

Image Processing에 의한 MEMS소자의 미세한 각도측정

고진환*, 김호성
 중앙대학교 전자전기공학부

Angle Measurement of MEMS Devices Image Processing

Jinhwan Ko*, Hoseong Kim
 Electrical and Electronic Engineering College of Engineering Chung-Ang University

Abstract - This paper reports on the measurement of angle between micro mirror and substrate in the Micro Optical Cross Connect(MOXC). MOXC consists of beam collimators and N×N micro mirrors that are fabricated by using MEMS technology. Using subpixel level image processing, it is possible to measure the angle with the resolution of 0.2 7°

1. 서 론

현재 광통신 네트워크의 큰 특징은 전송 데이터가 증가에 따라 데이터 전송방식이 TDM (Time Division Multiplexing) 방식에서 WDM (Wavelength Division Multiplexing) 방식으로 바뀌어 가고 있는 점이다. 광통신에서 채널의 스위칭에 쓰이는 기존의 electronic switch는 광 신호를 전기신호로 변환하고 그 전기신호를 다시 광신호로 변환하기 때문에 전력소모가 많고 느린 단점이 있다. 이런 단점을 보완하기 위해 광회선 분배기(OXC : Optical Cross Connect)를 사용하며, WDM 시스템의 구성에 결정적인 역할을 하는 소자가 될 전망이다.[1]

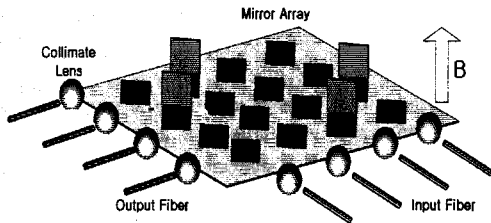


그림 1 MOXC 구성도

초소형 광회선 분배기(Micro Optical Corss Connect)의 구조는 그림 1과 같으며 Fiber에서 나온 빛을 확대하고 집광하는 Ball Lens 또는 GRIN Lens와 MEMS 공정으로 제작된 N x N개의 마이크로 미러등으로 구성 되어있다. 각각의 마이크로 미러는 그림 1의 자기장 B에 의해 구동이 되며, 이를 위해서 미러면의 양쪽에 자성체를 도금을 한다. 제작된 미러에 자기장을 가했을 때 자기장의 방향과 평행한 방향으로 힘을 받게 되어 미러가 수직방향으로 일어서게 된다. 마이크로 미러가 구동되었을 때, MOXC의 수평면과 마이크로 미러 사이의 미세한 각도차이는 MOXC의 광손실에 지대한 영향을 준다. 기존의 연구에서는 right-angle prism의 수직도를 정확하게 측정하기 위해 간섭 패턴을 사용하였다.[2] 그러나, 이 방법은 샘플의 크기가 클 경우에 주로 사용되는데, MOXC의 스위치로 개발된 미러는 크기가 매우

작기 때문에 광학적인 방법으로 미러의 수직도를 측정하는 것은 매우 어렵다. 그러므로, 영상처리 기법으로 미러의 수직도를 측정하고자 한다. 우선 샘플을 측면에서 볼 수 있는 광학시스템을 구성하고, 그 시스템을 통해 이미지를 획득한다. 측정 대상의 edge를 찾는 알고리즘은 Robert, Laplace, Prewitt, Sobel, Robinson, Kirsch등의 오퍼레이터를 이용하는 방법과 Canny Edge detection, Zero crossing of the second derivative의 방법 등이 있다.[3] 이러한 방법은 픽셀 수준의 방법이기 때문에 각도 측정 분해능의 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 본 논문에서는 서브픽셀 수준의 처리기법을 제안하고 검증한다.

2. 본 론

2.1 Optical System

본 연구에서는 샘플을 위에서 관찰하는 것이 아니라 측면에서 관찰해야하고, 영상처리를 할 수 있을 정도의 배율을 얻어야 하므로, 새로운 광학 시스템을 제작하였다.

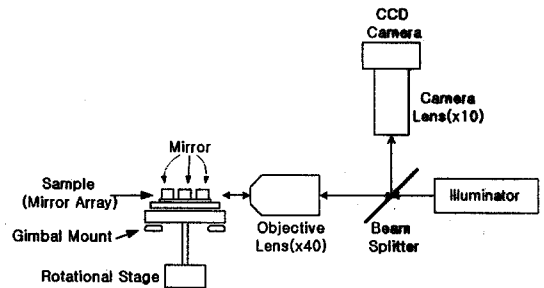
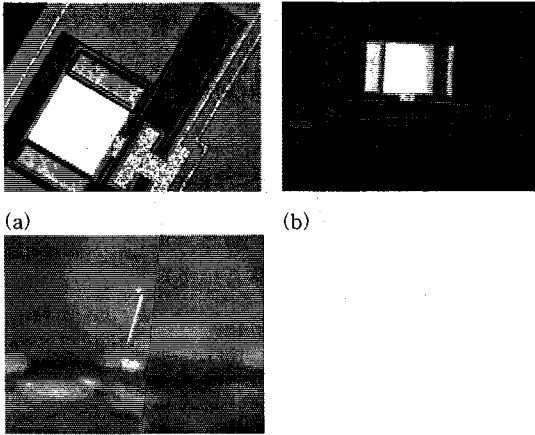


그림 2 광학 시스템 구성도

그림 2에 측정 시스템의 구성도를 나타내었다. 미러의 영상을 처리할 수 있을 정도로 확대하기 위해서, 40배의 대물렌즈를 사용하였고, CCD 카메라에는 10배의 카메라 렌즈가 사용되었다. 카메라는 흑백 CCD 카메라를 사용하였다.

그림 3(a)는 미러가 구동하고 있지 않을 때 상용 현미경으로 위에서 찍은 영상이며, 미러면의 중간부분(흰색)은 반사면이다. 반사면의 양쪽은 자성체인 Ni으로 도금을 한 부분이다. 그림 3(b)는 샘플의 측면에서 본 것인데, 미러를 구동시켰을 때 미러가 수직으로 선 모양을 정면에서 본 것이다. 그림 3(c)는 그 상태에서 미러의 측면을 본 것이다. 실제로 처리할 영상은 그림 3(c)이다.



(a) (b) (c)
그림 3 광학 시스템으로 찍은 샘플의 영상 (a) 위에서 본 영상 (b) 미러의 정면 (c) 미러의 측면

2.1 Process Algorithm

그림 4는 미러의 수직도를 측정하는 알고리즘의 순서도이다.

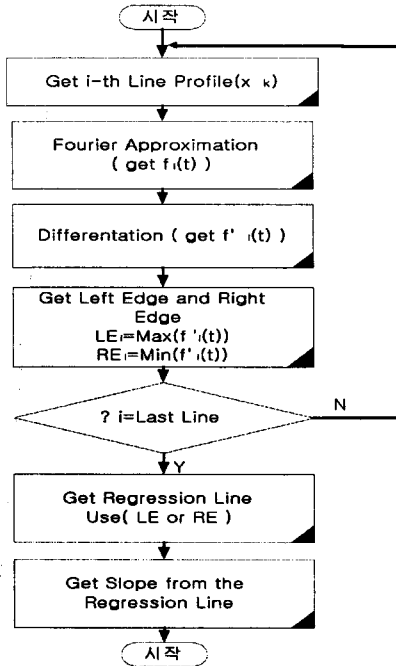


그림 4 알고리즘의 순서도

우선 영상에서 측정 하고자 하는 물체의 영역을 선택하게 된다. 그리고, 선택된 영역에서 i 번째 라인의 profile을 구한다. 이 라인 profile은 이산적인 배열의 형태로 저장되어 있다. 영상을 서브픽셀 수준에서 처리하기 위해, 구해진 라인 profile의 값들을 이용해서 연속적인 함수로 근사화한다. 사용되는 방법은 푸리에 근사 방법[4]이며, 근사화 하는 식은 다음과 같다.

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + a_1 \cos t + a_2 \cos 2t + \dots + \frac{a_m}{2} \cos mt + b_1 \sin t + b_2 \sin 2t + \dots + b_m \sin(m-1)t \quad (식1)$$

$$a_j = 1/n \sum_{k=0}^{n-1} x_k \cos(jt_k), \quad b_j = 2/n \sum_{k=0}^{n-1} x_k \sin(jt_k)$$

$$(j=0, 1, \dots, m), \quad t_k = (n-1) \frac{2\pi}{n} k$$

이때 n 은 데이터의 개수가 되며 x_k 는 데이터의 값이다.

이렇게 구해진 연속적인 함수 $f(x)$ 에서의 변곡점이 물체의 edge이다. 변곡점을 구하기 위해서는 $f(x)$ 를 미분을 함으로 해서 구할 수 있는데, $f'(x)$ 에서 최대가 되는 점이 왼쪽 edge(또는 왼쪽 변곡점), 최소가 되는 점이 오른쪽 edge(또는 오른쪽 변곡점)이다. 이때 측정하고자 하는 물체는 왼쪽 edge와 오른쪽 edge의 중간에 위치하고 있다고 가정하고, 그 물체의 폭은 왼쪽 edge와 오른쪽 edge사이의 거리가 된다.

$f(x)$ 의 변곡점 즉, $f'(x)$ 의 최대 또는 최소점을 찾기 위한 방법은 Golden Search방법[4]을 사용하였다. Golden Search방법은 최대 또는 최소점이 있는 구간이 알려져 있고 그 목적함수가 구간 내에서 기울기 부호의 변화가 한 번뿐일 경우 사용할 수 있는 방법이다.

구해진 edge들을 배열 LE(left edge)와 RE(right edge)에 각각 저장한다. 그리고 i 가 선택된 영역의 마지막 라인 일 때까지 같은 작업을 반복한다.

이렇게 해서 구해진 첫 번째 라인부터 마지막 라인까지의 edge의 위치 값의 배열(LE and RE)을 Least square method를 이용해서 1차 함수로 근사화 하게 되고, 그 1차 함수의 기울기를 구하게 된다. 그 기울기는 미러의 기울어진 각도를 의미한다.

2.3 Algorithm Test

algorithm을 검증하기 위해 이상적인 영상을 컴퓨터로 제작하여 실제 각도에 대한 알고리즘에 의해 계산된 각도의 차이를 테스트하였다. 테스트를 위한 샘플은 가우스 함수를 사용한다. 샘플의 개수는 20개이며 샘플의 번호가 하나씩 증가함에 따라 가우스 함수는 가로축(x축)으로 0.05 픽셀만큼 이동된다.

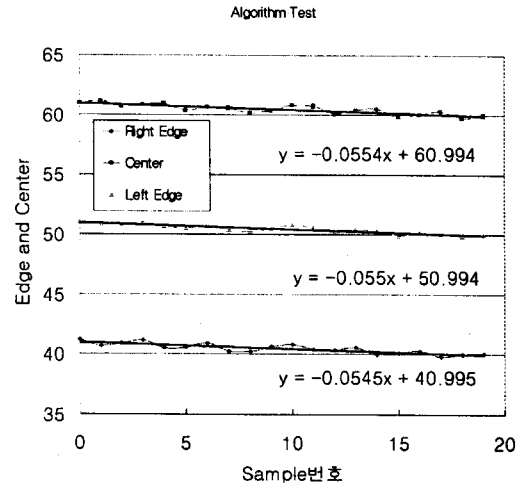


그림 5 이상적인 영상을 컴퓨터로 제작하여 테스트했을 경우 left edge, right edge center point들의 좌표와 선형근사식

그림 5에서 center point는 left edge 와 right edge의 중간점을 의미한다. Test sample에서 설정된 기울기는 20이며 실제적인 각도는 87.13°이다. 본 연

구에서 개발된 알고리즘에 의해 계산된 center점들로 구해진 선형 근사식의 기울기는 $1/0.055=18.18$ 이며, 그 각도는 86.85° 로, 오차는 0.27° 이다. 픽셀 수준에서 계산을 했을 경우 결과는 85.7° 이었으며, 오차가 1.43° 이다. 서브픽셀 수준으로 계산했을 경우 픽셀 수준에서 계산한 결과 보다 오차가 현저하게 감소함을 알 수 있다.

개발된 알고리즘의 오차는 profile을 연속적인 함수로 근사화하는 과정에서 발생되었다고 사료된다. 근사화 과정에서 계수를 결정하게 되는데, 실제로 계수를 40으로 했을때보다 20으로 했을 때 오차가 더 작았다. 계수가 많아지면 실제 profile의 값들에 근사한 함수를 찾지만, 높은 주파수 성분을 가지기 때문에 profile 값들 사이에서 많은 변동을 가지므로 오차가 커질 수 있다, 따라서, profile을 가우스 함수로 근사화하면 더 정확한 값을 가지리라 예상된다.

2.4 실제 영상에 대한 Algorithm의 적용

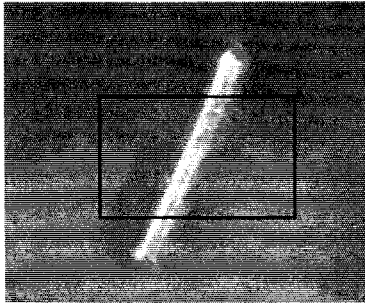


그림 6 측정 대상에 대한 영역 선택

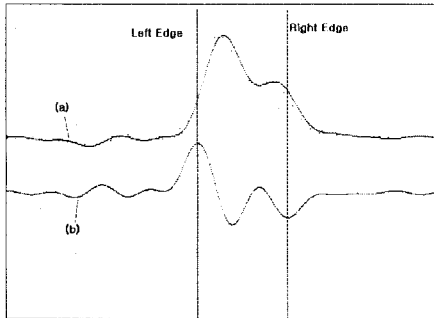


그림 7 Line Profile의 Prosseng 과정

그림 6은 실제 미러의 영상에 측정 할 영역을 선택한 것을 나타낸 것이다. 그림 7은 선택된 영역중 임의의 Line에 대한 Profile과 그 Profile을 사용해서 연속함수로 근사화한 함수(a), 근사화한 함수의 미분 함수(b)를 그린 것이다. 그림 8은 그림 6의 영상에서 edge를 찾아서 나타낸 것이다. 이때 left edge값들에 대한 선형 근사식의 각도를 구하면 72.94° 이다. 실제로 측정해야 할 미러의 각도는 substrate에 대한 상대적인 각도이기 때문에 substrate에 대한 각도 또한 같은 방법으로 측정해서 기준으로 한다.

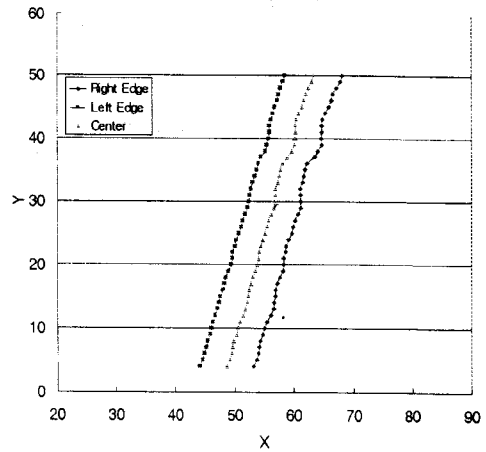


그림 8 실제 미러의 Edge

3. 결 론

본 논문에서는 MOXC에서의 마이크로 미러의 각도를 측정하기 위한 광학 시스템을 구성하였고, 픽셀 레벨에서는 측정하기 어려운 미세한 각도를 서브픽셀 레벨의 영상처리를 통해서 측정할 수 있음을 확인할 수 있었다. 실제 각도가 87.13° 일 때 픽셀 수준에서 계산했을 경우 오차가 1.43° 이었으나, 서브픽셀 수준에서는 오차가 0.27° 으로 감소하였다. 이 방법은 미러의 각도뿐만 아니라 미러가 휘어진 상태도 알 수 있다. 본 연구는 다른 MEMS device의 미세한 각도 측정 및 구조를 파악하는데 유용하게 쓰일 수 있다.

본 논문은 G7 프로젝트의 지원으로 수행된 것임

[참 고 문 헌]

- [1] David Bishop, Randy Giles, Charles Roxlo, "Micromirrors", Photonics Spectra March 2000
- [2] Daniel Malacara, "Optical Shop Testing", John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Milan Sonka, Vaclav Hlavac, Roger Boyle, "Image Processing, Analysis, and Machine Vision", PSW Publishing
- [4] Laurene V. Fausett, "Applied Numerical Analysis using MATLAB", Prentice Hall