

참조패턴 기반의 2차원 변위 측정 방법론

정광석*, 이상헌⁺, 박성준⁺⁺

(Manuscript received: Jan, 14, 2013 / Revised: Jan, 29, 2013 / Accepted: Jan, 30, 2013)

Measuring Methods for Two-dimensional Position Referring to the Target Pattern

Kwang Suk Jung*, Sang Heon Lee⁺, Sung-Jun Park⁺⁺

Abstract

In this paper, we review two-dimensional measuring methods referring to target patterns. The patterns consist of two linearly-repeated patterns or is designed repeatedly in two-dimension. The repeated properties are reflectivity, refractivity, air-gapping distance, capacitance, magnetic reluctance, electrical resistance and sloping gradient, etc. However, the optical methods are generally used for high speed processing and density, and their encoding principles are treated here. In case of two-dimensional pattern, as there is not inherently error between single units encoding the pattern except for the metrology frame errors, the end-effector position of an object accompanying the pattern can be measured with respect of the global frame without via error. Therefore, it is regarded as a substitute for laser interferometer with severe environmental constraints and has been applied to the high-accurate planar actuator.

Key Words : Binary grid pattern image(이진 격자 패턴 이미지), Halbach magnet array(할바 마그네트 어레이), Half-shaded square pattern(반명암 사각격자), Sawyer motor(쇼어 모터), Superposed pattern(적층 패턴), Surface encoder(서피스 엔코더)

1. 서론

FPD(Flat Pane Display; 평판 디스플레이)용 검사/공정 장비 등에서 평면 스테이지 혹은 평면 구동 시스템이 갖는 의미는 대단히 중요하며 이러한 FPD 등의 대면적화는 위치 측정, 구동 메커니즘의 진일보된 성능을 필수적으로 요구하고 있다. 특히 작업 영역의 확대에 따른 메트랄리지(metrology) 오차 분석과 이의 보정 작업 등은 아직도 선진사에 비해 열악함을 보이는데 이는 이동 개체(moving object)와 공정 tool(툴)들간의 상대

좌표 측정시 발생하는 문제에 대한 대응 능력 부족에 기인한다. 따라서 개체의 평면 이동 위치를 고정단에서 직접 측정할 수 있는 레이저 간섭계 등과 같은 면내(in-plane) 위치 측정법에 관한 연구가 오래전부터 활발히 이뤄져 왔으나 레이저 간섭계의 경우 가격 측면과 위치 측정을 위한 광경로 형성에 있어 적용 대상 시스템의 설계 및 전체 공정 시스템에서의 설계에 있어 많은 제약을 주는 단점이 있다^(1,2).

면내 위치를 측정하는 방법으로 이동 개체에 레이저를 직접 조사하여 광간섭 특성을 이용하거나^(3,4) 삼각 측정법과 같이 반

* 한국교통대학교 기계공학과
+ 안동대학교 기계설계공학과
++ 교신저자, 한국교통대 기계공학과
주소: 380-702 충북 충주시 대학로 50

✉ Corresponding Author E-mail: park@ut.ac.kr

사 위치 변화를 검출하여 상대 거리를 기초로 다축 위치 정보를 얻는 방법 등이 있다⁽⁶⁾. 이와 대별되어 간접 측정법으로서 참조 패턴 기반 측정법이 있는데 이는 이미 존재하는 패턴 또는 격자를 대상으로 영상 처리 기술을 이용하거나^(6,7) 레이저 혹은 LED 등에 대한 패턴의 광 응답 특성(optical property) 변화를 이용하거나^(8,9) 또는 자기저항^(10,11), 정전용량⁽¹²⁾, 전기저항 등 패턴간에 내재되어있는 물성치 변화를 감지하여 위치 변화량 혹은 절대 위치를 측정하는 방법이다. 이러한 패턴 기반 측정 방법은 하드웨어 구현시 다자유도 통합 설계 측면이나 가격 측면 그리고 데이터 디코딩 측면에서 상대적으로 간접계 등에 비해 유리하며 특히 내환경성이 뛰어나고 패턴 재질에 따라 전술한 바와 같이 다양한 토폴로지(topology)와 인코딩 방법 구현이 가능하다. 본 논문에서는 참조 패턴을 기반으로 하는 특히 광학패턴 중심의 국내외 면내 위치 측정 연구 및 그 결과에 대해 리뷰하고 각 요소 기술의 주요 이슈들을 논의한다.

2. 병렬 구조의 선형 패턴 인코딩 방법

위치 측정을 위한 참조 패턴으로 가장 널리 이용되고 있는 사례는 회전 엔코더 슬릿 혹은 리니어 스케일(linear scale)이다. 이러한 패턴에 대한 인코딩 방법은 간단하게는 발광원에 대한 슬릿의 유무에 따른 수광 여부 혹은 반사광과의 회절, 간섭을 이용한 슬릿 카운트 등의 방법이 있으며 디지털 방식의 디코딩으로 인해 주변 환경 변화에 거의 제약을 받지 않는다. 2차원 인코딩을 위한 참조 패턴의 경우 가장 쉽게 고려할 수 있는 형태는 Fig. 1과 같은 1차원 선형 패턴의 다중 배열이다⁽¹³⁾. 각 리니어 패턴을 위한 광학 유닛이 별도로 구비되어있고 이러한 유닛을 연동시키면 각 유닛에서의 선형 변위 정보를 조합하여 2차원 변위로 변환할 수 있다. 본 장에서는 2차원 참조 패턴을 구성하는 가장 간단한 형태인 선형 패턴의 인코딩 방법을 리뷰하고 이에 추가하여 이러한 패턴으로 회전량을 동시에 측정할 수 있는 방법론을 논의한다.

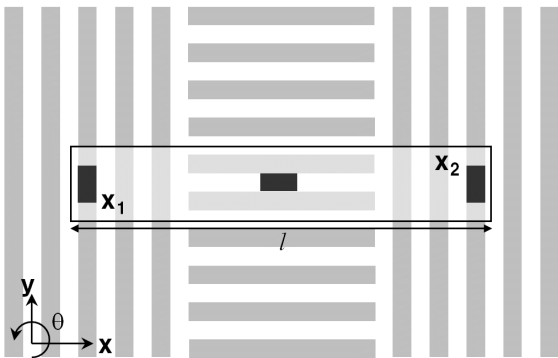


Fig. 1 Simplified two-dimensional pattern composed of multi linear patterns

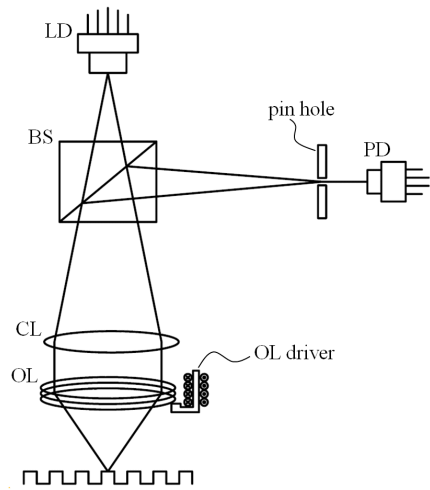


Fig. 2 Measurement of focal depth by varying position of object lens for laser beam to pass the pin hole

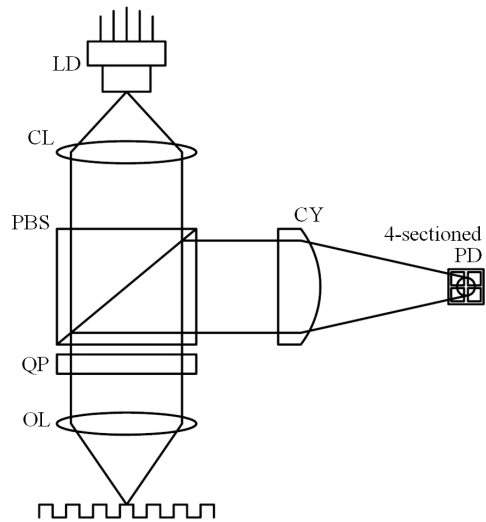


Fig. 3 Optical layout for evaluating a focal length using astigmatism

2.1 0차 오더 단면 구조의 선형 패턴 식별 방법론

반복 형상 구현이 가장 용이한 구조인 0차 오더를 갖는 선형 패턴의 골의 바닥이 Fig. 2에서와 같이 닫혀있는 경우 재질 변화가 없다면 가장 원시적인 인코딩 방법인 광원에 대한 수광 유무에 따른 판별이 불가하고 특히 다중 패턴을 동시에 인코딩 하는 것이 아닌 개별 패턴의 유무를 판별하는 경우 반사된 빔의 광특성이 입사광과 다르지 않기 때문에 광 검출기 쪽의 특정 요소가 어떤 식으로든 가변되어야 한다. Fig. 2는 패턴의 산과 골에 따른 빔 스폿의 초점 결상 유무를 기준으로 대물렌즈(OL; Object Lens)의 초점 심도 방향으로의 위치를 가변시켜 골과 산을 판별하는 방법을 나타낸다⁽¹⁴⁾. 레이저 광원(LD; Laser Diode)을 통해 발진된 빔은 빔 분할기(BS; Beam Splitter)를

통과해 콜리메이터(CL; Collimator)를 거치면 평행광이 되고 이후 OL을 통해 패턴에 입사한 후 반사된 빔은 다시 빔 분할기에서 분할되어 일부가 핀홀(pin hole)을 거쳐 포토다이오드(PD; Photodiode)로 입사하는데 이 때 패턴에서 광 초점이 결상되지 않으면 핀홀을 통과하지 못하고 결국 PD에서 신호가 검출되지 않는다. 이를 이용하면 패턴의 유무를 판별하는 것이 가능하며 추가로 패턴의 높낮이에 대응할 수 있도록 OL의 위치를 가변시킬 수 있다.

Fig. 2의 개념을 확장하여 패턴에 반사된 빔의 초점 결상 유무에 따라 발생하는 비점 수차(astigmatism)를 역으로 이용하여 이의 유무를 기준으로 하여 패턴 산과 골의 유무를 판별하는 방법론을 Fig. 3에 나타내었다^(15,16). 이러한 방법은 콤팩트 디스크 구동 메커니즘의 인코딩 원리로 이용되고 있으며 광픽업(optical pick-up) 헤드 구동기에서처럼 OL에 능동 코일을 부착하여 패턴으로부터의 상대 거리를 조절하는 방법으로도 활용되고 있다⁽¹⁶⁾. LD와 CL을 거친 평행광은 극성 빔 분할기

(PBS; Polarized Beam Splitter)와 1/4 파장판(QP; Quarter Plate)을 통해 극성이 전환되어 패턴에 입사하고 반사되어 PBS에서 원통형 렌즈(CY; Cylindrical Lens)를 통해 4분할 PD에 수렴하는데 이 때 패턴 산과 골에 따른 초점 심도 변화에 따라 4분할 PD에 맺히는 빔의 형상이 변환된다. 따라서 분할된 PD에 맺히는 광량의 차를 검출하면 현재 광원 위치에서 패턴의 산과 골의 유무를 알 수 있으며 전술한 바와 같이 OL의 위치를 가변시키면 패턴 유무에 관계없이 항상 일정하게 패턴까지의 초점 거리를 유지할 수 있다. 이러한 방법은 패턴까지의 상대 거리를 검출할 수 있는 간단한 측정 방식으로 거리에 따른 PD에의 수광 전압을 보정하면 절대 거리로 변환이 가능하며 이러한 개념을 응용하여 원자 현미경(atomic force microscope) 등에서 조직의 2차원 형상에 추가하여 깊이를 측정할 수 있는 보조 방법으로서의 활용이 연구되고 있다⁽¹⁷⁾.

2.2 회전각(yaw angle) 측정 방법

2차원 선형 패턴 조합을 통해 2차원 선형 변위뿐만 아니라 회전각 역시 측정이 가능하다. Fig. 1의 경우 좌우측 선형 유닛의 측정량을 x_1, x_2 라 하고 유닛 간의 상대 거리를 l 이라 하면 유닛들과 연동하는 개체의 회전량은 다음 식과 같이 근사적으로 계산할 수 있다.

$$\theta \approx \frac{x_2 - x_1}{l} \tag{1}$$

위 식에서 회전각은 선형 변위 증분량에 의해 그 민감도가 제한되고 또한 패턴 폭간의 균일한 상대 거리에도 불구하고 선형 변위와 비례 관계를 갖지는 않는다. 따라서 상용화된 사례에서도 작은 범위에서의 보정 정도의 수준으로 그 활용이 제한되어 있는데 이를 보완할 수 있는 방법으로 Fig. 4와 같은 능동적인 서보 방법이 제안되었다⁽¹⁸⁾.

그림에서 광학 유닛을 구비하는 이동 개체는 회전 구동기가 있고 이 구동기는 회전량을 측정하는 대신 유닛과 패턴간의 회전 정렬(alignment)을 보상하는 목적으로 이용되는데 따라서 정렬 보상은 정확하게 회전량을 나타내며 이의 최소 분해능은 단위 패턴에 의해 연산되는 회전각과 일치하고 항상 이의 비례치가 얻어지는 장점이 있다.

Fig. 5는 Fig. 4의 듀얼 선형 패턴을 세 개의 광학 유닛으로 검출하여 2차원 변위를 얻는 일반적인 광학 구조를 나타내는데 우선, LD를 통해 발진된 빔은 격자(GR; Grating)를 거쳐 듀얼 빔으로 분할된다. 이때 격자 슬롯의 간격은 패턴의 음양을 판별할 수 있도록 패턴 주기의 1/4 혹은 3/4에 비례하는 거리로 형성되어 빔간에 90도 혹은 270도의 위상차가 발생되도록 한다. 빔은 전반사 거울(MR; Mirror)과 33%, 50% 빔 분할기를 통해

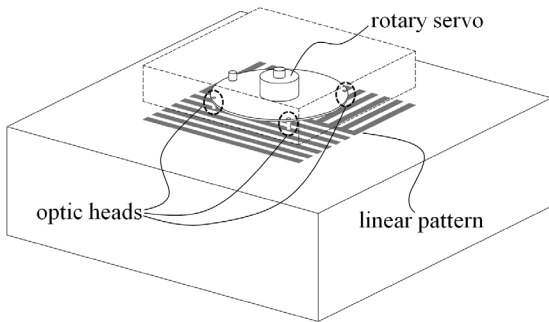


Fig. 4 Planar encoding system with rotary servo for compensating the alignment error of optical units

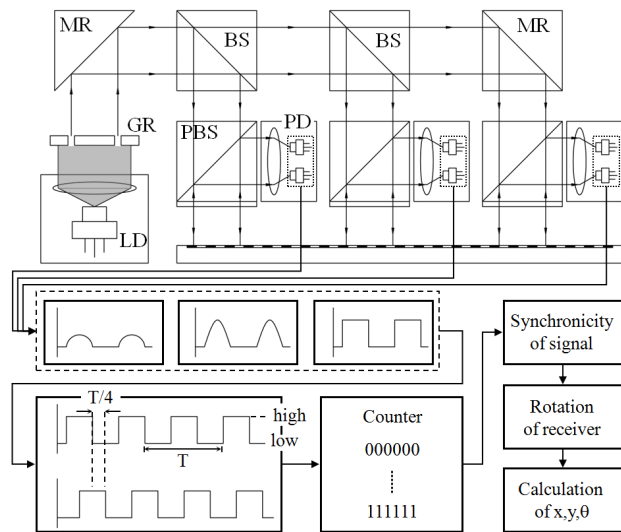


Fig. 5 Optical layout and schematic diagram of digital encoding with respect to parallel linear patterns

1/3씩 분할되고 PBS를 거쳐 패턴에 입사한 후 반사되어 PD로 최종 입사하여 패턴의 유무를 판단하는데 이때 PD에서의 값은 로직 프로세서에 의해 디지털화되고 이를 카운트하여 패턴 수를 검출한다. 동일한 패턴에 놓인 두 개의 유닛간에 패턴 수 차이가 발생하면 이를 보정하기 위해 회전 서보 구동기가 작동되고 유닛이 패턴에 정렬될 때까지의 보정각은 결국 고정 프레임 기준을 기준으로 한 개체의 회전량이 된다. 따라서 패턴의 오정렬은 결국 카운트 1의 최소 차이에 의해 판별될 수 있으므로 이 값을 0으로 만들기 위해 구동기가 작동되므로 회전량은 이 값의 정수 비례치로 나타난다. 이 방법은 일반적인 2차원 패턴 기반 인코더가 갖는 회전량의 불균일성과 한계를 극복할 수 있는 흥미로운 방법의 하나이다.

3. 액추에이터 플랫폼과의 통합 구현

참조 패턴 혹은 프레임을 별도로 구비하지 않고 액추에이터의 힘 발생 메커니즘을 위한 격자를 동시에 활용하는 흥미로운 연구들이 수행되었다. 약칭 Sawyer motor 혹은 소녀 모터로 불리는 Fig. 6의 시스템은 하부에 강자성 재질의 사각 치(tooth)가 2차원적으로 분포되어있는 플레이트 구조를 갖는데 플레이트 위의 상부 전자석 어레이에 전원을 스위칭해가며 인가하면 상부 전자석과 하부 강자성 치간의 자기 릴럭턴스력(reluctance force)이 생성되어 이동하는 원리이다^(9,10). 하부 사

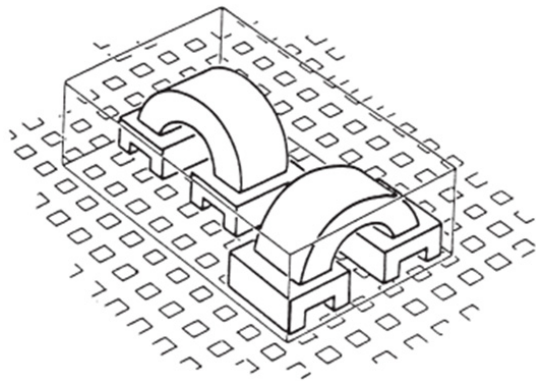


Fig. 6 Structural perspective layout of the sawyer motor

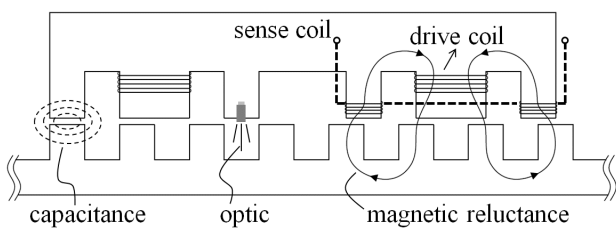


Fig. 7 Utilization of ferro-magnetic platen of the sawyer motor as a sensing reference frame

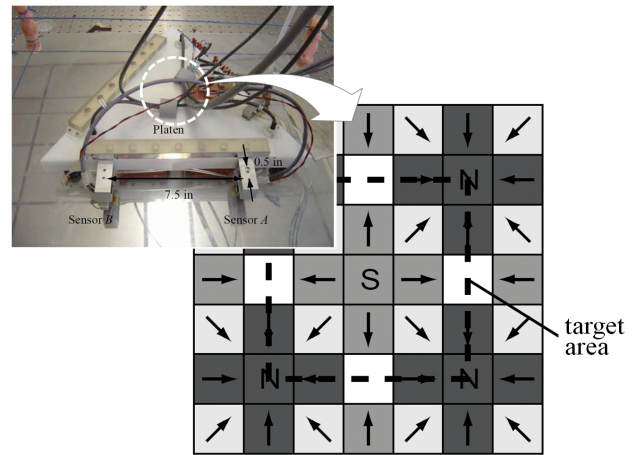


Fig. 8 Halbach magnet array for force generation and hall effect sensing

각 치는 그 자체로 액추에이팅을 위한 기준 프레임이 되는데 하부 치의 길이 방향에 따른 상부 전자석 코어와의 물성치 변화 즉, Fig. 7에서와 같이 정전 용량⁽¹²⁾, 자기 저항⁽¹¹⁾을 검출하거나 혹은 별도의 광원을 통해 치의 유무를 검출하여⁽⁹⁾ 상부 모터의 이동량으로 변환하여 활용한 연구가 수행되었다. 정전 용량이나 자기 저항의 변화는 전자석 구동 코일 전류의 미세 변화를 검출하거나 혹은 별도의 측정 코일을 두고 이의 반응을 검출하는 방법 등이 있는데 후자의 경우 파워 전원과과의 분리를 통해 더욱 민감도 높은 결과를 얻는 것이 가능하다. 광원을 이용하여 하부 치의 상대 이동량을 검출하는 경우 치 자체의 유무에 추가하여 치간 상대거리를 보정(calibration) 작업을 통해 상당한 비율로 체배(multiplier)하여 분해능을 높일 수도 있다. 이러한 플레이트 구조의 액추에이터/센서 통합 구조는 현재 상용화되어 칩마운터 등의 헤드에 응용되고 있으며 치 구조의 미세화와 별도의 이동량 측정 및 궤환을 통해 서브 마이크론 수준의 정밀도를 달성하고 있다.

플레이트 자체를 마그네트 어레이로 구성하고 이를 자기 결합하기 위한 구동 코일과 별도로 홀 효과(Hall-effect) 센서를 추가하여 마그네트 어레이의 전방향(omni-directional) 자기 변화를 검출하여 2차원 변위로 변화하는 방법이 고안되었다⁽¹⁹⁾. Fig. 8에 나타난 마그네트 어레이는 기존 할바(Halbach) 마그네트 어레이의 2차원 확장 형태를 나타내는데 할바 어레이 위에서 리니어 코일은 이동 자기장 방향과 수직 방향으로의 2축력이 생성되는데⁽³⁾ 2차원 어레이에서는 듀얼 코일에 의해 3축력이 발생하고 이의 개념을 동일하게 홀 센서에 응용하여 마그네트 어레이의 임의의 위치에서의 두 개의 홀센서에 의해 특정 방향으로의 감도 조절을 통해 면내 위치를 얻을 수 있었다. 이러한 구조 역시 액추에이터와 센싱을 위한 프레임을 공유하고 있는 대표적인 연구 사례이다.

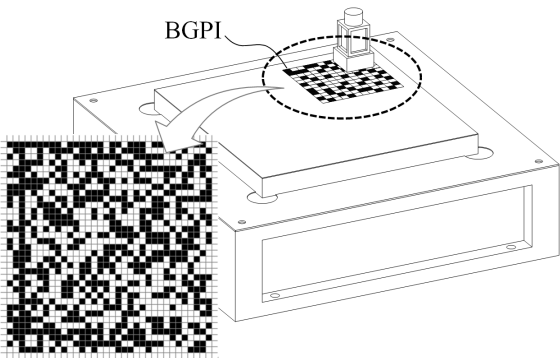


Fig. 9 10bit BGPI for CCD-based in-plane motion measurement of the planar stage

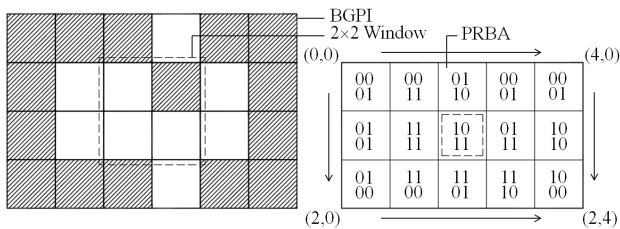


Fig. 10 BGPI composed of four bit PRBA and its matching codes according to 2x2 window

4. 평면형 2차원 참조 패턴 사례

기술적으로 인코딩 방법론이 안정화된 1차원 선형 패턴의 병렬 조합과 별도로 2차원적으로 반복화된 광학 패턴을 대상으로 하는 인코딩 방법이 연구되어왔다. 현재까지의 접근은 영상처리 기반 인코딩 기술과 레이저 기반 인코딩 기술로 크게 대별될 수 있으며 본 장에서는 대표적인 사례를 중심으로 그 특징점을 기술한다.

4.1 Binary grid pattern image

영상처리를 이용한 패턴 인코딩 방식은 주로 이진 격자 패턴 이미지(BGPI; Binary Grid Pattern Image)를 기반으로 하여 절대 엔코더를 타겟으로 회전 변위를 측정하는 방식이 많이 연구되어 왔으며⁽²⁰⁾ Fig. 9에서와 같이 평면 위치 및 tilt 모션 측정을 위한 연구 사례도 발표되었다⁽⁷⁾. BGPI란 임의의 윈도우 영역에서 독립적이고 유일한 디코딩 정보를 함유하는 의사 랜덤 이진 시퀀스 혹은 어레이(PRBA; Pseudo Random Binary Array)로 구성된 패턴을 나타내는데 n-bit PRBA는 (2^n-1) 개의 이진수가 주기적으로 반복되는 시퀀스의 어레이 형태이며 각각의 이진수는 특정한 되먹임 방정식(Feedback equation)과 배타적 논리합 함수(Exclusive OR function)를 이용하여 산출하는데⁽²¹⁾ Fig. 9의 10bit PRBA 예를 대상으로 5x5 윈도우를 선택하면 전술한 바와 같이 각각의 윈도우는 독립된 특성을 갖는다.

Fig. 10은 4bit용 의사 랜덤 이진 어레이(PRBA; Pseudo Random Binary Array)로 구성된 BGPI로 2x2 크기 윈도우로 3x5의 독립된 윈도우를 생성시켜 15가지의 평면 위치 정보를 얻을 수 있다. 영상처리기법을 도입하여 z축 회전 측정의 가능성이 검증되었는데 절대 엔코더 개념이 도입됨에 따라 측정 영역이 넓어지려면 PRBA의 비트 수 증가와 윈도우 사이즈 증가가 필요하고 이는 곧 많은 용량의 영상 데이터를 처리해야 하는 것을 의미하므로 측정 영역과 측정 속도 사이에는 trade-off가 존재함을 알 수 있고 또한 분해능 측면에서도 BGPI 픽셀의 사이즈와 CCD 카메라의 픽셀 사이즈 및 개수와도 관계되어 운용에 있어 측정 한계가 있다⁽⁷⁾.

4.2 Half-shaded square pattern

반사도 변화만을 갖는 균일 단면 형상의 반명암 사각 격자

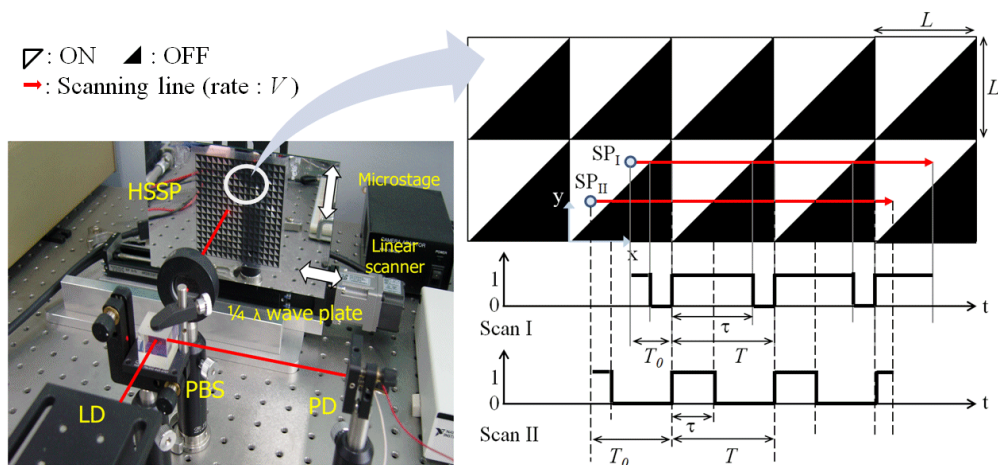


Fig. 11 Timing layout of pulse generation for HSSP

(HSSP; Half-Shaded Square Pattern)를 대상으로 이를 스캐닝 하여 Fig. 11에서와 같이 2차원 변위 정보를 인코딩하는 방식이 제안되었다⁽²²⁾.

HSSP는 한 번의 길이가 L인 정사각형을 대각선을 기준으로 음영에 따라 ON/OFF로 분리한 격자로 연속적인 격자 위로 등속의 스캐닝이 이뤄질 경우 수광부에서의 신호는 주기 T를 갖는 펄스 신호로 생성되는데 이 때 스캐닝 시작점의 x, y 위치 변화에 따라 출력 신호 최초의 상승 에지까지의 시간(T_0)과 듀티 사이클이 변하는 것을 기반으로 평면 위치 정보를 추출한다. 따라서 한 셀 내에서의 위치 정보는 아래 식으로 구해진다.

$$\begin{aligned} x &= L - (T_0 \times V) \\ y &= L \times D \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, V는 스캐닝 속도, D는 듀티 사이클(τ/T)을 의미한다. 스캐닝 시작점이 다음 셀로 넘어갈 때는 일반 엔코더처럼 셀 이동시 발생하는 상승/하강 에지를 카운팅하는 방법을 적용한다. 발표된 HSSP를 참조 패턴으로 하는 평면형 엔코더 방식은 면내 2차원 변위정보와 더불어 면내 360° 회전각을 동시에 측정할 수 있는 것으로 보고되고 있다⁽²³⁾. 이 방법은 패턴과 인코딩 구조가 단순하여 제작성이 용이하고 측정 자유도 확장 측면에서 높은 장점을 지니고 있다. 그러나 원리상 라인 스캔 결과로부터 변위 업데이트 정보를 얻기 때문에 업데이트 시간 한계로 인한 응답성 문제가 예측되고 또한 스폿 크기 한계로 인한 분해능 제한은 검토되어야 할 사항이다.

4.3 2D embossing pattern

설치 및 동작 환경에 대한 상당한 제약을 갖는 레이저 간섭계의 단점을 극복하기 위해 사인파(sine wave) 형태의 2차원 곡면 격자를 기반으로 하는 기술이 일본 동북(Tohoku) 대학 연구팀에 의해 제안되었다⁽²⁴⁾. Fig. 12를 통해 그 원리를 살펴보면 2D angle grid의 프로파일이 위치 결정을 위한 스케일로 사용되는데 실제 기계적인 방법으로 아래의 곡면식을 갖도록 2차원적으로 가공된다.

$$h(X, Y) = -A_X \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_X} X\right) - A_Y \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_Y} Y\right) \quad (3)$$

이 때 λ_X 와 λ_Y 는 각각 사인파의 X, Y축으로의 피치를 나타내고 평면 변위 측정에 있어 단위 마커(marker)로 작용한다. 레이저 다이오드에서 나온 빔은 PBS와 1/4λ 파장판을 연속으로 통과하여 2D angle grid에서 반사되어 다시 1/4λ 파장판을 통과하여 렌즈와 사분할 포토다이오드로 구성되는 자동 콜리메이션 유닛을 통해 angle grid의 기울기 값을 측정한다. 이 값

을 기초로 다음 식 (4)를 이용하여 X축으로의 위치 정보를 구하고 유사한 방법으로 Y축 위치 정보를 구한다.

$$\begin{aligned} m_X(X) &= \frac{\partial h(X, Y)}{\partial X} = \frac{2\pi A_X}{\lambda_X} \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda_X} X\right) \\ m_Y(Y) &= \frac{\partial h(X, Y)}{\partial Y} = \frac{2\pi A_Y}{\lambda_Y} \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda_Y} Y\right) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, $m_X(X)$, $m_Y(Y)$ 는 각각 포토다이오드로부터 읽혀진 값이다. 한편 angle grid의 두 점을 측정하여 z축에 대한 회전 값을 측정하기도 하였으며⁽²⁵⁾, Fig. 13과 같이 압전(PZT) 구동 방식의 빔스캐너에의 적용을 통해 X, Y축에 대한 회전 측정을 추가하여 총 5자유도 운동의 측정이 가능하게 되었다. 연구진은 개발한 센서를 평면형 위치결정기구에 적용하여 그 가능성을 증명하였는데⁽²⁶⁾ 실험을 통해 얻어진 최고 분해능은 동작 모드에 따라 달라지지만 고속 측정 모드(2kHz)에서 병진 운동에 대해 0.2μm 그리고 x, y축 회전에 대해서 0.5"와 z축 회전에 대해 0.5"의 분해능을 보였다.

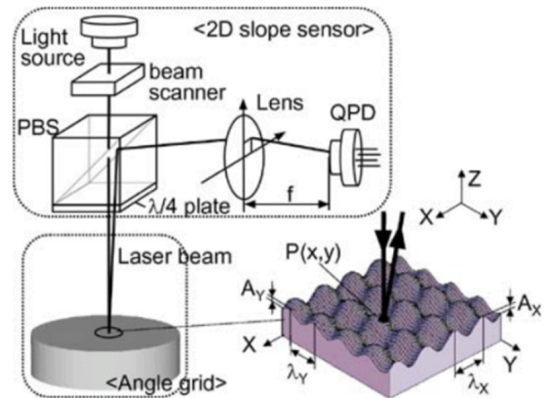


Fig. 12 Basic principle of the surface encoder with 2D embossing pattern

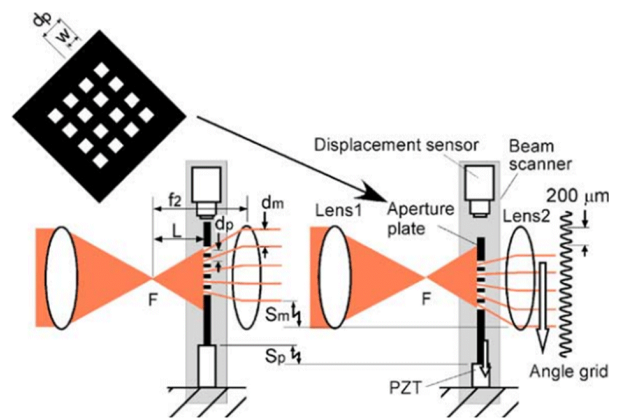


Fig. 13 Expansion of sensing d.o.f using multi encoding units

4.4 Superposed orthogonally linear patterns

단방향 주기성을 갖는 선형 패턴 조합의 경우 측정 영역의 확대는 구성 패턴 각각의 크기 증가를 필수적으로 요하며 본장에 논의되는 2차원 패턴보다 영역 확대에 따른 패턴 크기 증가 비율이 훨씬 크다. 이를 보완할 수 있도록 단방향 선형 패턴을 광원의 수직 방향으로 중첩시켜 2차원 인코딩을 수행하는 흥미로운 결과가 발표되었다⁽²⁷⁾. Fig. 14는 패턴 구성과 인코딩 방법론을 나타내는데 레이저 광원의 굴절률(refractivity) 변화를 야기하는 상부 투명 패턴과 반사율 차를 갖는 하부 패턴으로 구성되어 있다. 특이한 것은 단일 빔으로 상부 패턴과 하부 패턴 모두를 인코딩할 수 있게 디자인되어 있어 유닛 구성이 일반적인 병렬 선형 패턴 조합보다 단순하고 측정 영역의 증가에 따른 패턴 크기의 증가 비율은 2차원 패턴의 경우와 동일하다. 적층 패턴에 대한 구체적인 인코딩 방법은 다음과 같이 요약될 수 있다⁽²⁸⁾.

LD를 통해 발진된 빔이 CL, OL을 거쳐 수렴되어 패턴에 입사하면 상부 패턴에서의 굴절로 빔의 전이가 발생하고 전이된 빔은 CY를 거쳐 2분할 PD로 결상되는데 굴절 유무에 따라 2분할 PD의 양단 수광 전압간 차의 부호가 달라진다. 이때 하부 패턴에서의 반사도 차에 기인하는 빔 강도 변화는 BS에서 90도 전환되어 결상되는 PD에서 검출하여 패턴의 유무를 검출한다. 상부 패턴에 의한 빔의 산란으로 인한 강도 저하는 PD 증폭 유닛에서 보상되는데 상부 패턴과 하부 패턴이 서로 교차되게 구성되어있어 각각의 패턴 주기 방향으로 간섭이 최소화되어 있다. 따라서 상부 패턴으로 특정 축에 대한 이동량 계측을 수행하고 동시에 하부 패턴으로 상기 축의 수직 축 방향에 대한 계측을 수행하여 단일 빔으로 2차원 영역을 동시에 계측할 수 있는 가능성을 보였다.

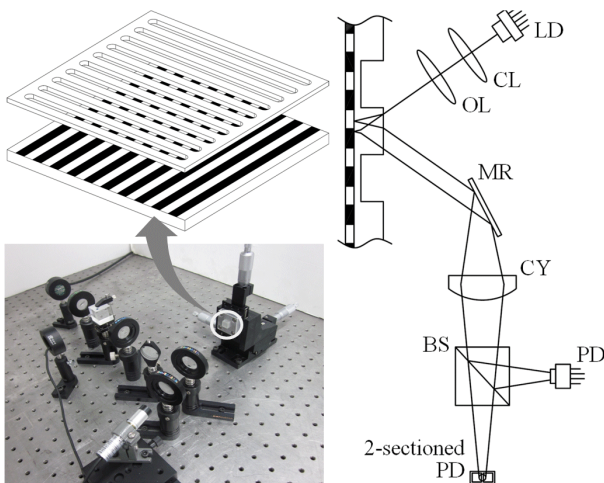


Fig. 14 Optical layout for superposed patterns with a variation of refractivity and reflectivity

5. 결론

참조 패턴을 광학적으로 인코딩하는 방법은 광원으로 패턴 유무를 판별하는 방법과 스캐닝을 통해 패턴을 카운트하는 방법으로 대별될 수 있다. 전자의 경우 포인트 광원으로 패턴의 굴곡을 검출하거나 혹은 선형 광원으로 회절, 간섭을 통해 다중 패턴을 카운트한다. 마찬가지로 영상처리 기술의 경우 areal 광원으로 패턴의 2차원 영역을 직접 검출하는데 따라서 포인트 광원 방식에 비해 측정 오차가 작지만 한번에 대량의 데이터를 디코딩해야하므로 연산부하가 크고 고속 프로세싱이 상대적으로 어렵다. 스캐닝 방식의 경우 스캐닝 유닛이 측정 개체의 속도 보다 훨씬 빨리 구동되어야 하고 또 등속이어야 하는 제약 조건이 있어 기계적인 스캐닝 방식으로는 물리적인 한계를 갖을 것으로 사료된다.

본 논문에서는 2차원 패턴 특히 광학 패턴을 대상으로 이를 인코딩하여 2차원 정보를 얻을 수 있는 선형 연구 사례들을 살펴보고 각 방법론의 주요 특징점을 논의하였다. 마이크로 오토메이션의 성패가 상대 불확도 확보에 달려있음을 상기해 볼 때 디지털 방식의 참조 패턴 기반 면내 위치 측정 방법은 기존 고가 서보 유닛을 대체할 수 있는 대안 기술이며 더욱 심도있게 연구되어야 할 주제이다.

후 기

이 논문은 2011년 정부재원(교육과학기술부 학술연구조성사업비)으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음(2011-0013168).

References

- (1) Gao, W., Dejima, S., Yanai, H., Katakura, K., Kiyono, S., and Tomita, Y., 2004, "A Surface Motor-driven Planar Motion Stage Integrated with an XYθz Surface Encoder for Precision Positioning," *Precision Engineering*, Vol. 28, No. 3, pp. 329~337.
- (2) Lee, J. Y., Kim, M. J., Lee, S. S., and Jeon, E. C., 2004, "A Study on Curvature Radius Measurement using Laser Interferometer," *J. of Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol. 13, No. 6, pp. 34~40.
- (3) Kim, W. J., and Trumper, D. L., 1998, "High-precision Magnetic Levitation Stage for Photolithography," *Precision Engineering*, Vol. 22, No. 2, pp. 66~77.
- (4) Holmes, M., Hocken, R., and Trumper, D. L., 2000, "The Long-range Scanning Stage : A Novel Platform

- for Scanned-probe Microscopy,” *Precision Engineering*, Vol. 24, No. 3, pp. 191~209.
- (5) Jung, K. S., and Baek, Y. S., 2002, “Study on a Novel Contact-Free Planar System using Direct Drive DC Coils and Permanent Magnets,” *IEEE/ASME Trans. on Mechatronics*, Vol. 7, No. 2, pp. 35~43.
- (6) Blakley, J. J., 2000, “Two-dimensional Position Sensing using Absolute-Type Encoder Scheme Employing Pseudo-random Binary Arrays,” *Electronics Letters*, Vol. 36, No. 15, pp. 1277~1278.
- (7) Jung, K. S., Jung, K. H., and Baek, Y. S., 2003, “A Novel Measuring Method of In-plane Position of Contact-free Planar Actuator using Binary Grid Pattern Image,” *J. of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 20, No. 7, pp. 120~127.
- (8) Nicolson, E., Burgett, S., Wallack, A., and Yekutiely, B., 1993, “Optical Position Sensing for Closed-loop Control of Linear Stepper Motors,” *JSME Int. Conf. Advanced Mechatronics*, pp. 322~327.
- (9) Fries, G. A., Rizzi, A. A., and Hollis, R. L., 1999, “Fluorescent Dye Based Optical Position Sensing for Planar Linear Motors,” *IBMIEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, Vol. 2, pp. 1614~1619.
- (10) Ish-Shalom, J., 1994, “Sawyer Sensor for Planar Motion Systems,” *IBM IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, Vol. 3, pp. 2652~2658.
- (11) Brennemann, A. E., Hammer, R., Hollis, R. L., and Ish-Shalom, J., 1992, “Magnetic Sensor for 2-D Linear Stepping Motor,” *IBM Technical Disclosure Bulletin*, pp. 472~477.
- (12) Miller, G. L., 1990, *Capacitively Commutated Brushless DC Servomotors*, US Patent: 4958115.
- (13) Two-dimensional Encoder from Heidenhain, viewed 17 September 2012, <<http://www.heidenhain.com>>.
- (14) KEYENCE Corp. Application Note, viewed 10 December 2011, <http://ikeyence.co.kr/application/appli_204022.asp?no=4022>.
- (15) Hnilicka, B., Besancon-voda, A., Schroder, H. J., and Filardi, G., 2002, “Modeling the Focus Error Characteristic of a DVD Player,” *Proc. of the 2002 Int. Conf. on Control Application*, Vol. 2, pp. 629~630.
- (16) Lee, S. H., and Jung, K. S., 2008, “Precision Displacement Measurement using Astigmatism,” *J. of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 25, No. 7, pp. 87~94.
- (17) Lee, S. H., Kim, H. C., and Jung, K. S., 2011, “Atomic Force Microscopy using Optical Pickup Head to Measure Cantilever Displacement,” *Int. J. of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 12, No. 5, pp. 913~915.
- (18) Lee, S. H., and Jung, K. S., 2007, *Surface Encoder Capable of Measuring Rotational Motion and the Method Thereof*, KR Patent: 10-0760951.
- (19) Kawato, Y. and Kim, W. J., 2005, “A Novel Multi-DOF Precision Positioning Methodology using Two-axis Hall-effect Sensors,” *Proc. of the 2005 American Control Conference*, Vol. 5, pp. 3042~3047.
- (20) Garner, H., Klement, M., and Lee, K. M., 2001, “Design and Analysis of an Absolute Non-contact Orientation Sensor for Wrist Motion Control,” *Proc. of IEEE/ASME Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics*, Vol. 1, pp. 69~74.
- (21) Etzion, T., 1988, “Constructions for Perfect Maps and Pseudorandom Arrays,” *IEEE Trans. on Information Theory*, Vol. 34, No. 5, pp. 1308~1316.
- (22) Lee, S. H., Jung, K. S., Park, E. S., and Shim, K. B., 2008, “Surface Encoder Based on the Half-Shaded Square Patterns(HSSP),” *Int. J. of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 9, No. 3, pp. 82~84.
- (23) Lee, S. H., and Jung, K. S., 2010, “Large Rotation Measurement using Half Shaded Square Patterns,” *Review of Scientific Instruments*, Vol. 81, No. 2, pp. 026101~026103.
- (24) Kiyono, S, Cai, P., and Gao, W., 1999, “An Angle-based Position Detection Method for Precision Machines,” *JSME Int. J.*, Vol. 42, No. 1, pp. 44~48.
- (25) Gao, W., Dejima, S., Shimizu, Y., Kiyono, S., and Yoshikwawa, H., 2003, “Precision Measurement of Two-axis Positions and Tilt Motions using a Surface Encoder,” *Annals of the CIRP*, Vol. 52, pp. 435~438.
- (26) Gao, W., Dejima, S., and Kiyono, S., 2005, “A Dual-mode Surface Encoder for Position Measurement,” *Sensors & Actuators A*, Vol. 117, No. 1, pp. 95~102.
- (27) Park, S. J., and Jung, K. S., 2011, *X, Y Measuring Method Based on Double Layer*, KR Patent: 10-2011-0145381.
- (28) Jung, K. S., and Park, S. J., 2012, “Surface Encoding Method Based on the Superposed Pattern,” *J. of Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol. 21, No. 1, pp. 58~64.