

# VCM을 이용한 휴대폰 카메라에서의 렌즈 위치 오차 보상 고속 자동 초점 알고리즘

한찬호<sup>†</sup>, 김태규<sup>\*\*</sup>, 권성근<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

휴대폰 카메라에서는 자동 초점 제어를 위하여, 스텝 모터보다 크기 면에서 소형인 보이스 코일 모터가 많이 사용되고 있다. 보이스 코일 모터를 이용하는 광학계에서는 인가되는 동일한 전류 값에 대하여, 초점값이 달라지는 특징이 있다. 이는 보이스 코일 모터의 특성으로 인하여 발생하는 현상으로서, 렌즈 위치에 대한 오차가 발생하였음을 의미한다. 이러한 보이스 코일 모터의 특성에 의한 렌즈 위치 오차를 보상하기 위하여, 본 논문에서는 검색 단계별 스텝 간격 및 검색 횟수에 따른 렌즈 위치 오차 보상 알고리즘을 제안하였다. 이 방법에서는, 고속 초점 제어를 위하여 검색 단계를 기존 검색 방법에 -7의 중간 스텝 간격을 추가하고, 정교한 초점 제어를 위하여 최종 검색 단계 스텝 사이드를 +1로 설정한다. 제안한 방법은 기존의 방법보다 더 빠르게 자동 초점 조절을 수행하며, 촬영된 결과 영상 또한 주관적 및 객관적인 측면에서 더 우수함을 실험 결과를 통해 확인하였다.

## Lens Position Error Compensated Fast Auto-focus Algorithm in Mobile Phone Camera Using VCM

Chan-Ho Han<sup>†</sup>, Tae-Kyu Kim<sup>\*\*</sup>, Seong-Geun Kwon<sup>\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

Due to the size limit, the voice coil motor (VCM) is adopted in most of the mobile phone camera to control auto-focus instead of step motor. The optical system using the VCM has the property that the focus values are varying even though the same current is induced. It means that an error of the lens position was taken placed due to the characteristics of the VCM. In this paper, a algorithm was proposed to compensate the lens position error using the step size and the search count of each stage. In the proposed algorithm, the -7 step middle searching stage is inserted the conventional searching algorithm for the fast auto-focus searching and the final searing step size was set to +1 for the precise focus control, respectively. In the experimental results, the focus values was found more fast in the proposed algorithm than the conventional. And more. the image quality by the proposed algorithm was superior to that of the conventional.

**Key words:** Auto-focus(자동초점), Voice Coil Motor(보이스 코일 모터), Hysteresis Compensation(히스테리시스 보상)

## 1. 서 론

소비자의 구매를 자극하는 새로운 기술 및 기능으로 인하여, 휴대폰 시장은 짧은 기간에 대단히 빠른

※ 교신저자(Corresponding Author) : 권성근, 주소 : 경북 구미시 임수동 94-1 삼성전자 무선사업부(730-350), 전화 : 053)953-4579, FAX : 053)953-4575, E-mail : seonggeun.kwon@samsung.com

접수일 : 2005년 4월 18일, 완료일 : 2005년 5월 2일

<sup>†</sup> 정회원, HIT 부설연구소

(E-mail : chhan@ee.knu.ac.kr)

<sup>\*\*</sup> 학생회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부

(E-mail : neoncrom@ee.knu.ac.kr)

<sup>\*\*\*</sup> 정회원, 삼성전자 정보통신총괄 무선사업부

성장을 하고 있다. 특히 사물을 촬영, 저장, 및 전송할 수 있는 카메라 폰은 단순한 음성통화의 용도에서 벗어나 멀티미디어 커뮤니케이션의 중심체 역할을 하고 있다. 카메라 폰이 이러한 역할을 하기 위하여서는, 자동초점 기능이 필수적이다.

자동초점 조절 방식은 카메라와 피사체간의 거리 측정 방법에 따라 크게 능동형 방식과 수동형 방식으로 분류될 수 있다. 먼저 능동형 방식은 초음파나 적외선을 방출하여 피사체에 의해서 반사된 신호를 이용하여 카메라와 피사체 사이의 거리를 측정하는 방식이다[1]. 이러한 방식은 어두운 장소에서도 우수한 초점조절 능력을 갖지만, 신호의 방출 및 검출을 위하여 별도의 장치가 필요하고, 이 장치의 성능으로 인하여 정확도와 신뢰도가 저하되는 문제점을 가진다. 수동형 방식의 자동 초점 조절은 영상 센서로부터 획득한 영상의 고주파 성분을 검출하여 초점조절에 유용한 초점 값 (focus value, FV)을 획득하고, 이 FV가 최대값이 되는 지점으로 렌즈를 이동시키는 방법이다[2-7].

이러한 수동형 방식은 FV를 검출하는 부분, FV를 평가하여 렌즈의 이동 위치를 결정하는 부분, 및 렌즈를 제어하는 부분으로 구성될 수 있다. FV의 최대값을 찾는 방법으로 가장 기본적인 방법은 산등 탐색 기법이다. 수동형 방식은 별도의 장치 없이 획득된 영상신호로부터 초점 조절에 대한 정보를 얻기 때문에, 소형이면서도 정확성도가 높다는 장점 때문에 대부분의 카메라에서 보편화되어 있다.

한편, 디지털 카메라에서 자동초점 조절을 위한 렌즈 이동을 담당하는 액추에이터로 스텝 모터가 보편적으로 사용되고 있다. 스텝모터에 의해 제어된 초점 렌즈의 위치는 스텝모터의 회전수에 비례하기 때문에, 렌즈는 무게, 크기, 및 관성에 무관하게 정확한 초점 위치로 이동될 수 있다. 그러나 스텝모터는 크기와 부피 면에서 소형의 휴대폰 카메라에서는 적합하지 않다. 따라서 휴대폰 카메라에서는 스피커 등에 사용되고 있는 초소형 보이스 코일 모터 (voice coil motor, VCM)가 렌즈를 이동하는 역할을 한다. VCM은 빠른 응답특성으로 직선운동에 유리하고, 비교적 긴 행정 거리로 인하여 소형화 및 정밀 위치 제어에 유리한 장점을 가지고 있다[8]. 그럼에도 불구하고, VCM은 렌즈의 무게, 크기, 및 관성 등의 영향을 받기 때문에, 이를 이용하는 방법에서는 렌즈를 원하는 위치로 이동시키는데 시간적 지연이 발생한다. 또한

동일한 상황에서 동일한 렌즈의 위치를 제어 하는 경우에도, 히스테리시스 및 렌즈의 관성으로 인하여 초점 값이 달라지는 문제가 있다. 따라서 VCM을 이용한 휴대폰 카메라에서 기존의 자동초점 알고리즘을 사용하면 렌즈는 최적의 초점 위치를 벗어나게 된다. 또한 동일한 이유로 기존의 2단으로 구성된 고속 탐색 방법은 탐색 시간이 늘어나며, 렌즈의 이동 위치가 변동될 가능성이 크다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서, 본 논문에서는 히스테리시스 보상 고속 자동초점 제어 알고리즘을 제안한다.

먼저 VCM 모터의 히스테리시스 특성을 조사하기 위하여, 다양한 간격으로 렌즈 위치를 제어하여 그에 따른 초점 값을 조사하였다. 이들 렌즈 위치에 따른 초점 값으로부터 VCM 모터에 의한 렌즈 위치 오차 보상 방법을 개발하였다. 또한 기존의 2단으로 구성된 고속 산등 탐색 방법을 3단으로 변경하여 탐색 속도를 개선시켰으며, 이를 위한 최적의 단계별 스텝을 제안하였다.

본 논문은 2장에서 기존의 자동초점 방법을 살펴보고, 3장에서 VCM 모터를 이용한 초점제어 회로 및 특성을 조사하였으며, 제안된 VCM 모터에 의한 렌즈 위치 오차 보상 방법 및 3단 고속 탐색 알고리즘을 기술하였다. 4장에서 제안된 방법으로 구현된 휴대폰 카메라를 통한 실험결과를 보였으며, 5장에서 본 논문의 결과를 정리하였다.

## 2. 초점 값 및 기존의 자동초점 제어 알고리즘

### 2.1 초점 값

일반적으로 영상의 밝기 변화에 의한 기울기로 구해지는 초점 값은 영상의 초점 단계를 측정하는 성능 변수이다. 초점 값은 화소 밝기 변화에 의한 기울기의 합, 또는 기울기 에너지의 합으로 다음 수식과 같이 구해진다[7].

$$FV = \sum_x \sum_y |g(x, y)|$$

$$\text{or } FV_{\text{energy}} = \sum_x \sum_y |g(x, y)|^2 \quad (1)$$

여기서  $FV$ 는 초점 값이며,  $g(x, y)$ 는  $(x, y)$  위치에 서 영상 밝기 변화에 의한 기울기 값이다. 기울기 값의 에너지 합을 이용하여 초점 값을 구하는 방식은 초점이 맞는 영상과 그렇지 않은 영상을 보다 명확히

구분하기 때문에, 초점 제어를 위한 방식으로 보다 적당하다. 화소 밝기 변화에 의한 기울기를 계산하는 방법으로는, 아래 수식과 같은 방법이 일반적이다[7].

$$\begin{cases} g(x) = (\bar{\alpha}_1, \bar{\alpha}_2, \bar{\alpha}_3) \times f(x, y)_{3 \times 3} \\ g(y) = (\bar{\alpha}_1, \bar{\alpha}_2, \bar{\alpha}_3)^T \times f(x, y)_{3 \times 3} \end{cases} \quad (2)$$

여기서  $f(x, y)_{3 \times 3}$ 는 (x,y) 위치에서 입력된 영상 데이터의 3×3 행렬이다. 그리고  $\bar{\alpha}_1, \bar{\alpha}_2, \bar{\alpha}_3$ 는 3×1 가중치 벡터 행렬이다. 여기서  $\bar{\alpha}_1, \bar{\alpha}_2, \bar{\alpha}_3$ 들의 선택에 따라 다양한 방법으로 기울기가 얻어진다[7].

1.  $\bar{\alpha}_1 = (-1, -2, -1)^T, \bar{\alpha}_2 = (0, 0, 0)^T, \bar{\alpha}_3 = (1, 2, 1)^T$  이면, Tenengrad 기울기 [2]의 특정한 형태인 Sobel 기울기 (미분)[3]가 구현된다.
2.  $\bar{\alpha}_1 = (0, -1, 0)^T, \bar{\alpha}_2 = (0, 1, 0)^T, \bar{\alpha}_3 = (0, 0, 0)^T$  이면, Robert 기울기가 구현되며, 여기서  $f(x, y)_{3 \times 3}$ 를 원 영상 데이터의 1차 미분으로 대치하면 Laplacian 기울기가 구현된다.
3.  $\bar{\alpha}_1 = (0, \alpha_1, 0)^T, \bar{\alpha}_2 = (0, \alpha_2, 0)^T, \bar{\alpha}_3 = (0, \alpha_3, 0)^T$  이면, 원 영상 데이터에 메디안 필터 변환이 먼저 적용되어 FSWM 기울기[4]가 구현될 수 있다.

자동초점을 위한 기울기 연산자는 영상 출력으로부터 고주파 성분을 검출할 수 있어야 하며, 백색잡음 및 임펄스 잡음을 억제할 수 있어야 한다. 이러한 효과적인 기울기 연산자는 영상 경계선 검출을 위해 제안되었다[6,7]. 사실상, 경계선 검출에서의 개념은 자동 초점을 위한 개념과 매우 비슷하다. 그래서 실시간 경계선 검출기법들은 자동초점을 위한 '산등 검색 알고리즘'에서 채택하고 있다. 그림 1에 보인 초점 곡선은 렌즈 위치에 따른 초점 값의 변화를 나타낸다[2-7]. 이 곡선의 최고점은 최적 초점 위치로 간주된다.

또한 자동초점 제어 알고리즘이 좋은 성능을 갖기

위해서는 초점이 맞는 위치에서 초점 곡선이 첨예함을 가져야 하며, 초점이 맞지 않는 곳에서도 초점 렌즈의 원활한 이동을 위하여 초점 곡선은 적당한 기울기를 갖고 있어야 한다.

2.2 산등 검색 알고리즘

초점이 잘 맞는 영상을 얻기 위해 초점 렌즈를 이동 시키면서 초점 값을 검출하여 초점 값의 최대치를 찾는다. MCS (mountain climb servo)[5] 또는 HCS (hill-climbing search) [6]로 기술된 산등 검색 알고리즘은 디지털 카메라에서 고속 검색을 위해 개발되었다. 일반적인 산등 검색 알고리즘은 고속 수렴 속도를 얻기 위해 그림 2에서와 같이 두 과정의 다른 검색단계로 구분된다. 첫 번째는 초점 렌즈를 이동시키기 위하여 스텝 사이즈를 크게 하여 초점 값의 기울기가 변화하는 위치를 검출하는 단계이다. 현재 검출한 초점 값과 이전에 검출한 초점 값의 차를 구하여 음수가 나오면 두 번째 검색 단계로 들어간다. 두 번째 단계는 탐색 방향을 바꾸어 좀더 작은 스텝 사이즈로 초점 렌즈를 이동시키면서 초점 값의 최대치를 검출한다. 여기서 첫 번째 검색 단계를 비초점 영역 검색 (out focused region searching, OFRS), 그리고 두 번째 검색단계를 초점영역 검색 (focused region searching, FRS)이라 정의한다.

기존의 산등 검색 알고리즘을 사용하여 자동 초점을 행하는 경우, 첫 번째 단계를 수행하는 영상 프레임 수는 다음 수식과 같다.

$$F_N \leq \frac{P_{max}}{S_{1st}} [Frames] \quad (3)$$

여기서  $P_{max}$ 는 렌즈 위치의 최대값이며,  $S_{1st}$ 는 첫

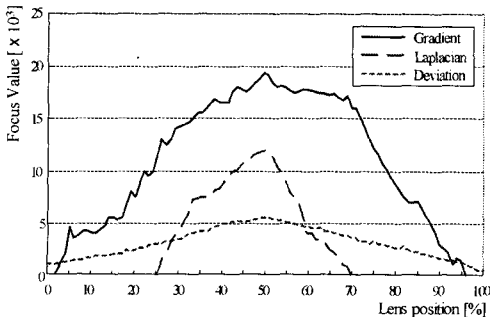


그림 1. 카메라 렌즈위치에 따른 초점 값

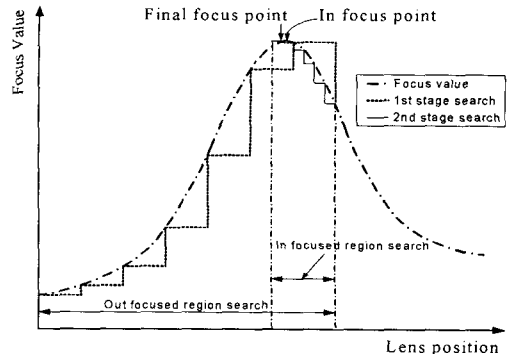


그림 2. 자동초점을 위한 산등 검색 알고리즘

번째 검색 단계의 스텝 사이즈이다. 초점위치가 렌즈 위치의 최대치 근처에 위치할 경우, 첫 번째 단계를 수행하는 최대 프레임 수가 된다. 예를 들어  $F_{max}=255$ ,  $S_{1st}=16$ 일 경우, 첫 번째 검색 단계를 위해 최대 16 프레임 동안 수행될 수 있다. 다음으로 두 번째 검색 단계에 소요되는 영상 프레임 수는

$$F_M \leq \frac{S_{1st}}{S_{2nd}} \times 2 \quad [Frames] \quad (4)$$

이다. 여기서  $S_{2nd}$ 는 두 번째 검색 단계의 스텝 사이즈이다. 초점 위치가 첫 번째 단계의  $F_{N-2}$ 보다 약간 오른쪽에 위치할 경우, 두 번째 단계를 수행하는 최대의 프레임 수가 된다. 예를 들어  $S_{1st}=16$ ,  $S_{2nd}=2$ 일 경우, 두 번째 검색 단계를 위해 최대 16 프레임 시간이 소요될 수 있다. 따라서 산동 검색을 사용하여 자동초점을 수행할 경우 소요되는 최대 시간은

$$t_{max} = (F_{N,max} + F_{M,max} \times 2) \times t_{frame} \quad [sec] \quad (5)$$

이다. 상기 예의 경우 31 프레임이 소요되므로, 일반 디지털 카메라의 경우  $t_{frame}=1/30[sec]$  이므로  $t_{max}=1.07sec$  이다. 그러나 휴대폰 카메라의 경우  $t_{frame}=1/15[sec]$ 이기 때문에  $t_{max}=2.13sec$  이다. 따라서 휴대폰 카메라 자동초점을 기존의 고속 산동 검색 알고리즘을 사용하면 초점 조절 시간에 문제를 발생시킬 수 있다.

### 3. VCM 특성 및 히스테리시스 보상 고속 검색 알고리즘

#### 3.1 VCM 특성

##### VCM을 이용한 휴대폰 카메라 구조 및 전류 특성

디지털 카메라에서 자동초점 조절을 위한 렌즈 이동을 담당하는 액추에이터로 사용되는 스텝모터는 크기 및 부피 면에서 소형의 휴대폰 카메라에 적합하지 못하다. 따라서 휴대폰 카메라에서는 스피커 등에 사용되고 있는 초소형 보이스 코일 모터가 액추에이터로 주로 사용되고 있다. 또한 빠른 응답특성으로 직선운동에 유리하고 비교적 긴 행정 거리로 소형화 및 정밀 위치 제어에 유리한 장점을 가지고 있다. 본 논문에서 사용된 카메라 모듈, 내부구조, 및 VCM의 구조는 그림 3에서와 같다.

양방향으로 구동하는 일반적인 스텝모터 및 VCM

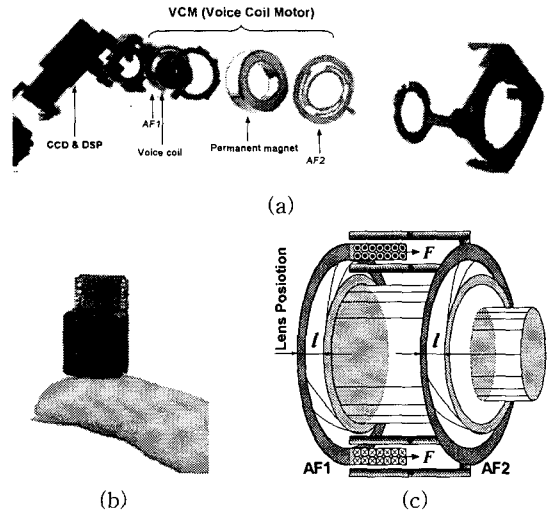


그림 3. (a)카메라 모듈 내부 구조, (b) 카메라 모듈, 및 (c) VCM 구조

와 달리, 본 논문에서 사용된 카메라 모듈의 VCM은 그림 3(c)에서와 같이 단일 방향으로 구동되는 형태로 되어있다. 영구자석의 자기장 속에 있는 보이스 코일에 전류를 인가함으로써 발생하는 힘 F는 플레밍의 왼손 법칙에 따라서 순방향으로 작용하여 렌즈를 앞으로 움직인다. 한편 역 방향 렌즈 움직임은 그림 3(a)에 보인 AF1 및 AF2의 판스프링 복원력을 사용한다. 코일에 흐르는 전류에 의해 이동된 렌즈 위치는 AF1 및 AF2의 판스프링을 1만큼 이격시킨다. 이 격 거리 l에 의한 AF1 및 AF2의 판스프링 복원력은 전류에 의한 힘 F가 작아질 경우 렌즈를 뒤로 이동시킨다. 따라서 렌즈는 전류에 의한 힘 F와 AF1 및 AF2에 의한 스프링의 복원력이 균형을 이루는 곳에 위치한다.

VCM에 흐르는 전류에 따른 렌즈의 움직임 및 렌즈 위치를 그림으로 나타내면 그림 4(a)와 같으며, VCM에 의해 움직인 렌즈 위치에서 초점이 맞는 피사체의 위치를 그림으로 나타내면 그림 4(b)에서와 같다[9,10].

이 그림에서 본 논문에서 사용된 VCM을 이용한 휴대폰 카메라는 그림4의 점 A~B와 같이 피사체가 50cm 보다 멀리 존재할 경우, 렌즈의 움직임이 50μm 이하로 35mA 이하의 전류로 구동된다. 그리고 점 C와 같이 렌즈가 240μm 이동 하였을 때, 최적 초점거리가 11cm임을 알 수 있다. 따라서 이 렌즈의 초점거리조절은 약 10~500cm 사이의 피사체에 대해서 10~240μm의 렌즈 이동으로 최적의 AF 조절이 가능

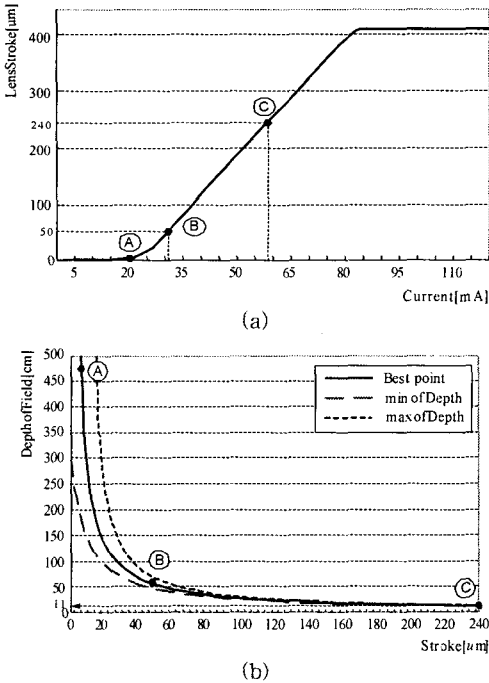


그림 4. (a) VCM 전류에 따른 렌즈 위치 및 (b) 렌즈 위치에 따른 초점 거리[10]

함을 알 수 있다.

### VCM을 이용한 휴대폰 카메라의 초점 값 특성

휴대폰 카메라 20cm 앞에 테스트 영상을 위치시키고, 동일한 조건에서 +16, +1, -1, -7의 스텝 간격으로 초점 렌즈를 이동하였을 때 발생하는 초점 값을 그림 5에 나타내었다. 그림에서 수평축의 렌즈 위치 이동을 위하여 제어된 디지털 값이며 수직축은 그에 따른 초점 값이다. 또한 그 최대치를 각각 나타내었

으며, AF+, AF++, AF--, 및 AF-의 스텝 간격은 각각 +16, +1, -1, 및 -7이다.

한편, 동일한 조건으로 스텝 간격을 다르게 하여도 검출한 초점 값 곡선은 그림 2에서와 같이 동일하여야 한다. 그러나 본 논문에 사용된 VCM을 이용하여 초점 렌즈를 이동시킨 결과, 스텝 사이즈가 다른 초점 값 곡선의 모양은 비슷하나, 초점 값의 최대치 위치는 스텝 간격에 따라 160, 124, 121 및 108로 차이가 크게 발생하였다.

여기서 주목해야 할 점은 초점 값의 최대치가 발생하는 렌즈의 위치는 동일하다는 것이다. 따라서 이러한 현상은 보이스 코일의 전류 지연, 렌즈 모듈의 관성, 및 VCM의 히스테리시스 등에 의해 발생하는 오차로 판단된다. 따라서 자동초점을 위해 VCM을 사용한 휴대폰에서 기존의 산등 검색 알고리즘을 그대로 사용할 경우, 중복된 탐색 구간을 가지게 되어 검색 시간이 많이 늘어나며, 정확한 초점에 렌즈를 위치시키지 못함으로써, 자동 초점을 수행한 최종 초점 값이 최대가 되지 못하는 문제가 발생한다.

### 3.2 히스테리시스 보상 고속 검색 알고리즘

VCM을 이용한 기존의 방법들에서는 이러한 히스테리시스 오차에 대한 보상이 없기 때문에 중복된 탐색 구간을 가지게 되고, 정확한 초점을 맞추기 힘들다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서, 다음과 같은 히스테리시스 보상 고속 검색 알고리즘을 제안한다.

먼저 초점 값이 변화하기 시작하는 부분은 렌즈가 최초로 움직이기 시작하는 부분이다. 따라서 여기까

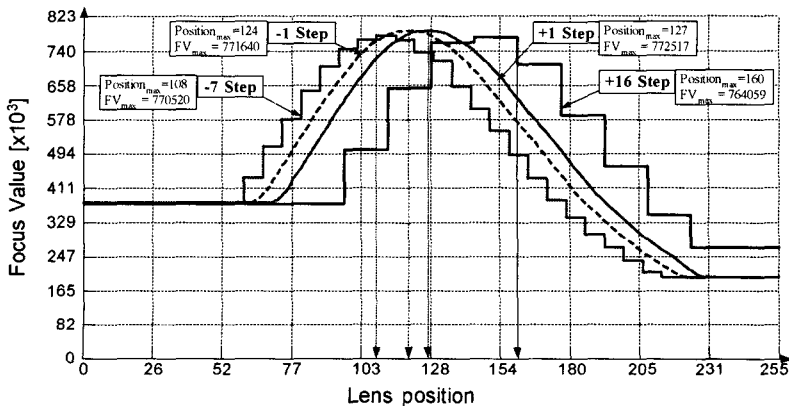


그림 5. 동일조건에서 (a)-7, -1 및 (b) +1, +16 스텝을 사용한 초점 값 특성

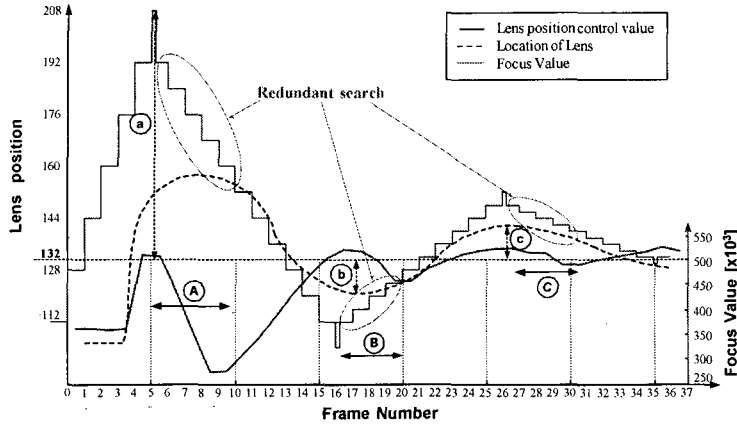


그림 6. 히스테리시스 보상 구간

지의 검색에 있어서 불필요하게 소모되는 부분이다. 따라서 본 논문에서는 최초 검색 위치를 초점 값이 변화하기 시작하는 직전에 최초 검색 위치를 설정함으로써, 검색 시간을 단축한다.

다음으로 기존의 검색 방법을 VCM 모터를 이용한 자동 초점에 적용할 경우, VCM 히스테리시스에 의한 시간 지연으로 인하여, 그림 6의 a, b, 및 c와 같이 초점 값 최적 제어 값보다 큰 제어 값에서 초점 값의 변화가 발생한다. 또한 그림 6의 A, B, 및 C 구간과 같이 초점 값의 변화가 검출된 이후에도 초점 렌즈의 관성, VCM 코일 전류 방향 전환의 시간 지연 및 VCM 히스테리시스에 의하여 중복된 검색 구간이 발생한다. 본 논문에서는 그림 5의 렌즈 이동 간격에 따른 초점 값 특성으로부터, 최대 값의 위치에 따라 검색 횟수가 달라지기 때문에, 각 단계의 초점 렌즈의 관성, VCM 코일 전류 방향 전환의 시간 지연 및 VCM 히스테리시스에 의한 오차를 렌즈 이동 간격 및 검색 횟수에 비례하여 보상한다. 초점 값 곡선의 기울기 변화를 감지한 후 히스테리시스 보상을 행하면, 각 단계 마다 그림 6과 같이 6~15 프레임의 중복된 검색 구간을 건너뛰어 검색 속도를 향상시킬 수 있다.

끝으로 본 논문에서는 기존의 2단으로 구성된 검색 단계를 중간 스텝의 검색 단계를 추가함으로써, 보다 히스테리시스에 의한 렌즈 위치 보상을 보다 쉽게 하면서, 검색 속도를 향상시킬 수 있는 3단 검색 방법을 제안한다. 또한 최종 초점 위치를 판단하는 단계에서 스텝을 +1로 함으로써 최종 제어 후 관성에 의해 렌즈 위치가 변화를 최소화 한다. 이는 기존의

2단 검색 방법에서 최종 단계의 스텝 간격이 음으로 그림 5에서와 같은 최종 오차를 줄이고, 또한 스텝 간격을 작게 함으로써 발생하는 검색 시간의 증가를 방지할 수 있기 때문에 고속 검색 및 정교한 자동 초점 제어를 가능하게 한다.

상기의 제안된 방법의 흐름도는 그림 7과 같다.

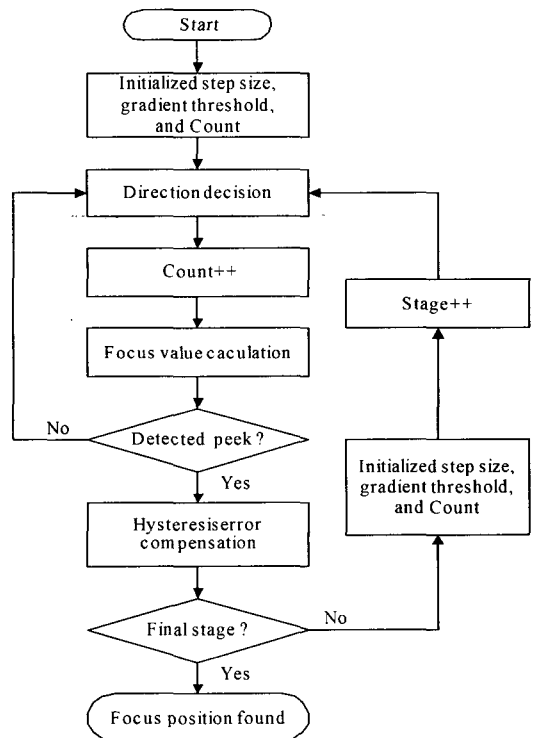


그림 7. 히스테리시스 보상 고속 검색 알고리즘의 흐름도

### 4. 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 알고리즘을 검증하기 위하여, VCM을 사용한 LZ0P3731 카메라 모듈과 휴대폰용 멀티미디어 프로세서로 TMS320DM270을 사용하여 그림 8과 같이 회로를 구현하였다.

제안방법의 성능을 평가하기 위하여 그림 9와 같이 EIA resolution chart 1956 테스트 패턴을 사용하여, 검출한 초점 값, 렌즈의 위치, 및 초점을 맞추는데 걸리는 시간 등을 실험하였다. 테스트 패턴과의 거리  $l$  에 따른 최대의 초점 제어 위치를 측정 한 결과를 다음 그림 10에 나타내었다. 그림 10의 결과는 그림 5에서와 같이 VCM 코일의 전류 지연, 초점 렌즈 모듈의 관성 등의 영향으로 스텝 간격의 크기에 따라 초점 값의 최대 위치가 크게 나타났다. 또한 최대 초

점 값의 위치는 거리  $l$  에 반비례 하였으며, 초점 렌즈의 위치 이동에 따라 줌인 또는 줌 아웃과 같이 미세한 영상의 확대 및 축소가 발생하였다.

그림 9의 실험 환경에서 기존의 2단 검색 고속 산등 검색 방법 및 제안한 방법에 의한 자동 초점 기능을 검증한 결과를 그림 11 및 그림 12에 나타내었다. 그림 11에서 수평축은 시간에 해당하는 프레임 수이며, 수직축은 검출된 초점 값이다. 짧은 점선, 긴 점선 및 실선은 기존 방법, 보상 알고리즘이 없는 제안 방법 및 제안 방법의 초점 값 변화를 나타낸다. 최초 검색 위치 및 검색 스텝 간격을 각각 30 및 +16으로 일치시킴으로써 점 A까지의 비초점 영역의 검색 시간은 4 프레임으로 일치하고 있다.

다음 단계에서 모든 방법은 초점 값이 최고점을 지나서 변화가 검출된 이후에도 지속적인 초점 값의

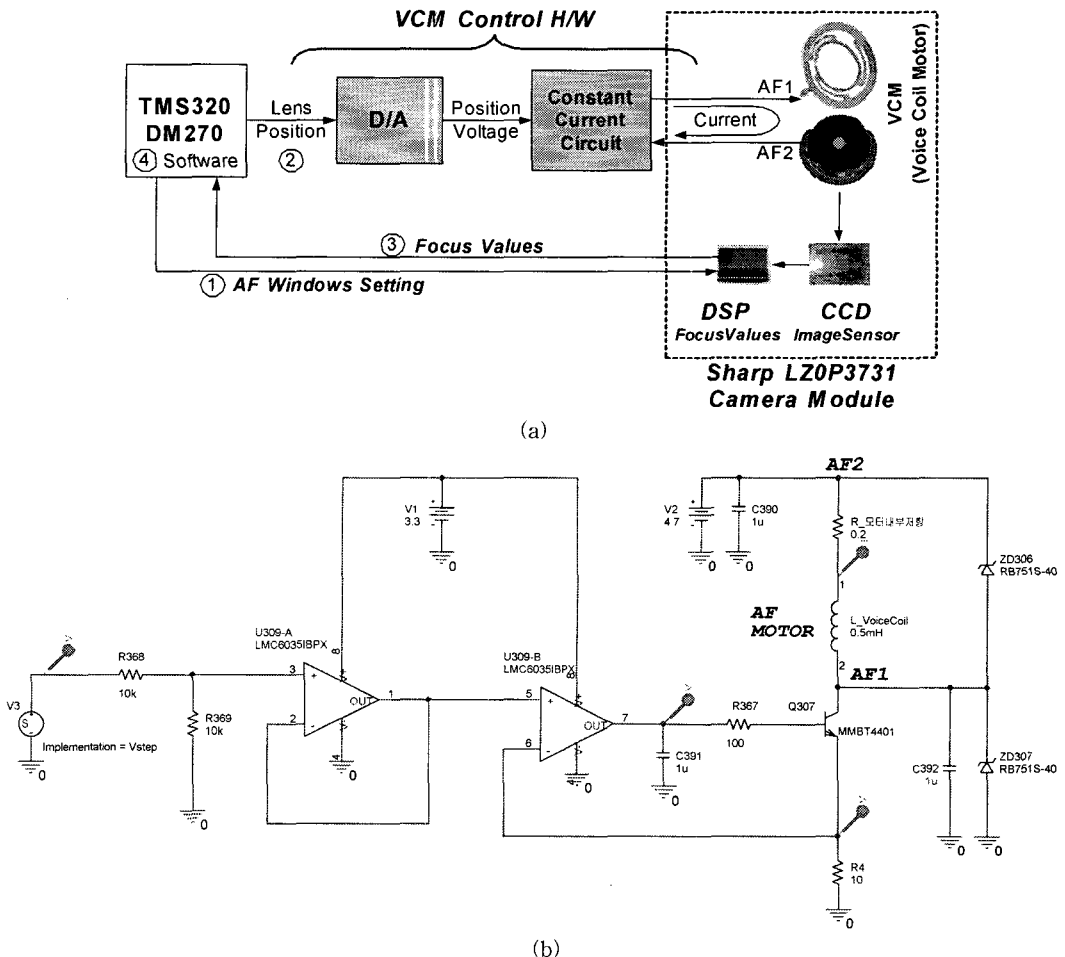


그림 8. VCM을 이용한 (a) 자동 초점 제어 블록도 및 (b) 렌즈 위치 제어 회로

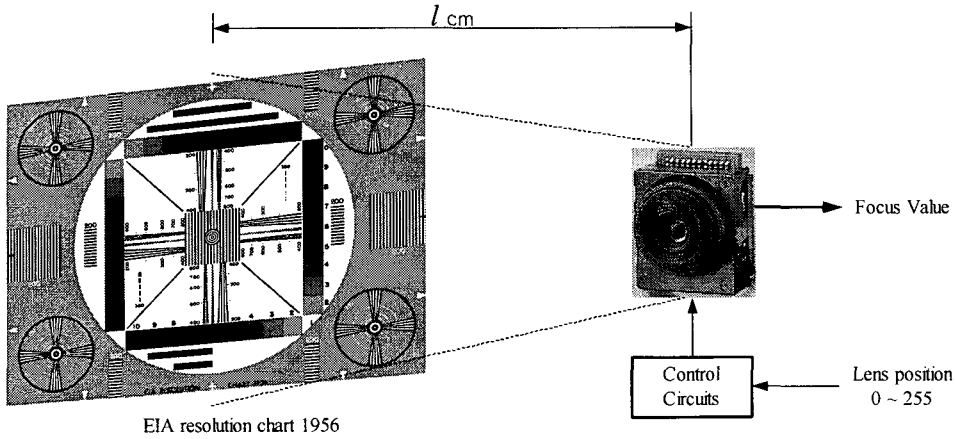


그림 9. 테스트 패턴을 이용한 자동초점 실험

하락이 관측되고 있다. 이는 초점 렌즈의 무게 및 이동 방향에 따른 관성, VCM 코일의 전류 방향이 바뀌는 시간 지연 및 VCM 코일의 히스테리시스에 의한 영향으로 판명된다. 검색 스텝 간격을 반대 방향으로 바꾸었을 때, 전류 방향이 바뀌어 초점 값의 변화가 정상적으로 되는 시간을 그림 6의 점 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> 및 B<sub>3</sub>에 나타내었다. 이 때 검색 스텝 간격은 -7, -7, -2를 각각 사용하였으며, 제안 방법으로 보상한 경우의 점 B<sub>1</sub>가 가장 짧은 시간이 소요되고 있음을 알 수 있다. 또한 점 B<sub>3</sub>까지의 변화 시간 및 -2의 작은 검색 스텝 간격으로 인하여, 기존 방법은 완만한 초점 값의 변화로 초점을 찾는데 많은 시간이 소요됨을 알 수 있다. 따라서 -7의 중간 스텝 간격이 추가된 제안된 방법은 기존의 -2 스텝 간격보다 빨리 초점 값의 변화가 정상적으로 되었으며, 오차 보상을 포함한 제안 방법은 가장 빨리 초점 값의 변화가 정상적으로 변화

되었다. 이는 동일한 기울기를 갖는 점 B<sub>1</sub>~C<sub>1</sub> 및 점 B<sub>2</sub>~C<sub>2</sub>에서 중복 검색 영역을 오차 보상으로 제거함으로써 검색 시간을 단축하였다. 오차 보상 제안 방법은 동일한 효과로 점 C<sub>1</sub>~D<sub>1</sub> 및 점 C<sub>2</sub>~D<sub>2</sub>에서 검색 시간이 단축되었으며, 자동 초점 검색 완료 시점 또한 단축되었다.

결론적으로, 초당 15프레임의 프레임 율을 가지는 휴대폰 카메라에서, 기존의 방법은 초점을 찾는데 2.4초 즉 36 프레임에 해당하는 시간이 소모되었으며, 오차 보상 제안한 방법은 최적 초점 위치에 도달하는데 1.1초 즉 17 프레임이 소요되었다. 제안 방법은 기존의 방법보다 1.3초 더 빠르게 초점을 찾았으며, 최종 초점 위치에서의 초점 값은 각각 500,000 및 510,000으로 제안 방법이 기존의 방법 보다 10,000 정도 높았다. 이는 그림 12의 최종 출력 영상에서 확인할 수 있듯이, 영상의 선명함에 있어서 제안 방법

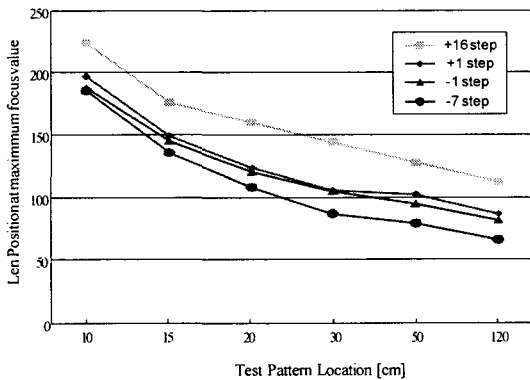


그림 10. 초점 거리에 따른 최대 초점 값 위치

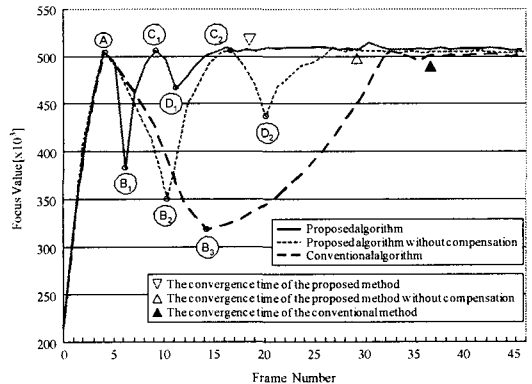
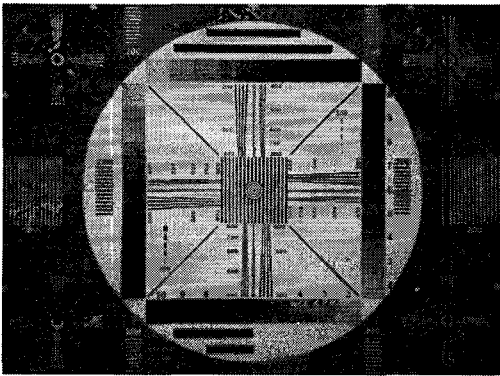
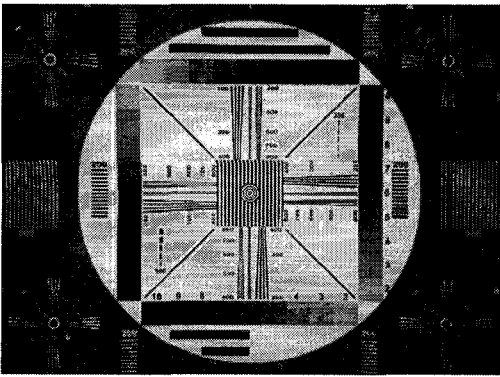


그림 11. 기존 및 제안 방법을 이용한 수렴 속도 결과 및 초점 값





(a)



(b)

그림 12. (a)기존 및 (b)제안 방법을 이용한 자동 초점 결과 영상

이 기존의 방법보다 더 정확한 초점으로 영상을 획득하였음을 확인할 수 있다. 그림 12에서 제안 방법의 영상이 기존 방법의 영상 보다 크게 보이는 이유는, 초점 렌즈의 이동으로 인하여 CCD에 맺히는 영상이 변화하기 때문이다.

## 5. 결 론

디지털 카메라에서 자동초점 기능을 위해 사용되는 스텝모터를 사용한 고속 자동 초점 알고리즘을 초소형 보이소 코일 모터를 사용한 휴대폰 카메라에서 적용할 경우, 초점 검색의 시간적 문제가 발생한다. 이는 휴대폰의 프레임율이 초당 15 프레임으로 낮아서, 최대 2초 이상의 초점 조절 시간이 필요하기 때문이다. 더욱이, VCM의 히스테리시스 및 렌즈의 관성으로 인하여 초점 렌즈의 전류 제어에 따른 위치 오차가 발생하기 때문에, 기존의 알고리즘은 최적의 초점 위치를 벗어나게 되어 정확한 초점 제어가 힘든

문제가 발생한다.

본 논문에서는 VCM을 사용한 휴대폰 카메라에서 발생하는 상기의 문제를 해결할 수 있는 히스테리시스 보상 고속 자동초점 제어 알고리즘을 제안하였다.

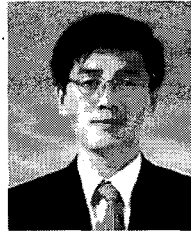
먼저 다양한 스텝 사이즈로 렌즈위치를 제어하여, 그에 따른 초점 값으로부터 VCM 모터의 특성을 조사하여, 스텝 사이즈 및 검색 횟수에 따른 렌즈 위치 오차 보상 방법을 개발하였다. 또한 기존의 2단으로 구성된 고속 산등 탐색 방법에 -7 스텝 간격의 중간 검색 단계를 추가하여 탐색 속도 증가시켰으며, 최종 검색 단계의 스텝을 +1로 함으로써 정교한 초점 제어가 가능하도록 하여 최적의 초점 위치를 찾을 수 있도록 하였다.

본 논문에서 제안한 방법을 검증하기 위하여, 제안된 방법으로 구현된 휴대폰 카메라를 통한 실험에서 제안한 방법은 자동초점 제어시간 및 최종 초점 값에서 기존 방법보다 우수함을 나타내었다. 특히 초점 제어 시간에 있어서 제안 방법은 1.1초로, 기존의 2.4초보다 우수하였으며, 또한 제안한 방법은 실제로 휴대폰에 적용하여 출시되었으며, 국내 및 미국에 특허로 출원되어 공개 중에 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] T. Maruyama, K. Sano, H. Inage, M. Masuda, Y. Sugi, and Y. Arai, "A zoom lens system with new infrared autofocus mechanism," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. CE-32, no. 3, Aug. 1986.
- [2] J. M. Tenenbaum, *Accommodation in computer vision*, Ph.D. thesis, Stanford University, 1970.
- [3] J. H. Lee, K. S. Kim, and B. D. Nam, "Implementation of a passive automatic focusing algorithm for digital still camera," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 41, no. 3, pp. 449-454, Aug. 1995.
- [4] K. Ooi, K. Izumi, M. Nozaki, and I. Takeda, "An advanced autofocus system for video camera using quasi condition reasoning," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 36, no 30. pp. 526-530, Aug. 1990.

- [5] K. S. Choi, J. S. Lee, and S. J. Ko, "New auto-focus 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.
- [6] S. K. Nayar, Y. Nakagawa, "Shape from focus," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 16, pp. 824-831, Aug. 1994.
- [7] J. He, R. Zhou, and Z. Hong, "Modified Fast Climbing Search Auto-focus Algorithm with Adaptive Ste Size Searching Technique for Digital Camera," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 49, no. 2, pp. 257-262, May 2003.
- [8] 장석명 외, "리니어 왕복운동 제어시스템 구동용 가동 코일형 리니어 액추에이터의 설계제작 및 제어정수 도출," *전기학회논문지*, 제48권 6호, pp. 241-248, 1999.
- [9] H. Nishimura, T. Shigeta, S. Kaioka, T. Muramatsu, K. Kawakami, I. Baba, and M. Shinagawa, "Auto Focus 1/2.7 inch 2 Mega-Pixel CCD Camera Module LZOP3731," *新製品解説 Sharp Co. Ltd.*, no. 88, pp. 83-84, Apr 2004.
- [10] Data Sheet, "Auto Focus 1/2.7 inch 2 Mega-Pixel CCD Camera Module LZOP3731," Sharp Co. Ltd., 2004.



한 찬 호

1990년 2월 경북대학교 전자공학과 학사  
 1992년 2월 경북대학교 전자공학과 석사  
 2003년 2월 경북대학교 전자공학과 박사  
 1992년 1월~1993년 7월 현대전자 산업전자연구소 "HDTV prototype Decoder" 개발  
 1993년 8월~1993년 12월 현대전자 산업전자연구소 "MPEG-2 Video S/W CODEC" 개발  
 1994년 1월~1994년 7월 현대전자 산업전자연구소 "VOD STB" 개발  
 1994년 8월~1994년 12월 현대전자 산업전자연구소 "MPEG-2 System S/W CODEC" 개발  
 1995년 1월~1996년 1월 현대전자 멀티미디어연구소 디지털위성방송수신기 개발  
 1996년 2월~1997년 7월 현대전자 미디어연구소 "HDTV H/W CODEC" 개발  
 2000년 3월~2003년 8월 경운대학교 소프트웨어 공학과 전임강사  
 2004년 1월~현재 HIT 부설연구소장  
 관심분야: 오디오 및 비디오 신호처리, 디지털 TV, 멀티미디어 공학, 임베디드 시스템공학 등



김 태 규

2003년 2월 부산외국어대학교 전자공학과 공학사  
 2005년 2월 경북대학교 전자공학과 석사  
 2006년 5월 현재 : 경북대학교 전자공학과 박사과정  
 관심 분야: 영상처리, 지상파 DMB



권 성 근

1996년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업  
 1998년 2월 경북대학교 전자공학과 석사  
 2002년 8월 경북대학교 전자공학과 박사  
 2002년 11월~현재 삼성전자 무선 통신 사업부  
 관심 분야: 영상처리, 영상통신, 정보보호