12Hz

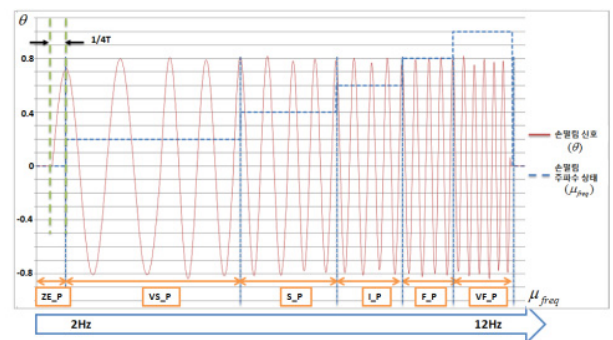
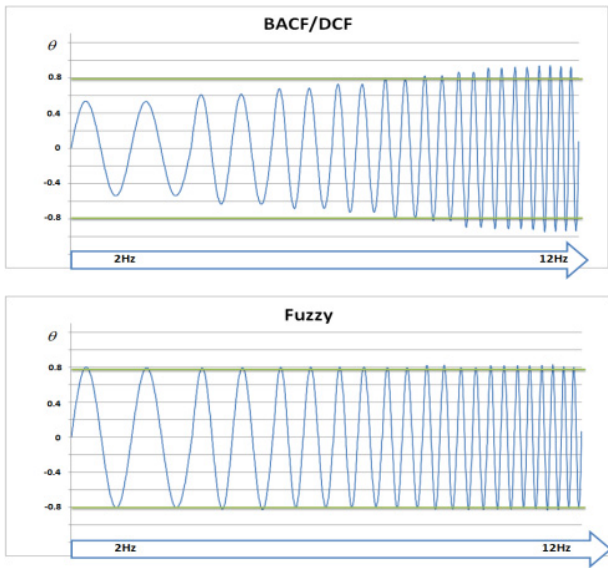
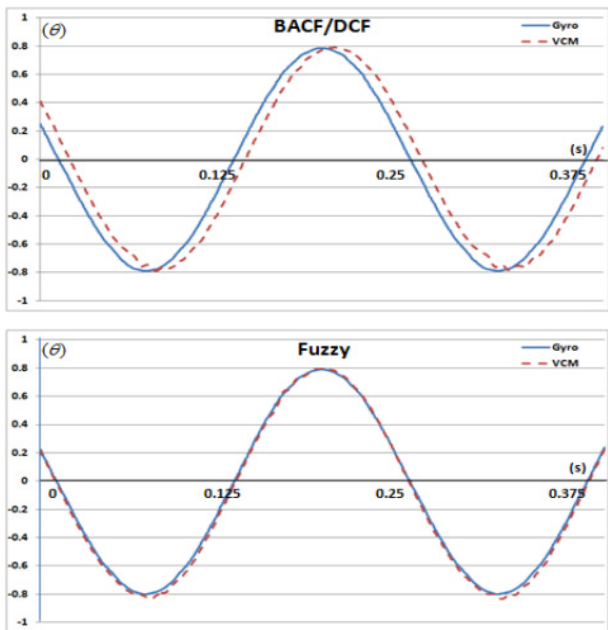


그림 15. 주파수 상태 결정
Fig. 15. Frequency state decision.



(a) 손떨림 각도 오차 보상 성능비교



(b) 손떨림 위상 오차 보상 성능 비교

그림 16. 손떨림 각도 및 위상 오차 보상

Fig. 16. Hand-shake degree and phase error compensation.

주파수 손떨림 신호에 대한 기존 BACF/DCF 및 퍼지기반 알고리즘의 손떨림 보상 결과 값을 각각 그림 16에 비교하였다. BACF/DCF는 주파수에 따라서 가변적인 각도 보상 결과 값을 산출하지만, 퍼지기반 알고리즘은 평활화된 각도 보상 결과 값을 출력하는 것이 그림 16(a)에서 확인되고 있다. 그림 16(b)는 ±0.8° 각도 및 4Hz 주파수의 손떨림 신호에 대한 기존



그림 17. 손떨림 상태 검출

Fig. 17. Hand-shake state detection.

BACF/DCF와 퍼지기반 알고리즘의 위상 보상 결과 값을 비교해서 나타내고 있다. 퍼지기반 위상 오차 보상 알고리즘이 손떨림 입력신호(θ)와 움직임 보정부 VCM의 보상값(θ') 사이의 위상차(9.6ms) 현상을 해결하는 것이 확인된다.

모바일 OIS시스템의 안정성을 개선하기 위해서 다양한 손떨림 상태(Q) 검출 성능을 측정하였다. 가진기를 이용하여 $\{\theta=0, -0.5^\circ \leq \theta \leq +0.5^\circ, -0.8^\circ \leq \theta \leq +0.8^\circ, \theta \geq 1.0^\circ\}$ 의 가변적인 손떨림 진동을 OIS 컨트롤러에 입력하고, 손떨림 상태 검출 결과를 확인하였다. 그림 17은 퍼지기반 손떨림 상태 검출 알고리즘이 입력된 각도에 따라서 {정지, 큰 손떨림, 작은 손떨림, 팬/틸트}의 손떨림 상태를 적절하게 검출하는 것을 보이고 있다.

2. 모바일 OIS 시스템 성능 평가

모바일 OIS 시스템(그림 14)의 가진기에 2~12Hz의 주파수로 ±0.5° 와 ±0.8° 손떨림 진동을 입력시키면서, 퍼지기반 모바일 OIS 시스템의 보상 성능 평가를 진행하였다. 정량적 보상 성능은 퍼지기반 알고리즘과 기존 BACF/DCF의 각각에 대하여 식(4)의 Correction Ratio^[9]를 구해서 비교하였다. $OISON(OFF)$ 은 OIS 보상의 있음(없음)을 나타내고, $WV(NV)$ 는 손떨림 진동의 있음(없음) 경우를 표시한다.

$$Correction\ Ratio[dB] = 20\log \frac{OISON_{WV} - OISOFF_{NV}}{OISOFF_{WV} - OISOFF_{NV}} \quad (4)$$

표 3은 2~12Hz 주파수로 손떨림 각도 ±0.5°, ±0.8° 손떨림 진동을 입력했을 때 퍼지기반 알고리즘 및 BACF/DCF의 정량적 보상 성능을 측정된 결과 값이다. Correction Ratio(CR)의 보상 성능을 통해서 퍼지기반 알고리즘은 BACF/DCF에 비해서 2~12Hz 손떨림 주파수 범위에 대해서 손떨림 각도 ±0.5°에서 평균

표 3. Correction Ratio 실험 결과
Table 3. Experimental results of Correction Ratio.
(단위: dB)

주파수	±0.5°			±0.8°		
	퍼지 기반	BACF/DCF	차이 (ΔCR)	퍼지 기반	BACF/DCF	차이 (ΔCR)
2Hz	21.37	16.38	4.99	17.58	13.67	3.91
4Hz	20.82	18.22	2.60	18.02	16.72	1.30
6Hz	21.91	20.46	1.45 (Δ_{Min})	18.34	18.04	0.30 (Δ_{Min})
8Hz	19.72	17.24	2.48	17.58	12.88	4.70
10Hz	18.51	13.40	5.11	16.84	10.80	6.04 (Δ_{Max})
12Hz	16.77	10.24	6.53 (Δ_{Max})	11.64	6.52	5.12
평균	19.85	15.99	3.86	16.67	13.11	3.56
개선성능	3.71					

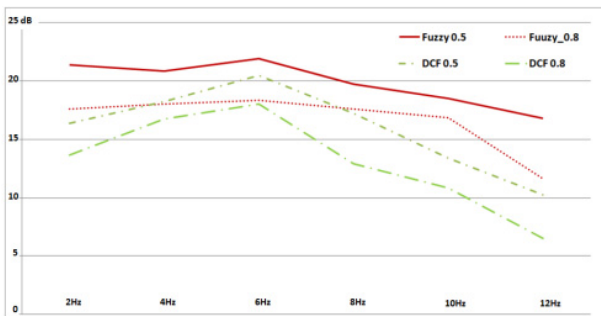
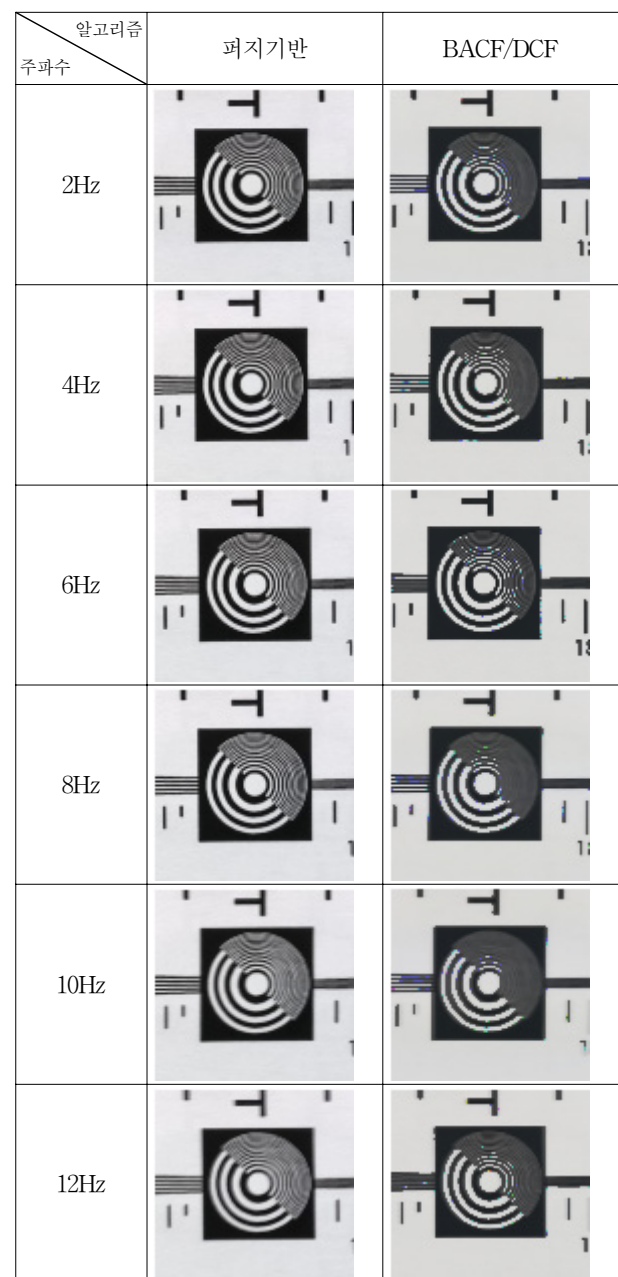


그림 18. 퍼지기반 알고리즘의 보상 성능
Fig. 18. Compensation performance of Fuzzy-based algorithm

3.86dB 만큼, ±0.8°에서는 평균적으로 3.56dB의 ΔCR 개선 효과를 각각 보이면서 전체적으로 3.71dB 정도 향상된 우수한 손떨림 보상 성능을 확인시켰다. 손떨림 주파수 6Hz에서 퍼지기반 및 BACF/DCF 알고리즘은 각각 최대 CR 값을 보이고 있으며, ΔCR 개선 효과는 가장 작게 나타나고 있다. 반면에 손떨림 주파수가 6Hz에서 커지거나 작아질수록 전체적인 CR 값은 퍼지기반 및 BACF/DCF 알고리즘 모두에서 감소되고 있지만 ΔCR 개선 효과는 증가하는 경향을 보이고 있다. 그림 18은 퍼지기반 알고리즘의 손떨림 주파수 및 각도에 대한 보상 성능의 차이와 개선 효과를 나타내고 있다. 이같은 실험 결과를 통해서 퍼지기반

알고리즘이 BACF/DCF 알고리즘보다 손떨림 주파수 전체 범위(2~12Hz)에서 우수하고 평활화된 보상 성능을 제공함을 확인할 수 있다.

ISO-12233 차트에 대해서 손떨림 주파수(2~12Hz) 및 각도(±0.5°, ±0.8°)를 변화시키면서, 퍼지기반 및 BACF/DCF 알고리즘을 비교하는 정성적 평가를 진행하였다. 그림 19(a)는 작은 손떨림 각도(±0.5°)에 대한 퍼지기반 알고리즘의 보상 영상을 기존 BACF/DCF 보상 영상과 비교하고 있다. 퍼지기반



(a) ISO-12233 차트(±0.5°@2~12Hz)

알고리즘 주파수	퍼지기반	BACF/DCF
2Hz		
4Hz		
6Hz		
8Hz		
10Hz		
12Hz		

(b) ISO-12233 차트($\pm 0.8^\circ$ @2~12Hz)

그림 19. 퍼지 및 BACF/DCF 알고리즘의 모바일 OIS 시스템 보상 영상

Fig. 19. Compensation images of the two mobile OIS systems with Fuzzy-based and BACF/DCF algorithms

보상 영상들은 손떨림 주파수 전체 범위에서 적절한 보상 효과를 보이지만, BACF/DCF는 6Hz에서만 명확하고 4Hz 이하의 낮은 손떨림 주파수와 8Hz 이상의 높은 손떨림 주파수에서는 흔들린 보상을 출력하고 있다. 그림 19(b)의 큰 손떨림 각도($\pm 0.8^\circ$)에

대한 모바일 OIS 보상 영상들은 작은 손떨림 각도의 경우보다 전반적인 보상 능력이 떨어지나, 퍼지기반 보상 영상이 BACF/DCF에 비교해서 상대적으로 우수한 결과를 나타내고 있다.

V. 결 론

본 연구에서는 모바일 OIS 움직임 검출부의 자이로 센서를 위해서 퍼지기반 손떨림 오차 보상 알고리즘을 설계 및 구현하였다. 퍼지기반 오차 보상 알고리즘은 기존의 BACF/DCF에 비하여 손떨림 주파수 대역(2~12Hz)에서 평활화된 각도 오차 보상 성능을 보였으며, 위상 지연 및 앞섬 현상에 대한 보상 결과를 확인시켜 주었다. 퍼지기반 모바일 OIS 시스템은 기존의 BACF/DCF 보상 시스템 보다 평균적으로 3.71dB 성능 개선 효과를 보였다. 또한 본 연구에서는 VCM의 제어범위에 따라서 손떨림을 포함한 다양한 신호를 적절하게 구분하는 퍼지기반 손떨림 상태 검출 알고리즘을 개발하였다. 주파수 상태를 1/4T 만에 신속하게 결정하고, 다양한 {정지, 작은 손떨림, 큰 손떨림, 팬/틸트}의 손떨림 상태를 검출하여, 움직임 보정부의 VCM에 대한 예외처리를 가능하게 해서, 모바일 OIS의 제어 안정성을 높일 수 있다.

REFERENCES

- [1] Jinny Seo, Kwangnam Choi, "Technology & Market Trend Analysis of Camera Module for Mobile Phone", Korea Institute of Science and Technology Information, Vol.5 No.2_1 [2007], 482-486
- [2] Seok-Bum Ko, "The latest Technology Trends of Mobilephone Camera Module", KISTI 2010.4
- [3] Sang-Yong Park, Eun-Soo Park, and Hakil Kim, "Image Deblurring Using Vibration Information From 3-axis Accelerometer", IEIE SC 2008.5, Vol.45, No.3, 127-137
- [4] Yun-Gu Lee, Jyung-Hwan Cho, ShangGyu Park, "A rolling shutter compensation algorithm for low-cost hardware implementation", IEIE Conference 2010.6, Vol.33, No.1, 2171-2174
- [5] Sangwoo Ahn, Jong-Wha Chong, "Digital Image Stabilization for Mobile Phone Camera in Low-Light Condition without Using Frame

Memory”, IEIE Conference 2011.6, Vol34, No.1, 1084-1087

[6] Sung-Il Hong, Chi-Gook In, Ji-Hoon Kim, Min-Woo An, Hee-Seok Kang, Chi-Ho Lin, “A Car Video Image Stabilization Algorithm Development on The Driver’s Situational Awareness”, IEIE Confernece, 2012.11, 586-589

[7] Jeong-uk Chang, Chi-ho Lin, “Image Shaking Stabilization Algorithm for The Vehicle Video Surveillance”, IEIE Conference 2013.11, 173-176

[8] Tzuu-Hseng S. Li, Member, IEEE, and Ching-Chang Chen, “Extended Kalman Filter based Hand-shake Detector for Optical image Stabilization Using a Low Cost Gyroscope” IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 59, No. 1, 2013.

[9] Seung-Kwon Lee, Jin-Hyeung Kong, “The design and evaluation of BACK/DCF for mobile OIS Gryo sensor’s zero point angle following”, IEIE 2012.8, SD Vol.49, No.8, 16-21

[10] Ho-jun Lee, In-Ho Kook, Kwang-Seong Jeong, Seung-Kwon Lee, Jin-Hyeung Kong, “A study of datapath explore for DCF algorithm in OIS system”, IEIE Conference 2012.6, 1729-1732

[11] Seung-Kwon Lee, In-Ho Kook, Jin-Hyeung Kong, “A study of Mobile Optical Image Stabilization System for Mobile Camera”, IEIE ISOC, 2012.11, 390-392

[12] Ho-Jun Lee, Seung-Kwon Lee, Jin-Hyeung Kong, “Precision Analysis of the DCF algorithm based on the Exponentially Weighted Moving Average Filter for Mobile OIS system”, IEIE Conference 2013.7, 1878-1880

[13] Seung-Kwon Lee and Jin-Hyeung Kong, “An Implementation of Closed-loop Optical Image Stabilization System for Mobile Camera”, 2014 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)

[14] Hyung Jin Chang, Pyo Jae Kim, Dong Sung Song, and Jin Young Choi, “Optical Image Stabilizing System using Multirate Fuzzy PID Controller for Mobile Device Camera”, IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2009-02-20

[15] Yi-Ying Shih, Shun-Feng Su and Imre Rudas, “Fuzzy Based Hand-Shake Compensation for Image Stabilization”, International Conference on System Science and Engineering 2012.

[16] Johann Borenstein and Lauro Ojeda, “Heuristic reduction of gyro drift in vehicle tracking

applications”, Int. J. of Vehicle Autonomous Systems, Vol. 2, No. 1/2, 2009, pp. 78-98

[17] Jeong-Hwan Lee, Jin-Woo Song, Jun-Myeong Shin, Geun-Rok Yoo, “The Image Stabilization System Using MEMS Sensors”, KACC 2005.10 515-520

저 자 소 개



이 승 권(정회원)-주저자
2002년 광운대학교 컴퓨터공학과 학사 졸업.
2004년 광운대학교 컴퓨터공학과 석사 졸업.
2006년 광운대학교 컴퓨터공학과 박사과정 수료
2006년~현재 (주)동운아나텍 시스템팀 근무
<주관심분야 : 모바일 카메라 및 프로세서(AP), 영상 신호처리(ISP), Embedded Computing System 설계>



공 진 흥(평생회원)-교신저자
1980년 서울대학교 전자공학과 학사 졸업.
1982년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업.
1989년 텍사스 주립대학교(Austin) 컴퓨터공학과 박사 졸업.
1989년~현재 광운대학교 컴퓨터공학과 교수
<주관심분야 : 영상신호처리 SoC 설계, Embedded Computing System 설계>