

3차원 영상획득기술의 동향과 응용기술

許秉會, 趙泰勳
金星産電研究所

I. 서론

최근 광학의 기술, 반도체, 메모리분야의 발전은 가공 기술과 검사기술의 다양화와 정밀화 현상을 가져왔다. 따라서 가공 되어지는 물체의 형상 측정 기술이나 검사하려는 대상의 계측기술에 대해서 많은 과제가 제공되며 고도화의 기술을 요구하고 있다. 3차원 형상이라고 해도 여기서는 물체의 표면 조직과 같은 형상이 아니고 보다 미세한 표면 형상에 대한 계측을 기술의 중심으로 보고 있다. 이러한 의미에서 3차원 형상의 측정 한계와 미래의 요망 사항을 보면 측정의 고정밀도, 고분해능을 비롯하여, 비접촉화, 고속화, 나아가서는 자동화 등에서 수많은 요구 조건이 나타나고 있다. 요구되는 응용 분야도 측정 분해능과 정밀도에서는 기초과학의 한계범위 까지도 고려해야 하는 응용 대상도 생기고 있다. 측정 대상의 물체도 다양한 형상으로 구성되어 있어, 인공적인 평면과 원통면의 조합으로 이루어져 제작된 기계적인 형상에서 부터, 감각적으로 설계되어 수식으로 표현하기 어려운 형상, 또는 생물체와 같이 시간적으로 변화하는 부정형이라고 할 수 있는 형상도 포함되고 있다. 더욱이 측정시에 접촉되어서는 안되는 대상물도 있으며 조명에 매우 민감한 측정 대상체도 있다.

이러한 배경을 바탕으로 3차원 측정기의 시장은 제법 활기를 보이고 있다. 그러나 3차원 측정기라고 불리는 대부분이 기계적인 접촉식의 Probe를 가지고 물체상의 각 점을 차례차례 측정하며 표면의 3차원 좌표식을 구하는 방식이 주를 이룬다. 최근에 들어서 기계적인 Probe대신에 광 Probe (광점검출법, 초점검출법등)를 사용하고 있는데 검출 점의 좌표식은

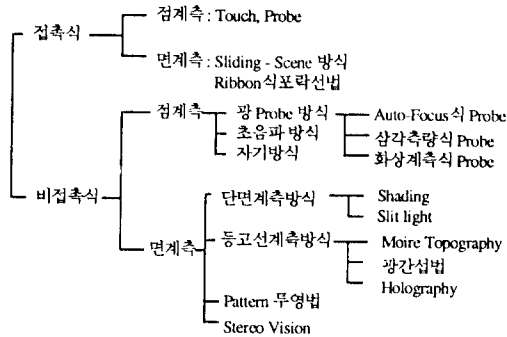
장치내에 따로 장착된 Scale로 계산되어 지는 것이 많다. 따라서 앞에서 설명된 요구 조건을 충족시키기 위해서는 광을 응용하는 측정법의 개발에 관심과 기대를 가지고 있다. 실제로 많은 방법들이 제안되고 있으며 여러 시스템들이 발표되고 있다. 그러나 측정 기술에는 만능의 수단이 없고 결정적인 방식도 등장하고 있지 않은 상황에서 현재 진행되고 있는 3차원 계측의 여러 가지 기술의 원리와 방식 그리고 최근 동향을 서술하기로 한다.

II. 3차원 영상 획득의 기술

현재의 접촉식의 방식에 대한 여러 가지 문제점들 때문에 새로운 광을 이용한 3차원의 계측 방법에 기대를 걸고 있다. 현재 3차원의 계측상태의 정도를 보면 계측은 가능한데 보다 더 고정밀화를 기대하는 대상물로는 금형, Lens, Gauge, 치공구등이 있으며 현재는 측정이 불가능하지만 장래에는 측정이 가능하리라고 생각되는 대상은 자유곡면을 지닌 금형 제품, 연재질, 비구면 렌즈, 기어등과 인체의 내부까지도 포함되고 있다. 여기서 3차원 측정기의 최종 목표는 ① 측정 범위 내에서의 고속 측정 ② 환경의 영향을 받지 않을 것 ③ 일반 계측기기 정도의 비용으로 측정이 가능할 것으로 순서가 정해지지만 기대되는 측정 성능은 고분해능(0.1 ~ 0.01 μ m), 고정도(0.1 μ m), 측정 범위 (500W * 500D * 500Hmm), 고속이 되어야 할 것으로 보인다.

이러한 배경 아래서 각종 비접촉 3차원 계측법의 개발이 이루어 지고 있는데 위치 검출을 하기 위해서

는 어떠한 형태이든지 빛을 이용하는 경우가 거의 모든 방법이다. 빛 이외의 검출 매체로서는 자기, 초음파등의 이용이 있다. 광을 이용하면 다음과 같은 점들이 기대된다. ① 비접촉으로 측정할 수가 있다. 이 때문에 측정의 영향이 없어 측정의 자유도를 증가시킬 수 있다. ② 순간적인 형상 정보의 검출이 가능하다. ③ 광은 전기 신호로 변환이 쉽기 때문에 전기적인 잡음을 제거할 수 있다. ④ 광의 파장을 측정하여 scale로서 이용할 수가 있으며 ⑤ 계측을 화상으로 표현할 수가 있고 ⑥ 자동계측 시스템을 구축할 수 있다. 3차원 계측법의 전체적인 개념을 알기 위해서 먼저 3차원 형상을 얻을 수 있는 방법을 알아보자. 여러 가지 3차원 형상을 얻을 수 있는 방식이 아래에 나타나 있다.



위에서 광을 이용한 방법에는 대상 물체의 각 점마다를 계측하는 Point 계측 방식과 넓은 면을 대상으로 하는 면적계측 방식으로 나누어 진다. 여기서 Point 계측 방식은 측정 정도가 높지만 계측 시간이 많이 걸리며, 이에 대해서 면적계측 방식은 정도는 약간 떨어지지만 계측 시간이 단축되는 장점이 있다. 한편 면적계측 방식에는 Stereo Vision이 있는데 이것은 대상물체에 인위적인 시각을 두어 자연상태 그대로 화상을 얻어서 계측을 하는 수동적인 방법이며 또 다른 면적계측 방식에는 물체에 어떠한 Pattern을 주사하여 시각을 인식하는 능동적인 방법이 있다. 이러한 분류는 실제로 이용되는 분야에 따라 또 다른 각각의 특징을 살려 적용되므로 전체적인 분류라고 보기에는 무리가 있다. 위의 표에 있는 여러가지 방법에 대해서 상세한 설명보다는 현재 많이 연구되고 응용되고 있는 삼각측량 방식의 방식과 Moire Topography 등에 대하여 측정기술의 전반적인 원리와 기술 응용을 논하기로 한다.

1. 삼각측량 방식의 계측기술

광을 이용하는 방식중에서 가장 기초적이며 응용이 많은 계측 원리가 삼각측량 방식이다. 간단하게 원리를 보면 투광부와 수광부 그리고 측정 대상체가 이루는 삼각형에서 밑변이라고 할 수 있는 투광부와 수광부의 길이, 그리고 이 밑변과 투광부가 이루는 각, 수광부가 이루는 각을 알고 있으면 나머지 변의 길이와 각도가 사인의 법칙을 만족하게 된다. 따라서 기준선과 각도만 알고 있으면 물체와의 거리를 측정할 수가 있다. 삼각측량에 기초를 둔 형상계측법은 투광하는 광축과 수광하는 광축이 이루는 각도가 측정정도의 기준이 된다. 그러나 측정대상의 형상이 복잡해지면 반드시 투광축, 수광축의 보이지 않는 면이 생기어 문제로 발생한다. 삼각측량 방식의 가장 큰 취약점인 이 사각의 발생은 삼각측량 방식에 기초를 둔 이상 사각의 문제를 벗어나기는 힘들지만 투광부와 수광부의 배치, 다중 투광부, 다중 수광부등의 방법을 이용하여 해결하고 있으나 정합 및 보정의 과정이 어렵다. 이 삼각측량의 방식을 이용한 대표적인 기술인 Point 광원의 주사방식과 Slit 광원의 주사방식, Pattern광의 주사방식에 대해서 논하기로 한다.

1) 점광원의 주사방식

삼각측량 방식의 기본의 원리를 지닌 방식이다. 투영 수단으로서 Laser 광원이나 Lamp의 조명을 Lens의 광학 결상계를 통해 주사하는데 대개 Laser광의 Spot을 주사하게 된다. 그리고 이 광원의 수광부로는 카메라, PSD(Position Sensitive Detector), Photo-Diode로 구성된 센서등을 사용할 수 있는데, 카메라의 경우는 광범위한 영역을 유연성 있게 처리할 수 있으나 계측 시간과 정밀도에서 성능이 떨어진다. 그래서 계측 시간을 단축시키며 정밀도를 향상시키는 PSD 소자를 사용하는 방식으로 많은 연구가 이루어 지고 있다. 삼각측량의 원리에 따라 투광부, 수광부, 대상체의 점이 삼각형으로 배치되어 정해진다.

그림 1에서 살펴보면 카메라와 Laser광원의 중심을 잇는 선을 기준으로 하여 Laser 광원에서 Spot광이 주사 되는 방향의 주사 각도 $\angle So$ 를 알 수 있으며, 카메라에서 취득 되는 영상에서 측정 물체의 Spot광의 위치 P를 찾아내면, Spot광의 위치 $\angle Ro$ 의 각도를 알게 되어 점 P의 좌표는 선분 $L(=SoRo)$, So , $\angle Ro$ 에서 산출될 수 있다. 이 삼각형을 포함하는 평면을 Epipolar 평면이라고 한다. 이 방법은 기준점이 Laser광의 Spot때문에 휘도가

높기 때문에 간단한 영상처리로서 찾을 수 있으며 좌표들을 결정하는데 특별한 애매점이 없기 때문에 신뢰성이 높다. 그러나 카메라 영상으로 처리 할 때는 시간이 길어지는 문제가 있으며 이를 어느 정도의 계측 범위 내에서 해결할 수 있는 것이 PSD의 이용이다. PSD의 측정원리가 그림 2에 나와 있다.

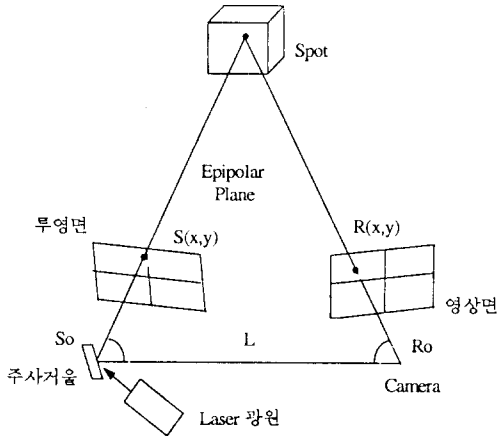


그림 1. 점광원 투영에 의한 삼각측량

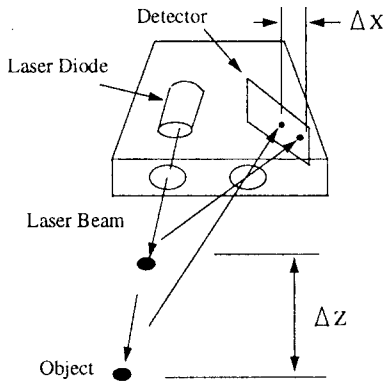


그림 2. PSD의 측정 원리

그림 2에서 Laser Diode에서 나온 Laser Beam이 렌즈를 거쳐 물체의 표면에 닿아 산란 된 후 수광 렌즈를 통해 PSD위의 한 점에 영상이 맺힌다. 이 점들은 물체의 거리 변화 ΔZ 에 따라 ΔX 의 변화가 나타난다. 이러한 방식의 Scanner는 측정 범위가 작기 때문에 미세한 표면의 변화나 조직검사, 변위 측정,

회전의 진동측정 등에 사용되는데 정밀도가 매우 높은 점의 계측시간은 PSD의 반응속도에 달려 있는데 Camera와 비교했을 때는 매우 빠르다. 이 PSD는 입사광의 위치에 비례하는 전기적인 신호를 출력하는 광위치 검출용 센서이다. 센서의 양단에 나오는 전류의 차가 광검출 위치에 비례하여 출력되기 때문에 위치 변화를 빠르게 계측할 수 있다.

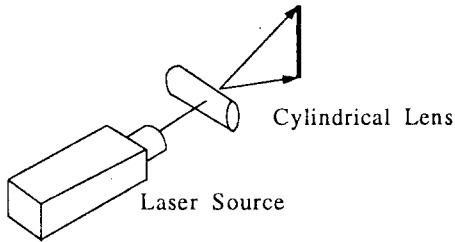
2) Slit 광의 주사방식

Slit광 주사방식은 광절단법이라고도 하는데, 가장 일반적으로 알려진 3차원 화상 투영법이다. 앞에서 언급한 점광원의 주사방식은 한 장의 영상정보에서 한 점의 3차원 정보를 얻어 한 번의 주사로 한 점의 정보 밖에는 얻지 못해 많은 시간이 걸린다. 계측 시간이 긴 단점을 지닌 점광원 방식에서 이 점들을 선단위로 정보를 연결해서 주사하면 한 번의 영상획득으로 동시에 한 장의 영상에서 한 줄의 정보를 얻을 수 있는 매력이 생기게 된다. 선단위의 정보라면 Slit의 형태를 지녔고 이 Slit광의 방식은 한 번의 투영으로 광 Sheet가 물체를 절단하는 것과 같은 절단 영상을 얻을 수 있다. 그리고 이 Slit을 이동시키면 측정 대상물의 전체 3차원 영상정보를 얻게 된다. 이 Slit광의 투영 구성 방식은 그림 3에 나타나 있다.

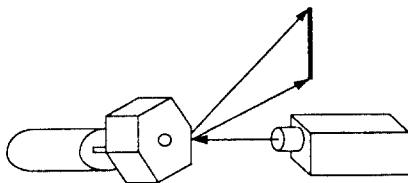
그림 3에서 보듯이 광원 구성은 Cylindrical Lens에 의한 선광원의 생성방식, Polygon Mirror에 의한 일정한 주기로 발생하는 방식, Slit Mask를 통과한 후 광학 결상계를 지닌 Slit의 생성, Line LED에 의한 방식이 있다.

이중에서 가장 널리 사용되는 방식이 Cylindrical Lens를 사용하는 것이며 구체적인 구성 상태를 보면 카메라와 Slit광원의 위치는 카메라 Lens의 주 초점을 통과하는 수평선과 같은 높이의 평행한 직선상에 Slit 광원의 중심을 설치하고, Slit의 긴 방향이 이 직선에 직교하는 형태로 주사를 하게 된다. 차례로 취득되는 Slit광의 영상은 영상 입력마다 Slit의 위치를 검출하고 Slit의 번호와 정보를 기억한 후 최종적으로 3차원 영상을 구성한다. Slit광 주사 방법은 신뢰성이 높은 방법으로 현장에서 이용하기 쉬운 방법인데 계측 정도를 높이기 위해서는 밀도가 높은 Slit 영상을 얻어야 하기에 계측시간이 길어진다. 따라서 시간을 단축시키기 위해서 Slit영상취득의 처리 부분을 H/W로 구성하여 해결한다. H/W의 구현으로 1 Frame Rate로 영상을 처리할 수가 있으면 480 line의 정보를 얻는데 약 16 ~ 18초이면 얻을 수 있

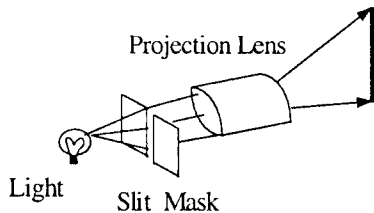
으며 계측의 정도는 카메라와 측정대상체와의 거리와 깊이 정보의 범위에 따라서 결정되며 영상처리의 양자화에 따른 오차가 발생된다. 이 양자화의 오차를 줄이기 위해서 Slit의 휘도분포를 Curve Fitting하거나 가중치 평균법을 이용하여 SubPixel의 개념으로 처리하면 정도를 줄일 수 있고, 깊이 해상도도 역시 높일 수가 있게 된다.



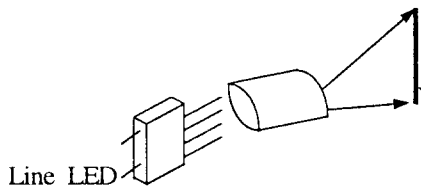
(a) Cylindrical Lens를 이용한 구성



(b) Polygon Mirror를 이용한 구성



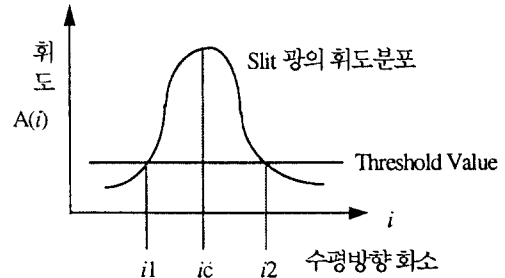
(c) Slit Mask를 이용한 구성



(d) Line LED를 이용한 구성

그림 3. Slit 광 투영의 구성방식

Slit의 휘도분포를 보면 그림 4와 같이 Gaussian 분포이며 경우에 따라 대상면의 접속면 등에서는 분포가 한 쪽으로 편향된 모습을 나타내는데 대개 그림 4와 같아서 이 Slit의 중심 위치를 검출하면 바로 3차원 정보로 변환 시킬 수가 있다. 중심 위치를 찾는 가중치 평균법을 이용한 중심점은 아래의 식으로 표현되고 있다.



$$i_c = \frac{\sum_{i=i_1}^{i_2} A(i) \cdot i}{\sum_{i=i_1}^{i_2} A(i)}$$

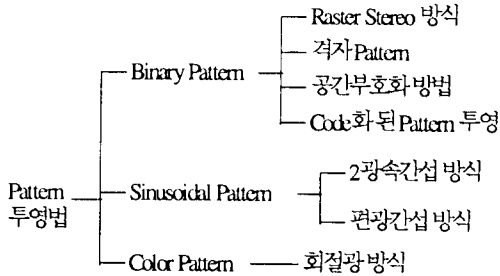
그림 4. Slit 광의 휘도분포

한 개의 Slit 마다에 영상을 처리해야 하는 비효율적인 방법에서 한 번의 영상취득으로 다중 Slit의 정보를 얻을 수가 있으면 더욱 효과적일 것이다. 그러나 다수의 Slit광을 투영한 영상으로 정보를 얻으려 하면 대상에 제약이 가해진다. 왜냐하면 삼각측량의 원리를 적용하기 위해서는 투광부의 주사 위치와 영상취득부의 획득 위치를 알아야 하고 이 두개의 위치가 일치되어야 하는데 복잡하거나 불연속 절단이 많은 대상에서는 Correspondence의 문제가 발생하게 되고 해결의 어려움을 가져온다. 즉 각각의 Slit의 주사된 투광부의 위치를 쉽게 결정할 수 있는 대상 예를 들면 국소적인 면의 경사, 완만한 곡선의 표면 등의 간단한 부분만이 가능해진다.

3) Pattern 광의 주사방식

3차원 계측방법의 능동적인 방법의 가장 전형적인 방식이 Pattern광의 투영법이다. 이것은 대상물체에 특성의 기준 Pattern을 투영하여 물체표면의 3차원 형상의 변화상태를 투영방향에 따라 각각 다른 영상을 얻어 해석 처리 할 수 있다. 이 방식은 측정대상 물체의 전면에 걸친 영상정보를 순간적으로 얻을 수

가 있어 빠른 계측시간을 가진다. 이 방법의 여러 가지 실현되고 있는 방식들을 아래와 같이 분류할 수 있다. 여기서는 공간코드화 방식과 Color Pattern 방식, 코드화된 Pattern 투영 방식에 대해 논하기로 한다.



(가) 공간 코드화 방식

Pattern 투영법에서 실용성이 높고 더구나 고속 계측이 뛰어난 시계열 공간코드화법을 먼저 논한다. Pattern광을 투영하는 가장 단순한 방법은 마스크를 slide projector의 film면에 삽입하여 투영하는 것이다. 이때 pattern을 바꾸는 방법으로 rotary changer 등으로 film을 교체하는 기계적인 방법과 액정소자나 PLZT와 같은 전기광학효과를 지닌 재료를 이용한 전자적 device를 이용하여 pattern의 그림을 바꾸는 방법이 있다. 공간 코드화 Pattern 투영 시스템의 특징과 기능 및 성능은 아래와 같다. (1) pattern광의 투영 회수가 slit광 투영법에 비하여 작다. N개의 slit광에 대응하는 분해능은 $\log_2 2n$ 회 of pattern 광투영으로 얻어진다. 말하자면, 128개의 slit영상과 같은 분해능을 7개의 pattern광 투영으로 실현된다. (2) 2차원 정방 행렬의 거리 화상이 얻어진다. slit투영법에서는 slit위치와 여기에 대응하는 slit address data가 얻어지기 때문에 2차원 배열의 화상의 형은 아니다. 그러나 code pattern 시스템에서는 통상 농담화상과 같은 2차원 배열의 화상이 얻어진다. (3) 불가시 영역을 제거하여, 전체에 걸친 화소가 3차원 위치 정보를 가진다. 카메라에서 보이는 면의 화소는 pattern 광이 미치지 않는 영역을 빼고 모든 3차원 정보를 가진다. 또한 이 성질에서 광이 도달하지 않은 그림자의 부분도 공간 부호화에서 용이하게 확인할 수 있다. (4) 대상물체표면의 연속성을 공간 코드화 화상에서 용이하게 확인할 수 있다. 연속된 물체 표면에는 연속하는 공간 코드가 할

당되어지기 때문에 공간 코드화 화상의 화소치의 연속성을 조사하여 물체면의 연속성을 검사할 수 있다. 또 이것에 의해 jump edge 등 물체의 윤곽을 추출할 수 있다. (5) 공간 코드화 화상의 2치화의 오류를 최소화 할 수 있다. 투영된 그레이 코드 패턴은 인접 코드간에서 hamming distance가 항상 1이 되도록 하는 성질을 가지고 있기 때문에 위치 변화, noise에 의한 coding error는 +/- 1 로 억제된다. 6) 보통조명 아래서 texture가 있는 물체의 형상 계측이 가능하다. 액정 서터에 의하여 posi 와 nega의 상보적인 pattern을 투영하여 이 2개의 화상의 차에 의하여 2치화를 행하기 때문에 주변의 조명광과 물체표면의 texture의 영향을 받기 어렵다. (7) 거리화상과 같은 각도에서 농담화상이 얻어진다. 하나의 조명아래서 영상획득함으로써 같은 화소에 대응하여 찍힌 농담화상이 얻어진다. 이것은 texture를 지닌 3차원 물체의 화상처리에 유효하다. 계측원리를 살펴보면 순 2진 코드로 명암이 이루어진 pattern을 투영하는 시계열 공간코드화법의 원리는 그림 5에 나타난다. 이 그림은 계측 시스템을 황에서 본 것으로 카메라의 위쪽에 투영용 projector가 배치되어 있다.

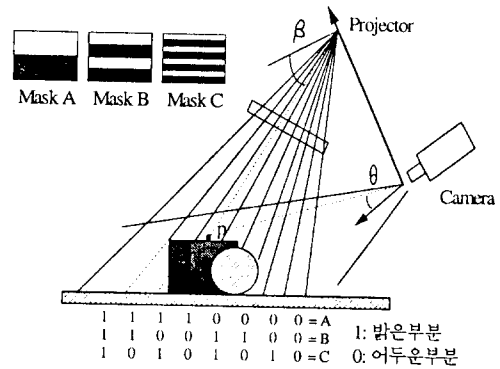


그림 5. 공간코드화 방식

projector는 그림 5에서 표시한 것처럼 2진 코드화 패턴광을 순번으로 투영하고 이 때 pattern의 stripe의 방향은 수평 방향으로 이루어져 있다. 실제로 투영하는 pattern은 graycode라고 부르는 특수한 code이지만 여기서는 원리의 설명을 위하여 통상 2진코드를 사용하고 있다. pattern 광으로 비추어진 대상은 projector의 아래에 있는 입력 카메라에서 농담화상을 통하여 입력된다. 입력 화상을 2치화하여,

해당되는 영역에는 투영 pattern의 순번에 해당하는 bit위치에 "1"의 부호를 주고, 해당하지 않은 부분은 "0"을 준다. 최종적으로 각 영역에 n bit 길이의 2진 수가 얻어지면, 이것을 공간 코드라고 부른다. 따라서 이 공간 코드를 화소치로 하는 영상을 공간코드화상이라고 부른다.

그림중에 P점의 공간code를 구하여 보자. 3장의 광pattern을 이용하기 때문에 공간 코드는 3bit길이 가 된다. 설명을 위해 최초로 3bit 길이의 미정의 공간코드 " * * *"를 설정한다. 우선 MSB pattern으로서 mask A를 투영할 때 p점은 투영광이 도달하는 공간에 존재하고 입력화상에는 밝은 영역에 속하기 때문에 MSB의 위치는 "1"이 주어지고, 공간코드는 "1 * *"이 된다. mask B를 투영할 때는 p점에 광이 도달하지 않기 때문에 "0"이 공간 코드로 주어지면 "10 * *"이 얻어진다. 최종으로 LSB pattern이 되는 mask C를 투영하면 A와 같이 p점에 광이 도달하기 때문에 LSB의 위치에 "1"이 또한 주어지면 최종의 공간 코드는 "101"이 된다. 이 p점의 공간 코드는 10진수로 표시하여 5가 되지만 여기서는 p점이 8분할된 공간 내에서 5번째 영역에 존재하고 있는 것을 보여 주고 있다. 즉 slit광 투영의 경우를 생각하면 p점에는 가상적으로 5번째의 slit광이 투영 되어지는 것과 같다. slit광의 투영 방향이 5번째라고 하는 것에 따르면 slit광의 투광 각도 β 구하여진다. 화상 중의 p점의 위치에서 결정하는 β 와 합쳐져 p점의 3차원 위치가 계산된다.

여기서 3장의 마스크로 측정하는 공간은 8개의 공간으로 나누어진다. 투영하는 pattern광의 수를 증가하면 공간의 폭은 1/2, 1/4로 점점 가늘게 되고 가는 선분으로 보여지는 것이 가능하게 된다. n bit의 2진수로 부호화된 n 장의 마스크를 이용하면 측정 공간은 2n개의 영역으로 세분하는 것이 가능하다. 따라서 2n회의 slit광 투영을 n회의 pattern광으로 해결을 할 수가 있어 계측의 고속화가 가능하다.

계측 처리의 기본순서의 흐름을 보면 (1) gray code pattern광을 측정 공간에 투영한다. (2) 대상을 카메라에 입력하여, 입력 화상의 명암을 2치화 한다. (3) 2치화된 화상을 투영pattern의 순서로 다시 화상 memory의 bit plane에 저장한다. 이상의 순서를 n장의 광pattern에 대하여 반복한 후 화상 메모리에 n bit의 gray code로 표현된 공간코드화상을 얻는다. (4) 이 공간 코드를 gray code에서 2진 코

드로 변환한다. (5) 공간 코드화상에서 3차원 좌표를 계산하여 거리화상을 얻는다.

(나) Color Pattern 투영법

Color Pattern광 투영법은 Color 신호를 조합하는 것으로 공간코드화 하는 것이 가능하다. RGB 요소를 matrix형상으로 배분하여, 이 배분 Pattern에서 공간코드를 얻는 방법과 Slit을 여러 개의 SubPattern으로 분할하여 각 SubPattern을 RGB와 백색의 4가지 색의 조합으로 코드화 하는 방법이 시험되고 있지만 색 정보를 직접 코드화로 결합하는 경우는 물체면의 색에 영향을 받으므로 분해능이 높은 3차원 측정기로는 실현이 곤란하게 된다. 그래서 측정 대상에 무지개 형상의 연속 Spectral광을 주사하여, 이것을 2개의 색 필터를 통하여 관측함으로써 원리적으로는 물체 색에 의한 영향이 없는 Range Finder를 개발할 수가 있다.

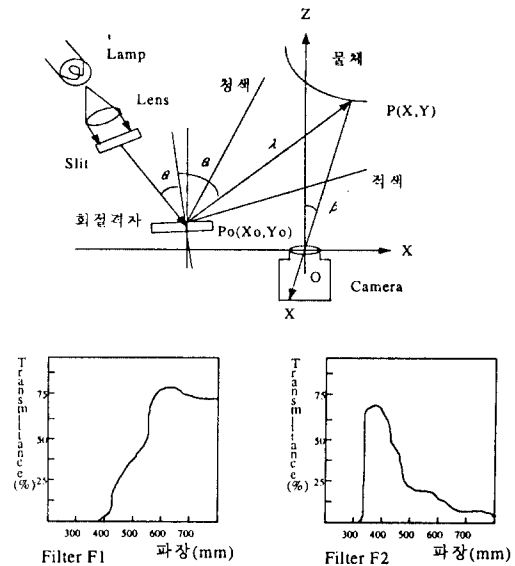


그림 6. Color 투영 방식과 색 필터

그림 6에서 회절격자에 의해 백색광을 분광하여 무지개 형상의 Pattern을 만들어 측정 대상물에 투영한다. 그리고 측정 대상물에서 반사되어 나오는 빛을 그림 (b)의 특성을 갖는 색 필터를 통하여 흑백 카메라로 영상을 취득하게 된다. 이때 F1 필터를 통하여 얻은 영상을 $V1(x,y)$, F2 필터를 통하여 얻은 영상을 $V2(x,y)$ 라 하면 아래와 같은 식이 구해진다. 여기서 R은 파장로서 회절격자에서의 투영광의 방향

θ 1차 함수가 된다. 여기서 미리 기준면을 사용하여 R과 θ 의 관계를 등록하면 V1과 V2에서 간단히 θ 를 구할 수가 있다. V1과 V2를 비교하여 사용하기 때문에 물체가 지니고 있는 색의 영향을 받지 않게 된다. 또한 회절격자의 위치, 각도, 카메라의 분광 특성 등의 여러 가지 변화 요소에 대해서도 고려하여야 한다.

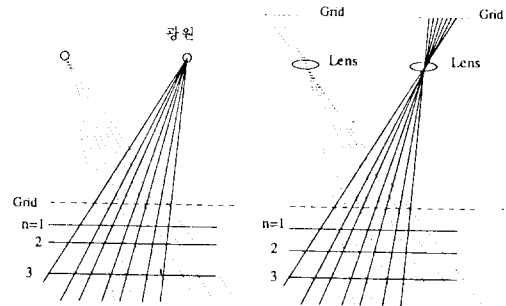
(다) 코드화된 Pattern광의 투영법

다른 방식들은 여러 가지 Pattern을 여러 번 주사하는 방법인데 단 한번의 주사로서 화상 전체에 걸쳐서 3차원 정보를 얻을 수 있는 방법이 코드화된 Pattern의 투영방식이다. 이 방식 중의 하나는 Pattern에 국소적인 특징을 부여하여 공간을 코드화하는 것으로 정방 배열의 Dot Pattern 연결성을 이용하는 방식이 있다. 여기서 국소적인 특징들에서 점광원의 Address를 알 수가 있기 때문에 삼각측량이 가능해진다. PN Sequence라고 불리는 M 계열 코드로써 점열 Pattern을 Pseudo Pattern으로 코드화한다. 또 다른 방법으로 Slit에 국소적인 특징을 부여하는 방법이다. 이 방법은 Slit의 간격에 변화를 주어 특징을 부여하는 방법과 Slit의 폭에 변화를 주는 방법이 있다. Slit 간격의 변화를 이용하는 경우에 대상 물체의 면이 크게 기울어지면 Slit의 간격을 정확하게 검출하는 것이 어려워진다. 그러나 Slit의 간격을 일정하게 하고 Slit의 폭에 변화를 주면 물체의 경사에 의하여 Slit의 폭이 변화하여도 Slit 간격을 기준 잡아 규격화를 함으로써 정확히 Slit의 폭을 구할 수가 있다. 따라서 Slit 폭의 변화 종류에 따라 효율이 정해지는데, 대개 크고, 작은 2진 코드화를 사용한다.

2. Moire 측정기술

Moire 광 간섭 현상은 비슷한 주기를 갖는 두 개의 격자무늬가 중첩되는 경우 생성되는 일종의 공간 주파수의 맥동 현상으로 간섭이 발생하여 두 기존의 무늬에 비해 훨씬 큰 주기를 갖는 2차 무늬가 관측 현상이다. 이 Moire 무늬로부터 두 기존의 격자무늬간의 3차원 상대 위치에 관한 정보를 추출할 수가 있다. 이러한 현상은 자유 곡면의 대상체 측정에 주로 이용된다. 이 방법은 홀로그래프나 위상간섭방법보다 측정 분해능이 낮으나 넓은 범위에 걸쳐 표면의 형상을 재현할 수가 있고 무늬의 변화로부터 진동이나 변형의 크기를 계측할 수가 있어 최근에 많은 연구가 이루어지고 있다. Moire 무늬를 생성하는 방법은 실제 격자

Pattern법, 격자 pattern 투영법의 유형으로 나누어진다. 실제 격자 Pattern법은 비교적 간단한 광학계에서 높은 감도의 Moire Pattern을 얻을 수 있으나 측정물체와 광학장치 사이에 큰 격자 Mask를 설치하는 것이 필요하기 때문에 관측 대상물의 크기가 제한된다. 격자 Pattern 투광형은 격자 Mask를 통과한 빛을 직접 물체에 비추고 또한 격자 Mask를 통하여 카메라로 취득하지만 Projector를 사용하여 물체면에 격자모양의 일정한 Pattern을 투영하는 것도 가능하다. 이것은 Lens계를 사용하여 소형의 격자를 확대하여 투영하기 때문에 물체 앞에 격자를 설치할 필요가 없다. 따라서 계측의 유연성이 높고 물체의 크기와 위치에 제약이 적고 적용범위가 넓다. 그림 7에 두가지 유형의 계측방법이 나와 있다. 그림을 살펴 보면 등고선 형성의 원리를 알아보면 그림 (a)에서 점광원에서 출발한 광선이 격자의 밝은 부분을 통과한 실선과 관측부에서 격자의 밝은 부분을 볼 수 있는 경로인 파선이 교차하는 것을 볼 수가 있다. 이 교점을 연속한 면에서 등고선으로 볼 수가 있게 되는 것이다. 광원에 의해 만들어진 물체위의 격자의 그림자를 격자를 통해서 볼 수가 있게 되며 같은 높이에서 등고선의 형태를 지니게 된다.



(a) 실제격자 Pattern 법 (b) 격자 Pattern 투광법

그림 7. Moire 광계측 방법

Ⅲ. 계측 시스템과 기술 동향

현재 많은 발전을 보이고 있는 3차원 형상 측정 기술은 기계 전기식의 접촉식에서 벗어나 광학과 전자 기술의 복합 시스템의 기술로 발전하고 있다. 초기의

응용 분야인 조립, 검사 등의 생산 자동화의 한정된 분야를 넘어 이제는 산업계 전반에 걸쳐 폭 넓게 응용되고 있다. 예를 들면 인간 생활공학에서 신체의 Data Base, 문화재의 측정 및 자료 분석, 유적의 발굴 조사에도 응용되고 있다. 여기서는 산업 자동화 분야에서 응용되고 있는 정밀하고 빠르게 획득할 수 있는 시스템들의 몇 가지를 소개하고 고속 계측 3차원 센서의 기술 동향에 대해 서술하겠다.

1. 계측 시스템

자동차 관련 산업에도 품질의 안정화와 공정의 자동화에 3차원 정보가 요구되고 있다. 일본의 Toyota에서 만든 3차원 시각 센서는 Slit광 투영법을 원리로 하고 있다. 따라서 한 번의 Slit투영으로 500여점의 정보를 얻을 수 있고 이 한번의 영상 획득을 Real Time으로 가능하게 Slit광의 영상에서 중심 위치 검출부분은 H/W로 구성되어 있다. 그림 8이 3차원 시각 센서의 구성이다. Slit광원과 Camera가 내장된 Sensor Head와 좌표 연산부가 구성되어 있고, 좌표 연산부의 H/W는 Pipe-Line처리가 된다. 또 대상물의 표면 상태에 따라 영향을 받지 않기 위해서 Slit광의 반사 강도를 측정하여 FeedBack으로 광 강도를 제어 가능하게 이루어져 있다.

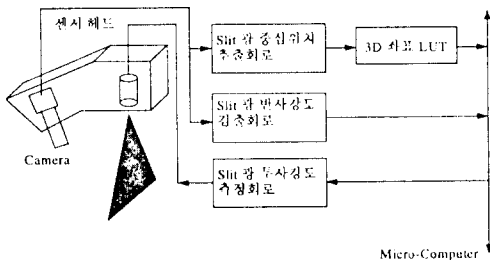


그림 8. 3차원 센서의 구성

2. 고속촬영소자의 기술 동향

어떠한 방식의 3차원 획득 시스템일지라도 주사형인 CCD Camera를 사용하는 것은 계측의 고속화에 결정적인 문제를 가진다. 따라서 고속화를 위해서는 주사형의 촬영소자(주사시간 1/30초)를 사용하는 대신에 비주사형 촬영소자를 사용해야 효과적이다. 비주사형 촬영소자의 연구에 대한 소개를 한다. 가장 연구가 많은 분야가 한 화소에 독립된 센서를 2차원

배열로 배치하여 각각 계산 능력을 지니게 한 시각 센서의 분야이다. 삼각측량법에 기초하는 측정법이지만 센서가 한 화소에 독립적으로 있기 때문에 각 센서의 시선 방향을 고정하여 이 시선과 대상물이 교차하는 점에서 Slit광에 해당하는 방향을 측정할 수가 있다. 이 센서의 화소마다 입사광의 세기를 검출하여 시점에서의 Slit광 투영 각도를 검출하는 기능 및 보존, 전송하는 기능을 지닌다. 센서의 구조로는 Photo Sensor부, Slit광 투영각 검출부 및 산출하여 전송하는 부분을 다층 구조를 한 LSI로 구현하는 방법과 2차원적인 배치를 하는 방법이 있다. 측정 시간은 센서의 응답 특성에 의존하지만 초당 100 ~ 1,000 frame은 가능하다. 또 다른 비주사형 센서의 연구 동향은 행마다 1차원 광위치 검출 센서를 열방향 즉 수직 방향으로 다수 개를 배치한 센서를 사용하는 방식이다. 앞에서 서술한 화소마다 독립된 센서로 구성된 방식과 비교해서 센서의 수가 작기 때문에 개발이 용이하고, 또한 수평 방향의 고분해능이 가능하다는 장점이 있고 측정시간은 비슷하다고 할 수 있다. 그리고 보다 빠르게 계측을 하기 위해서는 센싱과 신호처리부를 고속화 해야 하는데 이 배열형 PSD는 각 센서가 독립되어 있기 때문에 병렬로 처리할 수가 있다. 따라서 센서의 신호처리부와 연산 처리부를 1 대 1로 대응시켜 한 번의 Unit 처리 시간이 PSD의 응답시간이 되면 매초당 1,000개의 화상을 처리 할 수 있게 된다. 후자의 배열형 PSD (Position Sensitive Detector)를 이용한 방식은 일본의 대학과 마쯔시타 기술연구소에서 활발히 연구 중에 있다.

IV. 결론

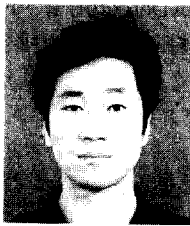
산업의 전반적인 분야에서 널리 활용되는 3차원 계측분야의 여러 가지 기술적인 내용들을 살펴 보았다. 접촉식 계측장치의 한계를 뛰어넘기 위해 비접촉으로 계측하는 여러 가지 방법들이 개발되었고 그 중에서 삼각측량 방식을 기초로 하는 광투영법의 연구가 활발히 진행되고 있음을 볼 수가 있다. 광을 이용하는 방식에서 나타나는 문제점은 수광부에서 나타나는 계측시간이다. 주사형 CCD 카메라의 이용은 주사시간이 지나는 결정적인 약점을 지니 다른 소자로의 대체

가 요구되며 또한 개발되고 있다. 물론 3차원 좌표 산출을 위한 전처리 과정의 H/W 구현도 꼭 필요한 과제이다. 따라서 앞으로 3차원 센서의 연구 진행은 PSD를 이용한 고속의 병렬처리 시스템을 지향하며 나아가야 할 것이다. 그리고 삼각측량의 방식이 지닌 문제점인 불가시 영역의 존재는 다중센서와 다중투광의 장치로서 해결하고 있는데 여러 센서와 투광부의 좌표에 대한 Calibration과정의 연구개발이 시스템의 성능을 좌우하고 있다. 따라서 다양한 Calibration방법과 Tool의 개발에 연구가 이루어져야 한다. 환경의 제약에서 벗어나 고도의 유연성을 지닌 고정밀 3차원 측정기의 개발에 대한 연구가 많은 관심과 성의 속에서 계속 진행되어야 할 것이다.

參 考 文 獻

- [1] Kazunori Higuchi, Osamu Ozeki, "Inspection System for Automotive Body Panel Dimensions using a 3-D Vision Sensor", T.IEE, Japan, Vol 112-C, 1992.
- [2] Kanade. T, Gruss. A, and Carley. L. R, "A very fast VLSI range finder", Proc, 1991, IEEE Intl, Robotics and Automation, April, 1991.
- [3] Seiji Hata, Masako Nishiyama, "Shape Detection of Small Specular Surface using Multiple Images under Color Stripe Lighting", ISMCR, 1993.
- [4] Yukio Sato, Masaki Otsuki, "Three-Dimensional Shape Reconstruction by Active Range Finger", IEEE, 1993.
- [5] 井口征士, 三次元画像計測, 昭晃堂
- [6] 吉澤 徹, 光三次元計測, 新技術コミュニケーションズ
- [7] 금성산전, "시각인식 검사기술개발에 관한 연구", 상공부
- [1] Kazunori Higuchi, Osamu Ozeki, "Inspection System for Automotive Body

筆 者 紹 介



許 秉 會

1964년 5월 27일생

1988년 2월 한양대학교 전자통신공학과 졸업 (학사)

1990년 2월 한양대 대학원 전자통신공학과 졸업 (석사)

1990년 1월 ~ 1994년 2월 금성산전연구소 주임연구원

1994년 3월 ~ 현재 금성산전연구소 선임연구원

주관심 분야 : Image Processing, Machine Vision, Computer Networks

筆者紹介



趙泰勳

1958년 8월 4일생

1981년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업 (학사)

1983년 2월 한국과학기술원 전기및 전자공학과 졸업 (석사)

1991년 5월 Virginia Polytechnic Institute & State University (박사)

1983년 5월 ~ 1986년 6월 국방부, 연구원

1991년 5월 ~ 1992년 1월 VPI & SU, Research Scientist

1992년 3월 ~ 현재 금성산전연구소, 책임연구원

주관심 분야 : Image Processing/Analysis, Machine Vision, Neural Networks