

로봇시스템의 정밀 궤적 추적제어에 관한 연구

A study on Precise Trajectory Tracking control of Robot system

이우송¹, 김원일², 양준석³

Woo-Song Lee¹, Won-Il Kim², Jun-Seok Yang²

Sungsanamdeco co., Ltd.¹, Kyungnam University², Kyungnam University³

〈Abstract〉

This study proposes a new approach to design and control for autonomous mobile robots. In this paper, we describes a fuzzy logic based visual servoing system for an autonomous mobile robot. An existing system always needs to keep a moving object in overall image. This makes difficult to move the autonomous mobile robot spontaneously.

In this paper we first explain an autonomous mobile robot and fuzzy logic system. And then we design a fuzzy logic based visual servoing system. We extract some features of the object from an overall image and then design a fuzzy logic system for controlling the visual servoing system to an exact position. We here introduce a shooting robot that can track an object and hit it. It is illustrated that the proposed system presents a desirable performance by a computer simulation and some experiments.

Keywords : image-based visual feedback, mobile robot, laser scanner, image plan

1 정회원, 성삼압테크

2 정회원, 교신저자, 경남대학교 기계공학부

3 정회원, 경남대학교 첨단공학과

1 Dept. of SungSanamdeco co., Ltd.

2 Prof., School of Mechanical Engineering, Kyungnam University, Ph. D.

3 Dept. of Advanced engineering, kyungnam University .

1. 서 론

최근 무인 FA를 위한 이동로봇에 관한 연구, 개발이 활성화되고 있으며, 동시에 지능형 기술을 겸비한 지능형 자율이동로봇에 관한 연구가 널리 진행되고 있다. 지능형 로봇을 위한 여러 가지 구성요소 중에서 센서는 매우 중요한 구성 요소의 하나이다. 특히, 사람에 가까운 로봇의 구현을 위하여 사람의 눈을 대신하는 시각센서의 중요성이 강조되고 있다. 다른 센서들에 비해 많은 정보를 받아들이는 시각 센서는 자율 이동 로봇에서 사람의 눈을 대신하는 센서로서 많이 이용된다. 이것은 1990년대 산업용 로봇 시장의 성숙과 함께 로봇을 생산현장뿐만 아니라 서비스 및 오락에 적용할 수 있는 편리한 대상으로 인식하게 되면서 본격화되었다.

로봇으로 하여금 산업현장에서의 위험한 작업을 물론 다양한 응용 분야에서 사람을 대신해서 업무를 수행하게 함으로써 그 응용범위는 지속적으로 넓어지고 있다. 로봇의 응용범위가 넓어짐에 따라 로봇에 장착되어 사용되는 센서의 성능도 향상되고 있다. 정해진 작업환경에서 반복적인 작업만 하던 기존의 로봇들이 이제는 고성능의 센서를 장착하여 대상 물체를 인식, 판단하여 적절한 작업을 수행하기에 이르렀다. 이때 사용되는 센서들은 각각 고유한 특징들을 가지며, 일반적으로 초음파 센서, 적외선 센서, 레이저 센서, 비전 센서 등이 많이 사용된다. 적외선 센서와 초음파 센서는 인식범위가 좁고 주위 환경에 영향을 많이 받으며, 해상도가 상대적으로 낮다. 또한 레이저 센서는 정확성은 매우 뛰어나지만, 빛의 위상차를 알아내기 위한 복잡한 계산과정이 요구되며, 그 장비가 상당히 고가인 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 비전센서를 사용하여 움직이는 물체를 항상 영상내의 중앙에 위치시키며 추적하고, 목표물이 정해진 사거리에 들어오면 목표물을

향하여 사격하는 무인 사격 로봇의 설계와 실험에 관하여 제안한다. 본 논문에서는 비전센서로 USB 웹캠의 움직이는 카메라를 사용한다. 무인 사격 로봇은 팬-틸트위에 장착된 웹캠을 이용하여 대상체를 추적하여 장착된 총(장난감 BB탄 총)의 방아쇠를 당겨 사격하는 시스템이다. 이때 물체를 추적할 때 나타난 밝기 값 변화에 따른 오분류 및 인식에 대한 문제를 해결하기 위하여 목표물을 항상 영상의 중앙에 위치하도록 제어한다. 무인 사격 로봇에 장착된 팬-틸트의 경우 사격을 위하여 물체의 중심을 화면의 중심에 일치시키는 과정에 웹캠에 들어가는 영상이 떨리는 현상이 많이 발생하고, 이로 인해 오분류 현상도 발생한다. 이를 줄이기 위하여 퍼지논리시스템을 적용한다. 아울러 가감속 제어를 함으로써 빠른 추적 성능을 얻고자 한다. 제 2절에서는 자율이동로봇으로 사용할 무인 사격 로봇부분을 설명하고, 제 3절에서는 지능 알고리즘을 위한 퍼지논리시스템을 설명한다. 그리고 제 4 및 5절에서는 각각 제안한 시스템의 성능 검증을 위한 실험 및 결론을 서술한다.

2. 시스템구성

무인 사격 로봇은 USB 웹캠을 이용하여 물체를 추적한다. 웹캠을 통하여 획득한 영상을 토대로 물체의 특징값을 추출한 후 이를 기준으로 하여 영상내의 데이터를 이진화시킨다. 그리고 화면의 중심과 물체의 중심 좌표를 얻어내어 이들의 거리 변화량에 따라 팬-틸트를 제어함으로써 항상 영상내에 목표물이 존재하도록 한다. 먼저 획득한 영상에서 대상체만을 추출해 내기 위한 영상처리 시스템을 거친다. 영상처리를 통해 얻어낸 화면의 중심과 물체의 중심 사이의 거리 변화량을 제안한 퍼지논리시스템의 입력으로 사용한다. 제안한 퍼지논리시스템은 입력값을 설계한 룰 베이스에 따

라 자세 및 위치를 제어하기 위한 모터입력 신호로 출력한다. 모터 신호는 자세 및 위치를 제어하여 물체가 항상화면의 중심에 있도록 추적한다.

2.1 하드웨어 구성

웹캠을 통해 수집된 영상신호는 컴퓨터에 의하여 처리된다. 이때 처리되는 데이터는 팬-틸트를 제어하기 위한 프로세서에 전달하는 값으로써, 화면의 중심과 물체의 중심 간의 거리의 변화량을 프로세서에 전달한다. 이를 직렬 통신으로 전달받은 프로세서는 거리에 따른 적절한 제어 신호를 모터에 전달한다.

팬-틸트의 구동 후 얻어진 카메라의 방향 및 위치는 다시 웹캠을 통해 획득된 영상신호를 통해 피드백 된다. 이를 기반으로 이동하는 물체를 추적하기 위한 하드웨어 시스템이 구성된다.

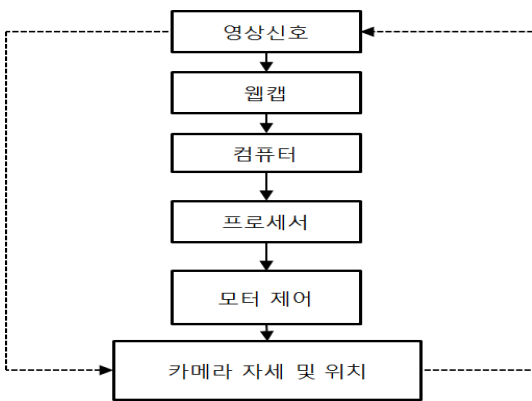


Fig 1. Flow diagram for signal processing

인 사격 로봇은 하나의 웹캠을 통하여 받아들이는 영상정보가 로봇위에 장착된 노트북 USB를 통해 전달된다. 전달된 영상 정보는 노트북에서 영상신호처리 알고리즘에 의하여 처리된 후에 로봇의 각 부위에 신호들을 전달한다. 즉 영상처리 후 물체의 좌표, 물체와 화면 중심 간의 거리 차, 물

체의 크기 등의 정보를 얻어낸다. 이를 통해 팬-틸트를 제어하여 물체가 화면의 중심에 오도록 제어하고, 화면의 중심에 왔을 때 물체의 크기를 확인하여 일정한 사격 거리를 유지하도록 로봇의 몸체에 장착된 구동부를 제어한다. 로봇이 원하는 거리까지 접근한 후, 목표물을 영상의 중앙에 오도록 해서 목표물을 향하여 사격하게 한다.

목표물을 추적하며 일정한 사격 거리를 유지하도록 LPT포트를 이용하여 로봇의 몸체에 장착된 두 개의 바퀴를 제어하고, 직렬 통신을 이용하여 로봇의 앞쪽에 달린 팬-틸트를 제어한다. 각 질력 통신을 위한 포트와 LPT 포트의 신호는 MCS-51 계열의 8051 프로세서를 통하여 각 모터를 제어하도록 한다.

목표물 사격을 위하여 팬-틸트에 웹캠과 함께 장난감 총의 일종인 BB탄 총을 장착한다. 그리고 장착된 총의 방아쇠를 당기기 위하여 서보 모터가 장착된다. LPT 포트를 통해서 사격시점에 대한 신호를 CPU에서 인터럽트 신호로 전달한다. 인터럽트를 통해 전달받은 사격 요청 신호는 8051 프로세서에서 서보 모터로 하여금 총의 방아쇠를 당겨서 물체를 향하여 사격이 일어나도록 한다.

로봇의 모든 기구부는 직접 제작하고, 영상처리 시스템은 MFC를 이용하여 구현한다. 로봇의 구동부와 팬-틸트부는 DC모터를 사용하여 제어한다. 구동부의 모터는 양쪽에 하나씩 장착한 2륜구동 형태를 선택한다. 로봇의 머리 부분이라고 할 수 있는 팬-틸트부는 좌우 조정을 위하여 하나의 모터, 그리고 상하 조정을 위하여 양쪽에 하나씩, 두 개의 모터를 사용한다.

로봇의 앞에 있는 두 개의 물체는 이동하는 목표물의 기능을 담당하는 소형 로봇이다. 이동하는 물체인 두 개의 소형 로봇은 두가지의 색상을 라벨링하여 추적하고자 하는 목표물을 구분할 수 있도록 한다.

본 논문에서는 무인 사격 로봇의 팬-틸트 부분 제어를 위하여 퍼지논리시스템을 적용한다.

2.2 영상처리 시스템

본 시스템에서는 저가의 USB 웹캠을 이용하여 획득된 영상으로부터 목표물의 상태를 얻는다. 이때 카메라 자체의 백색조정 기능과 주변 환경의 영향으로 인하여 동일한 카메라를 사용하더라도 차이를 나타낸다. 이러한 밝기 변화는 화면 전체에 영향을 줄 뿐 아니라 물체의 특징 값에도 영향을 미친다.

영상을 이용하여 목표물을 추적하고자 할 경우에는 주변 환경의 영향 등으로 인하여 오분류하는 경우가 발생한다. 본 논문에서는 이러한 상황들을 극복할 수 있도록 영상처리 시스템을 구성하였다. 그리고 시각구동장치의 정밀 제어를 위한 퍼지논리시스템은 영상면의 목표물 중심좌표가 항상 화면이 중심좌표에 위치해야 한다는 조건을 만족하도록 설계된다. Fig. 2는 영상처리 시스템의 전체 구성을 나타낸다.

카메라로부터 입력된 영상을 이용하여 추적하고자 하는 목표물을 지정하고, 지정된 목표물의 R, G, B 각 채널의 평균과 표준편차를 계산한다. 평균과 표준편차는 이진화를 위한 임계치 설정에 사용된다. 또한 형태의 복잡도와 목표물의 영역을 이용함으로써 잡음 또는 유사한 색상을 가지는 물체들이 제거될 수 있도록 하였다. 이러한 구조를 통해서 목표물을 학습한 후, 이를 기반으로 입력된 영상에서 이진화를 수행하고, 모폴로지, 복잡도, 크기를 이용하여 결과 영상으로부터 대상 추적을 위한 후보영역을 추출한다.

추출된 후보영역은 라벨링 과정을 거쳐 하나의 영역으로 만들어지며, 이러한 영역으로부터 목표물의 중심좌표를 구한다. 구해진 목표물의 중심좌표와 화면의 중심좌표 사이의 거리차이 및 방향을 구한다.

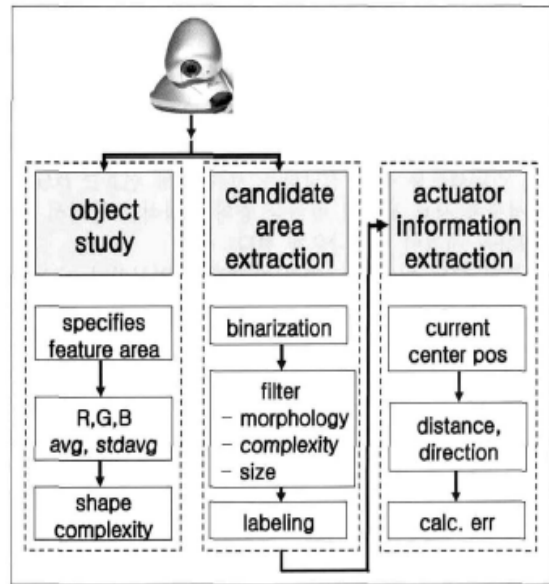


Fig. 2. Organization of image processing system

3. 제어시스템

제어의 논리시스템은 통신장치로부터 받아들이는 영상 내 목표물의 이동거리 변화량을 입력 신호로 사용하고, 팬-틸트를 움직이는 모터의 입력 값을 출력신호로 사용한다.

영상 내의 이동하는 목표물의 초기 중심좌표를 기준으로 각 프레임당 움직인 목표물의 좌표값 변화량을 퍼지논리 시스템의 입력으로 사용한다. 이 입력 신호를 언어적인 값으로 표현함으로써, 영상의 중심좌표 근처의 애매모호한 경계영역에 대해서도 처리할 수 있도록 한다. 기존의 수치적 값에 의한 제어는 정확한 수치에 일치하지 않을 경우, 계속해서 구동장치에 0이 아닌 제어 신호를 전달하게 되므로 모터의 미세한 진동 현상을 유발한다. 이것은 다시 웹캠의 채터링을 초래하며, 결과적으로 영상의 떨림현상을 가져온다. 이러한 현상을 줄이기 위하여 퍼지논리시스템을 적용한다.

퍼지논리시스템을 적용함으로써 불필요한 모터의 떨림현상을 줄일수 있으며, 아울러 팬-틸트의 가감속 제어를 통하여 목표물의 갑작스런 움직임에 대한 추적실패 대신에 안정적인 추적을 보장할 수 있다.

퍼지논리시스템에 입력으로 들어가는 데이터는 웹캠을 통해 획득한 영상정보에서 대상체의 좌표를 축 이동좌표를 통해 얻는다. 이 좌표값을 이용하여 한 프레임당 x, y축으로의 이동변화량 x, y를 구한다.

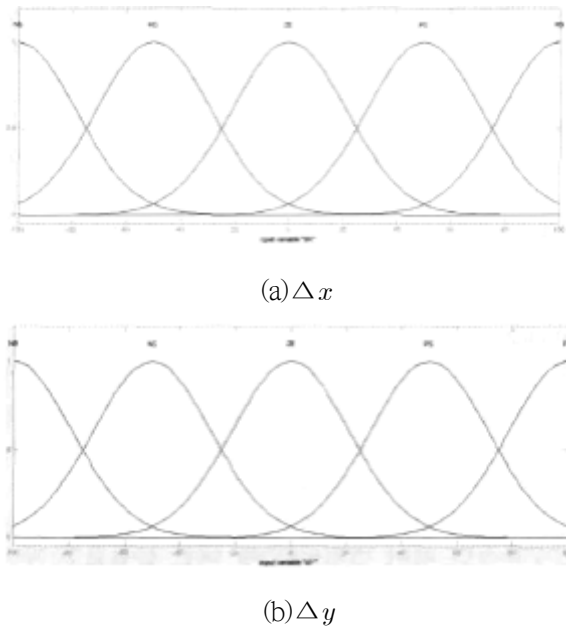


Fig 3. Membership functions for input variables

이는 이동하는 대상체의 중심 좌표값의 변화량이며, 좌표 변화량은 영상내의 pixel값으로서 실질적 데이터를 획득한다. 이렇게 얻어진 좌표값을 이용하여 모터 구동 파라미터값을 구한다.

[Fig 3]는 입력 x, y의 멤버십 함수를 보여준다. [Fig 3]의 (a)는 x, y의 멤버십 함수를 보여준다. [Fig 4]의 (a)는 x의 값으로써 -100과 100사이의

값을 NB,NS, ZE, PS, PB으로 나타내었다. (b)는 y의 값으로써 -120과 120사이의 값을 NB, NS, ZE, PS,PB으로 나타내었다. 이는 300X240의 영상내에서 x축이 이동반경에 대해 움직이는 각도는 실질적 변화량보다 작게 움직여도 목적하는 각도를 가질 수 있기 때문에 x축은 범위를 실질적인 150보다 훨씬 작은 100을 취하였다. 또한 y축은 수직으로 이동하는 좌표변화량에 그대로 비례하므로 120을 선택하였다.

본 시스템의 출력 멤버십 함수 (a)는 입력과는 달리 ZE영역을 반으로 줄였으며, NS과 PS영역을 확장하였다. 따라서 영상의 중심과 매우 가까운 영역인 ZE에 대한 X축 모터의 속도는 매우 느리거나 정지된다. ZE영역을 벗어난 NS,PC에서는 안정적인 속도로 모터를 제어한다. NB과 PB 영역은 NS과 PS 영역에 비해서 범위가 작아 영상의 중심에서 매우 먼 대상체를 빠르게 따라가도록 속도를 최대로 하여 모터를 제어함으로써 이동거리의 변화량에 따른 효율적인 추적을 가능하도록 하였다. 출력 멤버십 함수 (b)는 수직으로 이동하는 Y축을 제어하는 모터를 위한 신호이다. 따라서 안정적인 NS과 PS영역이 아닌 영역에서는 ZE영역으로 간주하여 영상의 중심에 가까이 있을 때 불필요한 모터의 움직임을 제거함으로써 영상의 떨림 현상을 없애도록 하였다. 또한 (a)의 출력 멤버십 함수와 같이 NB과 PB의 영역에 속하는 거리에 대해서는 모터를 가속하여 이동하는 대상체를 빠르게 추적할 수 있도록 하였다.

룰 베이스는 [Table 1] 및 [Table 2]에서 보는 바와 같이 x는 X축 모터를, y는 Y축 모터를 입력의 값과 같은 언어 값을 가지는 비례 형태를 보여준다. 하지만 이는 앞의 출력 멤버십 함수에서도 확인 하였듯이 NB,PB영역과 ZE영역에서의 두드러진 변화를 보임으로써 일반적 비례에서 벗어난 모습을 보여준다.

Table 1. Rule base for motor control of X axis

| | | | | | |
|------------|----|----|----|----|----|
| Δx | NB | NS | ZE | PS | PB |
| X | NB | NS | ZE | PS | PB |

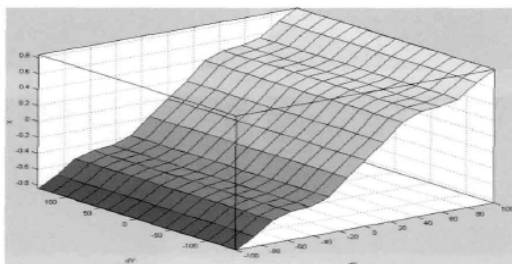
Table 2. Rule base for motor control of Y axis

| | | | | | |
|------------|----|----|----|----|----|
| Δy | NB | NS | ZE | PS | PB |
| Y | NB | NS | ZE | PS | PB |

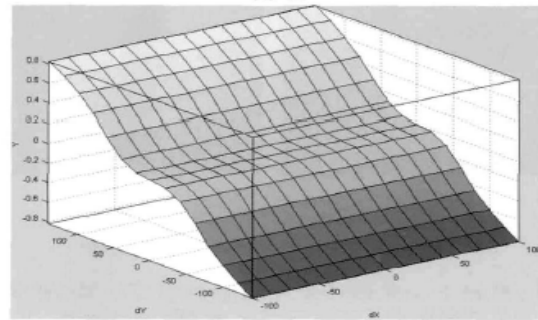
앞서 살펴본 멤버십 함수를 이용하여 입력과 출력과의 관계를 살펴보면 [Fig 6]의 (a)와 같이 X축에 대해서는 NS,PS영역이 두드러짐을 확인할 수 있었다. 그리고 [Fig 5]의 (b)와 같이 Y축은 ZE영역에서 두드러짐 현상을 확인할 수 있다. 이는 일반적인 거리에 대한 비례제어 보다 나은 성능을 나타내었다.

[Fig 4]은 경사 자세 제어를 위한 모터에 전달될 제어 신호에 대한 시뮬레이션 결과이다. 기존의 시스템은 추적하고자 하는 물체의 중심과 카메라의 중심이 완전히 일치할 수 없는 운동학적인 문제로 인하여 위치오차가 아주 적은 경우에도 계속 추적 제어를 수행함에 따라 모터가 떨리는 현상을 야기시켰다.

제안한 퍼지논리시스템에 의해서는 정지된 물체의 중심과 자세 및 거리가 어느 정도 가까이 있을 때는 불필요한 궤적제어를 더 이상 하지 않고 정지시킴으로써 모터의 떨림 현상을 줄일 수 있었다.



(a)



(b)Y

Fig 4. Simulation result for motor control

4. 실험 및 고찰

본 논문의 실험은 실험실의 바닥에 물체를 두고서 FLS를 적용하지 않고 실험한 결과와 퍼지논리시스템을 적용한 후의 실험결과를 비교하였다. 이때 기존의 시스템에서의 가장 큰 문제인 물체의 중심과 화면의 중심이 근접해 있음에도 불구하고 원하는 궤적과 실제의 궤적을 일치시키고자 이루어진 불필요한 신호로 인해 정지된 물체에 대해서도 대상물체가 떨리는 현상을 나타내었다.

이러한 정지된 물체에 대한 안정적인 추적이 불가능 할 경우에는 이동하는 물체 및 이동하는 물체와 이동하는 로봇사이에는 더욱 추적이 어려울 예상된다. 이를 해결함으로써 이동로봇에서 안정적인 추적이 가능하다고 사료된다. 제안한 FLS를 이용하여 정지된 물체에 대해서도 근접한 거리에 대한 불필요한 제어를 줄임으로써 장착된 웹캠으로 받아들이는 영상에 흔들림이 덜하며, 밝기의 변화 폭을 줄이도록 하였다.

[Fig 5]는 제안한 퍼지논리시스템을 적용한 결과의 동영상을 캡처한 그림이다. 같은 실험 환경에서도 기존의 시스템에 비해 시간이 지나도 불필요한 제어가 없이 근접된 상태에서 정지됨을 보여주고 있다.

이를 통해 작은 양의 밝기 변화에도 안정적으로 목표물을 추적하고 있음을 알 수 있다. 이러한 실험 결과를 통하여 알 수 있듯이, 기존의 제어방법에서의 따른 떨림 현상으로 인한 영상정보의 오분류 및 인식의 문제가 제어기에 의해서 개선된다.

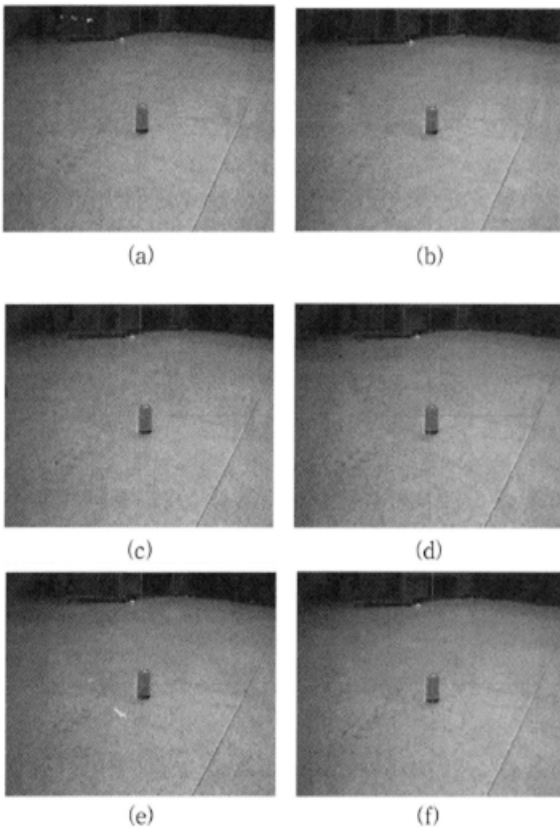
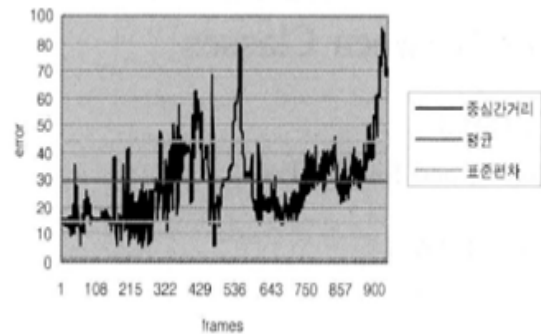


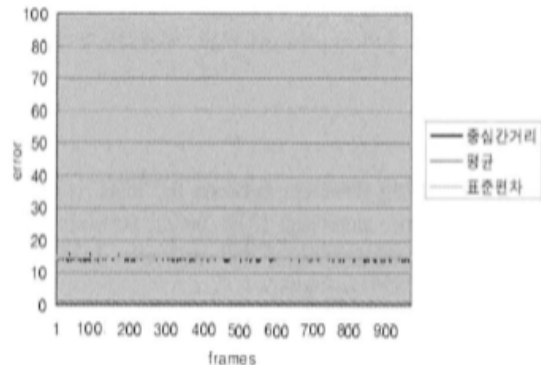
Fig 5. Experiment results by a proposed method.

이는 이동하는 물체에 대한 추적에도 영향을 끼쳐 이동하는 물체의 밝기 값 변화에 따른 민감한 반응을 줄여줄 수 있으며, 항상 영상이 중심에 위치하도록 팬-틸트를 제어함으로써 밝기 값의 변화의 폭도 줄일 수 있다. [Fig. 6]은 정지된 물체의 중심과 장착된 웹캠의 중심이 일치하도록 제어하는 동안의 거리오차를 나타내었다.

[Fig 6]의 (a)는 기존 비례 제어시 나타나는 웹캠과 물체와의 중심간 거리 오차를 나타내고 있다. 평균에 대한 표준편차는 약14.5로써, 정지된 물체에 대한 거리오차의 변화량이 큰 것을 알 수 있다. 이에 반해 [Fig 6]의 (b)는 중심간 거리오차의 평균에 대한 표준편차가 약0.35으로, 상대적으로 매우 낮음을 확인하였다.



(a) 기존의 방법



(b) 제안한 방법

Fig 7. Distance error

가까운 곳의 애매모호한 영역에서 모터를 정지 시킴으로써 이를 줄였다. [Fig 6]의 (b)로부터 기존의 제어에 비해서 오차의 범위가 감소함을 확인할 수 있었으므로, 제한적인 조건의 범위안의 오차에 대해서는 견실성을 보여주고 있다는 것을 예증할 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 설계한 목표물 추적을 위한 자율 이동 로봇인 제어방법은 2휠 구동방식과 비전 센서를 사용하여 동적인 목표물을 추적하는 로봇제어 방법을 제안하였다

본 연구에서 설계한 제어기법을 사용하여 자세 및 위치를 제어함으로써 기존에 문제점인 모터의 떨림 현상으로 인한 영상추적의 오차를 줄일 수 있었다. 또한 이동체의 이동 변화량에 따른 자세 및 위치의 가감속으로 추적이 보다 정밀하고 안정화 되는 특성의 검증을 위하여 다수의 실험 과정을 통하여, 원하는 목적의 성능을 예증할 수 있었다.

참고문헌

- 1) R. Jain, R. Kasturi, B. B. Schunck, Machine Vision, 1995.
- 2) 이원호, 이형우, 김상현, 정재영, “퍼지를 이용한 자율 이동 로봇의 이동 경로 추종 및 고속 정밀 제어”, 한국 퍼지및지능시스템학회 논문지, vol.14, no. 7, 2004
- 3) M. Betke et al, Mobile robot localization using land - marks, Proc. of the IEEE/RSJ/GI Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.135-142, 1994
- 4) 김창식, 송은지, 석경재, 표유미, 한수진, 최병재, Visual C++ 기반 USB CAM 영상처리를 이용한 무인 사격 로봇 시스템, 대구대학교 정보통신연구소, 2004.
- 5) IT신기술 사업팀, 지능형 로봇 현황 및 활성화 방안, ETRI, 2005.
- 6) 김영집, HSI 컬러 모델을 이용한 실내 주행 이동로봇의 장애물 고속 인식 한국과학기술원 석사학위논문, 1997.
- 7) 전승훈, 스테레오 비전을 이용한 이동로봇의 실내주행을 위한 장애물 인식, 한국과학기술원 석사학위논문. 1996.
- 8) 최규중, 조월상, 안두성, 이동 물체 포착을 위한 비전 서보 제어 시스템 개발, 한국동력기계공학회지, 제6 권, 제1호, pp.96 101, 2002.
- 9) Tae Won Kim & Il-Hong Suh, Fuzzy Neural Network-based Visual Servoing. pp.1, KIEE, vol. 43, no. 6, 1994.
- 10) Jhon. J. Leonard, Hugh F, Durrant Whyte, Mobile robot localization by tracking geometric beacons, IEEE Trans. Robotics and Automation, vol. 7, no. 3, pp. 376-382, 1991.

접수:2015.03.16.,수정:2015.04.09., 게재확정:2015.04.22