

# CCM 테스트 핸들러의 자동초점조절을 위한 퍼지탐색 방법

## A Fuzzy Search Method for Auto Focusing of CCM Test Handlers

권혁중, 윤희상, 박태형\*  
(Hyuk-Joong Kwon, Hee-Sang Yoon, and Tae-Hyoung Park)

**Abstract :** We propose a new-focusing method for test handlers of compact camera module (CCM). The MMD (max-min difference) method is applied to calculate the focus value quickly considering the noisy output of CCM. Also, the fuzzy search method is applied to find the maximum focus value effectively. We design a fuzzy processor to control the lens position by focus values and brightness values, which improves the focusing performance in the sense of speed and processor memory. The proposed method is implemented by computer program and installed at the CCM test handler machines. The simulation results are presented to verify the usefulness of the proposed method.

**Key words :** CCM(Compact Camera Module), test handler, auto focusing, fuzzy search

### I. 서론

휴대폰, PDA 등 모바일 기기의 사용 확대로 소형 카메라 모듈(CCM : Compact Camera Module)의 수요가 크게 증가하고 있다. CCM은 CCD 카메라와 달리 CMOS 이미지 센서(CIS : CMOS image sensor)로 구성된다. CCM은 이미지 처리용 회로를 칩 안에 집적할 수 있기 때문에 소형으로 제작이 가능하며, 낮은 가격으로 생산이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 해상도가 상대적으로 낮으며, 출력 신호에 잡음이 많다는 단점이 있다.

CCM 테스트 핸들러는 CCM 조립라인의 핵심기능을 담당하는 장비로서, 조립된 CCM의 렌즈위치를 조절하여 초점을 정확하게 맞추는 역할을 담당한다. 다양한 모델의 CCM을 대상으로 작업이 수행되며, 초점 조절에 소요되는 시간은 조립라인의 생산성과 직결되므로 최소화되어야 한다. 본 논문은 CCM 테스트 핸들러의 빠른 자동초점조절을 위한 새로운 방법을 제시한다.

그림 1은 렌즈의 위치에 따른 카메라 초점 값의 일반적인 그래프이다. 렌즈의 위치가 정초점 위치에 도달하는 경우 초점 값은 최대가 되며, 렌즈위치를 조절하여 빠르고 정확하게 정초점 위치에 도달시키는 것이 자동초점조절 문제이다.

정초점을 효과적으로 찾기 위한 많은 연구들이 발표되었으나, 대부분의 연구는 CCD 카메라 및 비디오 카메라를 대상으로 하였다. 초점 값 그래프가 산의 형태로 분포한다는 것을 이용한 Hill-Climbing 탐색(HCS) 방법 [2]은 가장 기본적인 초점조절 방법이다. 가변 간격 탐색 방법 [2,3] 및 등 간격 탐색 방법 [4]은 렌즈의 이동 간격의 크기를 조절하여 탐색 시간을 단축시키는 방법이다. 또한 초점 영역을 조절하여 탐색 시간을 단축시키는 modified fast climbing search[5], 이진 탐색 방법 [6] 및 피보나치 탐색 방법 [7]등이 제안되었다. 또한 비디오카메라를 적용 대상으로 하는 퍼지탐색 방법[8,9]

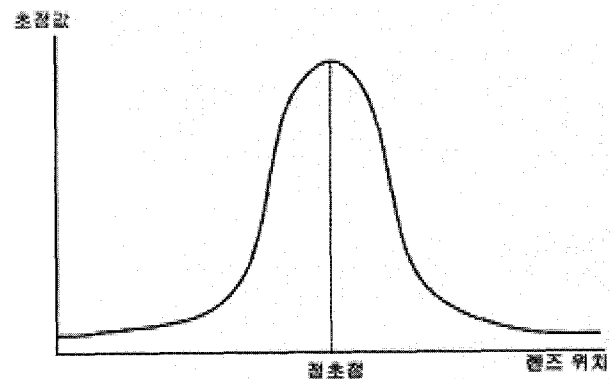


그림 1. 초점 값 그래프.

Fig. 1. Graph of focus value.

들도 제안되었다.

CCM 테스트 핸들러에 적용을 목적으로 개발된 자동 초점 조절 방법으로 2단계 탐색 방법 [1]이 있다. 이 방법은 전체 탐색 단계를 총괄조절 단계와 미세조절 단계로 구분하여 탐색횟수를 줄인 방법이다. 총괄조절 단계에서는 CCM 모델 별로 미리 정의된 look-up 테이블을 사용하여 정초점 부근으로 렌즈위치를 조절한다. 미세조절 단계에서는 잘 알려진 HCS 방법을 사용하여 정초점 위치를 찾는다. 이 방법은 look-up 테이블 사용으로 인한 빠른 탐색의 장점이 있으나, CCM 모델의 수가 증가하여야 하는 경우, 모델 별 테이블 작성의 어려움과 함께 소요 메모리가 크게 증가한다는 단점이 있다. 또한 look-up 테이블 작성 시의 조도와 실제 조도와의 차이가 발생하는 경우, 탐색시간의 지연이 발생 될 수 있다.

본 논문에서는 CCM 테스트 핸들러의 자동초점조절을 위한 기존의 방법을 개선하기 위하여, CCM 모델 별 look-up 테이블을 퍼지탐색으로 대체하는 새로운 방법을 제시한다. 이 방법은 CCM 모델 별 Look-Up 테이블 작성에 소요되는 시간과 노력을 감축시킬 수 있으며, 소요 메모리도 크게 줄일 수 있다. 또한 조도 변화에 따른 탐색시간의 지연을 방지할 수 있다.

2장에서는 CCM 테스트 핸들러용 자동초점조절 시스템의 구조를 제시한다. 3장에서는 퍼지탐색을 위한 퍼지화 방법, 4

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 11. 27., 채택확정 : 2007. 10. 10.

권혁중, 윤희상, 박태형 : 충북대학교 제어계측공학과

(hjkwon@cbnu.ac.kr/nada621@hanmail.net/taehpark@cbnu.ac.kr)

※ 이 논문은 교육부의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(충북 BIT 연구중심대학육성사업단).

장에서는 퍼지 연산기, 5장에서는 역퍼지화 방법을 설명한다. 6장에서는 제안된 방법과 기존 방법의 비교시뮬레이션을 통한 성능평가 결과를 제시한다.

**II. 시스템 구성**

그림 2는 본 논문에서 제안한 CCM 테스트 핸들러의 구조를 보여준다. CCM 테스트 핸들러는 크게 영상획득부, 영상처리부, 기구제어부로 나뉜다. 영상획득부는 CCM과 인터페이스 보드로 구성되며, 테스트 차트에 대한 CCM 출력 신호를 변환하여 영상처리부에 전송한다. CCM 테스트 핸들러는 테스트 차트의 거리가 고정되어 있기 때문에 초점 조절에 영향을 미치는 요인으로 영상의 초점 값과 영상을 획득할 때 조도 값이 된다. 따라서 영상처리부는 획득된 영상으로부터 현재의 초점 값을 계산하고, 렌즈를 결정하여 조도 값을 계산한다. 초점 조절이 필요한 경우 계산된 초점 값과 조도 값은 퍼지 연산기의 입력 변수로 사용되어 이동시킬 렌즈의 위치 값을 결정한다. 기구제어부는 렌즈의 위치 값을 받아 핸들러의 초점조절모터를 구동하여 렌즈의 위치 값을 조정한다. 영상처리 및 기구제어는 초점 값이 정초점에 도달할 때까지 반복적으로 수행된다.

CCM 테스트 핸들러는 생산 단계의 CCM 테스트를 목적으로 하므로 특수한 테스트 차트를 사용하여 영상을 획득한다. 그림 3은 CCM 테스트 핸들러에 사용되는 테스트 차트를 보여준다.

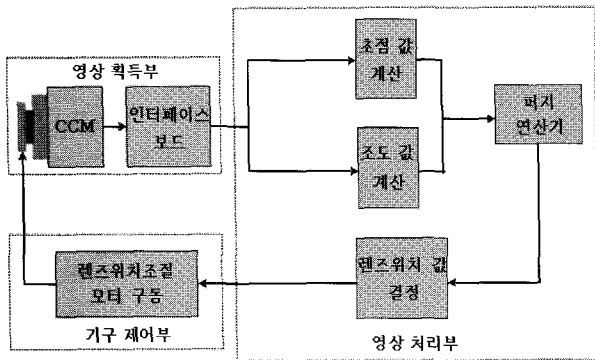


그림 2. CCM 테스트 핸들러의 구성도.  
Fig. 2. Block diagram of CCM test handler.

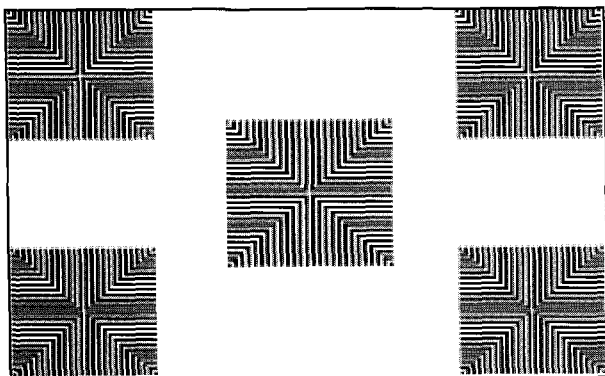


그림 3. CCM 테스트 핸들러용 테스트 차트.  
Fig. 3. Test chart for CCM test handler.

**III. 퍼지화**

퍼지화는 입력 값을 퍼지 값으로 변경하는 과정이다 본 논문에서 사용하는 퍼지 연산기의 입력변수는 영상의 초점 값과 조도 값이다. 퍼지 연산기의 출력 변수는 렌즈의 위치 값이다.

**1. 초점 값 소속 함수**

초점 값을 구하는 방법은 영상의 경계를 추출하는 방법과 고역필터와 같은 방법을 사용하여 고주파 성분을 획득하는 방법이 있다. 기존의 초점 값을 구하는 방법 중 영상의 경계를 추출하는 방법으로는 Sum Modules Difference(SMD) [10]와 영상의 경계를 추출하는 Sobel연산자를 사용하여 초점 값을 구하는 Tenengrad [11] 방법이 있다. 고주파 성분을 추출하는 방법은 Sum Modified Laplacian(SML) [12]과 Max-Min Difference Threshold(MMDT) [13]방법이 있다. 또한 중간 값 필터를 통해 고주파의 특정 부분을 추출하는 Frequency Selective Weighted Median filter(FSWM) [2]방법이 있다.

기존의 방법들은 정확도를 높이면 초점조절시간이 늘어나고, 초점조절시간을 줄이면 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 또한, CCM 테스트 핸들러의 경우 CMOS 센서를 사용하므로 상대적으로 가우시안 특성의 잡음을 포함하고 있다. 기존의 방법들은 FSWM을 제외하고 잡음에 취약하다는 단점이 있다. 그러나 FSWM은 잡음에 강하나 초점 값 계산 속도가 다른 방법에 비해 느린 단점이 있다. 따라서 본 논문은 퍼지 연산기의 입력 변수 중 하나인 초점 값 계산을 테스트 차트의 특성을 고려하여 잡음에 강하고 초점 값 계산 속도가 기존의 다른 방법보다 빠른 Max-Min-Difference(MMD) [1]방법을 사용한다.

MMD 방법은  $M \times N$ 의 전체 영상을  $9 \times 1$  수평 윈도우  $W_{9 \times 1}(i, j)$  ( $i = 1, 2, \dots, M/9; j = 1, 2, \dots, N$ )와  $1 \times 9$  수직 윈도우  $W_{1 \times 9}(p, q)$  ( $p = 1, 2, \dots, M; q = 1, 2, \dots, N/9$ )로 분할한다. 수직 및 수평윈도우의 마스크 크기가 작으면 잡음에 민감하고, 마스크 크기가 크면 초점 값 계산시간을 많이 요구하는 문제가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 잡음에도 강인하고 초점 값 계산속도를 빠르게 하기 위하여 수직 및 수평윈도우를 9개로 분할한다.

각 윈도우 내에서 최대 밝기 값과 최소 밝기 값은 잡음일 확률이 높다. 따라서  $9 \times 1$  수평윈도우 내에서 두 번째 최대 밝기 값  $w_{\max}^H(i, j)$ 와 최소 밝기 값  $w_{\min}^H(i, j)$ 는 각각 다음과 같다.

$$w_{\max}^H(i, j) = 2nd \max_{(x, y) \in W_{9 \times 1}(i, j)} \{f(x, y)\} \tag{1}$$

$$w_{\min}^H(i, j) = 2nd \max_{(x, y) \in W_{9 \times 1}(i, j)} \{f(x, y)\} \tag{2}$$

또한  $1 \times 9$  수직윈도우 내에서의 두 번째 최대 밝기 값  $w_{\max}^V(p, q)$ 와 최소 밝기 값  $w_{\min}^V(p, q)$ 은 다음과 같다.

$$w_{\max}^V(p, q) = 2nd \max_{(x, y) \in W_{1 \times 9}(p, q)} \{f(x, y)\} \tag{3}$$

$$w_{\min}^V(p, q) = 2nd \max_{(x, y) \in W_{1 \times 9}(p, q)} \{f(x, y)\} \tag{4}$$

이때 각 윈도우의 두 값의 차이를 수평윈도우 대표 값  $d^H(i, j)$ 와 수직윈도우 대표 값  $d^V(p, q)$ 로 정의한다.

$$d^H(i, j) = w_{\max}^H(i, j) - w_{\min}^H(i, j) \quad (5)$$

$$d^V(p, q) = w_{\max}^V(p, q) - w_{\min}^V(p, q) \quad (6)$$

(5)와 (6)으로부터 초점 값을 다음과 같이 구한다.

$$FV_{MMD} = \sum_i \sum_j d^H(i, j) + \sum_p \sum_q d^V(p, q) \quad (7)$$

MMD에 의해 계산된 초점 값은 퍼지 연산기의 초점 값 소속 함수의 변수로 사용한다. 초점 값의 범위를 [0,1]사이로 결정하기 위하여 (1)에 의해 구해진 초점 값을 획득 영상에서의 최대 초점 값에 대한 비율로 정의한다. 그림 4는 초점 값 소속 함수를 보여준다. 초점 값이 1일 때 렌즈의 위치가 정초점에 위치하게 되므로 중간 값인 0.5를 기준으로 퍼지 소속 함수를 5단계 즉, 매우 작다(VS), 작다(S), 중간(FM), 크다(B), 매우 크다(VB)로 구분한다.

2. 조도 값 소속 함수

영상의 초점 값에 영향을 미치는 외부적인 요인으로 조도가 있다. 조도는 어떤 면이 받는 빛의 세기를 나타내는 양이다. 조도측정은 외부에 조도센서를 사용하여 측정할 수 있다. 그러나 영상을 획득할 때 영상의 모든 면에 동일한 빛의 세기를 받는 것이 아니라 각 면에 따라 빛의 세기가 달라지므로 영상의 밝기 값이 달라진다. 또한 렌즈의 특징에 따라 영상의 조도 값이 달라지므로 이 방법은 효과적이지 않다.

본 논문은 퍼지 연산기의 입력 변수인 조도 값을 영상의 히스토그램을 이용하여 광도 값을 계산하고, 광도와 조도의 관계를 이용하여 조도 값을 계산한다. 광도는 광원에 빛의 강도를 나타내는 양이다. 그림 5는 동일한 렌즈의 초점 위치

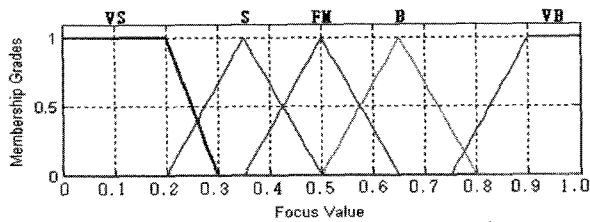
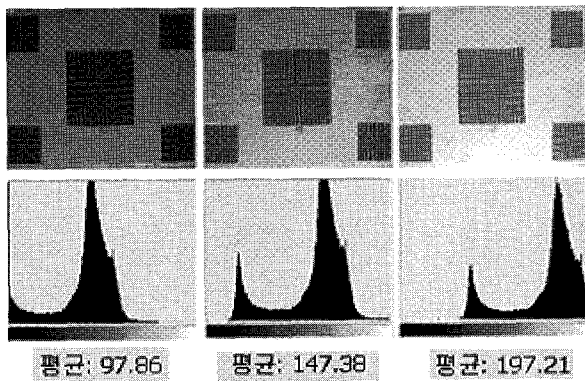


그림 4. 초점 값 소속 함수.

Fig. 4. Membership function of focus value.



(a) 어두운 조명 (b) 평균 조명 (c) 밝은 조명

그림 5. 조명에 의한 광도 히스토그램.

Fig. 5. Luminous intensity by lighting.

에서 외부조명에 의한 테스트 차트의 광도 히스토그램을 보여준다. 조도 값은 광도 히스토그램의 평균값을 직접 사용할 수 있지만 한국공업 규격에 의한 기준을 따르기 위하여 광도를 조도로 변환한다.

광도를 조도로 변환하는 식은 거리 역제곱 법칙(inverse-square law)과 입사각 여현의 법칙(cosine law of incident angle)[14]를 사용한다. 거리 역제곱의 법칙과 입사각 여현의 법칙에 의한 수직 조도  $E_V$  와 수평 조도  $E_H$  는 다음과 같이 정의 된다.

$$E_V = \frac{I}{R^2} \cdot \sin \theta \quad (8)$$

$$E_H = \frac{I}{R^2} \cdot \cos \theta \quad (9)$$

여기서,  $I$  는 광도이고  $R$  은 광원과의 거리이다.

조도 값은 퍼지 연산기의 조도 값 소속 함수의 변수로 사용한다. CCM 테스트 핸들러에서 입력 영상은 흑백 영상이므로 영상의 광도 히스토그램에 최대 평균 광도 값은 255이다. 조도 값의 범위는 획득 영상의 최대 평균 광도 값을 조도 값으로 변환하였을 때의 결과 값을 150으로 설정하고, 150을 최대 조도 값으로 하여 이에 대한 비율로 정의한다. 그림 6은 조도 값 소속 함수를 보여준다. 조도 값 소속 함수의 단계는 4단계 즉, 어둡다(D), 중간(M), 밝다(L), 매우 밝다(VL)로 구분한다.

렌즈의 특징에 따라 렌즈를 통과하는 상대적인 빛의 양이 다르기 때문에 영상의 조도 값은 렌즈에 따라 다르게 적용한다. 렌즈는 빛을 집광하는 것을 목적으로 하기 때문에 빛을 얼마나 유효하게 집광을 할 수 있는가를 정의한 Fnumber(F 값)가 있다. 렌즈의 밝기 값  $F$ 는 조리개를 개방했을 때 렌즈의 밝기로 초점거리 ( $f$ )와 렌즈의 유효구경 ( $D$ ) 라고 할 때 다음과 같이 정의한다.

$$F = f / D \quad (10)$$

F:1인 렌즈를 장착하는 카메라는 F:1.4를 장착하는 카메라

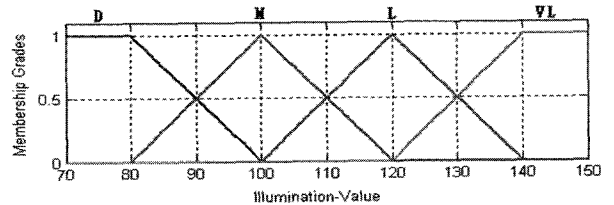


그림 6. 조도 값 소속 함수.

Fig. 6. Membership function of illumination value.

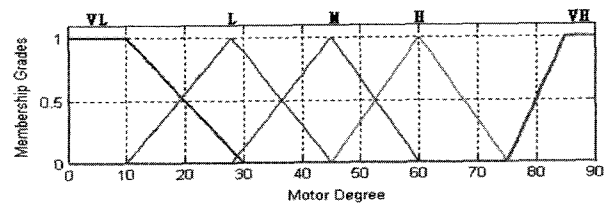


그림 7. 렌즈 위치값 소속 함수.

Fig. 7. Membership function of lens position value.

에 절반의 조도 값으로 같은 화질의 영상을 얻을 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 퍼지 연산기의 조도 값은 사용되는 렌즈에 따라 다른 퍼지 규칙을 적용한다.

3. 렌즈 위치값 소속 함수

그림 7은 출력 값 소속 함수인 렌즈의 위치값 소속 함수를 보여준다. 2개의 입력 변수인 초점 값 소속함수와 렌즈의 특징에 따른 조도 값 소속 함수는 렌즈의 위치값 소속함수와 함께 퍼지 규칙을 구성한다.

렌즈 위치값 소속함수의 범위는 초점 값 그래프의 특징을 고려하여 [0,90]으로 설정한다. 단계는 중간 값인 45를 기준으로 매우 작다(VL), 작다(L), 중간(M), 높다(H), 매우 높다(VH)로 구분한다.

IV. 퍼지 연산기

퍼지 연산기는 초점 값과 렌즈의 특징에 따른 조도 값을 입력으로 사용하고, 렌즈의 위치값을 출력으로 사용하여 초점 조절을 수행한다. 퍼지 규칙의 개수는 각 입력 값 소속 함수에 멤버들 수의 곱과 같으므로 총  $m \times n$  개의 퍼지 규칙이 구성된다. 본 논문은 초점 값 소속 함수의 멤버수가 5개이고 조도 값 소속함수의 멤버가 4개이므로 총 20개의 퍼지 규칙으로 구성된다.

퍼지 규칙에 의한 결과값은 렌즈의 위치가 보정된 값을 의미한다. 이 값에 상응하는 모든 규칙은 실험을 통하여 결정하였다. 소속 함수에 대응하는 퍼지 규칙은 다음과 같이 정의한다.

Rule1. Focus value is "VB" and Illuminance value is "D"  
Then Motor angle is "L" (11)

Rule2. Focus value is "VB" and Illuminance value is "M"  
Then Motor angle is "VL"  
:  
(12)

Rule20. Focus value is "VS" and Illuminance value is "VL"  
Then Motor angle is "H" (13)

표 1은 퍼지 연산기의 모든 퍼지 규칙을 보여준다. 퍼지 규칙들은 퍼지 추론 과정을 통해 기구제어부에서 직접 사용되는 렌즈의 위치 조절 모터 값을 결정한다.

표 1. 퍼지 규칙.  
Table 1. Fuzzy rule.

		조도값			
		D	M	L	VL
초점 값	VB	(Rule 1) L	(Rule 2) VL	(Rule 3) VL	(Rule 4) VL
	B	(Rule 5) L	(Rule 6) L	(Rule 7) VL	(Rule 8) VL
	FM	(Rule 9) M	(Rule 10) M	(Rule 11) M	(Rule 12) L
	S	(Rule 13) VH	(Rule 14) H	(Rule 15) H	(Rule 16) M
	VS	(Rule 17) VH	(Rule 18) VH	(Rule 19) H	(Rule 20) H

V. 역퍼지화

역퍼지화는 퍼지화의 역으로 퍼지 값을 실제 사용되는 렌즈 위치조절 모터 값으로 계산하는 과정이다. 역퍼지화의 보편적인 방법으로는 가장 높은 신뢰도를 갖는 결과 값들의 평균을 계산하는 최대값 평균과 결과 집합의 무게중심을 결정하는 무게중심법이 있다. 또한, 대표 값을 설정하여 그것의 신뢰도를 조정하고 그 값들의 평균을 취하는 최대값들 평균이 있다 [15]. 본 논문은 계산과정이 복잡하지만 다른 방법에 비해 결과 값이 가장 정확한 무게중심법 사용한다.

무게중심법은 다른 방법과는 달리 낮은 소속 정도를 갖는 집합도 고려하여 결과집합의 무게 중심을 결정하기 때문에 결과값이 정확하다. 그러나 무게중심을 결정하기 위해 각 소속함수의 소속 정도를 적분하여 무게 중심점을 찾기 때문에 계산과정이 복잡하다. 기구제어부에서 실제로 사용되는 렌즈의 위치 조절 모터값  $Z$ 는 다음과 같다.

$$Z = \frac{\sum_{k=1}^n \min(f, i) \times Rule(k)}{\sum_{k=1}^n \min(f, i)} \quad (14)$$

여기서,  $f$ 는 초점 값 소속함수의 소속 정도이고  $i$ 는 조도 값 소속함수의 소속 정도이며  $n$ 은 퍼지 규칙의 개수다. 예를 들어, 초점 값에 대한 소속 정도가 0.4, 조도 값에 대한 소속 정도가 0.6일 때, 퍼지규칙 10에 의해 추론 결론은 Medium=0.4가 된다. 이와 같이 모든 규칙에 대해 추론결과를 도출하고 하나의 단일 퍼지 복합으로 결합시킨다. 단일 퍼지 복합으로 결합된 결과 집합은 (14)를 이용하여 실제 사용되는 렌즈 위치 조절 모터 값을 계산한다. 만약 퍼지 규칙이 2개일 때 추론 결론이 Medium=0.4와 High=0.6으로 나왔다고 가정하면 렌즈의 위치 조절 모터 값은  $0.4 \times 45 + 0.6 \times 60 / 0.4 + 0.6 = 54$ 가 된다.

렌즈의 위치가 정초점에 도달하지 않았을 때 이 값은 그 다음 렌즈의 위치 값이 된다. 렌즈의 위치를 결정할 때 렌즈 위치 조절 모터 값 변화의 크기는 역퍼지화의 결과값으로 결정하고, 렌즈의 이동 방향은 전 영상의 초점 값과 현재 영상의 초점 값의 차를 비교하여 결정한다. 만약 전 영상의 초점 값이 현재 영상의 초점 값 보다 크다면 렌즈의 위치는 역 방향이 된다.

퍼지 연산기는 렌즈의 위치가 정초점에 도달할 때까지 위와 같은 과정을 반복 수행한다. 그림 8은 렌즈의 위치가 정초점에 도달할 때까지 수행되는 과정을 보여준다. 렌즈의 위치 값은 퍼지 연산기의 퍼지 규칙에 의해 개선된다. 퍼지 규칙은 정초점에서 먼 경우 렌즈 위치 조절 모터를 크게 동작시켜 정초점 부근으로 이동 시킨다. 정초점 부근에서는 렌즈 위치 조절 모터를 작게 동작시켜 정초점을 정밀하게 탐색한다. 퍼지 연산기는 현재의 초점 값을 개선하는 렌즈 위치 값이 출력하도록 설계 되어있다.

따라서 한번 탐색한 렌즈 위치는 반복적으로 탐색하지 않는다. 정초점 부근에서 현재의 초점 값보다 나쁜 값이 출력될 수 있으나, 이 경우 탐색을 종료하기 때문에 가장 우수한 값으로 탐색할 수 있다.

VI. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서 제안한 자동초점 조절을 위한 퍼지 탐색방법의 실험을 위해 CCM은 2M 화소의 Siliconfile사의 NOON 200PC10을 사용하였다. 입력 영상을 획득하기 위한 Frame grabber는 Euresys사의 Grablink-value를 사용하였다. 자동 초점 조절 테스트 프로그램은 Visual C++를 사용하였으며, MS-Windows XP / IBM-PC Pentium-IV 2.66GHz상에서 구현하였다.

테스트를 위한 영상은 CCM의 초점 렌즈를 일정 간격으로 움직이면서 90장의 영상을 획득하여 미리 저장한 후, 이를 활용하여 실험을 수행하였다. 영상 획득 시 CCM 과 테스트 차트와의 거리를 80cm로 고정하였다. 또한 렌즈의 특징에 따른 성능 평가를 위해 획득한 영상을 Adobe photoshop 7.0을 사용하여 렌즈의 특징에 맞게 처리한 후 실험을 수행하였다.

1. 정초점 위치 탐색 방법 비교

퍼지 연산기를 사용한 자동초점조절 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 HCS, 가변 구간 탐색, 2단계 탐색, 퍼지 탐색 방법을 비교하여 평가하였다. 모든 탐색 방법의 초점 값 계산 방법은 MMD 방법을 사용하였다. 성능평가의 타당성을 높이기 위하여 각 탐색 방법 별로 20번의 실험을 수행하여 평균값으로 비교하여 평가하였다. 또한 각각의 탐색방법은 1/3inch인 렌즈로 획득한 동일한 영상을 사용하여 비교 하였다.

표 2는 각 탐색 방법에 대하여 정초점을 찾는 데 소요된 최

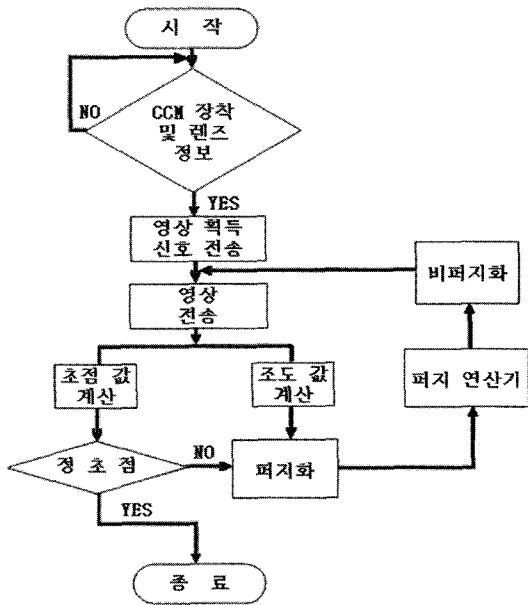


그림 8. 초점 조절 과정 흐름도.  
Fig. 8. Flowchart of focus control processing.

표 2. 탐색시간 비교.  
Table 2. The comparison of focusing time.

대상	최소탐색 시간(sec)	최대탐색 시간(sec)	평균탐색 시간(sec)
HCS	0.20	1.35	0.76
가변 구간 탐색	0.11	0.28	0.21
2단계 탐색	0.11	0.19	0.14
퍼지 탐색	0.01	0.25	0.08

소 탐색 시간과 최고 탐색시간, 평균 탐색시간을 보여준다. 그림 9는 20회 실험 횟수에 대한 탐색 횟수를 보여준다. 퍼지 탐색이 최소 탐색 시간과 평균 탐색 시간, 탐색 횟수에서 가장 우수하며 다음으로 2단계 탐색, 가변구간 탐색, HCS 순으로 나타났다. 2단계 탐색과 퍼지 탐색이 좋은 이유는 초점 값 테이블과 퍼지 규칙을 이용하여 탐색 횟수를 단축시켜 초점 조절 시간을 줄였기 때문이다. 반면 퍼지 탐색의 최대 탐색 시간은 2단계 탐색 방법 보다 나쁘게 나타났다. 이는 8번째 실험에서 탐색 횟수가 갑자기 증가하여 초점 조절 시간이 증가하였기 때문이다.

퍼지 탐색 방법은 퍼지 규칙에 의해 다음 렌즈의 위치를 결정한다. 퍼지 규칙은 형식상 선행자와 후향으로 구성된다. 선행자는 조건을 나타내고, 후향은 그 조건이 만족되었을 때의 결과를 표현한다. 이 규칙들은 설계자에 의해 결정된다. 8 번째 실험에서 탐색횟수가 갑자기 증가한 이유는 2단계 탐색의 미세 조절 단계(fine focusing stage)에서 사용한 HCS(Hill-Climbing Search)알고리즘보다 퍼지 탐색 방법이 개선된 다음 렌즈위치 값을 더 정밀하게 탐색하였기 때문이다. 이는 설계자가 설계한 각 소속함수와 후향에 해당하는 렌즈 위치값의 설계 때문이다. 또한 개선된 렌즈 위치 값에서 초점 값과 조도 값이 변하였음도 불구하고 동일한 퍼지규칙을 사용하기 때문이다.

이와 같은 문제는 고정된 퍼지규칙이 아닌 적응적인 퍼지 규칙을 적용하여 해결 할 수 있다. 또한 신경회로망을 적용한 뉴로-퍼지시스템에 의해 해결 할 수 있다. 퍼지규칙은 규칙을 디자인할 때 개발과정에서 전문가에 의해 정확하게 얻어낼수록 더 잘 동작된다. 따라서 퍼지 규칙이 정확하게 설계 된다면 퍼지 탐색의 최소탐색 시간과 같이 한 번에 정초점을 찾을 수 있다.

2. 렌즈의 특징에 따른 정초점 위치 탐색 비교

본 논문에서 제안한 퍼지 탐색 방법은 퍼지 입력 변수 중 하나로 조도 값이 있다. 카메라에 의해 획득되는 영상은 동일한 조명을 갖더라도 렌즈의 특징에 따라 획득된 영상의 조명 값이 다르다. 제안한 퍼지탐색 방법이 렌즈의 종류에 따른 특징에도 강인하다는 것을 보여주기 위해 렌즈의 특징에 따른 실험을 수행하였다. 렌즈의 특징에 따른 조도 값의 성

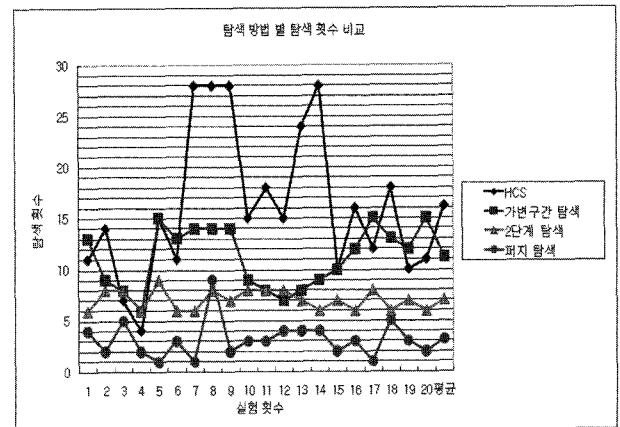


그림 9. 탐색 횟수 비교.  
Fig. 9. The comparison of searching the number.

표 3. 렌즈의 특징에 따른 비교.

Table 3. The comparison by character of lens.

	평균 조도 값(Lux)	평균 초점 조절 시간(sec)	평균탐색 횟수
F:1	99.76	0.08	3.10
F:1.4	45.84	0.18	2.90
F:2	20.90	0.07	3.15

능 평가를 위하여 초점 거리가 50mm로 동일하고, 렌즈의 밝기가 F:1, F:1.4, F:2인 렌즈를 사용하였다. 각 렌즈의 밝기에 따른 성능 평가의 타당성을 높이기 위하여 각 렌즈의 밝기 별로 20회 실험을 하여 탐색 횟수와 초점 조절 시간, 평균 조도 값을 비교 평가하였다.

표 3은 각 렌즈의 특징에 따른 평균 조도 값과 초점 조절 시간, 탐색 횟수의 비교를 보여준다. 각 렌즈의 밝기 별 평균 탐색 횟수와 평균 초점 조절 시간은 약간의 차이가 있지만 거의 같음을 확인할 수 있다. 그러나 렌즈의 밝기에 따른 퍼지 규칙에 사용된 평균 조도 값은 큰 차이를 보여주었다. 이는 렌즈의 밝기가 F:1 : F:1.4 : F:2에 따라 각각 1:1/2:1/4 배의 조도 값으로 같은 영상을 얻을 수 있다는 이론을 증명한다. 따라서 본 논문에서 제안한 퍼지 연산기를 이용한 퍼지 탐색은 CCM 테스트 핸들러에 렌즈의 특징에 따라 다른 퍼지 규칙을 적용할 수 있음을 보여준다.

## VII. 결론

본 논문은 CCM 테스트 핸들러에서 사용되는 빠르고 정확한 자동 초점 조절 방법을 제안하였다. 기존의 자동 초점 조절 방법들은 대부분 카메라를 대상으로 하여 개발이 되었다. CCM 테스트 핸들러에 적용이 가능한 자동 초점 조절 방법은 초점 조절에 영향을 미치는 변수의 수나, 데이터의 양이 많아지면 초점 조절 과정이 복잡하고, 또한 그에 따른 메모리의 요구가 많다. 따라서 본 논문에서는 CCM의 특성과 생산 장비인 테스트 핸들러의 특성 그리고 퍼지 논리의 특성을 고려하여 새로운 CCM 테스트 핸들러 전용 자동 초점 조절 방법을 개발하였다.

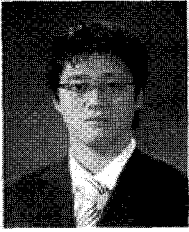
정초점 위치 탐색방법으로서 퍼지 탐색을 제안하였으며, 기존의 4가지 탐색 방법과 비교 실험을 통하여 우수성을 평가하였다. 제안한 방법을 사용하는 경우, 많은 메모리를 요구하는 기존의 방법에 비하여 적은 메모리로 빠르고 정확하게 자동 초점 조절이 가능하였다. 또한 하나의 렌즈로 고정되어 있는 CCM 테스트 핸들러에 여러 종류의 렌즈를 사용할 수 있음을 확인하였다.

제안 방법은 퍼지 규칙의 설계에 의해 성능이 좌우된다. 따라서 전문가에 의해 정확한 퍼지 규칙이 설계 된다면, CCM 테스트 핸들러의 성능을 향상시킬 수 있다. 본 논문에

서 개발된 탐색 방법이 소형 카메라 모듈의 수요의 증가에 따른 CCM 테스트 핸들러의 생산성 및 품질 향상에 기여하리라 기대된다.

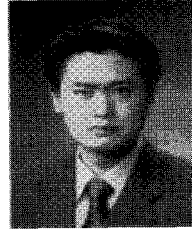
## 참고문헌

- [1] 윤희상, 박태형 “소형 카메라 모듈용 테스트 핸들러의 자동 초점 조절 방법,” 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제 12 권, 제 2 호, 2006. 2.
- [2] K. S. Choi, J. S. Lee, and S. J. Ko, “New autofocus technique using the frequency selective weighted median filter for video cameras,” *IEEE trans. on Consumer Electronics*, vol. 45, no. 3, pp. 820-827, Aug, 1999.
- [3] T. Koizumi, H. S. Chun, and H. Zen, “A new optical detector for a high-speed AF control,” *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 42, no. 4, pp-1055-1061, Nov, 1996.
- [4] M. Born, E. Wolf, Principles of Optics, Cambridge Univ. Press, 1999.
- [5] J. He, R. Zhou, and Z. Hong, “Modified fast climbing search auto-focus algorithm with adaptive step size searching technique for digital camera,” *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 49, no. 2, May, 2003.
- [6] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, C. Stein, Introduction to Algorithms, MIT Press, 2001.
- [7] Y. Xiong and S. A. Shafer, “Depth from focusing and defocusing,” The Robotics Institute Carnegie Mellon Univ. Pittsburgh, technical report, 1993.
- [8] Y. M. Lee, S.-I. Jang, K. W. Chung, D. Y. Lee, W. C. Kim, and C.-W. Lee, “A fuzzy-control processor for automatic focusing,” *IEEE Transactions. on Consumer Electronics*, vol. 40, no. 2, May 1994.
- [9] M. Murakami, N. Honda, “An exposure control system of video cameras based on fuzzy logic using color information,” *IEEE International conference*, vol. 3, 8-11 Sept. 1996.
- [10] R. A. Jarvis, “Focus optimization criteria for computer image processing,” *Microscope*, vol. 24, no. 2, pp. 163-180, 1976.
- [11] S. K. Nayar and Y. Nakagawa, “Shape from focus,” *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 16, no. 8, pp. 824-831, Aug, 1994.
- [12] J. H. Lee, K. S. Kim, and B. D. Nam, “Implementation of a passive automatic focusing algorithm for digital still camera,” *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 41, no. 3, pp.449-454, 1995.
- [13] 신승현, “디지털 카메라를 위한 새로운 자동초점 조절 알고리즘의 연구,” 대한전기학회논문지, 제 50 권, 제 9 호, pp. 447-453, 2001.
- [14] 지철근, “최신 전기 응용,” 문운당, 2002.
- [15] 이채형, 이형구, 이용희, “Programming game AI by example,” 사이텍미디어, pp. 469-515, 2006.



### 권혁중

2006년 충북대 전기전자컴퓨터공학부 졸업. 2006년~현재 동 대학원 제어계측공학과(석사과정). 관심분야는 영상처리, 광학검사시스템, 임베디드 시스템 등.



### 윤희상

2004년 충북대 전기전자컴퓨터공학부 졸업. 2006년 동 대학원 제어계측공학과(석사). 2006년~2007년 충북대 부설 유비쿼터스 바이오정보기술 연구센터 주임연구원. 2007년~현재 충북대 제어계측공학과 박사과정. 관심분야는 로봇틱스,

영상처리, 임베디드시스템 등.



### 박태형

1988년 서울대 제어계측공학과 졸업. 1992년 동 대학원 제어계측공학과(석사). 1994년 동 대학원 제어계측공학과(박사). 1994년~1997년 삼성 테크윈(주) 정밀기기연구소 선임 연구원. 1997년~현재 충북대 전기전자컴퓨터공학부 교

수. 2000년~2001년 Univ. of Toronto 방문교수. 관심분야는 로봇틱스 및 자동화, 전자조립 및 검사 시스템 등.