

비디오 영상을 이용한 이동로봇의 위치 검출 및 제어

Position Detection and Control of a Mobile Robot using Video Images

*#이재철¹

*# J. C. Lee (jclee2@kaeri.re.kr)¹

¹ 한국원자력연구원 원자력융합기술개발부

Key words : Mobile Robot, Video Images, Position Detection, Control

1. 서론

본 논문에서는 비디오 신호를 이용하여 이동 로봇 자신의 위치를 판별하는 방법과 최종 목적지인 검사 대상 부위로 주행하기 위한 방법을 설명하였다. 먼저 본 로봇이 사용되는 환경을 개략적으로 설명하면 다음과 같다.

1. 원자력 발전소의 내부 구조물을 초음파로 검사하는 로봇이다.
2. 로봇이 주행하는 바닥면은 매우 고르고 장애물이 없다.
3. 검사하고자 하는 대상체는 바닥면과 평행으로 배치되어 있다.
4. 고방사능 지역의 수중 20m에서 원격으로 작업을 수행한다.
5. 초음파 검사를 위한 대상체는 파이프 형의 구조물을 고정시키기 위한 직경 25mm 정도의 핀으로 핀의 머리 부분이 반으로 갈라져 있다.

위와 같은 환경을 모사하기 위하여 목업을 제작하였다. 실제 수중에서 제어알고리즘을 개발하기는 여러 가지 어려운 점이 있어서 개발은 지상에서 하였다. 종래의 검사방법은 바닥면에 추가로 레도를 설치하고 운영자가 로봇을 레도를 따라서 이동시킨 후, 카메라 영상을 보면서 매니플레이터 검사 장치를 검사부위에 정확히 일치시키는 방법을 사용하였다. 최근에 개발된 장치들은 매니플레이터의 처짐이나 로봇 위치의 사소한 오차로 발생하는 요인들을 자체적으로 카메라를 사용하여 보정해 주는 방법들이 활발히 연구되고 개발되고 있다. 본 논문에서는 위에서 언급한 환경의 2,3번과 같이 제한된 대상이기는 하지만 로봇이 근처위치로 이동하는 과정에서 비디오 영상을 사용하여 주행함과 동시에 검사대상체에 대한 로봇 자신의 상대 위치를 계산하도록 하였다.

2. 로봇의 위치 추정 및 방법

로봇의 움직임을 카메라로부터 추정하기 위해서는 연속된 비디오 영상들 간의 차이를 판별할 수 있어야 한다. 일반적으로 움직임 추정 방법은 카메라가 고정되어 있고 대상 물체가 움직이는 경우가 거의 대부분이다. 본 논문은 로봇에 장착된 카메라가 로봇과 동시에 움직이므로 카메라의 움직임을 찾아내는 글로벌 모션 추정에 가깝다[1].

먼저 움직임 추정으로 널리 알려진 옵티칼 플로우 방식을 사용하여 보았다[2][3][4]. A와 B를 연속된 비디오 프레임에서 추출한 그레이 레벨의 영상이라 하면 $A(x)$ 와 $B(x)$ 는 영상의 위치 벡터 $x = [x \ y]^T$ 에서의 영상의 밝기 값을 나타낸다. 처음 영상이 A라고 가정하면 영상 A에서의 위치 $u = [u_x \ u_y]^T$ 가 있을 때 이에 해당되는 B영상의 위치 $v = u + d = [u_x+d_x \ u_y+d_y]^T$ 를 영상 B에서 찾는다. 즉 $A(u) \approx B(v)$ 가 되도록 벡터 d 를 찾게 되면 이 벡터 d 를 옵티칼 플로우라고 한다.

본 논문에서는 오차를 다음과 같이 정의하였다.

$$\varepsilon(d) = e(d_x, d_y)$$

$$= \sum_{x=u_x-w_x}^{u_x+w_x} \sum_{y=u_y-w_y}^{u_y+w_y} (A(x,y) - B(x+d_x, y+d_y))^2$$

여기에서 W_x, W_y 는 로봇의 움직임 속도를 고려한 탐색 범위이다. 최적의 해는 위의 식을 벡터 d 에 대하여 편미분하여 구할 수 있다. 이때 다음과 같은 식이 성립한다.

$$\frac{\partial \varepsilon(d)}{\partial d} = [0 \ 0]$$

위식의 해는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$d_{opt} = G^{-1}b$$

여기에서

$$G = \sum_{x=u_x-w_x}^{u_x+w_x} \sum_{y=u_y-w_y}^{u_y+w_y} \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}$$

$$b = \sum_{x=u_x-w_x}^{u_x+w_x} \sum_{y=u_y-w_y}^{u_y+w_y} \begin{bmatrix} \frac{\partial I_x}{\partial I_x} \\ \frac{\partial I_y}{\partial I_y} \end{bmatrix}$$

이다. 옵티칼 플로우방법은 본 시스템과 같이 거의 균일한 재질의 대상체의 경우에는 거의 움직임을 찾아내지 못하였으며 로봇의 움직임보다 움직임에 따른 조명의 변화에 더욱 민감하였다.

한편, 위에서 언급한 환경조건의 3번과 5번을 고려하여보면 상관 계수를 이용한 정합필터 방식이 매우 적합한 환경이라는 것을 알 수 있다. 3번으로부터 대상체의 크기가 로봇의 위치가 변하여도 거의 변하지 않음을 알 수 있으며, 5번 조건으로부터 로봇의 회전 시에도 모양이 거의 변하지 않음을 알 수 있다. 따라서 정합필터의 강한 노이즈에 견디는 장점 외에 대표적인 약점인 크기 변화와 회전에 취약한 단점이 영향을 미치지 않는다. 그림 2에 본 논문에서 제안한 정합 필터를 이용한 움직임 추정 알고리즘의 블록 다이어그램을 나타내었다. 본 알고리즘을 간략히 설명하면 다음과 같다.

먼저, 환경조건 3번의 상태에서 실제 로봇을 사용하여 취득한 영상을 바탕으로 하여 대상체의 영상에 나타나는 크기를 정한다. 이를 기준으로 하여 같은 화소비율로 컴퓨터로 원 데이터를 만든다,

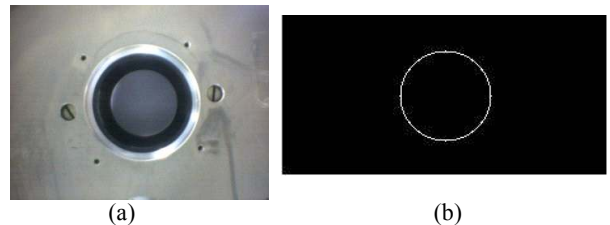


Fig.1 (a) Object image (b) Computer generated image

(a)와 (b)의 그림이 약간 다른 것은 상관 계수 계산을 FFT를 이용하여 하기 때문에 가로와 세로의 화소수를 2의 멱승으로 하기 위하여 임의로 조정하였기 때문이다. 이 데이터를 2차원 푸리에 변환을 하고 공역복소수를 구하여 저장한다. 그림 (a)에서 중앙의 큰 원 옆에 있는 작은 원에 대하여도 같은 절차를 거친 후 저장한다. 로봇이 주행하면서 실제 영상을 보내오면 에지를 찾고 이진 화를 한 다음 푸리에 변환을 한다. 이 데이터를 앞서 구한 큰 원의 공역복소수와 화소별로 곱하여 푸리에 역변환을 한다. 이렇게 하여 얻은 영상을 그림 4에 나타내었다. 그림에서 가장 밝은 점이 정합된 물체의 위치이다. 이 점을 중심으로 하여

미리 정해진 큰 원의 반경 이내의 모든 데이터를 0으로 바꾸어 큰 원의 이미지를 삭제한 후 작은 원의 공액복소수와 동일할 과정을 거치면 작은 원들의 위치가 나타나게 된다. 이와 같이 큰 원을 소거하는 이유는 작은 원보다 큰 원의 화소수가 많기 때문에 큰 원의 일부를 작은 원으로 인식하는 경우가 많기 때문이다.

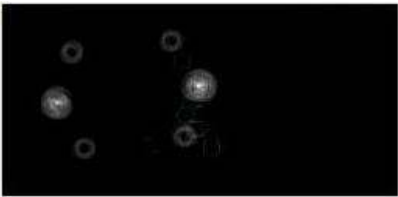
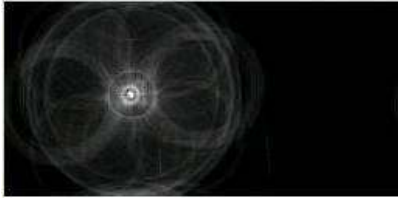


Fig. 2 Outputs of matched filters

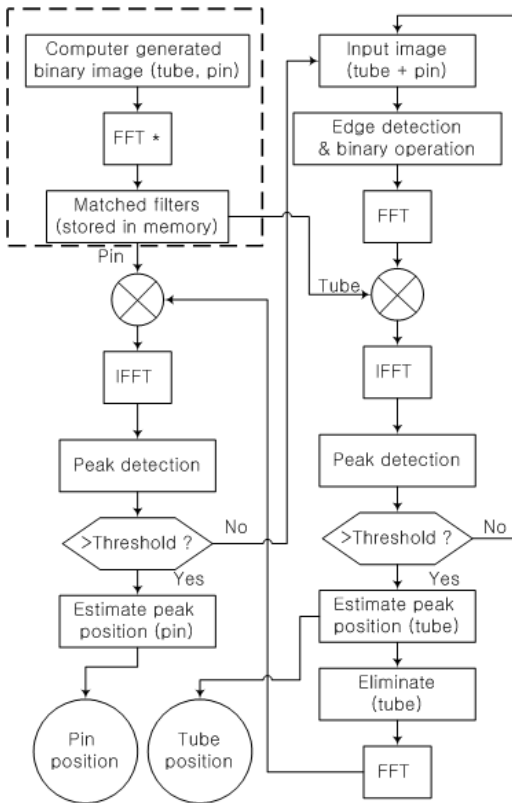


Fig. 3 Block diagram of proposed algorithm

3. 실험 및 결론

본 논문에서는 제한된 환경에서 특수한 목적으로 사용하기 위한 로봇의 비디오 영상에 관한 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘을 사용하여 제작된 목업에서 테스트 하였다.(그림 4.5) 그림 7에서 옵티칼 플로어를 사용한 결과를 나타내었다. 그림 6은 40% 이상이 가려진 상태에서 정합 필터의 결과를 나타내었다. 정합 필터를 사용하기에 최적인 환경이지만 실제 컴퓨터에서 영상을 실시간 처리하는데 한계가 있어서 초당 10프레임 정도가 처리 가능하였다 (펜티엄 2.4Ghz 기준). 멀티코어 프로세서가 일반화되었기 때문에 MPI나 PVM과 같은 병렬 언어로 작성하면

보다 세밀한 제어가 가능하리라 본다.

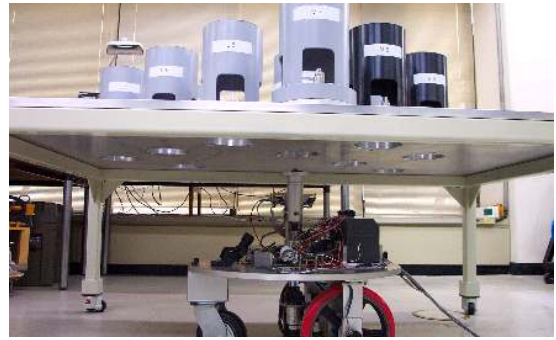


Fig. 4 Experimental setup

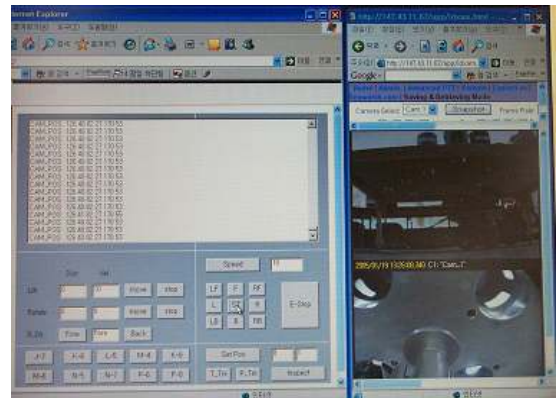


Fig. 5 Display of main control computer

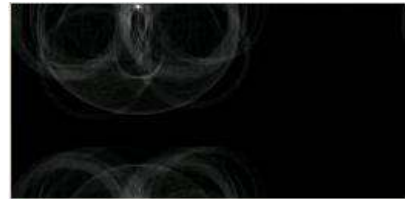


Fig.6 Output of matched filter (45% occluded image)

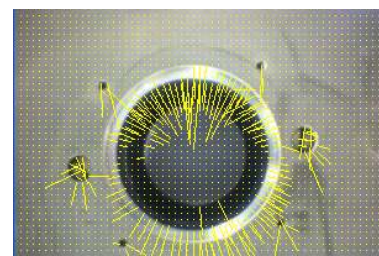


Fig 7. Output of optical flow

참고문헌

1. J. Borenstein, H.R. Everett, and L.Feng Hantz, "Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning, The University of Michigan, 1996.
2. J.Y Bogust, Pyramidal Implementation of the Lukas Kanade Feature Tracker, Intel Corporation Microprocessor Research Lab. Internet.
3. J. Shi and C. Tomasi, "Good Features to Track", Proc. of IEEE Computer Society Conference Computer Vision and Pattern Recognition," 1994.
4. J.C. Lee "A Fast Position Estimation of Control of Guide Tube Inspection Robot with a Single Camera," Proc. of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting, p 643, Oct. 2004