

## 구조화 레이저패턴다이오드를 이용한 Robot End-Effector 추적연구

### Study on Robot End-Effector Tracking using Structured Laser Pattern Diode

조재완, 이남호, 최영수, 이용범, 이종민

한국원자력연구소, 로보트기반기술개발  
(Tel:868-8828; Fax:868-2702; E-mail: jwcho@nanum.kaeri.re.kr)

**Abstracts** In this paper, robot endeffector tracking using sensory information from structured laser pattern diode, is described. In order to track robot endeffector robustly irrespective of translation, scaling and rotation of robot working tool, structured laser pattern is used as track feature. Structured laser patterns of crosshair, concentric circles, dot matrix, and parallel lines are illuminated to robot endeffector. Illuminated laser patterns are held invariantly and coherently irrespective of various motions of robot endeffector. Extracting and tracking these invariant structured laser patterns as track feature, the whole system keeps tracking of the robot endeffector robustly and effectively provided that structured laser pattern is always assumed to aim at robot endeffector.

**Keywords** Robot End-Effector, Tracking, Structured Laser Pattern, Laser Diode

#### 1. 서론

반도체기술의 발달로 고출력의 다양한 패턴을 갖는 소형경량의 반도체레이저의 사용이 용이하게 되었다. 고출력 반도체레이저 다이오드는 고효율, 소형, 견고성, 저소비전력 및 긴수명을 특징으로 하고 있다.[1] 특히, 광대역 전송특성을 갖는 광통신시스템의 수요에 편승하여, 단파장대인 근적외선영역[850nm]에서의 반도체 레이저 다이오드 제조기술의 발달로, 보다 경제적인 가격으로 반도체 레이저다이오드를 활용할 수 있게 되었다.[2], [3]

본 연구에서는 로보트 end-effector의 여러 가지 변형형태, 예를 들면, Translation, Rotation 및 Scaling에 관계없이 로보트 end-effector를 연속적으로 추적하기 위해서, 근적외선영역에서 고출력특성을 갖는 반도체 레이저 다이오드의 구조화레이저패턴을 추적특징점으로 이용하여 로보트 end-effector의 변형에 변하지 않는 추적특징점을 얻고자 하였다.

로보트 end-effector에 조사된 crosshair[-], 동심원(concentric circles)[◎], dot matrix[□], 병렬라인[≡] 등의 구조화 레이저패턴은 로보트 end-effector의 여러가지 운동형태에 독립적이고 일관된 구조화패턴을 유지한다. 이들 구조화패턴 등을 추적특징점으로 추출/추적하면, 로보트 end-effector 모양의 변화에 불변인 특징점을 추출할 수 있으므로 영상처리를 단순화 하고, Translation, Rotation 및 Scaling 등에 강건(robust)한 추적특성을 가질 수 있다. 따라서, 구조화 레이저패턴을 항상 로보트 end-effector에 조사시킬 수만 있으면 구조화패턴을 특징점으로 추출/추적함으로써 로보트 end-effector의 변형에 독립적이고, 강건한 추적시스템을 구축할 수 있을 것

이다. 추적 특징점인 구조화 레이저패턴 추출을 위한 영상처리방법으로 패턴 정합법을 사용하였다.

#### 2. 구조화 레이저패턴 다이오드의 특성

구조화 광(structured light)은 특정한 광패턴을 물체에 임의의 각도로 조사하는 과정(illuminating process)으로 정의된다. [4] 이미지의 측면위치(lateral position) 관측은 심도(depth) 정보결정에 도움을 준다. 선광(line of light)을 빗각으로 관측할 경우, 관측선 왜곡(distortion) 성분은 선의 높이변화로 해석할 수 있으며, 3차원 Machine vision에 있어서 심도인식(depth perception)의 기초를 제공한다. 알고있는 구조화 광(parallel lines)을 물체에 조사하고, 조사된 구조화광 변화를 관측함으로써, 물체의 3차원 형상정보를 알 수 있다.

구조화 레이저패턴다이오드의 가장 중요한 특성으로 Fan Angle(F.A.)이 있다. F.A.는 투사거리(projection distance) D에서의 구조화레이저 패턴 크기 L을 구하기 위한 파라미터로 식 (1)과 같이 주어진다. 이를 그림 1에 나타내었다.



그림 1. 레이저패턴다이오드의 Fan Angle  
Fig 1. Fan Angle of laser pattern diode.

$$F.A. = 2 \tan^{-1} \left( \frac{L}{2D} \right) \quad (1)$$

Fan Angle 을 알고, 투사거리 D 에서의 레이저 패턴크기 L 은 다음과 같이 계산되며, 이를 식 (2) 에 나타내었다.

$$L = 2D \tan \left( \frac{F.A.}{2} \right) \quad (2)$$

본 연구에서 추적하고자하는 로봇 end-effector 의 최대크기는 17x17 cm<sup>2</sup> 이므로, Fan Angle 이 5° 인 레이저패턴다이오드를 사용하였을 때의 working distance (투사거리) D 는 2 M 임을 알 수 있다.

구조화 레이저패턴은 레이저소스인 반도체레이저에서 출력되는 가우시안형태의 레이저빔 세기분포를 비 Gaussian 형태의 균일한 intensity 분포로 변환시켜주는 collimating & focusing 광학계와 collimation 된 레이저빔을 특정한 구조화 패턴으로 출력하는 패턴생성 광학계로 구성되어 있다. 이를 그림 2 에 나타내었으며, 그림 3 에 구조화 레이저패턴 다이오드의 Fan Angle 에 따른 레이저세기분포를 나타내었다.

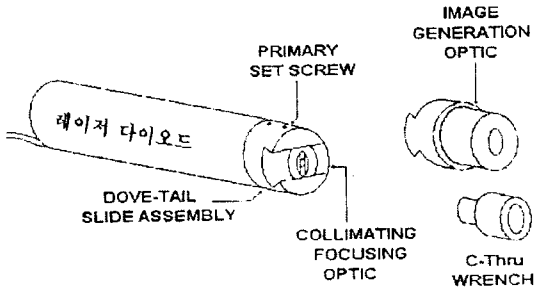


그림 2. 레이저패턴다이오드의 구조  
Fig2. Structure of laser pattern diode

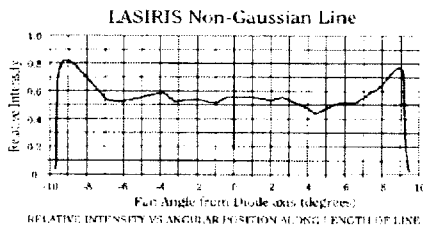


그림 3. F.A 에 따른 레이저세기분포  
Fig3. Lasing intensity profile with F.A.

### 3. 실험 및 결과

추적대상인 로봇 end-effector 에 구조화 레이저패턴을 조사시킨다. 구조화 레이저패턴이 overlay 된 end-effector 영

상으로부터 구조화패턴을 용이하게 검출하기 위해서 CCD 카메라에 일반적으로 사용되고 있는 C 마운트의 TV-CC 렌즈대신에 상용 Nikon 렌즈를 사용하였다. Nikon 렌즈는 TV-CC 렌즈에 비해 근적외선 영역인 IR 영역에서의 광투과율특성이 우수하므로, TV-CC 렌즈를 사용하였을때보다 우수한 S/N 비 특성을 얻을 수 있었다. 그림 4 에 Nikon 카메라 렌즈의 광투과율 특성을 나타내었다.

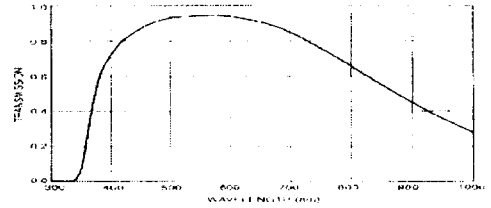


그림 4. Nikon 카메라렌즈의 광투과율 특성  
Fig4. Optical transmission ratio of Nikon lens

그림 5 에 레이저패턴다이오드를 탑재한 카메라 pan-tilt head 를 나타내었다. CCD 카메라와 Nikon 카메라렌즈는 F-C 렌즈 어댑터를 이용하여접속하였다. 본 연구에서는 레이저 패턴을 조사시켰을 경우의 추적대상인 로봇 end-effector 의 영상특성에 대해 제한 하였고, 카메라렌즈의 FOV 측과 레이저패턴 다이오드의 빔축과의 calibration 은 고려하지 않았다.

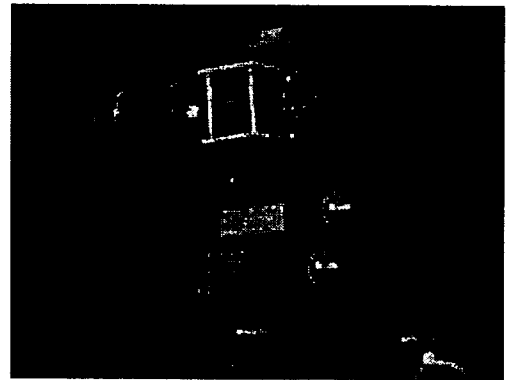


그림 5. 카메라 pan-tilt head  
Fig5. camera pan-tilt head

그림 5 에서 CCD 카메라 위에 탑재된 레이저 다이오드는 parallel line 출력특성을 갖고, 780 nm 파장대에서 50 mW 의 출력을 갖는다. 그림 6 에 parallel lines 패턴을 나타내었다.

그림 6 과 같은 구조화 레이저패턴을 로봇 end-effector 에 조사시킨 경우를 그림 7 에 나타내었다. 그림 7 에서 알 수 있는바와 같이 레이저패턴다이오드의 focusing 기능으로 인해 추적대상인 로봇 end-effector 에만 레이저 패턴이 조사되고 있다. 전체 이미지에서 로봇 end-effector 부분의 S/N 비 특성이 가장 크므로 노이즈 제거 등의 전처리과정을 크게 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

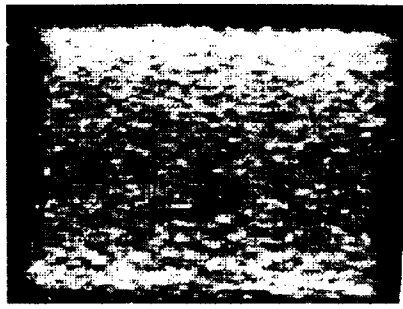


그림 6. 구조화 레이저패턴  
Fig6. Structured parallel lines

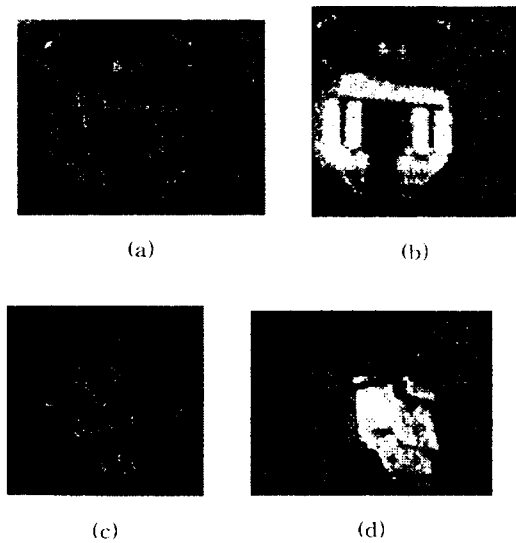


그림 7. 구조화레이저패턴 조사전후의 endeffector 영상  
Fig7. Endeffector image before and after illumination of structured parallel pattern.

추적대상인 로봇 End-Effector 에 구조화 레이저패턴을 조사시키고, 구조화 레이저패턴이 overlay 된 End-Effector 영상을 CCD 카메라로 받아서, 전처리과정을 통해 노이즈를 제거한 후, 구조화패턴을 검출한다. 구조화 패턴검출에는 패턴정합 방법을 사용하였다. [5] 그림 9 에 패턴정합을 이용한 물체추적 순서도를 나타내고 있다. 검출된 패턴으로부터 로봇 End-Effector 위치를 찾아내었으며, 로봇 End-Effector 가 이동한 변위(displacement)를 계산하여, CCD 카메라 서보계를 구동하였다. CCD 카메라 서보계인 PAN/TILT UNIT 는 Directed-Perception 사의 PTU-46-17.5 로, 2 kg 의 payload 를 갖고 있으며, RS-232C 신호로 제어하였다. CCD 카메라는 SONY 의 XC-75CE B/W 를 사용하였다. 레이저다이오드는 LASIRIS SNF 계열의 패턴다이오드로 685, 78, 830 nm 파장대에서 20 ~ 50 mW 출력을 갖고, 5° 의 Fan Angle 을 갖는

반도체 레이저다이오드를 각각 사용하였다.

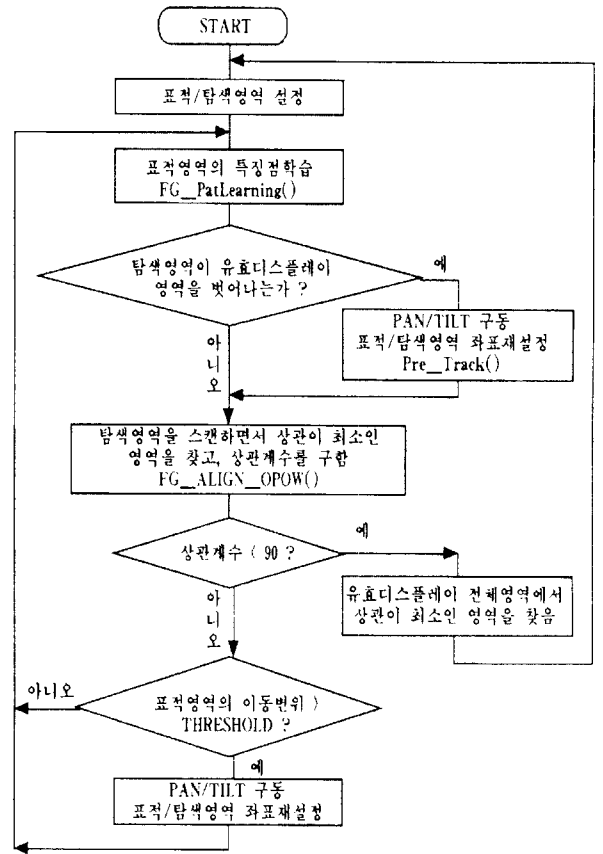


그림 8. 추적시퀀스  
Fig8. Tracking sequence

실험에 사용한 PUMA560 로봇은 World 좌표계와 Tool 좌표계 각각 X,Y,Z 3 축의 자유도를 갖는 6 자유도 로봇이다. Joystick 조작을 통하여 원자력발전소에서 폐기되는 중/저준위 방사성 고화체를 폐기물드럼에 집어넣는 작업을 가정하였다. 조작자가 본 연구소에서 개발한 입체영상시스템으로 작업현장을 입체적으로 관측하면서, 조이스틱을 조작하여 중/저준위 방사성 고화체를 폐기물드럼에 집어넣는다. 즉, 원격지에서 조작자의 작업현황을 감시하고, 로봇 End-Effector 의 움직임을 CCD 카메라로 추적하는 시나리오를 가상하였다.

#### 4. 결론

로봇 End-Effector 의 여러 가지 변형형태, 예를 들면, Translation, Rotation 및 Scaling 에 관계없이, 근적외선 영역에서 고효율 특성을 갖는 레이저 다이오드의 구조화 레이저패턴을 추적특징점으로 이용하였다. 로봇 End-Effector 에 조

사된 Crosshair, 동심원, Dot Matrix, 라인 등의 구조화 레이저패턴은 로봇 End-Effector 의 운동에 관계없이 항상 일정한 패턴을 유지하고 있다. 패턴 정합법을 사용하여, 이들 구조화패턴 등을 특징점으로 추출, 추적함으로써, 로봇 End-Effector 모양의 변형에 독립적이고, 강건한 추적특성을 가질 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] R.L. Byer, "Science", vol. 239, pp742-752, 1988
- [2] R. J. Lang, "Semiconductor Lasers", Photonics Spectra, Feb, pp90-94, 1996
- [3] G.P. Agrawal and N.K. Dutta, "Long-Wavelength Semiconductor Lasers", Van Nostrand Reinhold Press, 1989
- [4] "Laser Diode Structured Light Products", LASIRIS Technical Data, 1995
- [5] 조재완, "열영상카메라를 이용한 수동형 열표적추적장치에 대한 연구", '95 하계 전자공학회 학술대회 논문집, vol.18, No.1, pp989-992, 1995