

백만화소급 카메라폰의 자동초점 시스템

이승진, 안비오, 김현우
중소기업진흥공단 대구경북지역본부

Auto Focus System for Mega-pixel Camera Phone

S. J. Lee, P. Ahn, H. W. Kim
Small Business Corporation(SBC)

Abstract - 본 논문에서는 AF 기능을 구현함에 있어서 2 백만 화소 카메라 모듈인 Sharp LZOP3731의 기능, AF 모터 (VCM, Voice Coil Motor)에 작용하는 힘과 구동원리, 이를 구동하기 위한 H/W의 설계 특성, 및 DM270을 이용한 AF 제어 시 Focus Value의 특성 분석을 바탕으로 Focus Value 특성을 고려한 최적 AF 알고리즘을 개발하였다. 본 논문에서 제안한 최적 AF 알고리즘은 '최대의 Focus Value가 각 State의 Step Value 마다 각각 다른 위치에서 검출'되는 AF 모터 및 구동 H/W특성을 고려하여, 최적 AF 기능은 최대의 AF Value에 근접하는 Lens Position 제어가 가능하도록 하였다.

이를 검증하기 위한 윈도우용 S/W로 성능을 확인한 결과, 일반적인 AF 기능은 58 프레임으로 3.87초의 시간이 소요되는 반면, 제안한 AF 기능은 25 프레임으로 1.67초로 2배 이상의 빠른 AF 성능을 가졌다.

1. 서 론

최근 휴대폰의 고급화 및 다기능화 추세에 따라 백만 화소급 카메라폰의 보급이 급속히 늘어나고 있으며, 백만화소 이상의 고화질 카메라폰에 있어서는 자동초점 기능이 필수적이라 할 수 있다. 본 논문에서는 AF(Auto Focus) 기능을 구현함에 있어서, 이백만 화소 카메라 모듈인 Sharp LZOP3731의 기능, AF 모터 (VCM, Voice Coil Motor)에 작용하는 힘과 구동원리, 이를 구동하기 위한 H/W의 설계 특성, 및 DM270을 이용한 AF 제어 시 Focus Value의 특성을 분석하였다. 이를 바탕으로 Focus Value 특성을 고려한 최적 AF 알고리즘을 개발하였다. 본 논문에서 제안한 최적 AF 알고리즘은 '최대의 Focus Value가 각 State의 Step Value 마다 각각 다른 위치에서 검출'되는 AF 모터 및 구동 하드웨어 특성을 고려하여, 최적 AF 기능은 최대의 AF Value에 근접하는 Lens Position 제어가 가능하도록 하였다.

2. 본 론

2.1 이백만 화소 카메라 모듈인 Sharp LZOP3731

본 논문에서 사용된 2백만 화소 카메라 모듈 (Sharp LZOP3731)의 그 내부는 기구적으로 그림 1과 같이 CCD 센서와 DSP 칩을 장착한 메인 보드, 렌즈 모듈, 및 AF (Auto Focus) 구동을 위한 VCM (Voice Coil Motor) 등으로 구성되어 있다.

2.1.1 VCM 모터

Sharp LZOP3731에 사용된 VCM의 동작은 일반적인 VCM과 달리 그림 2에서와 같이 단일 방향으로 힘을 발생시켜 움직이는 형태로 구성되어 있으며, AF1 및 AF2

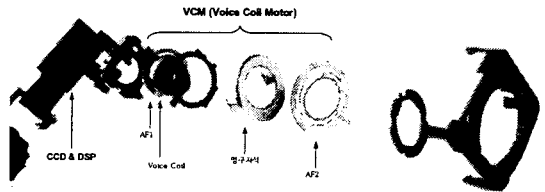


그림 1 LZOP3731의 내부 구조

의 판스프링 복원력이 서로 반대 방향으로의 복귀력으로 작용하고 있다. 이를 등가회로로 나타내면 다음 그림 2(C)에서 AF1 및 AF2 판스프링의 복원력을 각각 F11 및 F12 라 할 때, 이들의 합이 VCM의 총 복원력

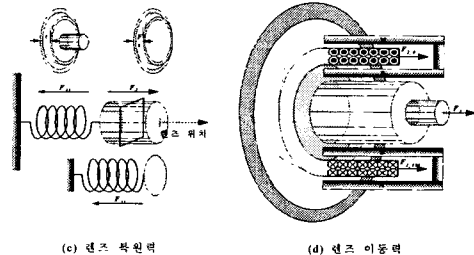
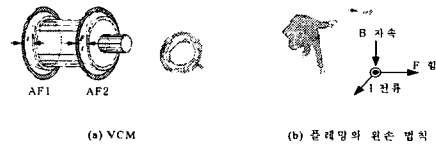
$$F1 = F11 + F12 \quad (1)$$

이다.

VCM의 동작은 플레밍의 왼손 법칙에 따라서 영구자석에 의한 자기장 속에 있는 voice 코일에 전류를 인가함으로써 발생하는 힘 F2 를 이용하여 렌즈를 앞으로 움직일 수 있도록 하였다. 그림 2(d)는 voice 코일의 단면을 나타낸 것이다. 따라서 VCM 전체에 작용하는 힘 F2 는 원을 따라 적분한

$$F_2 = \oint F_{2\theta} d\theta \quad (2)$$

와 같다.



(c) 렌즈 복원력

(d) 렌즈 이동력

그림 2 LZOP3731의 VCM 내부의 힘

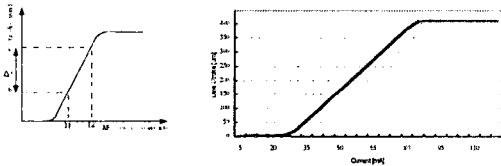
또한 F2_0 및 F2_180 는 같은 방향으로 힘이 발생하며, 그 크기 또한 같아야 한다. 그렇지 않으면 전류의 흐름에 따라 렌즈가 CCD의 면과 평행을 이루지 못하여 색수차 등에 의한 화상의 왜곡이 발생한다. 한편, 렌즈 모듈의 질량 m0 및 마찰력 등에 의한 힘 F0 도 VCM의 움직임에 기여할 것이라 예상된다.

2.1.2 초점거리

앞 절의 모든 것을 고려하여 VCM에 흐르는 전류에 따른 렌즈의 움직임 거리를 그림으로 나타내면 다음 그림 3에서와 같다. 그러나 이는 렌즈 모듈의 산포가 고려되지 않았기 때문에 하드웨어 및 소프트웨어적인 적절한 보상이 필요할 것으로 예상된다.

VCM에 의해 이동한 렌즈의 움직인 거리와 그때 초점이 맞는 피사체의 위치를 그림으로 나타내면 다음 그림 4에서와 같다. 이 그림에서 피사체가 50cm 보다 멀리 존재할 경우, 렌즈의 움직임이 40mm 이하로 그림 3을 참조하면 30mA 이하의 전류로 구동된다. 그리고 VCM의 특성이 렌즈가 240 mm 이동 하였을 때, 최적 초점 거리가 11cm임을 알 수 있다.

따라서 이 렌즈의 초점거리 조절은 10~50cm 사이의 피사체에 대해서 50~240mm 의 렌즈 이동으로 최적의 AF 조절이 가능함을 알 수 있다. 그러나 50cm 이상의 피사체에 대해서는 0~50mm 의 렌즈 이동으로 AF 조절이 이루어지기 때문에 정교한 제어가 불가능하다.



(a) VCM 특성 (b) LZOP3731 특성

그림 3 제어 전류에 따른 VCM 자동 초점 조절 특성

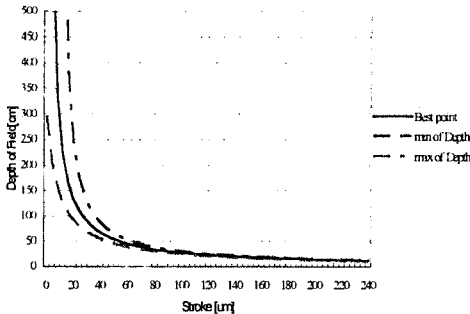


그림 4 렌즈 위치에 따른 초점 거리

2.2 AF제어 하드웨어

LZOP3731에 장착된 AF 조절용 모터의 제어를 위한 회로 및 그 특성은 다음 그림 5와 같다. DM270은 먼저 LR38660의 AF관련 데이터를 읽어서 그에 해당하는 전압을 발생시키기 위한 디지털 데이터 값을 D/A 변환기에 입력한다. D/A 변환기는 디지털 데이터에 대한 전압을

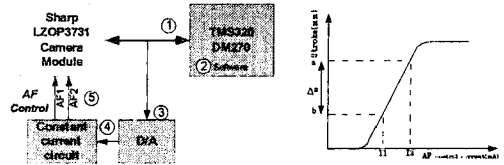


그림 5 자동 초점 조절 회로 및 그 특성

발생하며, 발생된 전압에 따라 정전류원 회로가 AF 모터에 전류를 공급함으로써 AF 모터가 움직이게 된다.

2.3 하드웨어를 고려한 최적 AF제어 알고리즘

DM270은 먼저 LZOP3731 카메라 모듈에 있는 DSP (LR38660)의 AF Value를 계산하는 윈도우 사이즈 및 위치를 다음 그림 6과 같이 설정한다. DSP (LR38660)는 이들 각각의 윈도우 영역 내에 있는 화소들로부터 에지를 검출하여 초점이 정확히 맞았는가에 대한 AF Value를 계산한다. 이들 윈도우는 Pre-View 모드에서 동작해야 하므로 그림 6과 같이 825×623 (QVGA) 사이즈 내에서 결정된다. 또한 그 사이즈가 커지면 AF Value의 값이 커지므로 적절한 사이즈로 설정하여야 한다. 한편 윈도우의 위치는 사진의 대상이 위치하는 곳이어야 하므로 그 위치 선정이 중요하다.

다음으로 렌즈의 위치를 설정하기 위한 값을 I2C로 D/A 변환기에 전달한다. D/A 변환기는 디지털 데이터에 대한 전압 V는

$$V = \frac{x}{256} \times 2 \quad [V] \quad (3)$$

와 같이 발생하며, 저항 디바이드 회로에 의해 1/2된 전압에 따라 정전류원 회로가 VCM 모터에 전류를 공급함으로써 렌즈가 움직이게 된다. 렌즈의 움직임은 CCD에 맺히는 영상을 변화 시키고, 변화된 영상에 따라 설정된 윈도우 내에서 LZOP3731 카메라 모듈 내부의 DSP가 AF Value를 계산한다.

DM270은 계산된 AF Value를 읽고, 최적의 초점 거리 조절을 위한 렌즈 위치를 다시 계산한 다음, 그 위치로 이동시키기 위한 값을 D/A 변환기로 출력한다. 이때 읽혀진 AF Value는 제어하고자 하는 렌즈 위치에 대한 값이 아니라, 2*6 프레임 전의 영상에 해당하는 값이므로 소프트웨어적인 고려를 통한 보상이 필요하다.

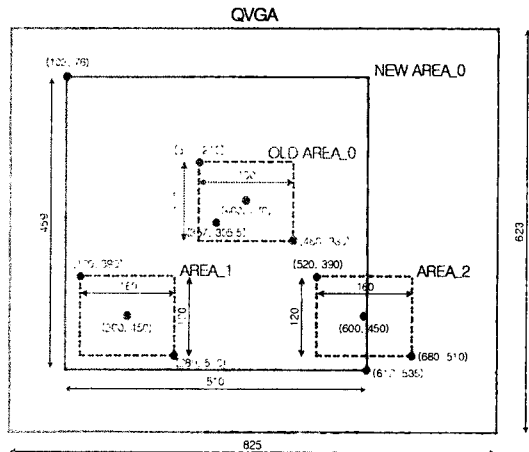


그림 6 AF Value 계산을 위한 윈도우 설정

2.3.1 VCM 및 AF Value 특성 분석 조건

거리에 따른 Auto Focus를 위한 AF Value 특성을 측정한 결과 Lens position을 제어하는 값이 측정거리에 따라서 5cm일 때 220, 10cm일 때 160 및 50cm일 때 92에서 최대의 AF Value 값이 검출되었다. 또한 VCM은 최초 움직임이 65정도에서 시작되고, 225에서 더 이상 움직이지 않는 것을 알 수 있다. 여기서 제어값 0~65 사이에서 AF Value 값이 일정한 것은 구동하는 VCM의 힘이 렌즈의 기구적 마찰력보다 작아 렌즈가 무한대의 초점거리에 고정되어있기 때문이다. 그리고 제어값 230일 때, 렌즈가 최대로 이동하였기 때문에 230~255 사이의 제어값에서도 AF Value 값이 일정하게 나타났다.

따라서 렌즈 모듈의 산포를 고려하고, 소음발생을 줄이기 위하여 제어값의 최대 변위를 50~240 정도로 설정하는 것이 적합하다고 판단된다. 이렇게 함으로써 VCM에 의해 설정할 수 있는 초점 거리의 범위는 10cm ~ 8까지 가능하다.

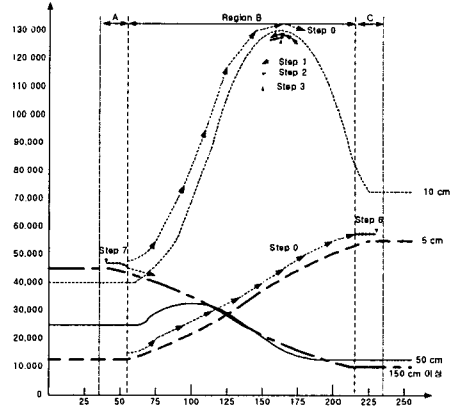


그림 7 AF 제어에 따른 Focus Value 특성

2.3.2 VCM 및 AF Value 지연 특성

빠른 AF 동작을 위하여, AF 제어에 따른 Focus Value의 반영이 2~3 프레임 이내에서 이루어지도록 설계되었으나 여러 이유로 AF 동작 지연 문제가 발생하고 있다. 측정을 통해 AF 제어에 따른 Focus Value의 반영이 6째 프레임에 완료됨을 알 수 있었다. 이는 Sharp 카메라 모듈의 DSP가 Focus Value를 계산하기 위하여 2프레임이 소모되는 것을 고려하더라도, VCM이 동작하는데 4프레임의 Delay가 발생하였다. 이를 시간으로 계산하면, 다음 식과 같이 267 ms 정도의 지연이 발생할 것으로 예측된다. 이 또한 D/A Converter 및 Op-Amp 회로에서의 Delay로 인해 발생된다.

2.3.3 AF 제어 알고리즘

앞서 분석한 AF 제어에 따른 Focus Value 특성을 종합하면, 그림 7과 같이 최대치를 가지는 볼록한 곡선, 증가하는 곡선 및 감소하는 곡선의 3 종류로 분류할 수 있다. 이를 3종류의 곡선에서 Focus Value가 증가하는 곡선의 형태이면 초점 거리가 10cm 이하이고, 감소하는 곡선의 형태이면 초점거리가 150cm 이상이다. 또한 Focus Value 특성이 위로 볼록한 곡선의 가지면 초점거리가 10~150cm 이내에 존재한다.

$$t_d = 4 \text{ frame} \times \frac{1 \text{ sec}}{15 \text{ frame}} = 267 \text{ ms} \quad (4)$$

본 알고리즘의 핵심은 이전 이후의 Focus Value를 이용하여 그 차이가 음이 되는 곳까지만 Scan한 다음 반대 방향으로 Search함으로써 AF를 위한 Searching Time을 최소화하였다. 접사 및 원거리 초점을 제외한 그림 7의 B 영역에 위치한 피사체를 촬영할 경우, Max Focus Value를 Searching하는 방법은 다음 3단계로 나눌 수 있다.

그림 7에서 State 0는 Focus Value를 최대치 근처에 빨리 도달하기 위하여 +방향으로 최대치를 지나는 곳까지 Coarse Search 단계이며, State 1은 방향으로 최대치를 지나는 곳까지 Middle Search 단계이다. Searching 단계의 마지막인 State 2는 +방향으로 Max Focus Value를 찾기 위한 Fine Search 단계이다.

State 2에서 Max Focus Value를 찾으면 AF Locking 단계인 State 3로 들어간다. State 3에서는 이때 찾아진 Max Focus Value의 10% 오차 범위를 AF value Locking Range로 정하고, 그 범위를 벗어나면 다시 Max Focus Value를 찾기 위한 다른 State로 점프할 것

인지를 결정한다. 이때 State 1과 State 2에 각각 역방향으로 대응하는 State 4 및 State 5가 필요하게 된다. 그림 7의 C 영역에 위치한 피사체를 촬영할 경우에 필요한 State 7는 State 0에서 Max Focus Value를 찾지 못한 경우이므로, State 0에서 State 7로 바로 이동하여 접사모드로 전환한다.

마지막으로 그림 7의 A 영역에 위치한 피사체를 촬영할 경우, State 0의 최소 Step에서 Focus Value의 차가 음이 되어 State 1으로 이동한다. 이때 렌즈 위치는 영역 B에 위치하나 State 1에서 방향의 Middle Search 영역 A의 위치로 이동하게 된다. 따라서 State 8이 되어 원거리에 있는 피사체에 초점이 일치하게 된다.

3. 결 론

본 논문에서는 AF 기능을 구현함에 있어서, 2 백만 화소 카메라 모듈인 Sharp LZ0P3731의 기능, AF 모터(VCM, Voice Coil Motor)에 작용하는 힘과 구동원리, 이를 구동하기 위한 H/W의 설계 특성, 및 DM270을 이용한 AF 제어시 Focus Value의 특성을 분석하였다.

이를 바탕으로 Focus Value 특성을 고려한 최적 AF 알고리즘을 개발하였다. 본 논문에서 제안한 최적 AF 알고리즘은 '최대의 Focus Value가 각 State의 Step Value 마다 각각 다른 위치에서 검출'되는 AF 모터 및 구동 H/W 특성을 고려하여, 최적 AF 기능은 최대의 AF Value에 근접하는 Lens Position 제어가 가능하도록 하였다.

추후 기능 보완 및 H/W 변경에 대처하기 위하여, 정의된 특정 상수를 변경함으로써, 보다 근접 촬영이 가능하도록 하였다. H/W 변경시, 각 배열로 정의된 State의 Step 값을 변경함으로써 최적 AF 제어가 가능하도록 하였다. 이를 검증하기 위한 원도우용 S/W로 성능을 확인한 결과, 일반적인 AF 기능은 58 프레임으로 3.87초의 시간이 소요되는 반면, 제안한 AF 기능은 25 프레임으로 1.67초로 2배 이상의 빠른 AF 성능을 가졌다.

[참고 문헌]

- [1] Sharp, "LZ0P373 spec sheet & Application Note"