

카메라폰의 신뢰성과 고정밀도를 높이는 자동포커스 렌즈시스템 구현

Autofocusing System for Mobile Camera Phone

VGA급에서 1.3메가, 그리고 2메가급의 휴대폰용 카메라제품이 속속 등장함에 따라 작업자의 육안검사에 의존하던 카메라모듈의 초점검사공정에서 다양한 Vision 및 소프트웨어를 이용한 자동화 설비의 개발 수요가 급증하고 있다. 당사에서 이미 약 2년 전부터 이와 같은 시장의 추세를 예측하여 별도 변환렌즈를 통한 자동포커스 조절 시스템의 구현을 통해 메가급 이상의 다양한 휴대폰용 카메라모듈의 변화에도 유연성 있게 대처할 수 있는 Autofocusing System을 자체 개발한바 있다. 따라서 본 고에서는 이 시스템 구현을 통해 실제 양산에 적용 가능한 제품을 소개하고자 한다. <편집자 주>

클/(주) 지엔오, (주)디오스텍

최근 휴대폰용 카메라모듈의 시장이 VGA급에서 1.3메가, 그리고 2메가급의 제품이 속속 등장하고 있는 시점에서 작업자의 육안검사에 의존하던 카메라모듈의 초점검사공정에서 다양한 Vision 및 소프트웨어를 이용한 자동화 설비의 개발 수요가 급증하고 있다. 당사에서는 이미 약 2년 전부터 이와 같은 시장의 추세를 예측하여 별도 변환렌즈를 통한 자동포커스 조절 시스템을 구현하여 메가급 이상의 다양한 휴대폰용 카메라모듈의 변화에도 유연성 있게 대처할 수 있는 Autofocusing System를 자체개발했다. 당사의 실험 결과에 따르면, 검사 Spec(해상도)변화에 따른 모듈 초점 조절시 작업자의 육안에 의한 Focusing을 자동화하여 설비의 신뢰성과 작업성을 제고할 수 있다. 따라서 이를 이용하여 신뢰성 있는 고정밀도의 Autofocusing이 가능할 것으로 판단된다. 현재 연 1억

개 이상의 폰 카메라를 생산하고 있는 우리나라로서는 고해상도 카메라모듈과 줌 카메라모듈을 개발 및 생산하기 위해서 설계와 제작기술뿐만 아니라 초점조정 및 성능평가 기술도 필수적인 상황이다.

1. 제품 소개

당사의 DFS200(Dual Focus System)은 약 2년여간의 개발기간 및 실험을 거친 Relay Lens적용으로 기존 Mega급 Focusing 라인을 대폭 축소하여 작업공간을 대폭 줄일 수 있어(약 50%이상 축소 예상) 단위면적당 생산량을 2배 이상 증대할 수 있다. 특히 Dual Type으로 작업자의 작업효율을 극대화가 가능한 Focusing 조정 및 검사 장비라고 할 수 있다. 이는 자체 개발 중인 SFR 적용 S/W로 픽셀 수에 상관없이 해상도 기준을

정의함으로써 차트의 교환, 수정 없이 Focusing 및 해상도의 표준화로 개발 및 양산 효율의 향상을 기대할 수 있다.

이 제품은 카메라모듈의 화상에서 지정된 복수의 위치에 대해 분해능을 센서를 통해 고속으로 측정하고 수치적으로 해석함으로써, 카메라모듈 성능평가 지표로 인정되는 공간주파수 함수를 측정함과 동시에 화상의 질에 영향을 미치는 초점거리와 각종 수치들을 동시에 측정할 수 있도록 구성되었다.

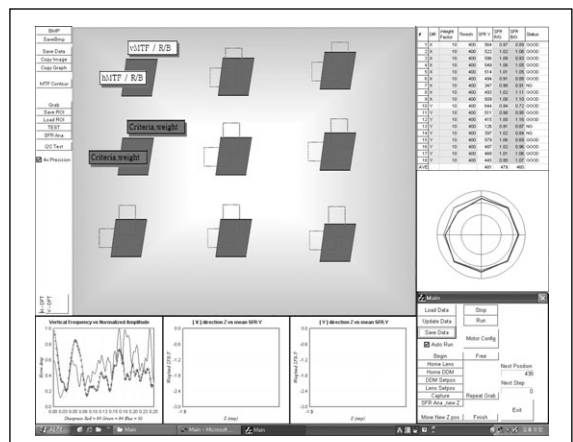
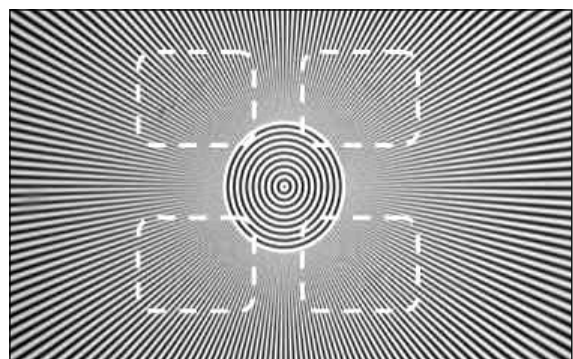
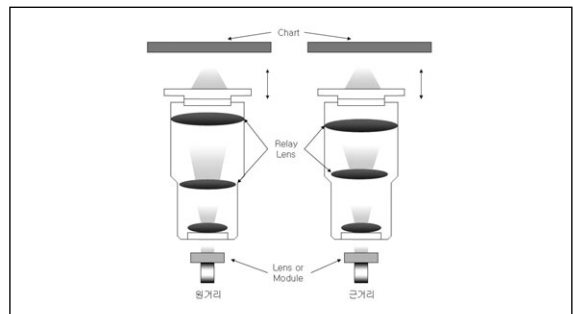
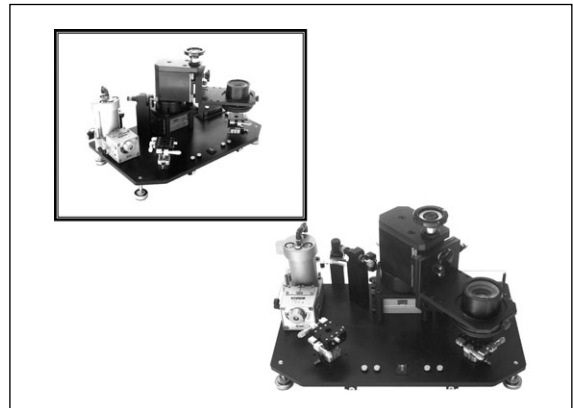
사용방법도 간편하여 휴대폰용 카메라모듈을 소켓에 장착시키고 이를 Interface Board를 통하여 컨트롤 PC로 전송한 Data를 이용해서 화상처리(Image Processing)를 하는 자동/반자동 설비로서, 기존의 작업자의 육안에 의한 Camera Focusing의 경우 그 작업의 반복성과 신뢰성을 보장하기에는 일관성이 없고 다분히 주관적이기 쉬운 단점이 있었으나, 본 제품은 Focusing작업을 객관적이고 반복성 있게 하는 것이 가능하게 한다.

II. 특징 및 원리

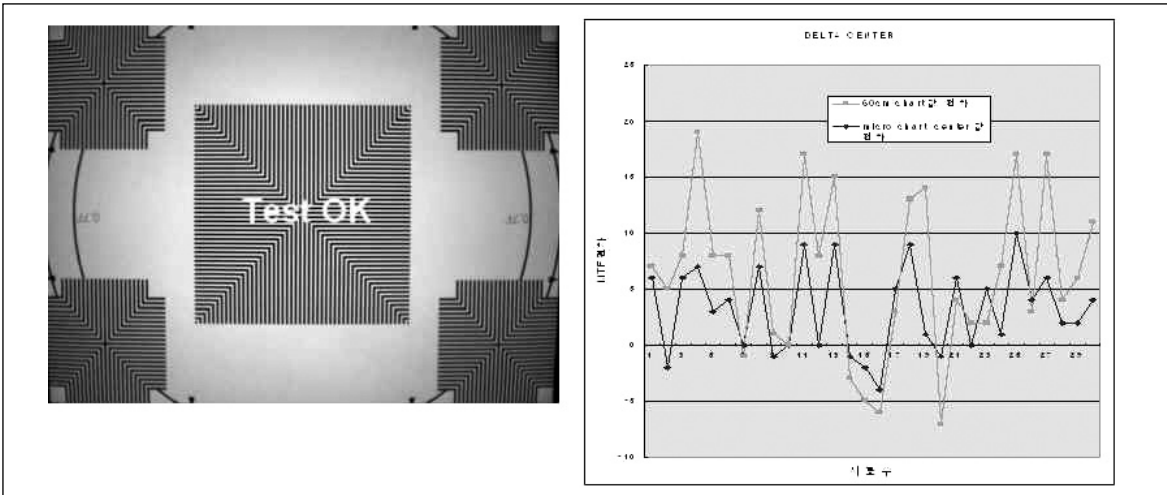
본 장비의 특징은 릴레이 렌즈를 사용하여 포커싱 Chart의 허상을 측정함으로써 포커싱 거리별 해상도 평가가 가능하다는 점을 들 수 있다. 즉, 고객의 다양한 요구에 따른 30cm, 60cm, 90cm, 120cm 또는 ∞ 등의 초점거리에 대한 평가가 가능한 것이다. 이는 릴레이 렌즈의 조정을 통하여 대응 가능하다.

본 장치의 원리는 내부의 렌즈군의 조절에 의하여 약 60mm 이내의 차트가 기존의 2m 이상의 평가 차트를 대체할 수 있게 되어 공정라인의 대폭적인 축소를 통하여 공간 효율성을 크게 높이는 것과 동시에 생산성 향상에도 크게 기여할 수 있다는 것이다.

DFS200의 장치 적용은 모듈에 따라 장치 내부의 최적 거리를 세팅시킨 후 장치를 가동하여 카메라모듈과 렌즈홀더를 교차시켜 자동 또는 반자동으로 노브를 돌려 수동인 경우 모아레를 확인하여 양품 또는 최적 포커싱 완료로 판단할 수 있게 도와준다. 만일 모아레가 선명하게 나타나지 않고 어느 한 쪽이 무너지는 경우 불량으로 판단하며, 이는 현재 당사에서 개발 후 적용 검증된 SFR 프로그램으로 계량화하여 자동으로 focusing이 가능하다.



<당사에서 개발한 SFR S/W : MTF 특성 곡선을 각 필드에 따라 실시간으로 표현 한다.>



〈 당사 릴레이렌즈로 화상을 본 것도 그 화상을 수치화 한 결과를 실제 차트와 비교 분석한 데이터 〉

본 장치는 2년전에 카메라모듈 선두업체인 모 중소기업에서 앞의 그림과 같이 재현성을 이미 검증한 바 있고 모대기업에서 본 장치를 이용하여 2M급 카메라모듈에 양산 적용중이다.

III. 결론

본 장비는 현재 1.3Mega Sensor의 경우 0.95m나 1.2m를 포커싱 기준거리로 정하고 있는 상황에서 조만간 2Mega나 3Mega Sensor의 적용이 필수적인 만큼 이를 통하지 않는 경우 약 5m이상의 원거리에서 포커싱을 해야 하기 때문에 기존 생산 공정라인에서 사용하고 있는 방식으로는 더 이상 수요자의 니즈에 따른 제품의 생산 및 대응이 불가능할 수도 있는 우려를 완전히 제거할 수 있다는 것이다.

다시 말해서 Relay lens 적용으로 카메라 모듈 앞에 볼록 렌즈가 놓여지게 되며 이로 인해 가까이 있는 사물이 멀리 있는 것으로 보이게 되기 때문에 휴대폰용 카메라모듈 생산에 있어 포커싱 장치의 소형화 제작이 가능함은 말할 것도 없고 자동화에도 대응할 수 있는 기회를 제공하게 된다.

한편 본 장비를 적용함으로써 첫째, 기존 수동 포커싱 방식에 비하여 육안 판단의 기준에 따른 부정확성과 작업자 간 편차 문제 해결이 가능하고, 둘째, Jig 및 Chart, Light 의 편차에 의해 발생하는 측정 산포에

대하여 표준 샘플 시료 Value 의 보정 Setting Program에 의한 산포 발생을 사전에 방지할 수 있으며, 마지막으로 한 사람이 동시에 2개의 모듈을 로딩하여 검사하거나 또는 완성 공정의 Full 자동화로 생산인력 절감과 생산성 향상이 가능한 효과를 기대할 수 있다. 또한 Autofocusing 카메라모듈 생산시 기준 모드에 원거리 초점이 세팅되어져야 하기 때문에 본 장치는 필수적으로 적용되어야 한다.

IV. 참고자료

Features & Specifications

Features		
Type	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Compact sized all in one desk top operation ◆ Don't needed inspection booth & Large sized PIMA chart 	
Operation Mode	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Dual mode work scope support <ul style="list-style-type: none"> - Focusing Adjust - Image evaluation test mode 	
Focusing Adjust	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Auto adjust mode based on computer interface operation ◆ Semi auto adjust mode based on manual operation 	
Inspection Tact time	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Focusing : less than 10sec/unit based on semi auto mode in 2M mode. ◆ Image evaluation test mode : Depend on skill of inspector ***SFR auto Evaluation/Focusing will be supported by computer system until Q1, 2006. 	
Option function	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Low luminance characteristic of camera inspection control support ◆ Low power characteristic of camera inspection control support 	
Specifications		
Part	Component	Description
Jig	Moving drive	Rotary cylinder by hydro unit ass'y
	Camera module Loader, unloader	Air Cylinder
	Focusing adjust drive	- Stepping motor & Manual
	Dimensions	620mm x 380mm x 400
	Weight	≒ 36kg
Controller	CPU	8bit Miro processor
	Cylinder Control	3 Cylinder control actuator
	Stepping Motor Control	Fast, Reduction, Micro speed mode control
	1 RS-232C	RS-232C port for Computer interface
	I ² C Master	I ² C Master port for Sensor interface by RS-232C
	Special GPIO	General Purpose I/O for Luminance & Sensor power control
	6 User Key	6 Operation key for Operator
Optical	Flange Back Distance	15mm
	Viewing angle	Guaranteed 66, Max 72°
	Object Distance	1M ~ ∞, Pre fixed closed distance support
	Illumination	Available compensation of relative illumination
Power	AC 175 ~ 240V	Power Consumption 50watt Max

용어 설명

Autofocus 기본 원리

Autofocus는 초점이 잘 맞춰진 화상은 초점이 틀어진 것 보다 더 많은 정보를 가지고 있다는 전제하에서 시작한다. Object와 Lens사이의 거리(WD, Working Distance)를 변화시키면서 얻은 화상을 가지고 기준함수(Criterion Function)에서 처리가 되면, 상대적으로 초점의 세밀도(Sharpness) 지수를 구할 수 있다. 이 지수값이 가장 큰 값에 해당하는 WD에서, 가장 초점이 잘 맞춰진 화상을 얻을 수 있게 된다.

기준 함수(Criterion Function)

Groen은 기준 함수를 크게 4가지로 분류했다.

1. Frequency Domain Functions

이 함수는 Fourier transform에 근거한 함수로서, Fourier transform의 High Frequency Component는 Edge정보에 해당한다는 것이다. 초점이 잘 맞춰진 화상은 보다 세밀한 Edge정보를 가지고 있기 때문에 더 많은 High Frequency Component를 가지고 있다고 예상할 수 있다. 이 함수는 특정 고가의 H/W를 탑재한 실시간 시스템에서만 실현가능한 많은 계산량을 필요로 한다.

2. Gradient Functions

일반적으로 화상처리에서 화상의 기울기 성분은 Edge 정보를 추출해내는데 사용된다. 초점이 잘 맞춰진 화상, 즉 세밀한 Edge성분을 가지고 있는 화상은 더 높은 기울기 값을 가진다고 할 수 있다.

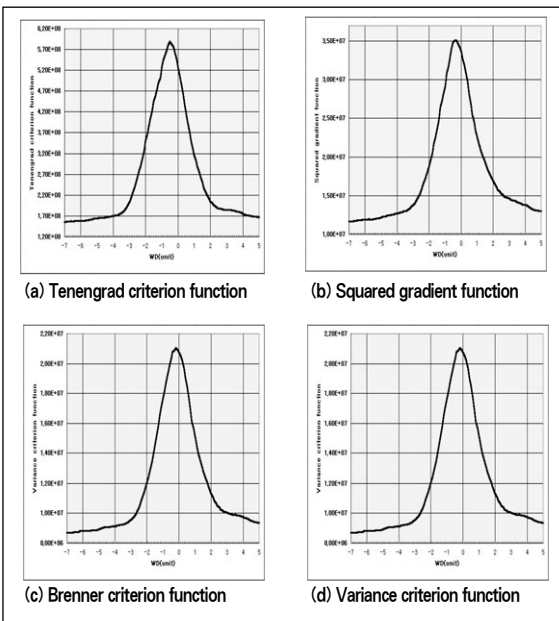
3. Information Content Functions

이 함수는 초점이 잘 맞춰진 화상의 Entropy는 그렇지 않은 것보다 큰 값을 가진다는 전제하에서 출발한다. 결과적으로 화상의 Entropy는 기준 함수가 될 수 있다는 것이다. 그러나 이것을 연구한 Firestone와 Harms의 실험결과에 의하면, 기준함수로서 충분한 역할을 하지 못하는 것으로 보고했다.

4. Gray Level Variance

초점이 잘 맞춰진 화상은 높은 Intensity 분산값을 갖는다. 이것은 Edge 화상에 대해서 잘 나타나고 있는데, 즉 화상의 Gray Level 분산값이 Autofocusing을 위한 기준함수로 사용할 수 있다는 것을 증명하고 있다.

참고자료 1 Graph of criterion function. 1 Unit = 600mm



Tenengrad function

이것은 Krotkov가 추천한 함수로서, 일찍이 Tenenbaum에 의해 고안되었다. 이 방법은 수직, 수평 방향에서 기울기 값을 근사화하기 위해서 Sobel 연산자를 사용했다.

$$f(I) = \sum \sum [S(x, y)]^2 \quad (1)$$

provided $S(x, y) > r$
where

$$S(x, y) = \sqrt{G_x^2(x, y) + G_y^2(x, y)} \quad (2)$$

Squared gradient function

이 방법은 Tenengrad Function과 유사하지만, Sobel연산자대신에 화상안의 각각의 Pixel에 대해서 인근의 Pixel과의 Intensity값에 대한 기울기를 구한다.

$$f(I) = \sum \sum \{ [I(x+1, y) - I(x, y)]^2 + [I(x+y, 1) - I(x, y)]^2 \} \quad (3)$$

여기서 는 임의의 Pixel 위치에서 Gray Level(Intensity)를 가리킨다.

Brenner function

이 함수는 기울기와 관련된 기준함수들 중에서 가장 간단한 함수로서, 단지 임의의 Pixel위치에서 2Pixel만큼의 위치가 떨어진 Pixel과의 Gray Level값의 차이를 구한다.

$$f(I) = \sum \sum \{ [I(x+2, y) - I(x, y)]^2 \} \quad (4)$$

Variance function

이 방법은 현재 Autofocusing을 하기 위해 가장 많이 사용되고 있는 방법이다.

$$f(I) = \sum \sum \{ [I(x+2, y) - \mu]^2 \} \quad (5)$$

여기서 는 Gray Level의 평균값을 가리킨다.

$$\mu = \frac{1}{N} \sum \sum I(x, y) \quad (6)$$

WD를 Z축 방향으로 변화시키면서 4개의 기준 함수의 값을 구한 결과는 참고자료1과 같다. 여기서 각각의 함수들은 모두 최대값을 가진 산형상을 알 수 있으며, Variation Function에서는 나머지 세 개의 함수와는 조금 다르게, 산의 기울기가 보다 완전한 형상을 하고 있는 것을 알 수 있다. 이 기울기의 완만함은 기준함수에는 Sensitivity가 덜 민감하다는 것을 의미하고, 결국은 정확한 Focusing이 실패할 가능성을 배제할 수 없음을 말한다. 따라서 Yeo는 Autofocusing을 두 단계로 나눠서, 처음 거칠게 Focusing을 할 때는 Variation Function을 사용하고, 정밀한 Focusing에는 보다 민감한 Tenengrad Function을 사용했다.

Search algorithm

```

a ← start of focus range      for n ← N-1 down to 2 do
b ← end of focus range      if yi < yj then
N ← smallest integer s.t.    a ← xi                xi ← b + FN-2 / (b-a)
                               xi ← xj                yi ← f(xj)
                               yi ← yj                end if
                               end if
                               end for
xi ← a + FN-2 / (b-a)
xj ← b - FN-2 / (b-a)
                               if yi < yj
                               return xi
                               else
                               return xj
                               end if
yi ← f(xi)
yj ← f(xj)
xi ← xj
yi ← yj

```

참고자료2 Fibonacci search algorithm

Autofocus Criterion Function은 화상의 Focusing위치에서 최대값을 갖는다. Autofocusing은 얼마나 효과적이고 빠른 검색 알고리즘을 선택하느냐가 Autofocusing의 성능을 좌우한다고 할 수 있다. Johnson은 이와 같은 경우에 최적의 검색 알고리즘은 Fibonacci Search라는 것을 증명하고 있다. Fibonacci Search는 Fibonacci Number를 이용해서 검색영역의 폭을 분할하면서 검색하는 방법을 말한다. 이 검색에서 필수적인 Fibonacci Number를 구하는 함수의 정의는 다음과 같다.

$$F_N = F_{N-1} + F_{N-2} \quad \text{for } N \geq 2$$

$$F_0 = F_1 = 1 \quad (7)$$

이해를 돕기 위해 참고자료2에 검색영역[a, b]에 대한 검색 논리를 정리했다. 여기서, F_N는 N번째 Fibonacci Number이고, f_N는 기준함수를 의미한다.