

이동로봇 원격제어를 위한 HMD의 방향각 측정 알고리즘에 관한 연구

윤승준, 노영식, 강희준, 서영수
울산대학교 전기전자정보시스템 공학부

A study on rotation angle Estimation of HMD for controlling the mobile robot tele-operation

Seung-Jun Yoon, Young-Shick Ro, Hui-Jun Kang, Young-Su Seo
School of Electric-Electronic Information System Engineering University of Ulsan

Abstract - 본 논문은 네트워크를 통해서 이동로봇을 원격제어하기 위해 필요한 비전 시스템에서 HMD(Head Mounted Display)의 방향각 측정 알고리즘에 관한 연구이다. 우선 이 이동로봇 원격제어 시스템은 AP와 무선 랜을 이용하여 독립 무선 네트워크를 구축하였고 이동로봇의 주변 환경을 레이저 센서와 스테레오 카메라를 이용하여 사용자에게 정보를 전송한다. 스테레오 카메라를 통해 전송된 영상 정보는 HMD를 통하여 볼 수 있다. 실시간으로 영상 카메라에 의해 측정된 HMD의 회전 각도는 pen-tilt에 전송되어 HMD가 회전한 만큼 pen-tilt도 회전하여 이동로봇의 주변 환경 영상정보를 얻을 수 있는 알고리즘을 제안하였다.

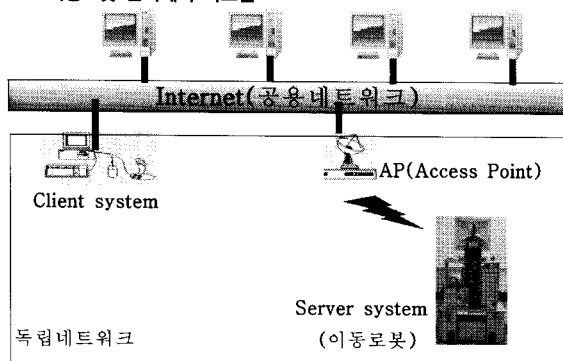
1. 서론

원격제어 이동로봇은 인간이 작업하기에 위험하고 복잡한 환경에서의 작업이나 무인탐사와 같은 일을 하기 위해서 독자적으로 주변 환경을 인식하고 작업을 수행, 완료할 수 있는 기능을 필요로 한다. 이런 기능의 이동로봇을 만들기 위해서는 이동로봇의 지능화 기술에 대한 많은 연구가 필요하다. 원격제어(Tele-operation)란 로봇이나 기계와 같은 시스템을 직접 사람의 손이나 발로 조작하지 않고 어떤 장치를 이용하여 간접적으로 제어하는 것으로 정의된다. 원격제어의 적용분야로는 심해작업, 우주무인탐사, 공장자동화, 원격 설비 유지보수 등이 있다. 현재 컴퓨터와 인터넷기술의 발전과 더불어 원격제어에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 논문은 네트워크를 통한 원격제어 시스템을 제어하기 위한 연구로 독립 네트워크를 구축하고 원격제어 비전 시스템을 구현하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 이동로봇 원격제어 시스템은 서버 시스템과 클라이언트 시스템, 통신 시스템으로 구성되어 있으며, 이 연구에서 서버 시스템(Server system)은 이동로봇을 뜻하며 클라이언트 시스템(Client system)은 원격제어기를 말한다.

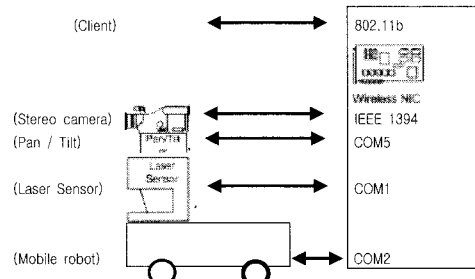
기준에는 이동로봇에 PC카메라를 사용하여 영상을 전송하였는데 이는 주변 환경을 확인하기에는 한계가 있었다. 그리고 pen-tilt의 회전은 조이스틱을 사용하였기 때문에 보고자 하는 위치를 컨트롤하는 점에서 불편하였다. 본 논문에서는 HMD(Head Mounted Display)와 스테레오 카메라, 그리고 pen-tilt를 이용하여 인간이 보는 방향에 따라 스테레오 카메라도 같이 움직이는 시스템 즉, 별도의 조작이 필요 없이 사용자의 시선에 따라 실시간으로 스테레오 카메라의 방향을 제어하여 이동로봇의 주변 환경을 파악할 수 있도록 하기 위해서 HMD의 회전각 측정 알고리즘을 제안하고자 한다. HMD의 회전각의 측정은 PC카메라 하나만을 사용하였으며, PC 카메라에서 실시간으로 영상을 얻어서 영상처리하고, 이 논문에서 제안한 회전각 측정 알고리즘을 적용하여 HMD의 회전각을 획득하였다.

2. 본론

2.1 이동로봇 원격제어 시스템



<그림 1> 원격제어 시스템의 구조

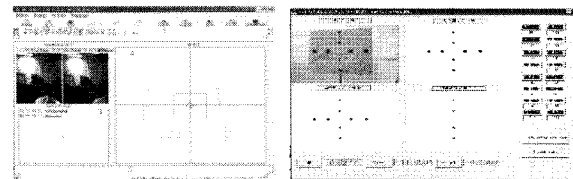


<그림 2> 이동로봇 시스템의 구조

원격제어 시스템의 구조는 <그림1>에서 보듯이 크게 원격제어기, 이동로봇, 통신채널로 구성되어 있다. 여기서 서버는 이동로봇에 장착된 컴퓨터를 의미하고 클라이언트는 사용자와 인터페이스되는 원격제어용 컴퓨터를 의미한다. 그림에서 보듯이 통신 네트워크는 공용 네트워크와 독립 네트워크로 나눌 수 있으며 공용 네트워크는 인터넷을 의미하고 독립 네트워크는 하부구조 네트워크를 의미한다. AP(Access Point)는 무선 랜 프로토콜을 사용하며 하부구조 네트워크를 구축할 수 있는 기능과 공용 네트워크와 하부구조 네트워크를 연결해주는 기능이 있다. 본 연구에서 사용한 원격제어 시스템은 <그림1>에서 보듯이 원격제어기인 클라이언트 시스템은 공용 네트워크를 통하여 이동로봇을 제어할 수 있고 실내 환경에서 AP의 전송거리는 약 100m, 최대 전송 속도는 11[Mbps]이며 무선 랜 카드의 전송거리는 약 70m, 최대 전송 속도는 11[Mbps]이다.

<그림2>에서 보듯이 이동로봇은 레이저 센서, 이동로봇, pen-tilt, 스테레오 카메라, 제어용 PC로 이루어져 있고 위 그림에 있는 프로토콜을 사용하여 통신한다. pen-tilt는 HMD에 8개의 점을 부착하고 PC용 카메라에서 얻은 영상을 처리하여 회전각을 획득하고 PC를 통해서 제어된다.

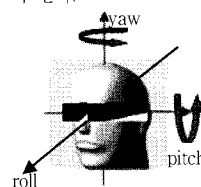
2.2 원격 비전 시스템



<그림 3>원격 제어기 및 HMD 방향각 측정 화면 구성

<그림3>의 왼쪽은 원격 제어기의 화면으로 1번창은 제어 상태를 표시하고, 2번창은 스테레오 카메라에서 받은 영상 정보를 보여주고 있다. 왼쪽 화면이 스테레오 카메라의 오른쪽 영상이고 오른쪽 화면이 스테레오 카메라의 왼쪽영상에 해당된다. 이는 사람이 한쪽 눈을 감고 보는 것과 같이 다른 두 개의 영상을 얻을 수 있다. 이 두 개의 영상을 HMD를 이용하여 양쪽 눈으로 볼 수 있는 것과 같은 결과를 얻을 수 있다. 3번창은 이동로봇의 구동명령을 보여주고 4번창은 이동로봇 주변 환경의 장애물을 보여준다.

<그림3>의 오른쪽은 HMD의 회전각 측정을 위한 화면이다. 본 연구에서는 하나의 PC카메라를 사용해 HMD에 부착된 8개의 점의 좌표를 획득한 후 이 좌표를 이용해서 roll, pitch, yaw각의 측정하는 알고리즘을 제안하고자 한다.

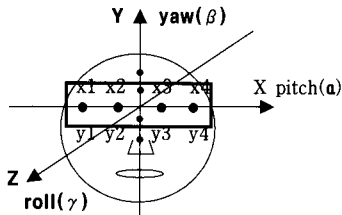


<그림 4>roll, pitch, yaw

기준에는 이동로봇에 부착되어 있는 pen-tilt를 제어하기 위해서 조이스틱을 사용하였다. 사용자가 원하는 방향을 보기 위해서는 조이스틱이라는 제어기를 거쳐서 스테레오 카메라의 방향을 결정하였으므로 이는 사용자가 보고자 하는 방향을 정확히 컨트롤하는데 불편한 점을 제공한다. 본 논문에서는 pc카메라로부터 받은 영상을 처리하여 얻은 회전각을 이용하여 pen-tilt를 제어하게 된다.

2.3 HMD 회전각 측정 알고리즘

2.3.1 Roll 측정



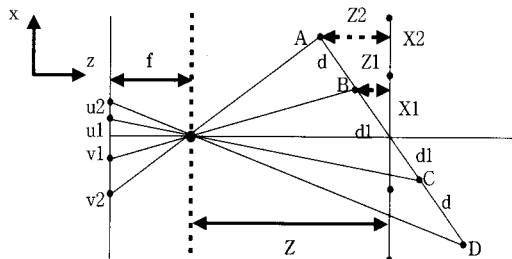
<그림 5> Roll 측정 알고리즘

<그림5>에서 보듯이 roll은 Z-axis의 회전각이다. 이 roll은 영상처리에서 얻어진 x와 y좌표만으로 쉽게 구해질 수 있다.

$$\begin{aligned} roll1 &= atan \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \quad roll2 = atan \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2}, \quad roll3 = atan \frac{y_4 - y_3}{x_4 - x_3} \\ roll4 &= atan \frac{((y_1 + y_2)/2 - (y_2 + y_3)/2)}{((x_1 + x_2)/2 - (x_2 + x_3)/2)} \\ roll5 &= atan \frac{((y_2 + y_3)/2 - (y_3 + y_4)/2)}{((x_2 + x_3)/2 - (x_3 + x_4)/2)} \end{aligned}$$

$$roll(\gamma) = (roll1 + roll2 + roll3 + roll4 + roll5) / 5$$

2.3.2 Yaw 측정



<그림 6> Yaw 측정 알고리즘

<그림6>에서 보듯이 물체의 점과 핀 홀, 영상평면위의 점은 일직선상에 있다. 이와 같은 사영을 중심사영(perspective projection)이라 한다. 이를 이용해서 아래의 식들을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} u_2 &= \frac{fX_2}{Z+Z_2} = \frac{f(d+d_1)\cos\beta}{Z+(d+d_1)\sin\beta}, \quad u_1 = \frac{fX_1}{Z+Z_1} = \frac{fd_1\cos\beta}{Z+d_1\sin\beta} \\ v_1 &= \frac{fX_1}{Z-Z_1} = \frac{fd_1\cos\beta}{Z-d_1\sin\beta}, \quad v_2 = \frac{fX_2}{Z-Z_2} = \frac{f(d+d_1)\cos\beta}{Z-(d+d_1)\sin\beta} \end{aligned}$$

위에서 u_1 을 구하는 식으로부터 아래의 식을 유도할 수 있다.

$$Z = \frac{fX_1}{u_1} - Z_1 = Z_1 \left(\frac{fX_1}{u_1 Z_1} - 1 \right)$$

위 식에서 $\left(\frac{fX_1}{u_1 Z_1} - 1 \right) = S$ 라고 하자. 이 식으로부터 yaw(β)를 구할 수 있다.

$$yaw(\beta) = atan \frac{f}{(S+1)u_1} \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

여기서 f는 카메라의 focal length이고 u_1 은 사영된 점들의 중심으로부터 측정되어진다. u_1 은 다른 두 개의 cross-ratio 불변성을 이용하여 구할 수도 있다.

$$\frac{(u_2 - u_1)v_1}{(u_2 - v_1)u_2} = \frac{(v_1 - v_2)u_1}{(u_1 - v_1)v_2} = \frac{dd_1}{2d_1(d+d_1)} = M$$

$$u_1 = \frac{[\Delta v \Delta u M(u_1 - v_1)] - [M^2(u_2 - v_2)(u_1 - v_1)^2]}{\Delta v(M(u_1 - v_1) - \Delta u)}$$

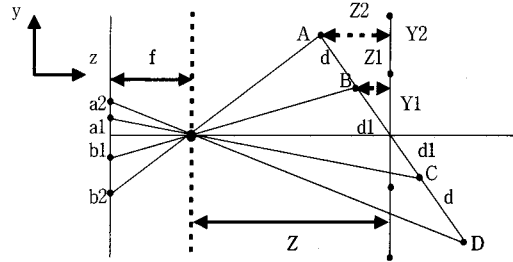
S는 중심사영으로부터 얻은 식을 이용해서 2차 방정식을 이끌어 낼 수 있다.

$$\begin{aligned} K &= \frac{(u_2 - u_1)(v_1 - v_2)}{(u_2 - v_1)(u_1 - v_2)} = \frac{d^2}{(2d_1 + d)^2} \\ P &= \frac{1}{\sqrt{K}} - 1, \quad d_1 = \frac{dP}{2} \end{aligned}$$

$$\frac{\Delta u}{\Delta v} = \frac{u_2 - u_1}{v_1 - v_2} = \frac{(S-1)(S-(1+(2/P)))}{(S+1)(S+(1+(2/P)))}$$

위의 식으로부터 구해진 S와 u_1 으로부터 ①식에 대입하면 yaw를 구할 수 있다.

2.3.3 Pitch 측정



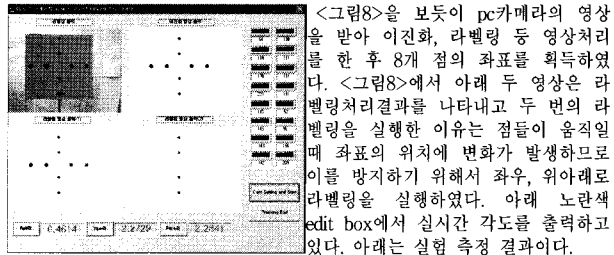
<그림 7> Pitch 측정 알고리즘

<그림7>에서 보듯이 pitch(a)를 측정하는 알고리즘은 yaw(β)를 측정하는 알고리즘과 같다.

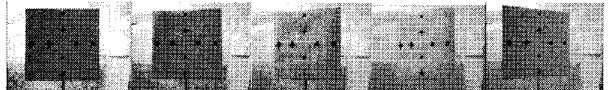
$$\begin{aligned} a_2 &= \frac{fY_2}{Z+Z_2} = \frac{f(d+d_1)\cos\beta}{Z+(d+d_1)\sin\beta}, \quad a_1 = \frac{fY_1}{Z+Z_1} = \frac{fd_1\cos\beta}{Z+d_1\sin\beta} \\ b_1 &= \frac{fY_1}{Z-Z_1} = \frac{fd_1\cos\beta}{Z-d_1\sin\beta}, \quad b_2 = \frac{fY_2}{Z-Z_2} = \frac{f(d+d_1)\cos\beta}{Z-(d+d_1)\sin\beta} \end{aligned}$$

yaw(β)를 측정하는 것과 마찬가지로 중심사영을 이용하여 위의 식을 구하고 pitch(a)의 값을 유도할 수 있다.

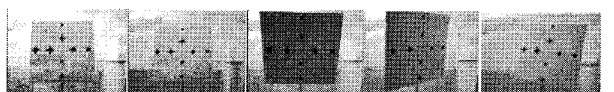
2.4 회전각 측정 실험 결과



<그림 8> 회전각 측정 제어기



roll	0.4614	0.6277	0.1135	0.2485	-0.6247
yaw	2.2729	-11.6531	-19.0863	-30.2075	20.1560
pitch	0.2845	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000



roll	0.4022	0.5435	-0.7545	4.1297	-7.5050
yaw	-2.1000	-2.6501	4.1067	32.3185	-20.4521
pitch	10.4111	19.2269	-21.7818	-14.3681	7.7449

3. 결론

본 논문은 네트워크를 통한 원격제어 비전 시스템을 구축하기 위한 연구로서 HMD를 착용한 사용자의 머리 회전각을 측정하는 알고리즘을 제안하였다. PC 카메라로부터 얻은 회전각을 네트워크를 통해 이동로봇에 장착된 pen-tilt에 전송하여 제어하고자 하는 목적으로 영상으로부터 얻은 8개의 point의 좌표를 이용하여 회전각을 측정하였다. 비교적 회전각의 오차(0~2°)는 작지만 pc카메라로부터 받은 영상을 처리하므로 조명, 물체 등 외란에 영향을 약하다. 향후 과제로는 조명등의 외란에 극복할 수 있는 영상처리 알고리즘이 추가되어야 할 것이다.

[참고 문헌]

- [1] 3차원 비전 저/조강현·유범재 공역
 - [2] Three-Dimensional Computer Vision A Geometric Viewpoint The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England
 - [3] C. Kambhamettu Y. Zhang. Robust 3d head tracking under partial occlusion. Automated Face and Gesture Recognition, 2000.
 - [4] Real-Time Modeling of Face Deformation for 3D Head Pose Estimation Kenji Oka and Yoichi Sato
- <이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 BK21사업과 NARC 지원을 받았음>