

# 팬틸트와 PSD 센서를 이용한 수중 로봇의 위치추적 시스템 구현

## Design of Position Tracing System for Underwater Vehicle Robots using Pan/Tilt and PSD Sensor

김 명 환\*, 이 승 민\*, 이 흥 호\*, 이 남 호\*\*, 김 승 호\*\*

(Myung Hwan Kim, Seung Min Lee, Heung Ho Lee, Nam Ho Lee, Seung Ho Kim)

\* 충남대학교 전기공학과

\*\* 한국 원자력 연구소

**Abstract** : This paper presents a study of position tracing system for Underwater Vehicle Robots(UVR) that is inspecting an atomic furnace. This system development is the basic research for the purpose of position estimation of UVR and preventing that UVR crash into the wall of an atomic furnace. For this purpose, Pan/Tilt Unit that is attached Laser is pointing PSD(Position Sensitive Detector) Sensor which is stuck to the upper side of UVR. Through this action, we can find the position of UVR. In this paper, we construct the system for aiming the laser pointer at PSD Sensor using pan/tilt and study the optimum algorithm for finding the optional position that is located at the space which is pointable area by Laser device.

**Keywords** : Pan/Tilt, PSD, Laser, Underwater Vehicle,

### 1. 서론

원자로 내부를 부유해서 다니며 이상 유무를 검사하는 로봇이 원자로 벽면과 충돌하지 않고 임무를 완수하기 위해선 로봇의 정확한 위치를 파악함과 동시에 계산된 위치에 위치시키는 일이 중요하다.

본 논문에선 수중로봇의 위치 파악 및 위치 제어를 위한 시스템 구현을 위해 팬틸트(Pan/Tilt) 기능을 가지는 레이저 위치 지시기와 제반 시스템을 구현하였다. 레이저를 장착한 팬틸트는 장치 레이저가 가리키는 지점으로 로봇을 추종제어하기 위해 설계되었으며, 본 논문에선 임의의 공간상에 위치하는 PSD(Position Sensitive Detector)센서를 찾아내어 그 중심부에 레이저 포인터를 수렴시키는 목적으로 사용되었다. 이 실험은 원자로 내부에 떠있는 로봇을 인식하고 제어하기 위한 일종의 초기화 과정이라고 할 수 있다.

위와 같은 과정을 수행하기 위해 구체적으로 팬틸트 제어를 위한 하드웨어 시스템을 구축하였고, 원거리에 있는 PSD센서에서 좌표값을 읽어오기 위해 블루투스 통신을 이용하였다. 마지막으로, 레이저 포인터를 중심축으로 하는 반구형 공간상에 존재하는 PSD 센서를 찾아내기 위해서 팬틸트 장치를 어떻게 구동할 것인가에 대한 알고리즘을 연구하였다.

### II. 하드웨어 시스템 구성

팬틸트 구동, PSD센서 데이터 취득 및 통신을 위한

하드웨어 구성은 그림1의 전체 시스템 블럭도를 보면 알 수 있다.

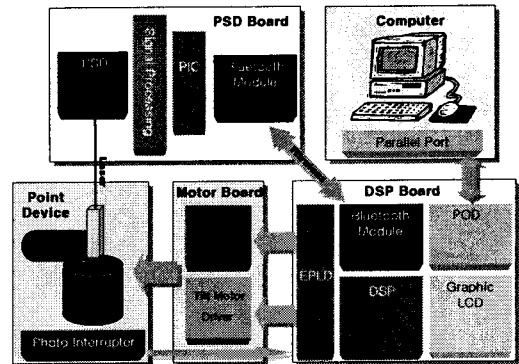


그림 1. 전체 시스템 블럭도

#### 2.1 팬틸트

로봇의 위치 정확도는 레이저가 가리키는 지점의 정확도에 달려있기 때문에 레이저의 위치 정확도는 매우 중요하다. 팬틸트 구동을 위한 모터는 0.72°의 분해능을 가지는 5상 스텝모터를 사용하였다. 하지만, 0.72°의 분해능은 1.2cm×1.2cm의 광 센싱 영역을 가지는 PSD 센서에 레이저 포인터를 위치시키기에 정확도가 떨어진다. 따라서 정확도 개선을 위해 두 가지 방법을 병행하였다. 첫 번째는 마이크로 스텝 기능을 가지는 모터 드라이버를 사용하였다. 한 스텝각을 최대 80분주

할 수 있기 때문에, 이를 이용할 경우 컨트롤러에서 한 펄스를 보내면 0.009°의 스텝각으로 모터가 회전하게 된다. 두 번째 방법은 10:1의 기어비를 가지는 하모닉 기어를 사용한 것이다. 다른 여타의 기어와 달리 백래쉬가 비교적 적은 장점을 가지고 있으며, 스텝모터의 토크를 개선하는 효과도 있었다. 이 두가지 방법을 병행하여 최대로 낼 수 있는 분해각은 0.0009°가 되며 한 펄스로 레이저가 이동하였을 경우 1cm가 되는 지점을 계산해 보면 약 636m가 된다. 마이크로 스텝 컨트롤러는 분해능을 1~80사이에서 조절 가능하고, DSP에서 두 가지 분해능중 하나를 선택 가능하므로 필요시 적절한 분해능을 선택해 사용할 수 있다.

설계된 팬틸트 장치는 스텝모터를 사용한 개루프 제어하기 때문에 하드웨어를 간략히 만들 수 있는 장점이 있지만, 엔코더가 없기 때문에 갑작스런 부하변동에 의해 스텝각이 어긋나거나 기어의 백래쉬 및 비틀림이 발생할 경우 적절히 대처할 방법이 없는 단점이 있다. 이를 개선하기 위해 포토 인터럽터(Photo interrupter)를 사용하였다. 그림2는 팬틸트 내부에 위치한 포토 인터럽터의 위치를 보여주고 있다. 센서 출력이 TTL레벨이기 때문에 부가적인 회로 없이 EPLD에 인터페이스 할 수 있었다.

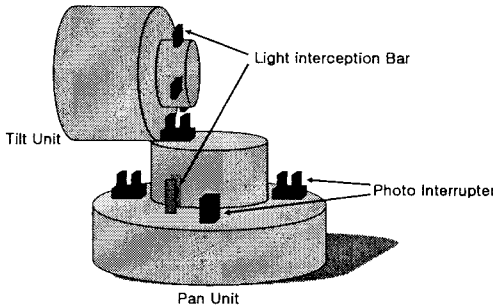


그림 2. 포토 인터럽터의 위치

## 2.2 DSP 보드

스텝모터 구동, 블루투스 통신 및 시스템 구동의 전반적인 상황을 보여주는 그래픽 LCD의 동작 등을 위해 TI사의 TMS320-C32를 사용하였다. 일반 마이크로 컨트롤러에 비해 고속의 데이터 처리가 가능하고 컴퓨터에서 컴파일한 파일을 자체 내장한 부트로더를 사용해 손쉽게 다운로드 받을 수 있는 장점들을 가지고 있다. 어드레스 디코더, 외부 I/O인터페이스 등을 위해 EPLD를 사용하여 보드를 간단히 꾸밀 수 있었다.

그림3은 DSP보드와 마이크로 스텝 모터 컨트롤러(좌측 하단) 그리고 실험에 사용된 그래픽 LCD(우측 하단)의 실제 모습이다. 우측 상단에 안테나와 연결된 모듈은 블루투스 모듈이다. 블루투스 모듈은 DSP와 RS-232통신을 하며 9600bps의 전송속도를 가지고 있다. PSD가 레이저 광선을 검출하기 전까지는 통신의

필요성이 적기 때문에 INTO핀을 이용한 인터럽트 방식을 사용하고 있다.

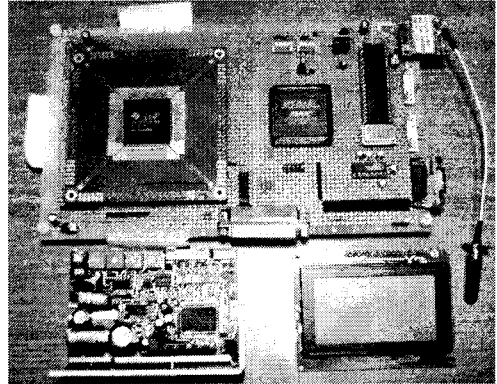


그림 3. DSP보드, 모터 컨트롤러 및 GLCD

DSP보드는 마이크로 컨트롤러 모드를 사용하였으며, 메모리맵 주소는 표1과 같다.

Device	Address Range
SRAM	0x100000 ~ 0x120000
Motor Controller	0x810000
Photo Interrupter	0x818000
Graphic LCD	0x820000
Bluetooth	0x828000 ~ 0x828007
Flash Memory	0x900000 ~ 0x920000

표 1. DSP보드 메모리 맵

## 2.3 PSD 보드

입사하는 빛의 위치를 검출하기 위해 사용되는 다양한 방법들 중 CCD센서를 이용할 경우 이산적인 작은 센서들의 조각을 배열하여 빛을 검출하기 때문에 불연속적인 데이터가 얻어진다. 이에 반해 PSD센서는 단일 소자로 구성되어있어 포토 다이오드의 표면 저항에 의해 만들어지는 연속적인 위치 데이터를 얻을 수 있다.

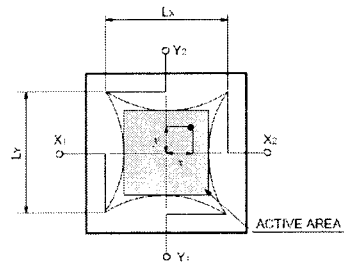


그림 4. Pin-cushion형 PSD

실험에 사용된 PSD는 그림4에 보이는 것과 같은

Pin-cushion형의 s1880(Hamamatsu)으로 위치 검출 여러 등을 개선한 형태이다. 각 포트로부터 출력된 전류를 이용해 좌표를 계산하는 수식은 다음과 같다.

$$\frac{(I_{x2} + I_{y1}) - (I_{x1} + I_{y2})}{I_{x1} + I_{x2} + I_{y1} + I_{y2}} = \frac{2x}{L_x}$$

$$\frac{(I_{x2} + I_{y2}) - (I_{x1} + I_{y1})}{I_{x1} + I_{x2} + I_{y1} + I_{y2}} = \frac{2y}{L_y} \quad (1)$$

센서에서 출력된 전류는 신호처리 보드를 통과하면서 x와 y의 좌표값에 대응되는 전압으로 변환되고, 이는 PIC의 A/D단자를 통해 입력되어 블루투스를 통해 DSP보드에 전달된다. 그림5는 구현된 PSD 센서 보드 사진이다.

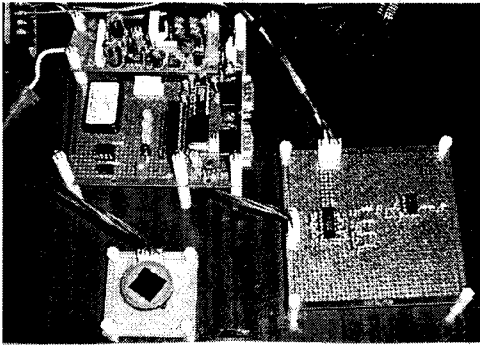


그림 5. PSD 센서보드

### III. 소프트웨어 동작 순서

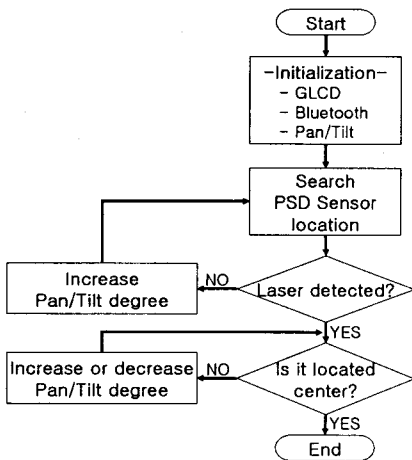


그림 6. 동작 순서도

DSP보드의 동작순서는 그림6과 같다. 먼저 그래픽

LCD에 초기화면을 출력한 다음에 블루투스 통신 초기화를 한다. 통신 초기화시 PSD센서부의 블루투스 모듈을 찾아 시리얼 통신이 가능한 상태를 만들어 놓는다. 팬틸트 초기화는 검색의 시작점을 찾는 것을 말한다. 이 때 포토 인터럽트를 사용하여 초기점을 찾게 된다. 초기화가 끝나면 팬 또는 틸트 각도를 증가시키며 검색을 시작하게 되고, 만약 레이저 포인터가 PSD센서 활성 영역안에 들어오게 되면 그 위치 데이터가 DSP에 전달되게 된다. 블루투스를 통해 들어온 데이터는 DSP에 인터럽트를 발생하게 되며 공간 검색 동작을 멈추게 한다. DSP보드는 좌표값을 읽은 후 팬틸트를 작동시켜 레이저 포인터를 센서 중심부로 이동시킨다.

### IV. 공간 검색 알고리즘

앞서 언급했듯이 PSD센서는 한 면이 1.2cm인 정방형 활성 영역을 가지고 있다. 따라서 레이저 포인터를 움직일 때 검색 구간 사이로 1cm의 여유를 가지고 검색하는 것이 바람직하다. 문제는 우리가 검출하고자 하는 PSD 센서가 레이저를 장착한 팬틸트로부터 얼마나 떨어져 있는지 모른다는 것이다. 최대로 검색할 수 있는 공간을 정해놓고 그 영역에 대해 1cm의 여유를 갖고 검색하면 범위 안에 있는 모든 센서에 대해 검색을 할 수 있지만, 불필요한 동작을 수행할 가능성이 크다.

본 논문에선 그림7과 같은 검색 알고리즘을 연구했다. 최대 검색 영역을 정해놓고 그 영역을 한번 검색하기 보다는 팬틸트와 일정한 거리비를 가진 영역을 정해놓고 각각의 영역을 순차적으로 검색하는 것이다. 그림 7은 실험에 사용된 영역의 예를 든 것으로 1m, 2m, 4m, ... 2<sup>n</sup>m 순서로 검색을 하게된다.

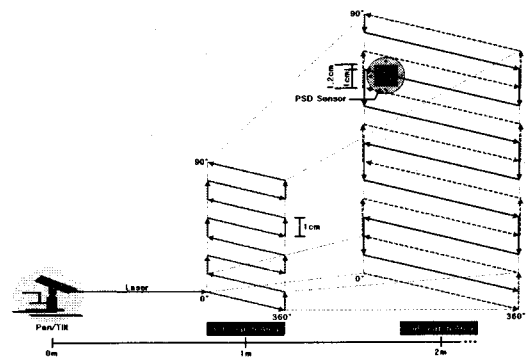


그림 7. 입체적으로 본 검색 알고리즘

검색 영역의 거리를 위와 같이 정한 이유는 다음과 같다. 1m지점에서 호의 길이가 0.01m가 되는 각을 찾으면,  $\theta \approx 0.57297^\circ$ 가 된다. 이 각도에서 거리가 2m가 되면 호의 길이는 0.02m가 되고 4m가 되면 0.04m가

된다. 2m지점에서 호의 길이를 0.02m의 간격으로 끊는다면, 이 지점은 1m지점을 검색할 때 이미 지나온 영역이기 때문에 검색할 필요가 없다. 따라서 그림7, 8의 실선 영역만 검색하면 된다.

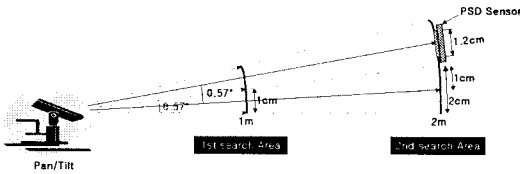


그림 8. 측면에서 본 검색 알고리즘

하지만, 이와 같은 알고리즘은 PSD센서가 팬틸트에 장착된 레이저 광선과 법선의 위치에 있다는 것을 가정한 전제하에 이루어진 것이다. PSD센서가 반구형 호에 대해 비틀어져 존재하게 되면, 검색효율은 떨어지게 된다.

#### V. 실험 결과

그림9는 실제로 임의의 공간상에 존재하는 PSD 센서를 검색하는 실험 수행 동작을 찍은 것이다. 하드웨어의 동작이나 알고리즘은 제대로 동작하였으나, 팬틸트를 스텝모터로 사용함으로써 검색시간이 많이 걸리는 단점을 갖고 있었다. 구동 펄스 주파수를 상승시키면 스텝모터의 특성상 모터 토크가 감속하게 되고, 특히 팬 방향이 바뀌는 부분에서 관성에 의해 위치 오차가 많이 발생하였다. 관성에 대한 부분은 팬 방향이 바뀌는 위치에 가까워지면 구동 펄스 주파수를 감소시키는 알고리즘을 적용해야 될 것으로 생각된다. 검색시간은 레이저 앞에 조리개를 설치하여 빛을 발산시켜 검색한 후 PSD 센서를 찾은 후 빛을 다시 수렴시키는 장치 등을 설치하면 개선될 것으로 판단된다.

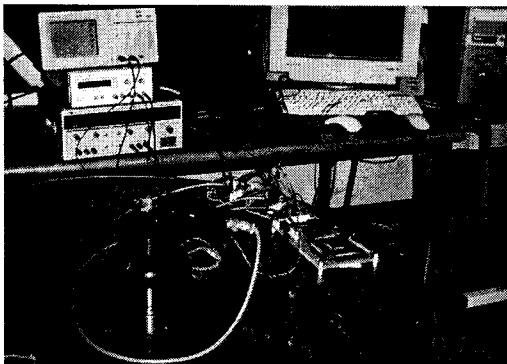


그림 9. 실험 수행

#### VI. 결론

본 논문은 원자로 내부 검사용 로봇이 벽면과 충돌하지 않고 임무를 완수할 수 있도록 로봇의 위치를 파악하고 추적하기 위한 시스템 개발의 기초 연구로 수행되었다. 실제적으로 하드웨어를 설계 및 구축해보고 검색 알고리즘을 연구하여 실험을 수행해 본 것에 본 논문의 의의가 있다. 실험결과 속도에 따른 모터의 토크 문제와 검색 속도가 느리다는 문제가 발생하였다. 이런 점들은 향후 연구를 통해 개선되어야 할 점으로 생각되며, 검색 알고리즘은 관련 자료 검색과 분석이 계속적으로 이루어져야 할 것이다.

#### 참고문헌

- [1] 이은옥, 김도우, "DSP(TMS320C32)의 이해와 활용", KAIST MRDEC 강의자료, 2003
- [2] 윤덕용, "TMS320C31 마스터", Ohm사, 1999
- [3] 김재희, 엄홍섭, "원자로 자동탐상 시스템 개발", 한국원자력연구소, 2002
- [4] Craig Davies, "Optical Range Finder Based on Position Sensitive Detector", Queensland University, 2001
- [5] Tatsuro Yano, Takeshi Tsujimura, Masahiko Mikawa, Hiroyuki Suda, "Vehicle Distinction Using Laser Radar System", IEEE Transactions on Intelligent transportation systems, 2001.
- [6] Hamamatsu Photonics, "Two-dimensional PSD S1200, S1300, S1880, S1881, S2044", Jan. 2003
- [7] Hamamatsu Photonics, "Position Sensitive Detector Selection guide", Jul, 2003