

# 소형 카메라 모듈용 테스트 핸들러의 자동 초점 조절 방법

## An Auto-Focusing Method for CCM Test Handlers

윤희상, 박태형\*

(Hee-Sang Yoon and Tae-Hyoung Park)

**Abstract :** This paper proposes an auto-focusing method for production of compact camera module (CCM). The CCM test handlers are mainly used in the final CCM production stage to test and adjust the lens focus of CCMs. To improve the productivity of CCM test handlers, we propose the auto-focusing method adjusting the lens focus efficiently. The max-min-difference (MMD) method is newly developed to compute the focus value efficiently, and two-stage searching method is also developed to find the best focus position quickly. Experimental results are presented to verify the usefulness of proposed method.

**Keywords :** CCM (Compact Camera Module), test handlers, auto focusing, two-stage search

### 1. 서론

이동통신 시스템의 발전에 따라 PDA, 휴대폰 등의 단말기들은 휴대 인터넷, 컴퓨팅, AV, 카메라 등의 복합적인 기능을 포함하여 발전하고 있으며 향후 유비쿼터스 시대에서 그 기능 및 활용범위가 더욱 확대될 것이다. 그 중 영상촬영을 위해 필요로 하는 것이 소형카메라모듈 (CCM; Compact Camera Module)이다. CCM은 CMOS 이미지 센서 (CIS; CMOS image sensor)로 구성되며 그림 1은 CCM의 몇 가지 예를 보여준다. CCM은 CCD 카메라에 비하여 잡음에 취약하나, 소형, 저가격, 낮은 소비전력의 장점으로 다양한 단말기에 장착되고 있다.

CCM 테스트 핸들러는 CCM 제조 라인에서 CCM의 초점을 조절하고 테스트하는 장비이다. CCM에서 영상 신호를 획득하고, 이를 처리하여 현재의 초점 값을 계산한다. 초점의 조절이 필요한 경우 렌즈의 위치를 이동시키며 최적의 초점을 갖도록 조절한다. CCM 테스트 핸들러에서 초점 계산 및 조절에 소요되는 시간은 전체 CCM 생산 시간에 영향을 주며, 또한 초점의 정확도는 제품 성능에 크게 영향을 준다. 본 논문은 CCM의 생산성 및 성능 향상을 위한 효과적인 초점 계산 및 조절 알고리즘을 제시하는 것을 목표로 한다.

영상은 정초점에 가까워질수록 선명해 지는데 이것은 고주파 성분이 증가함을 의미한다. 영상처리를 이용한 자동초점조절은 고주파 성분을 가장 많이 포함한 영상이 얻어지는 곳에 정확히 렌즈를 위치시키는 기술이다[1]. 이때 렌즈 위치에 따른 영상의 고주파 성분 값을 초점 값이라 한다. 정초점의 위치는 두 단계에 걸쳐 찾을 수 있다. 첫째로 렌즈위치에 따른 초점 값을 구하는 단계로 빠르고 정확하게 초점 값을 계산해야 한다. 둘째로 구해진 초점 값을 통해 정초점의 위치를 찾아야 한다. 일반적인 렌즈위치에 따른 초점 값 그래프는 그림 2와 같으며 초점 값이 가장 클 때가 정초점의 위치이다.

일반적으로 CCD 카메라의 초점 값을 계산하는 방법으로

영상의 경계를 추출하는 연산자를 사용하는 Sum Modules Difference (SMD) 방법, Tenengrad 방법, Sum Modified Laplacian (SML) 방법 등이 잘 알려져 있다[1-3]. 또한 블록을 설정하여 최대값과 최소값의 차이를 문턱치와 비교하여 누적하는 Max-Min Difference- hreshold (MMDT) 방법 [4]과 중간값 필터를 통해 고주파의 특정부분을 추출하는 Frequency Selective Weighted Median Filter (FSWM) 방법 [5] 등이 연구되었다. 정초점의 위치를 찾는 방법으로는 Hill-Climbing 탐색 방법 [5], 가변 간격 탐색 방법 [5,6], 등 간격 탐색 방법 [7] 등이 알려져 있다.

CCM은 CCD 카메라와 달리 CMOS센서를 사용하므로 잡음에 약한 단점이 있다. 위에서 언급한 초점 값 획득방법들은 FSWM을 제외하고 잡음에 취약한 단점이 있다[5]. 또한 FSWM은 잡음에 강한 방법이지만 초점 값 계산 속도가 다른 방법에 비교하여 느린 단점이 있다.

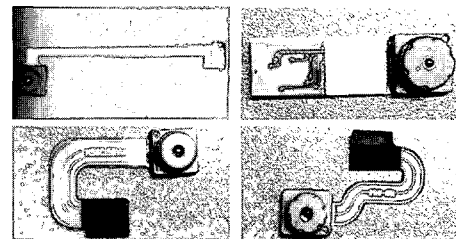


그림 1. CCM 의 예.

Fig. 1. Samples of compact camera modules.

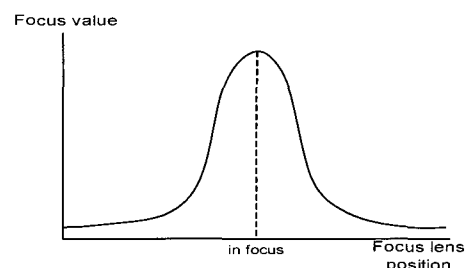


그림 2. 초점 값 곡선.

Fig. 2. The focus-value graph.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2005. 10. 18., 채택확정 : 2005. 12. 15.

윤희상, 박태형 : 충북대학교 제어계측공학과

(nada621@hanmail.net/taehpark@chungbuk.ac.kr)

※ 이 논문은 2005년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원으로 연구되었음.

본 논문에서는 CCM 테스트 핸들러 전용의 자동초점 알고리즘을 제안한다. 기존의 자동 초점 방법들을 CCM 테스트 핸들러에 적용하는 것은 가능하나, 보다 빠르고 효과적인 초점의 자동 조절을 위하여 전용의 알고리즘을 개발한다. 우선 초점 값 계산 방법으로서 Max-Min Difference (MMD) 방법을 제안한다. 또한 렌즈의 정초점 위치를 찾는 방법으로서 초점 값 테이블을 이용한 2단계 탐색 방법을 제안한다. 제안된 방법은 획득 영상에 포함된 잡음이 강인하고 조절 속도가 빠른 실용적 방법이다. 실험을 통하여 제안한 방법의 실용성을 검증한다.

**II. CCM 테스트 핸들러**

그림 3은 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. 영상처리부는 획득된 영상으로부터 현재의 초점 값을 계산하고, 초점의 조절이 필요한 경우 이동시킬 렌즈의 위치 값을 결정한다. 기구제어부는 핸들러 로봇의 모터를 구동하여 렌즈의 위치 값을 조정한다. 정초점에 도달할 때까지, 영상획득, 영상처리 및 기구제어는 반복적으로 수행된다.

CCM 테스트 핸들러는 생산 단계의 CCM의 테스트를 목적으로 하므로 일반적인 사물에 대해 영상을 획득하는 것이 아니라 초점 정도를 명확하게 나타내기 위하여 그림 4와 같은 특수한 테스트 차트를 사용하여 영상을 획득한다. 따라서 테스트 차트의 특성을 고려한 자동 초점 조절 방법의 개발이 필요하다.

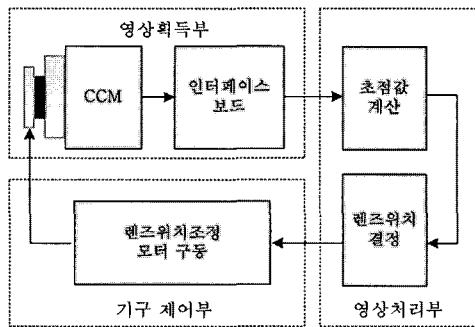


그림 3. CCM 테스트 핸들러 구조.  
Fig. 3. Structure of CCM test handler.

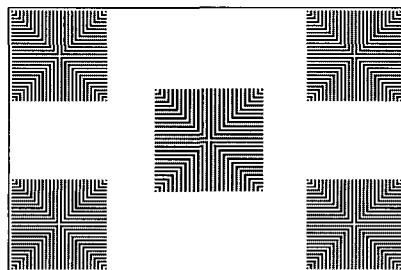


그림 4. 테스트 차트.  
Fig. 4. Test chart.

**III. 카메라의 자동 초점 조절 방법**

1. 초점 값 계산 방법

일반적으로 잘 알려진 카메라의 초점 값을 구하는 방법들은 영상의 에지를 추출하거나 고역필터와 같은 방법을 사용하여 고주파성분을 획득하는 방법들이다[1-3].

$f(x, y)$ 가 영상의 한 점  $(x, y)$ 에서의 밝기값을 나타낼 때 그 점에서의 그래디언트는 다음과 같다.

$$\nabla f(x, y) = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \partial f / \partial x \\ \partial f / \partial y \end{bmatrix} \tag{1}$$

이때  $G_x, G_y$  는 수평방향 및 수직방향의 그래디언트이다.

SMD 방법은 우선 다음의 식을 이용하여 영상의 수평방향 및 수직방향의 그래디언트값을 다음과 같이 계산하며,

$$\begin{aligned} G_x &= f(x, y) - f(x, y+1) \\ G_y &= f(x, y) - f(x+1, y) \end{aligned} \tag{2}$$

초점 값은 다음과 같이 각 방향 그래디언트의 총합으로 구한다[9].

$$FV_{SMD} = \sum_x \sum_y |G_x| + \sum_x \sum_y |G_y| \tag{3}$$

Tenengrad 방법[1]은 다음과 같이 Sobel 연산자 [8] 를 사용하여 수평 및 수직방향의 그래디언트를 계산하며,

$$\begin{aligned} G_x &= f(x-1, y+1) + f(x+1, y+1) - f(x-1, y-1) - f(x+1, y-1) + 2f(x, y+1) - 2f(x, y-1) \\ G_y &= f(x+1, y-1) + f(x+1, y+1) - f(x-1, y-1) - f(x-1, y+1) + 2f(x+1, y) - 2f(x-1, y) \end{aligned} \tag{5}$$

이로부터 다음과 같이 초점 값을 계산한다. [1]

$$FV_{Tenengrad} = \sum_x \sum_y \{ \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \}^2 \tag{6}$$

SML 방법은 다음 식과 같이 영상의 수평 및 수직방향의 편미분 값을 구하여 고주파 성분을 구한다.

$$\nabla^2 f(x, y) = \left| \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} \right| + \left| \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \right| \tag{7}$$

이때 고주파 성분을 계산하기 위해 다음과 같은 수정된 라플라시안 필터를 사용하였으며,

$$\left| \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} \right| + \left| \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \right| = \begin{aligned} &|2f(x, y) - f(x-1, y) - f(x+1, y)| \\ &+ |2f(x, y) - f(x, y-1) - f(x, y+1)| \end{aligned} \tag{8}$$

최종적인 초점 값은 다음과 같이 구한다[1].

$$FV_{SML} = \sum_x \sum_y \left\{ \left| \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} \right| + \left| \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \right| \right\}^2 \tag{9}$$

MMDT 방법은 윈도우 내에서의 최대값과 최소값의 차이를 문턱치와 비교하는 방법이다. 전체 영상을 3 x 3 크기의 윈도우로 나누고, 각 윈도우  $W_{3 \times 3}(i, j)$  내에서의 밝기 최대값  $w_{\max}(i, j)$  와 최소값  $w_{\min}(i, j)$  을 다음과 같이 구한다.

$$w_{\min}(i, j) = \min_{(x,y) \in W_{3 \times 3}(i,j)} \{f(x, y)\} \quad (10)$$

$$w_{\max}(i, j) = \max_{(x,y) \in W_{3 \times 3}(i,j)} \{f(x, y)\} \quad (11)$$

최대값과 최소값의 차이가 문턱치  $c$  보다 큰 경우, 차이값을 윈도우의 대표값  $d(i, j)$  로 설정한다. 문턱치 보다 작은 경우는 대표값을 0 으로 한다. 즉,

$$d(i, j) = \begin{cases} |w_{\max}(i, j) - w_{\min}(i, j)|, & \text{if } |w_{\max}(i, j) - w_{\min}(i, j)| \geq c \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

각 윈도우의 대표값을 합산하여 초점 값을 구한다[4].

$$FV_{MMDT} = \sum_i \sum_j d(i, j) \quad (13)$$

## 2. 정초점 위치 탐색방법

정초점의 위치 찾는 방법은 초점 값이 가장 큰 지점에 렌즈를 위치시키는 것으로 전역 탐색, Hill-climbing 탐색 (HCS), 등 간격 탐색, 가변 간격 탐색 등이 있다.

전역 탐색의 경우 초점 렌즈의 모든 이동 가능 범위의 초점 값을 계산하여 가장 큰 값을 찾는 방법으로 가장 정확하지만 시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 등 간격 탐색의 경우 렌즈 스텝의 간격 설정하는 데 어려움이 수반된다.

HCS는 초점 값 그래프가 산의 형태로 분포한다는 것을 이용하여 산의 정상상을 찾는 알고리즘으로 가장 일반적으로 많이 사용되는 방법이다. 그러나 렌즈 이동 스텝에 따라 탐색 시간이 많이 소요되는 단점이 있다. Choi [5] 및 Koizumi [10] 등이 제안한 가변 간격 탐색 방법은 처음에는 렌즈 이동 스텝을 크게 하여 정초점에 가까운 위치를 찾고, 점차 스텝의 크기를 작게 하여 최종 위치를 찾는 방법으로서 탐색 시간을 단축시켰다.

## IV. CCM 테스트 핸들러용 자동 초점 조절 방법

III 장에서 살펴본 자동 초점 조절 방법들은 카메라 및 현미경에 사용되는 일반적인 자동 초점 조절 방법들이다. 이 방법들은 CCM 테스트 핸들러에 적용될 수 있으나, 전용의 방법을 개발하여 적용하는 것이 보다 바람직하다.

CMOS 이미지 센서에서 발생하는 잡음에 강인하여야 하며, 생산 시간의 단축을 위하여 빠른 초점 조절이 요구된다. 특히, 입력 영상으로 사용되는 테스트 차트의 영상 특성에 적합하도록 초점의 계산 및 조절이 이루어져야 한다.

### 1. 초점 값 계산 방법

테스트 차트로부터 획득된 영상의 특정 부분을 확대해서 밝기 값을 보면, 이상적인 경우 그림 5(a)와 같이 정현파의 형태로 나타난다. 초점이 맞았을 경우에는 최대값과 최소값의 차이가 크며, 반대로 초점이 맞지 않았을 경우에는 그림 5(b)와 같이 최대값과 최소값의 차이가 작다. 그러나 CCM의 경

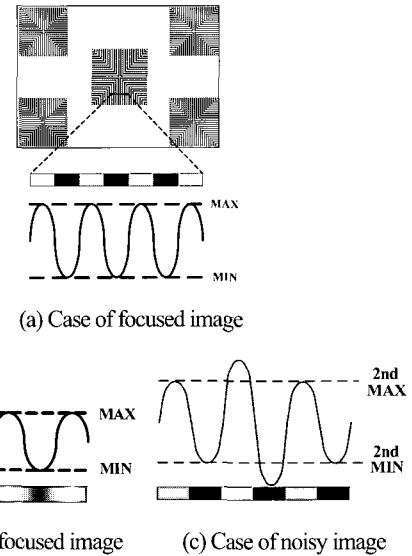


그림 5. 테스트 차트의 밝기 값 분포.

Fig. 5. Intensity distribution for test chart.

우 CMOS 센서를 사용하므로 상대적으로 많은 가우시안 특성의 잡음을 포함하고 있다. 따라서 일반적인 경우 그림 5(c)와 같이 잡음이 포함되어 파형이 일그러지게 된다.

본 논문에서는 이러한 CCM 테스트 핸들러 영상의 특성을 고려하기 위하여, 새로운 초점 계산 방법인 MMD (Max-Min Difference) 방법을 제안한다.  $M \times N$  의 전체 영상을  $9 \times 1$  수평 윈도우로 분할한다. 또한 전체 영상을  $1 \times 9$  수직 윈도우로 분할한다. 잡음이 많이 포함된 영상의 경우, 각 수평 및 수직 윈도우 각 수평 윈도우 내의 최대 밝기 값 및 최소 밝기 값은 잡음에 의한 값일 확률이 높다. 따라서 두 번째 최대값 및 최소값의 차이를 구함으로써 잡음에 의한 효과를 줄여주게 된다. 만일 잡음이 포함되지 않았다면 밝기 값의 최대, 최소 값과 두 번째 최대, 최소 값은 거의 일치하므로 잡음 유무에 상관없이 적용할 수 있다.

$W_{9 \times 1}(i, j)$  ( $i=1, \dots, M/9, j=1, \dots, N$ ) 에 대하여, 윈도우 내에서의 두 번째 최대 밝기 값  $w_{\max}^H(i, j)$  및 두 번째 최소 밝기 값  $w_{\min}^H(i, j)$  은 다음과 같다.

$$w_{\max}^H(i, j) = 2nd \max_{(x,y) \in W_{9 \times 1}(i,j)} \{f(x, y)\} \quad (14)$$

$$w_{\min}^H(i, j) = 2nd \min_{(x,y) \in W_{9 \times 1}(i,j)} \{f(x, y)\} \quad (15)$$

이때 두 값의 차이를 각 수평 윈도우의 대표값  $d^H(i, j)$  로 정의한다.

$$d^H(i, j) = w_{\max}^H(i, j) - w_{\min}^H(i, j) \quad (16)$$

또한 각 수직 윈도우  $W_{1 \times 9}(p, q)$  ( $p=1, \dots, M, q=1, \dots, N/9$ ) 에 대하여, 윈도우 내에서의 두 번째 최대 밝기 값  $w_{\max}^V(p, q)$  및 두 번째 최소 밝기 값  $w_{\min}^V(p, q)$  은 다음과 같다.

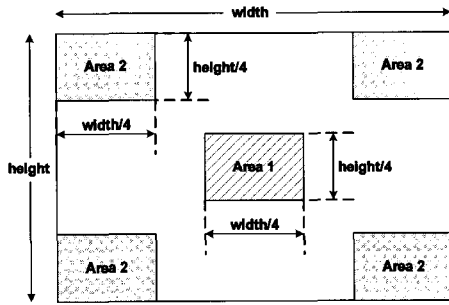


그림 6. 초점 탐색을 위한 영역 분할.  
Fig. 6. The image split for searching the focus.

$$w_{\max}^V(p, q) = 2nd \max_{(x,y) \in W_{1 \times 9}(p,q)} \{f(x, y)\} \quad (17)$$

$$w_{\min}^V(p, q) = 2nd \min_{(x,y) \in W_{1 \times 9}(p,q)} \{f(x, y)\} \quad (18)$$

이때 두 값의 차이를 각 수직 윈도우의 대표값  $d^V(p, q)$ 로 정의한다.

$$d^V(p, q) = w_{\max}^V(p, q) - w_{\min}^V(p, q) \quad (19)$$

(16) 및 (19) 로 부터 초점 값을 다음과 같이 구한다.

$$FV_{MMD} = \sum_i \sum_j d^H(i, j) + \sum_p \sum_q d^V(p, q) \quad (20)$$

본 논문에서 제안하는 MMD 방법은 9개의 화소로 구성된 수평 방향과 수직 방향의 윈도우로 분할하여 연산 횟수를 줄였다. 각 윈도우의 화소 수가 큰 경우 잡음제거 효과가 감소할 수 있으며, 작은 경우에는 초점 값의 정확도가 저하될 수 있으므로 적절한 값으로 한다. 또한 Tenengrad나 SMD에서 초점 값 계산시 사용되는 마스크 연산은 곱셈이 필요한데 비하여 MMD는 두 번째 최대값과 최소값을 찾는 비교 연산만 필요하며, 다른 마스크 연산을 하는 방법들에 비해 계산속도가 빠르다.

2. 정초점 위치 탐색방법

정초점의 위치를 빠르게 찾기 위해서는 초점 값의 계산 속도를 줄이고 정초점까지의 탐색횟수를 최소로 해야한다. CCM 테스트 핸들러에서는 동일 종류의 CCM에 대한 초점 조절을 수행한다. 따라서 동일 종류의 CCM과 고정된 테스트 차트를 사용하므로 렌즈 위치에 따른 초점 값의 분포 곡선이 유사하다. 따라서 본 초기의 초점 값에 대한 정초점의 렌즈 위치 정보를 테이블 형식으로 미리 저장할 수 있다. 이 테이블을 사용하면 불필요한 탐색 횟수를 최소화 시킬 수 있다.

본 논문에서는 탐색 횟수를 줄이며 정확한 초점 조절이 가능한 2단계 탐색 방법을 새로이 제안한다. 전체의 탐색 단계를 총괄 조절 단계(gross focusing stage)와 미세 조절 단계(fine focusing stage)의 2단계로 구분한다. 총괄 조절 단계는 초기의 초점 값을 정초점의 인접 값으로 접근시키는 단계이며, 미세 조절 단계는 인접 값으로부터 정확한 정초점에 도달시키는 단계이다.

그림 6은 테스트 차트의 영역을 area 1 및 area 2로 분리한

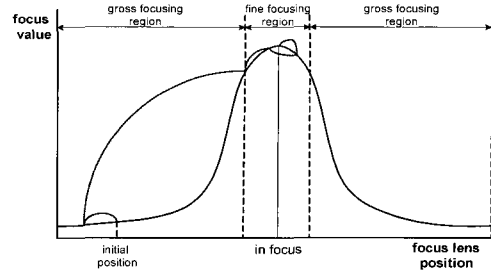


그림 7. 2단계 탐색 방법.  
Fig. 7. Two-stage search method.

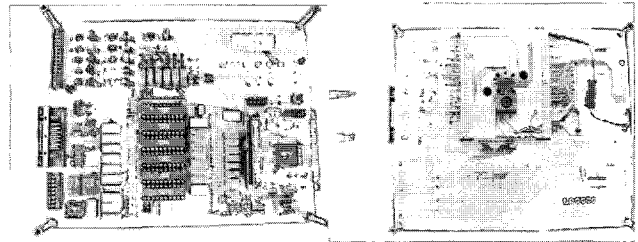


그림 8. CCM 인터페이스 보드.  
Fig. 8. CCM interface board.

모습을 보여준다. 빠른 계산을 위하여, 총괄 조절 단계에서는 area 1 영역의 화상 데이터만 사용되며, 미세 조절 단계에서는 area 1 및 area 2의 모든 화상 데이터가 사용된다.

총괄 조절 단계에서는 먼저 초기 위치에서의 초점 값을 구한다. 다음으로 렌즈를 일정 구간 움직여 초점 값을 구하여 렌즈를 이동시킬 방향을 결정한다. 방향결정 후에는 테이블에 저장되어 있는 초점 값과 현재의 초점 값을 비교하여 현재 렌즈 위치를 구한다. 초기렌즈 위치를 확인 후에는 정초점 영역과의 차이를 구해 그림 7과 같이 한번에 렌즈를 정초점 영역으로 이동 시킨다.

미세 조절 단계는 정초점의 위치를 찾는 단계다. 테이블에 의해 정초점에 근접했지만 CCM 모듈에 따라 다소 차이가 있으므로 정확한 정초점의 위치를 찾기 위해 HCS (Hill-Climbing Search) 알고리즘 [5]을 적용한다. 초점 값을 구하면 렌즈의 방향을 결정하고 렌즈를 이동시켜 초점 값이 가장 큰 정초점의 위치를 찾게 된다.

V. 실험

본 논문에서 제안한 자동초점조절알고리즘의 성능평가를 위해 사용된 CCM은 2M 화소의 Siliconfile 사의 NOON200PC10이다. CCM의 영상 출력 신호를 PC에 전달하기 위하여 별도의 인터페이스 보드를 제작하였다. 그림 8은 제작된 CCM 인터페이스 보드의 사진이다. 자동 초점 조절을 위한 알고리즘은, Pentium-IV 기반의 IBM-PC에서 Microsoft사의 Visual C++을 이용하여 구현하였다. CCM의 초점 렌즈를 일정 간격씩 움직이면서, 60 프레임의 영상을 획득하여 미리 저장한 후, 이를 활용하여 실험을 수행하였다.

1. 초점 값 계산 방법 비교

제안한 초점 값 계산 방법인 MMD를 다른 방법인 SML, SMD, Tenengrad, MMDT와 비교하여 평가하였다. 그림 9는

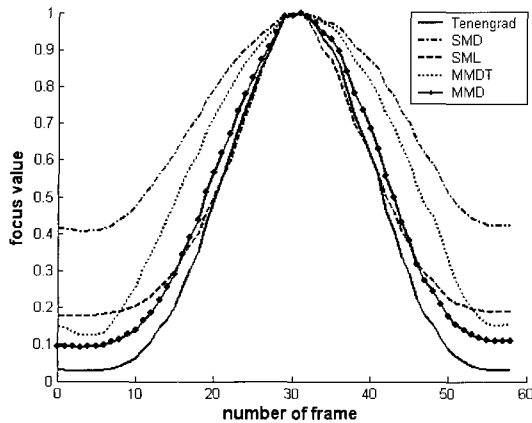


그림 9. 정상 영상에 대한 초점 값 그래프.  
Fig. 9. Focus-value graphs for regular image.

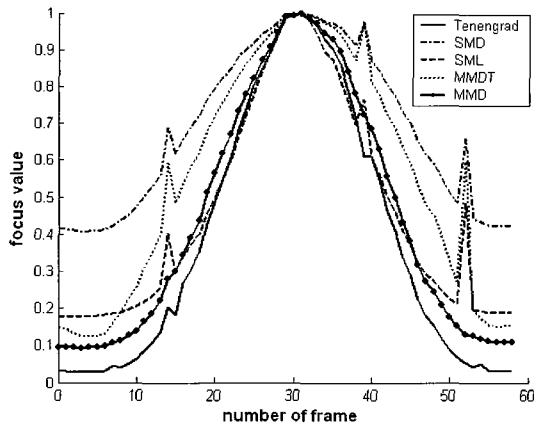


그림 10. 잡음 영상에 대한 초점 값 그래프.  
Fig. 10. Focus-value graphs for noisy image.

표 1. 각 방법 별 렌즈 위치 편차.  
Table 1. The deviation of lens position.

초점 값 계산방법	편 차
Tenengrad	16
SMD	28
SML	14
MMDT	24
MMD	18

각 방법들에 대한 초점 값 그래프를 보여준다. 모든 초점 값 계산 방법들은 31번째 프레임에서 가장 높은 초점 값을 나타내었다. 그러나 정초점 부근에서의 그래프의 기울기에는 방법 별로 차이가 있음을 확인할 수 있다. 정초점 부근에서의 기울기의 값이 큰 경우, 초점 값 탐색 시 보다 유리하다. 이러한 특성을 평가하기 위하여, 초점 값이 정초점의 70% 일 때, 정초점을 기준으로 한 렌즈 위치의 편차를 구하여 비교하였다.

표 1은 각 방법 별 렌즈 위치 편차를 보여준다. 이 편차 값이 작을수록 그래프의 기울기가 커져 초점 탐색에 유리하다. SML 이 가장 우수하며 다음으로 Tenengrad, MMD, MMDT,

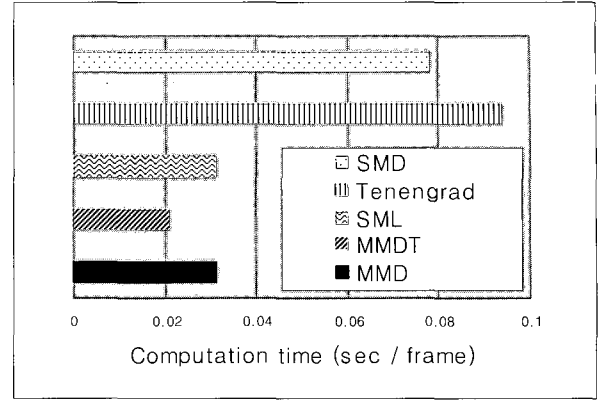


그림 11. 초점 값 계산 시간.  
Fig. 11. Computation time for focus-value calculation.

SMD 순으로 나타났다. SML과 Tenengrad 방법이 좋은 이유는 두 방법이 에지를 강조하는 연산자를 사용하였기 때문이다. 제안한 MMD 방법은 비록 SML과 Tenengrad 보다는 편차가 크나, MMDT와 SMD에 비해서 좋은 결과를 보여 주었다.

다음으로 초점 계산 방법들의 잡음에 강인한 정도를 비교하는 실험을 수행하였다. 이를 위하여 14, 39, 52번째 프레임에 가우시안 잡음을 포함시켰다. 이때의 초점 값 그래프는 그림 10과 같다. 잡음 등에 의하여 초점 값 그래프에 국지적 최대점이 발생하면, 정초점 위치 탐색을 어렵게 할 수 있으므로 바람직하지 않다. 잡음이 포함된 경우에는 제안한 MMD 방법을 제외하고는 모든 방법들이 잡음에 의해 초점 값 계산이 왜곡되어 국지적 최대점이 발생한 것을 볼 수 있다. 이는 다른 방법들은 영상의 고주파 성분을 추출 하며 잡음에 의한 고주파 성분까지 함께 추출하기 때문이다. 그러나 제안한 MMD 방법은 초점 값 계산 시 잡음의 효과를 배제하였기 때문에 왜곡이 없는 곡선이 출력되었다.

마지막으로 초점 값 추출에 소요되는 계산 시간을 비교하였다. 그림 11은 각 방법에 대한 한 프레임 당 계산 시간을 보여준다. 계산 시간이 가장 적게 소요되는 방법은 MMDT이고 다음으로 제안한 MMD, SML, SMD, Tenengrad 순이다. 제안한 MMD 방법은 계산 시간 측면에서도 우수함을 알 수 있다.

CCM 테스트 핸들러에 사용되는 초점 값 계산 방법은 앞서 논한 바와 같이 잡음에 강하며 연산 속도가 빨라야 한다. 실험결과를 보면 본 논문에서 제안한 방법이 비교 방법 중에서 잡음에 가장 강하며 연산 속도 또한 우수한 편이다. 비록 MMDT가 연산 속도는 가장 빠르지만 잡음에 약한 부분이 있어 CCM 테스트 핸들러용 초점 값 계산 방법으로 적합하지 않다. 따라서 제안한 MMD방법이 CCM 테스트 핸들러용 초점 값 계산 방법으로 적합하다는 것을 알 수 있다.

2. 정초점 위치 탐색방법 비교

본 논문에서 제안한 정초점 탐색 방법의 성능을 평가하기 위하여, 다음의 네 가지 탐색방법을 비교하였다.

- ① 전역 탐색
- ② HCS(Hill-Climbing Search)
- ③ 가변 구간 탐색

표 2. 초점 조절 시간 및 탐색횟수 비교

Table 2. The comparison of focusing time and searching the number of times.

대상	평균 탐색횟수	평균 초점조절시간(sec)
① 전역 탐색	60	2.13
② HCS	16	0.769
③ 가변 구간 탐색	11.5	0.220
④ 2단계 탐색	7.2	0.139

④ 2단계 탐색(제안 방법)

이때 초점 값 계산 방법으로는 모두 MMD 를 사용하였다. ① 과 ② 의 방법은 테스트 차트의 모든 영역을 대상으로 초점 조절을 수행하며, ③ 및 ④ 는 대상 영역을 변경하며 초점 조절을 수행한다.

표 2는 각 방법에 대하여, 정초점을 찾는 데 소요된 탐색 횟수 및 소요 시간을 보여준다. 10번의 실험을 수행하여 그 평균값으로 설정하였다. 초점 조절 시간은 ③, ④의 방법이 좋은 결과를 보였으며 전체 영상을 분할하여 초점 값을 계산하여 시간을 단축시켰기 때문이다. 또한 초점 값 테이블을 이용하는 ④의 방법이 ③에 비해 탐색 횟수가 줄어들어 초점 조절 시간이 단축됨을 확인할 수 있다.

테이블을 이용한 2단계 탐색 방법은 비록 일반적인 영상에 적용하기 힘들다, 동일한 환경에서 동일 영상을 획득하는 CCM 테스트 핸들러와 같은 특수한 경우에 적용이 용이하다.

VI. 결론

본 논문은 CCM 테스트 핸들러에 사용되는 자동 초점 조절 방법을 새로이 제안하였다. 기존의 자동 초점 조절 방법들은 대부분 일반 카메라 또는 현미경을 대상으로 하여 개발되었으며, CCM 테스트 핸들러에 적용은 가능하나 효율이 많이 저하될 수 있다. 본 논문에서는 CCM의 특성과 생산 장비인 테스트 핸들러의 특성을 모두 고려하여, CCM 테스트 핸들러 전용의 자동 초점 방법을 개발하였다.

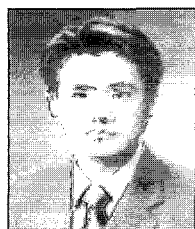
초점 계산 방법으로서 MMD 방법과 정초점 위치 탐색 방법으로서 2단계 탐색 방법을 제시하였으며, 비교 실험을 통하여 제안된 방법의 성능을 평가하였다. 제안 방법을 사용하는 경우, 잡음이 많은 환경에서 빠르고 정확하게 자동 초점 조절이 가능함을 확인하였다. 미리 저장된 테이블과 비교하여 탐색횟수를 줄였다. 또한 정초점 영역에서는 HCS를 적용

하여 정초점의 위치를 구하여 빠르고 정확한 초점조절이 가능하였다.

제안 방법은 CCM 테스트 핸들러의 영상 처리부에 탑재되어 상용화가 가능하다. 유비쿼터스 시대에 필요한 모바일 기기의 수요 증가에 따라 소형 카메라 모듈의 생산량의 대폭 확대가 예상되며, 이에 따라 CCM 테스트 핸들러의 수요 및 중요성 또한 증가하리라 예상된다. 본 논문에서 개발된 방법이 CCM 생산 라인의 생산성 및 품질 향상에 기여하리라 기대된다.

참고문헌

- [1] 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.
- [2] S. H. Lee, J. H. Kim, B. T. Choi, S. J. Ko, "Auto-focusing algorithm for video camera using the difference of medians," *Journal of KICS*, vol. 23, no. 1, pp. 41-50, May, 1988.
- [3] J. H. Lee, K. S. Kim, B. D. Nam, J. C. Lee, Y. M. Kwon, and H.G. Kim, "Implementation of a passive automatic focusing algorithm for digital still camera," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 41, no. 3, pp. 449-453, Aug, 1995.
- [4] 신승현, "디지털 카메라를 위한 새로운 자동초점조절 알고리즘의 연구", 대한전기학회논문지, 제50권, 제9호, pp. 447-453, 9. 2001.
- [5] K. S. Choi, J. S. Lee, S. J. Ko, "New autofocus technique using the frequency selective weighted median filter for video cameras," *IEEE Trans. on Consumer Electronic*, vol. 45, no. 3, pp. 820-827, Aug, 1999.
- [6] J. He, R. Zhou, Z. Hong, "Modified fast climbing search autofocus algorithm with adaptive step size searching technique for Digital Camera," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 49, no. 2, May, 2003.
- [7] M. Born, E. Wolf, *Principles of Optics*, Cambridge Univ. Press, 1999.
- [8] R. C. Gonzalez, *Digital Image Processing*, Prentice Hall, Seoul, 2002.
- [9] R. A. Jarvis, "Focus optimization criteria for computer image processing," *Microscope*, vol. 24, no. 2, pp. 163-180, 1976.
- [10] T. Koizumi, H. S. Chun, 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.



윤희상

2004년 충북대 전기전자컴퓨터공학부 졸업. 2006년 동 대학원 제어계측공학과(석사). 2006년~현재 충북대 부설 유비쿼터스 바이오 정보기술 연구센터 연구원. 관심분야는 영상처리, 센서융합, 임베디드 시스템 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 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부

교수. 2000년~2001년 Univ. of Toronto 방문교수. 관심분야는 로보틱스 및 자동화, 전자조립 및 검사시스템 등.