

# 실시간 감시 카메라를 구현하기 위한 고속 영상확대 및 초점조절 기법

한헌수\*, 최정렬#

## Fast Zooming and Focusing Technique for Implementing a Real-time Surveillance Camera System

Hernsoo Hahn\* and Jungryoul Choi#

### ABSTRACT

This paper proposes a fast zooming and focusing technique for implementing a real-time surveillance camera system which can capture a face image in less than 1 second. It determines the positions of zooming and focusing lenses using two-step algorithm. In the first step, it moves the zooming and focusing lenses simultaneously to the positions calculated using the lens equations for achieving the predetermined magnification. In the second step the focusing lens is adjusted so that it is positioned at the place where the focus measure is the maximum. The camera system implemented for the experiments has shown that the proposed algorithm spends about 0.56 second on average for obtaining a focused image.

**Key Words** : Surveillance system (감시시스템), Zooming (영상확대), Focusing (초점조절), Focus value (Focus 값), Facial image (얼굴 영상)

### 기호설명

- f = focal length
- m = magnification
- FVn = focus value in step n
- 1st PP = first principal plane
- 2nd PP = second principal plane

### 1. 서론

방법 및 보안이 사회적인 문제로 대두되면서 DVR(Digital Video Recorder) 등 감시시스템의 기술들이 크게 발전하였다. 감시시스템에는 다양한 입

력장치들이 사용되지만 광역정보를 제공하는 카메라를 이용한 장치들이 가장 널리 사용되고 있다. 따라서 영상정보에서 감시의 목적을 위해 필요한 정보를 효과적으로 추출하는 방법들이 연구되고 있으며 특히 침입자의 검출 및 얼굴을 인식하는 문제가 가장 큰 연구과제로 대두되어 있다.

그러나 현재 사용되는 감시시스템들은 영상의 저장공간을 줄이고 가능하면 많은 수의 카메라를 부착하기 위해 대부분 저해상도 카메라나 압축기법을 사용하고 있으며 이로 인해 영상에서 사람의 얼굴을 구분하는 일은 매우 어려운 것이 현실이다. 설령 소프트웨어 영상확대(zooming) 기술을 사용하여도 일정한 크기 이상의 해상도를 갖게 하는

접수일: 2003 년 6 월 30 일; 게재승인일: 2004 년 1 월 9 일  
 \* 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수  
 # 숭실대학교 대학원 전자공학과  
 Email jrchoi@visionlab.ssu.ac.kr Tel. (02)821-2050

데는 한계가 있다. 예를 들어 Fig. 1(a)의 인물을 판별하려고 할 때 대상 인물이 카메라에서 너무 멀리 떨어져 있어 인물 영상이 작게 보이게 된다. 이를 확대하기 위해 소프트웨어 도구를 이용하더라도 Fig. 1(b)에서 보는 것과 같이 여전히 한계성을 가지게 된다. 이러한 단점을 해결하기 위한 방법으로 고해상도 카메라를 사용하는 방법이 고려될 수 있으나 이는 대용량 저장장치를 필요로 함으로 시스템 비용 면에서 합리적이지 못하다.

이러한 문제를 해결할 방법으로 본 논문에서는 저해상도의 카메라를 이용하여 감시영역에 대한 입력동영상은 저해상도로 압축하여 저장하되 영상에 사람이 나타나면 얼굴을 기계적으로 확대하여 Fig. 1(c)과 같이 확대된 얼굴사진만을 고해상도로 저장하기 위한 카메라시스템을 제안한다. 이러한 기능을 구현하기 위해서는, 감시공간에서 사람들이 이동하는 것이 일반적이기 때문에 사람의 움직임을 따라 잡을 수 있는 고속의 확대 및 초점 조절(focusing) 기능을 갖춘 카메라가 필요하다. 현재 상용화된 카메라들은 대부분이 MCS(Mountain Climbing Servo)방법<sup>12</sup>을 이용하여 렌즈의 초점위치를 계산하고 있다. 이 방법은 정확한 초점의 위치 파악이 가능하기 때문에 크기의 측정<sup>3</sup>이나 3 차원 형체복원을 위한 자동초점위치 측정<sup>4</sup> 등에 사용되고 있다. 그러나 이러한 카메라들은 영상의 확대와 초점조절에 5~8 초의 시간이 소요되고 있어서 감시공간에서 이동하는 사람의 얼굴을 촬영하는 일이 불가능하다.

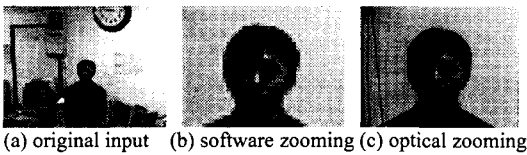


Fig. 1 Software and optical zooming

본 논문에서는 이동하는 사람의 얼굴을 검출하여 확대촬영 할 수 있는 새로운 고속 영상확대 및 초점조절 기법을 제안한다. 얼굴영역검출은 기존의 제안된 방법<sup>5,6</sup>들 중의 하나를 사용할 수 있다. 다만 얼굴의 크기는 모든 사람이 같다고 가정한다. 따라서 영상에서 얼굴의 크기는 사람이 카메라에 가까이 있을 때는 커지고 멀리 있을 때는 작아진다는 점을 고려하여 렌즈의 법칙을 통해 영

상확대와 초점조절 작업을 진행한다. 물체평면에서 일정한 크기의 얼굴이 주어지면 물체와 카메라와의 거리는 영상에서 얻어진 얼굴의 크기에 의해 구해지며 초점영상을 얻기 위한 영상확대와 초점조절 렌즈의 위치는 카메라의 캘리브레이션<sup>7,9</sup>에 의하여 구할 수 있다. 실제로는 사람에 따라 얼굴의 크기가 다르므로 정확한 초점영상을 얻기 위해서는 미세한 초점조절과정에 필요하다. 신속한 초점조절을 위해서는 영상의 고주파성분을 값으로 표현하는 초점합수(focus measure)를 이용한다.<sup>10-11</sup> 최대 4 개점에서 초점합수를 계산하고 초점 값이 최대가 되는 점을 예측하여 렌즈를 이동시키는 방법을 제안한다.

## 2. 기존의 초점위치의 판단기법

영상에서 물체들에 대한 초점이 잘 맞추어지면 윤곽선 부분이 선명해져서 고주파 성분이 많아지는 현상이 발생한다. 이러한 특성을 이용하여 주어진 영상내의 고주파성분을 검사해보면 초점이 맞는 영상인지를 판단할 수 있다. 또한 카메라의 초점을 자동으로 조절하기 위해서 렌즈가 이동할 때마다 고주파성분을 계산하고 고주파성분이 최대가 되는 위치를 초점이 맞는 위치로 판단하여 영상을 획득하는 방법이 널리 사용되고 있다. 이와 같이 영상에 포함된 고주파 성분을 판단하는 기준으로 사용되는 초점합수(Focus Measure)들로는 Laplacian, Tenengrad, Variance 등이 있고, 경우에 따라서는 Mean Method, Curvature, Point Focus Measure 등도 사용된다. 이 중에서 Laplacian 함수가 대부분의 환경에서 잡음 특성이 가장 강하기 때문에 일반적으로 사용되고 있다. 본 논문에서도 초점의 판단기준으로 3x3 Laplacian 함수를 사용하였다. 영상의 초점여부를 판단하기 위해 일반적으로는 영상 전체에 대한 고주파 성분을 계산하지만 초점의 판단 여부가 카메라의 광학축 상에 놓이는 물체를 기준으로 하는 점을 고려하여 본 논문에서는 광학축 부근에서만 고주파 성분을 계산하여 초점판단에 필요한 연산의 속도를 줄이고 있다.

초점이 맞은 지점을 찾기 위한 탐색 방법으로는 MCS(Mountain Climbing Servo) 방법이 많이 사용되고 있는데 이는 영상에서 고주파 성분의 포함 정도를 나타내는 초점합수(FV)의 분포 곡선이 마치 산의 모양과 비슷한 형태를 나타냄에 기반으로 한다.

MCS 방법은 위의 표와 같은 간단한 판단기준에 따라 렌즈를 이동시켜 최대의 FV 를 찾아간다.

FV<sub>n</sub> 은 n 번째 측정에서의 FV 를, t 는 초점위치를 예측하게 하는 기준값으로 Fig. 2 는 MCS 방법에 의한 탐색 방법을 그림으로 표현한 것이다.

Table 1 Searching the focus position using MCS method

상태	의미 및 동작
$(FV_{n+1} - FV_n) > t$	Climbing up
$(FV_{n+1} - FV_n) < -t$	Climbing down 또는 Peak point 지남
$-t < (FV_{n+1} - FV_n) < t$	Peak point t를 찾았거나 Peak point 없음

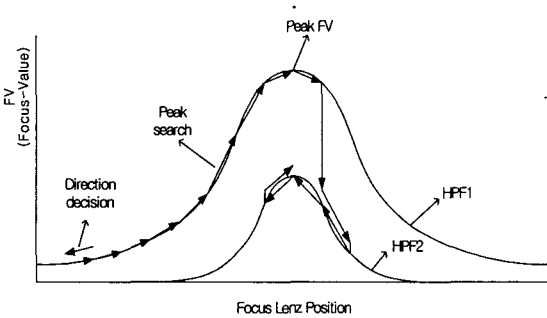


Fig. 2 MCS(Mountain Climbing Servo) method

MCS 방법은 렌즈이동 거리의 간격이 작을 때 는 최대 초점위치(Peak point)를 잘 찾지만 지역적 인 최대값을 초점위치로 잘못 판단할 우려가 있고, 또한 초점함수의 계산 수가 너무 많아져서 탐색 시간이 늘어나게 된다. 반대로 이동 간격을 크게 하면 최대 초점 위치를 지나쳐 버릴 수 있다. 특히 렌즈가 최대로 확대(zoom-in)된 상태에서는 Fig. 2 에서의 그래프 폭이 매우 좁아지므로 최대 초점 위치를 지나칠 확률이 더 높아지게 되므로 주의하 여야 한다.

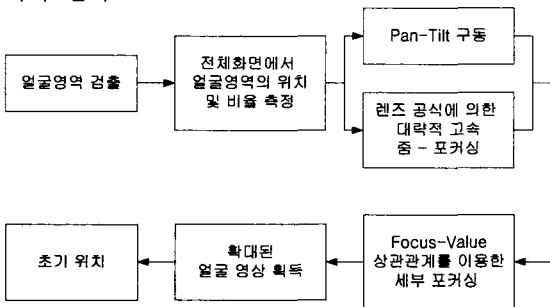


Fig. 3 Flowchart of the proposed zooming and focusing system

이와 같은 문제를 해결하고 고속으로 영상을 확대하고 초점을 맞추기 위해 본 논문에서 제안하 는 방법은 Fig. 3 과 같은 구조를 갖는다. 입력영상 에서 얼굴의 위치와 크기가 검출되면 이를 확대하 기 위한 배율을 결정하여 얼굴부분을 확대하고 다 시 미세한 초점조절을 통해 초점을 맞추는 방법을 적용한다.

### 3. 고속 영상확대 및 초점조절 기법

확대된 초점영상을 얻기 위해서는 두개의 렌 즈를 사용하는 것이 일반적이다. 한 개는 영상의 확대를 위한 것이고 하나는 영상의 초점을 맞추기 위한 것이다. 이들 두개의 렌즈가 조합을 이루어 원하는 배율의 초점영상을 만든다. 이러한 조합렌즈는 다양한 방법으로 해석이 가능하나 본 논문에 서는 하나의 얇은 렌즈(thin lens) 해석방법을 통해 원하는 배율의 초점영상을 얻기 위한 두 렌즈의 위치를 계산하는 방법을 유도한다.

#### 3.1 렌즈의 방정식을 통한 초점거리 결정

렌즈 방정식은 물체와 렌즈와의 거리( $o$ ), 렌즈 와 영상간의 거리( $i$ ), 그리고 초점거리( $f$ )와의 관 계로 식 (1)과 같이 표현된다. 또한 렌즈의 배율 ( $m$ )은 물체의 크기와 상의 크기 비율을 말하며 이는 렌즈에서 상의 크기 비율을 말하며 이는 식 (2)와 같이 물체에서 렌즈까지의 거리와 렌즈에서 상까지의 거리로도 표현될 수 있다.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{o} + \frac{1}{i} \quad (1)$$

$$m = \frac{h_2}{h_1} = \frac{i}{o} \quad (2)$$

역으로, 물체의 실제 크기( $h_1$ )와 영상 면에 나 타나는 상의 크기( $h_2$ ), 그리고 물체에서 영상 면까 지의 거리( $L$ )를 알고 있으면 Fig. 4 에서 아래의 식 (3), (4)를 이용하여 렌즈의 위치를 구할 수 있 다.

$$o = L \cdot \frac{h_1}{h_1 + h_2} \quad (3)$$

$$i = L \cdot \frac{h_2}{h_1 + h_2} \quad (4)$$

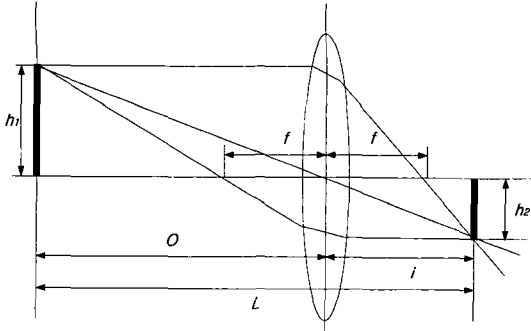


Fig. 4 Relation between lens position and image

아래의 Fig. 5 는 고정 초점거리 렌즈에서 물체의 거리가 변화하였을 경우 초점 영상을 얻기 위해서는 렌즈가 이동하여야 함을 보여주고 있다.

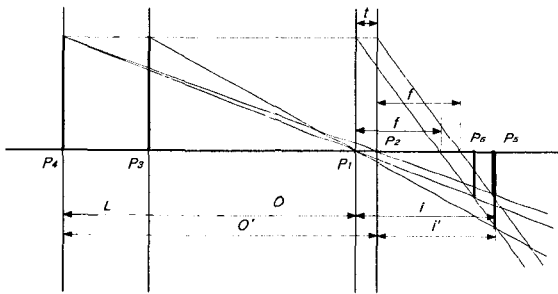


Fig. 5 Lens should move to make a focused image if object moves

Fig. 5 에서 초점거리가  $f$  인 렌즈가  $P_1$  지점에 있고 물체가  $P_3$  지점에 있을 때 영상은  $P_5$  위치에서 초점이 맞는다. 만약 물체의 위치가  $P_3$  에서  $P_4$  로 멀어지게 되면 영상은 영상 평면의 앞쪽  $P_6$  지점에서 상이 맺히게 됨을 볼 수 있다. 결국 영상 면인  $P_5$  지점에는 초점이 맞지 않은 영상이 나타나게 된다. 따라서 렌즈를  $t$  만큼 뒤로 이동시켜  $P_2$  위치로 이동시켜 주어야만 영상 평면에서 초점이 맞은 상이 생기게 된다. 이 과정에서 필요한 렌즈의 이동 거리  $t$  를 구하는 식은 아래의 과정에 설명하였다. 먼저 렌즈의 공식을 이용하여 아래의 식 (5), (6)을 얻을 수 있다.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{o} + \frac{1}{i} = \frac{1}{o'} + \frac{1}{i'} = \frac{1}{L+o+t} + \frac{1}{i-t} \quad (5)$$

$$\frac{o+L+t+i-t}{(i-t)(o+L+t)} = \frac{1}{f} \quad (6)$$

이 식을  $t$  에 대하여 정리하면 식 (7)과 같이 된다.

$$t^2 + (o+L-i)t - i(o+L) + f(i+o+L) = 0 \quad (7)$$

위의 식에 실제 렌즈의 변수 값들을 적용하면 2 개의 근이 얻어지게 되는데 이 중에서 실제로 렌즈가 이동할 수 있는 범위 내의  $t$  가 최종 이동 거리가 된다.

### 3.2 영상확대와 초점과의 관계

물체의 위치가 고정되어 있을 때 영상 면에서 측정하려는 물체의 상의 크기를  $a$  배만큼 확대하기 위해 렌즈를 이동하는 경우 렌즈의 고정된 초점거리에 의해 초점이 맞지 않는 문제가 발생한다.

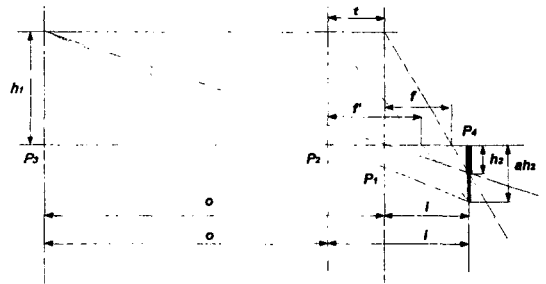


Fig. 6 The change of focal length for magnifying images

영상 면에서 물체의 크기를  $a$  배만큼 증가시키려면 Fig. 6 에서와 같이 먼저 렌즈를  $P_1$  에서  $P_2$  로  $t$  만큼 이동시켜 주어야 한다. 이때 필요한 거리  $t$  는 아래의 과정에 따라 구해질 수 있다. 먼저 식 (2)의 배율공식을 이용하면 아래의 식 (8)이 구해진다.

$$m' = am = a \cdot \frac{i}{o} = \frac{i'}{o'} = \frac{i+t}{o-t} \quad (8)$$

이 식을  $t$  에 대하여 정리하면 식 (9)와 같이 된다.

$$t = \frac{oi}{o+ai} \quad (9)$$

이에 따라 렌즈를 이동시키면 상의 크기는 증가하지만 초점이 맞지 않게 된다. 따라서 초점을 맞추기 위해서 초점거리를 변화시켜 주어야 영상 면에서 확대된 이미지를 얻을 수 있다. Fig. 6 에서 초점영상을 얻기 위한 새로운 초점거리를  $f'$  라고 하면  $f'$  는 식 (1)의 렌즈의 방정식으로부터 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{o'} + \frac{1}{i'} = \frac{1}{o-t} + \frac{1}{i+t} \quad (10)$$

이를  $f'$  에 대하여 정리하면 다음의 식 (11)과 같이 된다.

$$f' = \frac{(o-t)(i+t)}{oi} \quad (11)$$

식 (11)로부터 초점 영상을 얻기 위한 새로운 초점거리를 구할 수 있다. 하지만 렌즈의 초점거리는 렌즈의 곡률에 의해 결정되기 때문에 물리적으로 고정되어 있어서 필요한 초점거리만큼 변경을 할 수가 없다. 따라서 초점거리를 자유로이 변경할 수 있는 조합렌즈를 사용하게 된다.

### 3.3 확대렌즈와 초점조절렌즈의 위치결정

#### 3.3.1 복합렌즈의 해석기법

Fig. 7 은 조합렌즈를 사용하였을 경우 물체의 상이 맺히는 원리를 보여주고 있다. 거리  $d$  만큼 떨어져 있는 두 렌즈에서 물체로부터의 빛은 각각의 렌즈에서 두 번 굴절하게 된다.

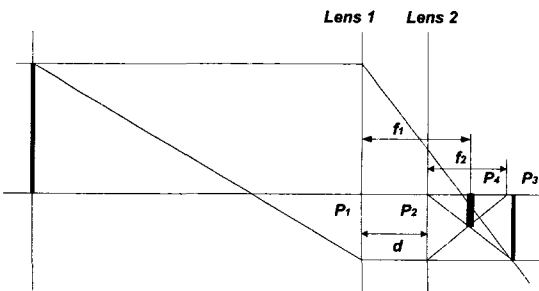


Fig. 7 The image position in compound lenses

만약  $P_1$  지점에 초점거리  $f_1$  인 렌즈를,  $P_2$  지점에 초점거리  $f_2$  인 렌즈를 두었다고 가정하자. 이때 첫 번째 렌즈를 통과한 빛은  $P_3$  지점에서 상이

맺히게 될 것이지만 바로 뒤 두 번째 렌즈에서 한 번 더 굴절되어  $P_4$  지점에서 최종 상이 맺히게 된다. 이것은 광학축과 평행하게 들어오는 빛은 렌즈의 뒤쪽 초점거리를 지나고 렌즈의 중심을 향해 들어오는 빛은 직진하며 렌즈의 앞쪽 초점거리를 향해 들어오는 빛은 렌즈에서 굴절되어 광학축과 평행하게 나아간다는 광학적 원리에 의해 설명된다.

한편 복합렌즈에 대한 이론적 해석 방법을 이용하여 복합렌즈를 해석함으로써 상의 위치를 구할 수도 있다. 두꺼운(thick) 렌즈에는 2 개의 principal plane 이 있으며 각각 first principal plane, second principal plane 이라 불린다. 이 principal plane 들은 실제 존재하지 않는 가상의 평면이며 빛의 굴절 지점을 해석하기 위한 도구로 사용된다. (이후부터 principal plane 을 줄여 PP 로 사용한다.)

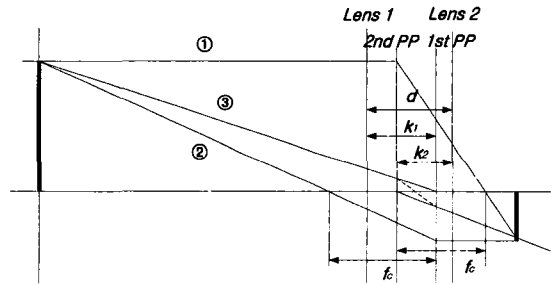


Fig. 8 The light path and refraction in compound lenses

Fig. 8 에서 물체로부터 평행하게 들어오는 빛은 두꺼운 렌즈의 2nd PP 에서 굴절되어 렌즈의 뒤쪽 초점위치를 지나게 되고(경로 ①), 물체에서 렌즈의 앞쪽 초점위치를 지난 빛은 1st PP에서 굴절되어 평행하게 진행된다(경로 ②). 이 두 빛이 만나는 지점에서 물체의 초점영상이 얻어지게 된다. 한편 물체에서 렌즈의 축과 1st PP의 교점을 향해 들어온 빛은 2nd PP에서 점선을 따라 굴절되고 다시 1st PP에서 처음 들어온 빛과 평행하게 굴절되어 진행한다(경로 ③). 두 개의 복합렌즈를 하나의 가상 렌즈로 해석할 경우 이 렌즈의 초점거리 1st PP에서 굴절되어 렌즈의 중심 축과 평행하게 진행한다. 이 두 빛이 만나는 지점에서 물체의 상이 맺히게 되는 것이다. 한편 물체에서 렌즈

의 축과 1st PP 의 교점을 향해 들어온 빛은 2nd PP 에서 점선을 따라 굴절되고 다시 1st PP 에서 처음 들어온 빛과 평행하게 굴절되어 진행한다. 두 개의 얇은 렌즈를 하나의 두꺼운 렌즈로 근사화 하였을 경우 이 렌즈의 초점거리를  $f_c$  라 두면  $f_c$  는 다음의 식에 의하여 구해진다.

$$f_c = \frac{f_1 \cdot f_2}{f_1 + f_2 - d} \quad (12)$$

한편 각 principal plane 들의 위치는 Lens1에서 1st PP까지의 거리를  $k_1$ , Lens2에서 2nd PP까지의 거리를  $k_2$  라 하였을 때  $k_1$ 와  $k_2$ 는 각각 아래와 같이 구해질 수 있다.

$$k_1 = \frac{f''}{f_2} \cdot d, \quad k_2 = \frac{f''}{f_1} \cdot d \quad (13)$$

### 3.3.2 확대된 초점영상을 위한 렌즈의 위치 계산

확대된 초점영상을 얻기 위한 조합렌즈에서 확대렌즈와 초점조절렌즈의 위치를 구하기 위해서는 먼저 가상의 단일 얇은 렌즈를 설정하고 이를 다시 가상의 thick 렌즈로 변환한 뒤 또 다시 두꺼운 렌즈를 복합렌즈로 변환하는 방법을 사용하여 렌즈의 위치를 구할 수 있다. 또한 두 개의 조합렌즈 위치가 얻어졌을 경우 반대의 순서에 의하여 가상의 단일 얇은 렌즈로 변환하는 방법도 가능하다. 물론 각 렌즈마다 1st PP와 2nd PP가 있고 렌즈 왜곡 또한 존재하겠지만 이 변수들에 의한 영향은 매우 미미하므로 여기서는 고려하지 않는다.

일반적으로 단일 얇은 렌즈는 해석 방법이 간단하나 조합렌즈는 해석 방법이 복잡하므로 단일 얇은 렌즈로 변환시켜 확대 영상을 얻는 방법을 사용하면 정확한 렌즈들의 위치를 얻을 수 있다.

Fig. 9에서  $f_1$ 은 Lens1의 초점거리이고  $f_2$ 는 Lens2의 초점거리이며  $f_c$ 는 복합렌즈의 초점거리를 나타낸다. 이 두 개의 렌즈를 하나의 가상 얇은 렌즈로 변환했을 경우 그 렌즈의 초점거리를  $f_i$ 라 하면 이 렌즈가 위치하게 될 곳은 아래와 같은 방법에 의하여 구해질 수 있다.

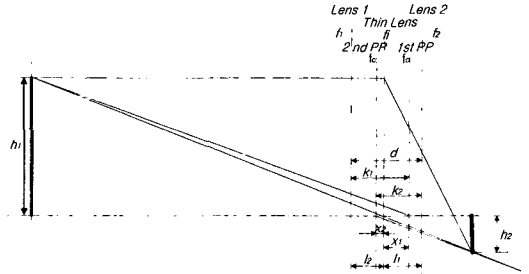


Fig. 9 Transformation of compound lenses into virtual single thin lens

가상의 단일 얇은 렌즈 중심으로부터 1st PP까지 거리를  $x_1$ , 2nd PP까지의 거리를  $x_2$ 라고 하면 아래의 식 (14)와 (15)가 얻어지게 된다. 이  $x_2$  값을 이용하면 다른 변수들의 값들을 구할 수 있다.

$$x_2 : x_1 = h_2 : h_1 \quad (14)$$

$$\begin{aligned} x_2 &= (x_1 + x_2) \cdot \frac{h_2}{(h_1 + h_2)} \\ &= \{d - (d - k_1) - (d - k_2)\} \cdot \frac{h_2}{(h_1 + h_2)} \\ &= (k_1 + k_2 - d) \cdot \frac{h_2}{(h_1 + h_2)} \\ &= \left( \frac{f_1 \cdot d}{f_2} + \frac{f_2 \cdot d}{f_1} - d \right) \cdot \frac{h_2}{(h_1 + h_2)} \\ &= \frac{d^2 \cdot h_2}{(f_1 + f_2 - d)(h_1 + h_2)} \end{aligned} \quad (15)$$

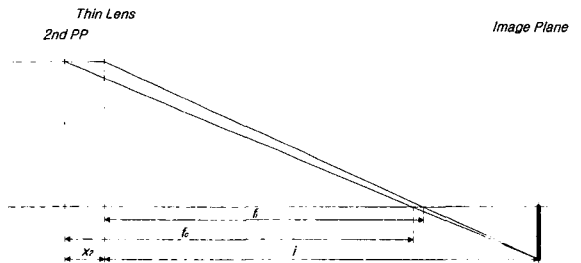


Fig. 10 Relationships between parameters

영상 면에서 렌즈 및 2nd PP 사이의 관계만 살펴보면 Fig. 10과 같다. Fig. 10에서 비례관계에 의하여 다음의 식 (16)과 (17)을 얻을 수 있다.

$$\frac{f_c}{i+x_2} = \frac{f_i}{i} \quad (16)$$

$$f_c = \frac{(i+x_2) \cdot f_i}{i} \quad (17)$$

따라서 조합렌즈의 초점거리는 렌즈의 방정식에 의해 식 (18)과 같이 구해진다.

$$f_c = \frac{f_1 \cdot f_2}{f_1 + f_2 - d} \quad (18)$$

식 (17)과 (18)을 결합하면 식 (19)가 얻어지고 여기에  $x_2$ 의 값을 대입하면 식 (22)와 같이  $d$ 에 대한 2차 방정식을 얻게 된다.

$$\frac{(i+x_2) \cdot f_i}{i} = \frac{f_1 \cdot f_2}{f_1 + f_2 - d} \quad (19)$$

$$i + \frac{d^2 \cdot h_2}{(f_1 + f_2 - d)(h_1 + h_2)} = \frac{i \cdot f_1 \cdot f_2}{f_i \cdot (f_1 + f_2 - d)} \quad (20)$$

$$\frac{i \cdot (f_1 + f_2 - d)(h_1 + h_2) + d^2 \cdot h_2}{(f_1 + f_2 - d)(h_1 + h_2)} = \frac{i \cdot f_1 \cdot f_2}{f_i \cdot (f_1 + f_2 - d)} \quad (21)$$

$$h_2 \cdot d^2 - i \cdot (h_1 + h_2) \cdot d + \frac{\{f' \cdot i \cdot (f_1 + f_2) - i \cdot f_1 \cdot f_2\}(h_1 + h_2)}{f_i} = 0 \quad (22)$$

식 (22)가 가질 수 있는 2개의 근 중에서 렌즈의 이동가능범위를 만족하는 값을  $d$ 로 선택하면 다음의 식들에 의해 다른 변수들을 구할 수 있게 된다.

$$f_c = \frac{f_1 \cdot f_2}{f_1 + f_2 - d} \quad (23)$$

$$k_1 = \frac{f_c}{f_2} \cdot d, \quad k_2 = \frac{f_c}{f_1} \cdot d \quad (24)$$

$$x_1 = (k_1 + k_2 - d) \cdot \frac{h_1}{(h_1 + h_2)}, \quad x_2 = (k_1 + k_2 - d) \cdot \frac{h_2}{(h_1 + h_2)} \quad (25)$$

$$l_1 = x_1 + (d - k_1), \quad l_2 = x_2 + (d - k_2) \quad (26)$$

결과적으로 영상 평면에서 Lens1(초점조절렌즈)과 Lens2(확대렌즈)까지의 거리를 구할 수 있게 되고 이를 이용하여 카메라의 영상 평면을 기준으로 렌즈를 이동시켜 주면 초점이 맞는 영상을 얻을 수 있게 된다.

#### 4. 미세 초점 조절 기법

MCS 방법의 단점을 해결하기 위해 본 논문에서는 초점함수(FV) 상관관계를 이용한 초점위치 탐색방법을 제안하며 식 (27)에 주어진 라플라시안 초점함수를 사용한다. 식에서  $I(x,y)$ 는 입력영상을,  $L(x,y)$ 는 라플라시안 연산자를 의미하며  $FV(x,y)$ 는 이들의 컨볼루션을 통해 얻게 된다.

$$FV(x,y) = I(x,y) * L(x,y) \quad (27)$$

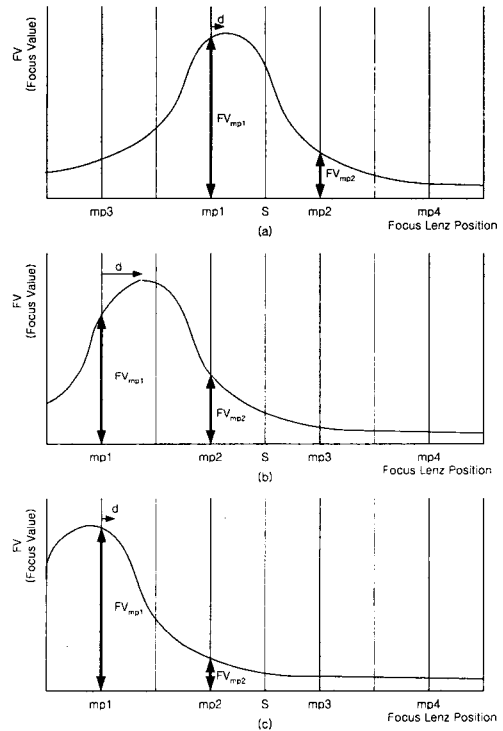


Fig. 11 Determination of focused point

제안하는 탐색방법은 먼저 4개의 초점 탐색 지점을 정하고 5번의 렌즈 이동에 의해 각 지점에서의 FV를 구한다 Fig. 11에서처럼 초점위치는 FV 값이 가장 큰 지점과 두 번째로 큰 지점의 사이에 존재하며 가장 큰 값이 나타난 지점 쪽에 조금 더 치우치게 된다. 그 치우침의 정도는 두 값의 비례관계에 의하여 구할 수 있고 4개의 탐색 지점에서 최대 값이 나타난 지점에서 치우침 값을 더해 주거나 빼 줌으로써 초점위치를 구할 수 있

다. 식 (28)과 (29)은 초점위치를 구하는 식을 나타내고 있다.

$$FP = mp_1 + \frac{|mp_1 - mp_2|}{2} \times \left( \frac{FV_{mp_2}}{FV_{mp_1}} \right) \text{ if, } mp_1 \leq mp_2 \quad (28)$$

$$FP = mp_1 - \frac{|mp_1 - mp_2|}{2} \times \left( \frac{FV_{mp_2}}{FV_{mp_1}} \right) \text{ if, } mp_1 > mp_2 \quad (29)$$

여기서  $FP$  (focused point)는 초점위치를 나타내고  $mp_1$ 과  $mp_2$ 는 FV가 가장 큰 지점과 두 번째로 큰 지점을 나타낸다.  $FV_n$ 은 n 지점에서의 FV이다.

마지막으로 초점위치로 이동하여 FV를 구한 후 최대 위치가 맞는 지 검증을 거치게 된다. Fig. 11(c)에서처럼 초점위치가 렌즈의 이동구간을 벗어날 경우 아래의 식 (30)에 의해 FV가 최대인 지점을 초점위치로 판단한다.

$$FP = mp_1 \text{ if, } FV_{FP} < FV_{mp_1} \quad (30)$$

### 5. 실험 결과

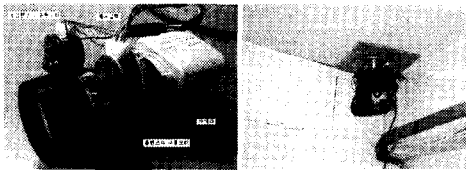


Fig. 12 Camera system constructed for experiments

본 논문에서 제안한 측정기법은 Fig. 12에서와 같이 Kowa사의 12.5~75mm 줌 렌즈를 개조하여 원래의 DC모터를 제거하고 스테핑모터를 장착한 후 실험하였다. 이 렌즈는 측정대상을 중심으로 앞쪽에는 포커스 조정용 렌즈, 뒤쪽에는 줌 조정용 렌즈가 달려있는 복합렌즈로써 각 렌즈의 위치는 MPU AT90S8515에 의하여 구동되는 스테핑모터를 사용하여 조정하게 된다.

입력영상은 캡춰기능이 포함된 AMD Athlon XP 1500+ P에서 Visual C++을 이용하여 처리하였고 이동해야 할 렌즈의 위치는 시리얼 통신으로 렌즈 조정용 MPU에 전달된다. 입력영상에서 얼굴영역은 김수현<sup>(4)</sup>이 제안한 알고리즘을 이용하여 검출하였고 성인의 얼굴 크기는 평균 170x210mm라는

통계를 이용하여 입력영상에서의 크기가 얼마만하든지 간에 영상에서 차지하는 얼굴영역의 크기를 100x125 pixel로 확대하는 것을 목표로 실험을 진행하였다.

Table 2는 사람얼굴을 카메라로부터 멀리 이동시키면서 확대된 얼굴영역을 얻기 위해 기존의 MCS 방법과 제안된 알고리즘을 적용한 결과, 소요되는 시간을 비교하여 보여주고 있다.

Table 2 Experimental results

Distance	MCS algorithm (sec.)	Proposed algorithm (sec.)		
		1st step	2 <sup>nd</sup> step	Total
2 m	3.682	0.146	0.607	0.753
3 m	5.029	0.172	0.545	0.717
4 m	6.815	0.212	0.527	0.752
5 m	9.204	0.230	0.540	0.770
6 m	11.539	0.237	0.627	0.864
Average	7.254	0.199	0.569	0.771



Fig. 13 Comparison of the images obtained by the Software magnification and the proposed system

제안된 알고리즘을 사용하는 경우는 소요되는 시간을 2 단계로 구분하여 측정하였다. 첫 번째 단계는 확대를 위한 줌렌즈의 이동에 소요되는 시간이고 두 번째 단계는 미세초점조절을 위한 초점렌즈조절에 소요되는 시간으로 이들의 합이 총 소요 시간이 된다. 실험결과에서 보듯이 같은 장치에서 MCS 방법을 사용했을 경우 확대된 영상을 얻는데 평균적으로 7초가 소요됨에 비하여 본 시스템에 의한 실험결과 영상확대 및 초점조절에 사용되



는 시간은 1 단계에서 평균 0.199 초, 2 단계에서 평균 0.567 초로 전체 수행 시간 평균 0.771 초 이내에 확대된 얼굴 영상을 얻을 수 있었다. 또한 그 성능은 렌즈의 이동 거리에 비례하므로 가까운 물체일수록 렌즈가 조금 움직이게 되어 빠른 속도로 확대 영상을 얻을 수 있음을 보여준다.

Fig. 13 은 실험에서 얻은 입력영상과 확대된 결과영상을 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이 제안된 방법으로 얻은 영상이 입력영상을 같은 배율로 확대한 영상에 비해 우수한 분해능을 갖는 것을 확인할 수 있다.

## 6. 결론

본 논문은 감시카메라가 이동하는 사람의 얼굴을 촬영할 수 있도록 하기 위해 고속의 영상확대 및 초점조절 알고리즘을 제안하고 실험을 통해 효용성을 입증하였다. 영상확대를 위해서는 조합렌즈를 단일렌즈로 해석하여 렌즈의 위치를 결정하고 초점함수의 계산 없이 직접 이동하는 방법을 사용하였으며 얼굴크기에 대한 가정으로 발생한 초점의 흐림 문제를 해결하기 위해 최대 5 번만 초점함수를 계산하는 알고리즘을 사용하였다. 결과적으로 기존의 알고리즘을 이용하는 경우 4 초 이상 소요되는 문제를 0.7 초 이내로 단축시킬 수 있었으며 고속의 팬, 틸트와 연결하여 사용하면 영상 내에서 이동하는 사람의 얼굴을 촬영하는데 문제가 없음을 보였다. 초점조절을 위해서는 줌포커스 시스템을 위한 2 단계 고속 영상확대 및 초점조절 기법을 제안하였다. 본 논문에서 제안된 알고리즘에서 얼굴영상의 크기에 따른 렌즈의 위치를 미리 계산하고 lookup table 에 저장하여 사용하면 계산속도를 2 배 이상 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

## 후기

본 논문은 숭실대학교 2003 학년도 교내연구비의 지원으로 이루어졌음.

## 참고문헌

1. Ko, Young-Ki, Lee, June-Sok, Jung, You-Young,

- Kim, B. and Ko, S., "An advanced camera system having fast autofocus control," Consumer Electronics, ICCE International Conference, pp. 210 -211, 2001.
2. Willson, R. G., "Modeling and Calibration of Automated Zoom Lenses," Ph.D thesis, Department of Electrical and Computer Engineering, Caneigee Mellon University, 1994.
3. Park, H. and Hwang, Y., "Shape Measurement Technique using Machine Vision," J. of KSPE, Vol. 18, No. 3, pp. 10-17, 2001.
4. Choi, D., Song, P., Kim, H. and Hahn, H., "Shape Adaptive Searching Technique for Finding Focused Pixels," J. of KSPE, Vol. 19, No. 2, pp. 151-159, 2002.
5. Zhao, H. and Hung, Y., "Real-Time Multiple-Person Tracking System," Int. Conf. on Pattern Recognition, Vol.2, pp. 897-900, 2002.
6. Hsu, M. A. and Jain, A.K., "Face detection in color images," IEEE Trans. PAMI, Vol.24, No. 5, pp. 696-706, 2002.
7. Ooi, K., Izumi, K., Nozaki, M. and Takeda, I., "An Advanced Auto-Focus System for Video Camera Using Quasi Condition Reasoning," Consumer Electronics, ICCE, IEEE International Conference, pp. 348 -349, 1990.
8. Chen, Y.S. and Shin, S.W., "Camera Calibration with a Motorized Zoom Lens," Proc. of 15th Int. Conf. on Pattern Recognition, Vol. 4, pp. 495-498, 2000.
9. Fayman, J.A., Sundarsky, O. and Rivlin, E., "Zoom Tracking and its Applications," Machine Vision Applications, Vol. 13, No. 1, pp. 25-37, 2001.
10. Zhang, X., Fukuda, N., Obuchi, Y., Kambe, T., Kubo, N., Kawamura, H. and Suzuki, I., "A signal Processing System on Chip for Digital Cameras," Industrial Electronics Society, IECON, 26th Annual Conf. of the IEEE, Vol.2, pp.1243-1248, 2000.
11. Helml, F. S. and Scherer, S., "Adaptive shape from focus with an error estimation in light microscopy," Image and Signal Processing and Analysis, ISPA, Proc. of the 2nd Int. Symp., pp. 188-193, 2001.