

## 선형 CCD를 이용한 카메라 렌즈 자동 검사 기술 개발

(Development of Automatic Inspection Technique for Camera lenses using line Charge Coupled Device)

저자: 이석원(서울대원), 박희재(서울대 기계설계학과),

문호균(삼성항공), 강건모(삼성항공)

S.W.Lee, H.J.Pahk(Seoul National University),

H.K.Moon, K.M.Kang(Samsung Aerospace)

### 1. 서론

최근에 광학을 기초로 한 산업계에서 중요시 되는 문제는 초점을 자동으로 맞추는 문제다. 대부분은 오토콜리미터(autocollimator)를 사용하여 수동으로 사람이 그 초점을 판별하여 맞추는 것이 현실이다. 하지만 산업계에서 이러한 작업을 필요로 하는 부분이 급성장하고 있으며 대량생산을 위해서는 자동화가 필수적으로 되어가고 있다. 특히 카메라 렌즈의 경우 최근 자동카메라의 급수요현상으로 조립시 카메라의 초점을 맞추는 작업은 가장 기본적이고 정교한 작업이 되고 있다. 초점을 맞추는 것은 렌즈의 절대좌표를 지정하는 것으로 렌즈의 구동은 이 점을 기준으로 움직이게 된다. 본 논문에서는 초점을 자동으로 맞추기 위한 작업으로 MTF(modulation transfer function)의 방법을 사용하였다. 일반적인 방법은 CCD(charge coupled device)를 사용하여 빛의 조도(intensity)의 값을 비교하여 최대값이 나올 때를 기준으로 하였으나, 모든 픽셀(pixel)에 대한 계산을 행해야 하므로 시간이 오래 걸리게 되고 광원의 변화에 따라 민감하게 변화하는 단점을 가지고 있다. 그러나 MTF를 사용하면 아주 간단한 장치를 사용하고, 신호의 처리를 용이하게 하여 초점의 거리를 쉽게 판단할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

### 2. 시스템 구성 및 실험

#### 2-1. 시스템 구성

전체 시스템은 광원에서 빛을 발생하고 그 빛을 이용하여 카메라의 렌즈를 목적으로 하여 렌즈 뒷에 거울을 두고 그 반사광의 빛의 밀도를 조정하여 렌즈의 위치가 초점거리에 있는지를 판단할 수 있도록 되어 있고 종래

에 사람이 접안렌즈를 통하여 판측하던 곳에 CCD를 대신 설치하여 신호를 얻고 CCD에

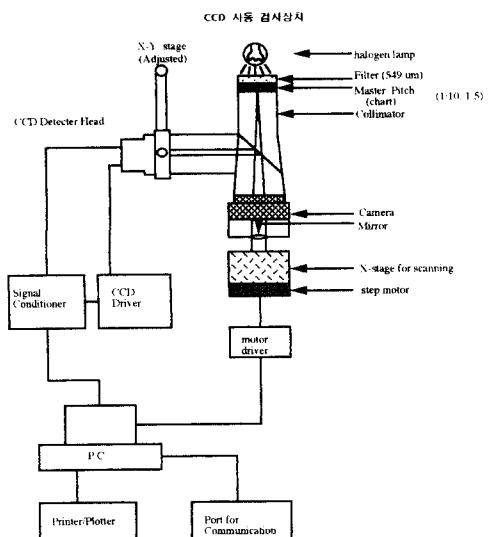


Fig. 1 Experimental setup

서 나온 신호는 PC와 인터페이스를 하며, A/D를 사용하여 그 값을 디지털화한 값을 구하게 된다. Fig.1 과 같이 할로겐(halogen lamp)을 광원을 사용하여 광원에서 나온 빛을 파장이  $549 \mu\text{m}$ 만으로 된 빛을 만들어서 사용한다. 이것은 여러 가지 파장을 사용한 빛은 죽백색광을 사용하면 수차에 영향을 줄이기 위해서 사용한 것이다. 다음으로 측정하고자 하는 렌즈를 포함한 카메라를 치구에 장착하여 움직이지 않도록 장착한다. 렌즈를 통과한 빛은  $10 \mu\text{m}$ 단위로 위와 아래로 움직일 수 있도록 하는 마이크로미터위에 놓인 거울을 통해서 반사하게 된다. 거울을 통해서 반사된 빛은 다시 반사판을 통과해서 원래의 빛과 만나서 CCD판에 모이게 된다. CCD는 전용으로 구

동하는 보드를 장착하여 신호를 송수신한다. CCD판에 놓여있는 광센서를 통해서 빛의 조도를 측정하게 되는 데 이 양은 전기적인 신호로 나오게 된다. 이 아나로그 신호를 종래의 A/D보다 더 정교한 16 bit A/D 보드를 통해서 디지털로 컴퓨터에 입력된다. 물론 A/D보드도 PC와 인터페이스하여 PC에서 제어할 수가 있다. 입력된 신호는 다시 컴퓨터에서 내부적으로 수치적인 계산에 사용될 자료로 쓰이게 된다.

표1. 실험기구 제원

필터	파장 $\lambda = 549 \mu\text{m}$
step motor	resolution $10 \mu\text{m}$
CCD detector head (hamamatus사)	# of photodiode: 256 pitch X height: $50 \mu\text{m} \times 0.5\text{mm}$
A/D converter	16 bit 100k Hz

## 2-2. 신호 처리

CCD에서 발생한 각 픽셀에서의 신호는 빛의 강도에 따른 전압을 가지게 된다. 먼저 마스터 스타트(master start)의 신호를 입력해 주면 그 신호에 의해서 각 픽셀이 동기화 하여 트리거(trigger)의 신호와 함께 한 번에 한 픽셀의 전압신호(data video)와 함께 출력이 된다. 그러면 A/D 컨버터에서는 트리거에 의한 모드에서 작동을 하여서 가장 빠른 전송방법인 DMA(direct memory access)를 사용하여 전달한다. 이 과정에서 항상 존재하는 노이즈를 제거할 수가 없었다. 그래서 각 픽셀에서의 전압값을 여러번 측정한 값을 평균하여 하나의 데이터를 얻었다. 그런 결과 노이즈의 영향이 줄어들게 되었다. 하지만 이상적인 형태의 출력값이 나오지가 않아서 MTF를 구하기 위해서는 또 다른 신호처리 알고리즘을 필요로 하였다.

## 2-3. 측정 알고리즘

### 1) MTF

광학 시스템에서 렌즈의 성능을 평가하는 자

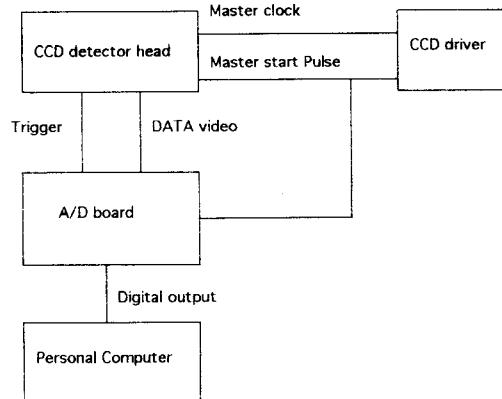


Fig. 2 Signal flow graph

료로서 Fig.3.에서 볼 수 있듯이 밝은 면과 어두운 면이 주기적으로 되어있는 차트(chart)를 통과한 빛을 목적으로 하는 렌즈에 통과시키게 되면 Fig.3.에서와 같은 빛의 조도 신호가 생기게 된다. 빛의 수신부에서 목적으로 하는 렌즈의 초점의 위치에 있게 되면 차트의 어두운 면과 밝은 면이 명확하게 나타나게 되나 초점이 맞지 않게 되면 그 편차가 크게 나게 된다. 이것을 수식적으로 나타낸 값을 MTF라 한다.

렌즈를 통과한 빛의 세기의 최대값과 최소값을 사용하여 다음과 같이 정의할 수 있고 그 값을 MTF라고 한다.

$$MTF = \frac{\max - \min}{\max + \min} \quad (1)$$

렌즈를 통과한 빛의 격자간격을 고려하여 차트의 간격을 결정하기 위해서는 다음과 같은 수식을 사용할 수 있다.

$$P_s = \frac{f_c}{f_t} * P_c$$

여기서  $f_c$ 는 렌즈의 초점거리,  $f_t$ 는 콜리메터

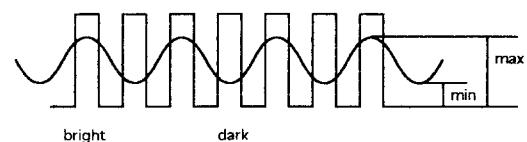


Fig. 3 The image of bar target

렌즈의 초점거리,  $P_c$ 는 차트의 선 간격,  $P_s$ 는 CCD에 맺힐 투영상에서의 선 간격이 된다. 이와 같은 식에서 적절한 차트의 선 간격은 0.25mm로 결정했다.

MTF의 값의 물리적인 의미는 그 값이 크도록 보다 선명한 화면을 CCD에서 볼 수가 있고 그 값이 작게 되면 흐릿한 화면을 CCD에서 갖게 된다. 이것을 이용하면 초점과의 상관관계를 구할 수가 있다. 즉 초점에 더 근접하게 될 수록 MTF의 값이 크게 되고 초점에서 멀어지게 될 수록 MTF의 값이 작게 된다. 실험에서는 거울을 이동시켜가면서 MTF의 값을 구하여 최고의 값에 도달하는 경우를 찾고자하는 것을 목표로 한다.

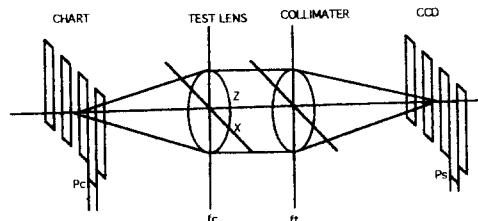


Fig. 4 The relation between chart and CCD



Fig. 5 The shape of chart

## 2) 실제적인 MTF의 값의 근사방법

실험에서 구한 데이터는 노이즈 때문에 이상적으로 구할 수가 없다. 그래서 다음과 같은 계산 방법을 사용하였다.

1. 각 픽셀에서의 평균값을 취한 것을 가지고 다음과 같은 값을 구한다.

$$X_{i-1} = \sum_{j=i-1-M}^{i-1+M} P_j$$

$$X_i = \sum_{j=i-M}^{i+M} P_j$$

$$X_{i+1} = \sum_{j=i+1-M}^{i+1+M} P_j$$

여기서  $P_j$ 는  $j$  픽셀에서의 빛의 세기

2. 다음을 만족하는 신호의 산을 구한다.

$\text{if}( X_{i-1} < X_i, X_i > X_{i+1}) \text{ then } \text{High}(k)=X_i$

3. 다음을 만족하는 신호의 골을 구한다.

$\text{if}( X_{i-1} > X_i, X_i < X_{i+1}) \text{ then } \text{Low}(k)=X_i$

4. 골과 산의 위치를 평균한다.

$$\text{max} = \sum_{k=1}^K \text{High}(k)$$

$$\text{min} = \sum_{k=1}^K \text{Low}(k)$$

5. MTF의 값을 구한다.

$$MTF = \frac{\text{max} - \text{min}}{\text{max} + \text{min}}$$

위의 과정을 거치게 되면 노이즈에 대한 영향을 급격히 줄일 수 있으며 신호의 산과 골을 구하는 데 아무런 무리가 없었다.

## 4) MTF에 의한 초점의 위치

실험에 의한 데이터는 Fig.6에서와 같은 데이터 처리를 거친 후에 나온다. 그 결과로 나온 데이터는 Fig.7와 같은 형태로 나온다. 0.1Volt의 근처값은 데이터를 받지 않은 부분이고 실제로 데이터를 받은 부분은 그 이외의 부분으로 픽셀의 갯수는 256개로 나타나면서 반복적으로 데이터들이 발생하고 있다. 그리고 차트를 통과한 빛의 세기들이 나타나고 있는 데 노이즈(Noise)와 광원이 고루 퍼지지 못하는 문제점 때문에 그 높이가 균일하게 나타나지 않고 있으며 뒷 부분의 또 다른 빛은 차트에서 볼 수 있듯이 격자가 없는 부분에서 발생하는 빛으로 광원에서 고루 빛을 비추지 못하기 때문에 약하게 나타나고 있다. 하지만 이 부분은 MTF의 계산에 사용하지 않고 있으므로 큰 영향은 없다.

실제로 식(1)에 의해서 구하고자 하는 데 문제점이 있는 데 빛의 강도가 센 부분과 약한 부분의 세기가 일정하지 않고, 노이즈가 강하게 작용을 하기 때문에 여러 번의 데이터의 평균값을 사용하고 그 픽셀의 갯수도 150개로 한정하였다. 그런 결과 아주 안정된 값을 가질 수 있었다. 이 결과를 토대로 MTF의 값을 구할 수 있었으며 그 값의 변화를 거울의 위치에 따라 비교해 보았다. 그 결과는 Fig. 8에 나타나 있다. Fig. 8에서 알 수 있듯이 포물선의 형태 곡선으로 존재하게 되는 데 이것은 물론 예상되는 결과이고 이 곡선을 2차 곡선이라고 가정했을 때 그 꼭지점이 바로 우리가

원하고자 하는 점이 된다.

그러므로 초기의 위치에서부터 차례로 MTF의 값을 구하여 나가면서 거울의 위치를 일정하게 증가시켜가면 MTF의 값을 비교해 볼 수 있고 그 변화값을 가지고 렌즈의 초점의 위치를 파악할 수가 있다.

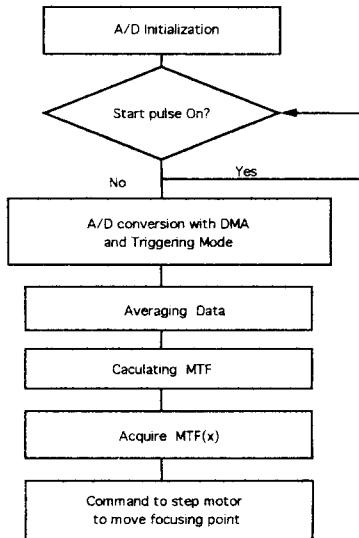
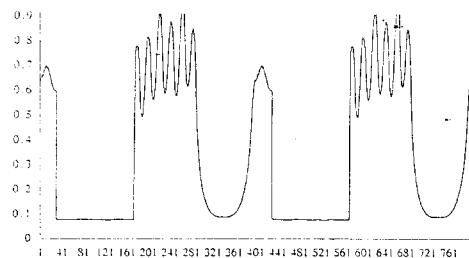
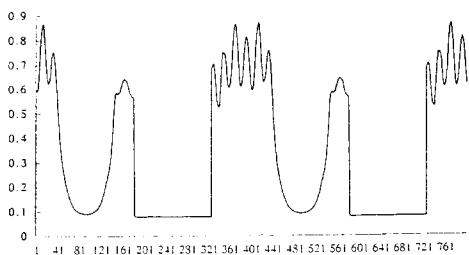


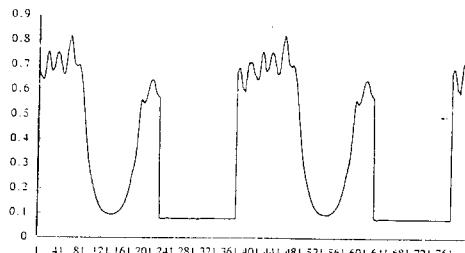
Fig. 6 Acquisition of MTF



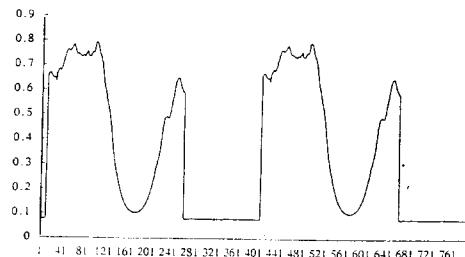
(a) focusing distance = 0.0  $\mu\text{m}$



(b) focusing distance = 50.0  $\mu\text{m}$



(c) focusing distance = 100.0  $\mu\text{m}$



(d) focusing distance = 150.0  $\mu\text{m}$

Fig. 7 The output from CCD

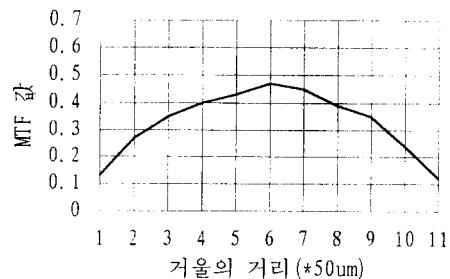


Fig. 8 The variation of MTF as focusing distance changes

##### 5) 렌즈의 초점

거울의 위치에 따른 MTF의 값을 비교하여서 초점의 위치를 구할 수가 있었는데 렌즈를 기준으로 하는 면만큼 그 값을 이송시켜 주어야 한다. 그 작업은 렌즈의 안쪽부분에 암나사산이 존재하기 때문에 렌즈를 돌려주면 간단히 해결할 수가 있다.

### 3. 실험 결과

- 1) 거울의 위치를 변화시키면서 CCD에서 받은 데이터는 Fig. 8에서 볼수 있다. 격자모양의 상한값과 하한값의 차이가 많을 수록 빛의 조도가 강한것이며 그것은 초점에 가까이 접근하는 것을 의미한다.
- 2) 초점의 전후의 거리가 멀어짐에 따라 MTF의 값이 작아지고 있는 것을 알 수 있으며 초점이 맞는 지점에서 최고의 MTF의 값을 가지는 것을 알 수가 있다.
- 3) 거울의 거리에 따라 MTF의 값이 2차 곡선의 형태를 따르므로 포물선의 형태로 근사화 한 다음 그 그래프에서 폭지점에서의 값을 구하면 원하는 초점의 위치가 된다.
- 4) 초점의 위치를 구하게 된 후 거울의 위치를 고려하여 카메라 렌즈의 위치를 결정한 다음 모터를 이용하여 자동으로 렌즈의 초점을 조정할 수 있으며 시스템의 자체를 무인으로 가동할 수 있다.

### 참고 문헌

- [1] Warren J.Smith., "Modern Optical Engineering ", McGraw-hill Comp.
- [2] Jan teuber., "Digital Image Processing", Prentice Hall. 1993.