

능동 카메라 기반의 물체 추적 제어기 설계

윤수진 · 최군호*

삼성전자 영상디스플레이사업부, *한국기술교육대학교 정보미디어연구소

Controller Design for Object Tracking with an Active Camera

Sujin Youn and Goon-Ho Choi*[†]

Visual Display Division, Samsung Electronics

[†]IT & Media Research Center, Korea Univ. of Technology and Education

ABSTRACT

In the case of the tracking system with an active camera, it is very difficult to guarantee real-time processing due to the attribute of vision system which handles large amounts of data at once and has time delay to process. The reliability of the processed result is also badly influenced by the slow sampling time and uncertainty caused by the image processing. In this paper, we figure out dynamic characteristics of pixels reflected on the image plane and derive the mathematical model of the vision tracking system which includes the actuating part and the image processing part. Based on this model, we find a controller that stabilizes the system and enhances the tracking performance to track a target rapidly. The centroid is used as the position index of moving object and the DC motor in the actuating part is controlled to keep the identified centroid at the center point of the image plane.

Key Words : Visual Tracking, Active Camera, Control

1. 서 론

본 논문에서 제시하는 능동 카메라 기반의 물체 추적 기술은 움직이는 물체가 항상 화면 중심에 오도록 구성되는 비주얼 서보잉(visual servoing)에 속한다. 일반적인 비주얼 서보잉 시스템은 비주얼 센싱과 장비 조종이 '보고' 나서 '움직이는' 개루프의 형태를 가지고 있다[1]. 따라서 시스템의 처리 속도와 성능 향상을 위해서는 시스템 특성을 파악하고 적절한 폐루프 제어기를 설계하는 것이 필요하며 이러한 제어 구조는 무인항공기의 자동 이착륙 및 유도 제어 시스템 등에 유용하게 사용될 수 있다[2]. 영상 정보를 폐루프 제어기의 피드백 센서처럼 사용하는 능동 비전 시스템(active vision system)의 제어에 있어서 가장 큰 문제는 영상 해석을 위한 대용량 데이터 처리 과정에서 발생하는 시간 지연(time delay)과 이로 인한 시스템의 불안정이

다. 이미 시간 지연의 관점에서 시스템 불안정성을 해결하기 위한 간단한 PID 제어기와 예측(prediction) 기법의 결합이 시도되었으나, 이 예측기(predictor)의 동작 성능을 보장하려면 카메라의 파라미터(parameter)와 거리(depth) 등의 값들이 비교적 근사하게 추정되어야 하고, 그 이후에도 제어기 조합을 시행착오적 방법을 통해 구해야 하는 점 때문에 최적성(optimality)을 보장하는 데 어려움이 있다[3-5].

본 논문에서는 능동 비전 제어 구조에서 카메라를 장착한 구동부와 카메라에 투영되는 픽셀의 동특성에 대한 전달함수를 구하여 전체 시스템을 수학적으로 모델링하고 이에 따른 제어기를 설계함으로써 이러한 문제를 해결하고자 한다. 또한 피드백 센서로서의 영상 정보의 신뢰도를 높이기 위하여, 널리 알려진 특징점 기반의 배경 보정 기법[6]을 바탕으로 검출 구간 분류 방식과 카메라 각도 보정 방식을 추가로 적용하였으며, 모의 실험과 실제 실험을 통해 성능의 개선을 확인하였다.

[†]E-mail : goonho@kut.ac.kr

2. 비전 시스템을 위한 궤환 제어 루프를 갖는 이동 물체 추적 시스템

영상 센서를 통해 얻어진 물체의 위치에 따라 모터를 제어하는 시스템은 Fig. 1과 같이 간략하게 나타낼 수 있다.

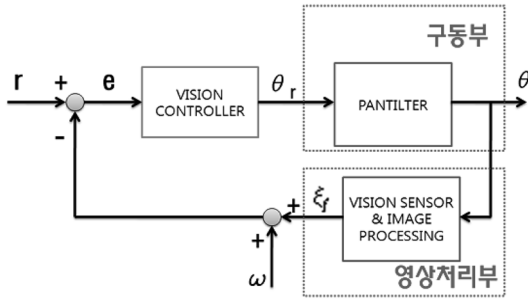


Fig. 1. Block diagram of the entire system.

r 는 기준입력(reference input)으로서 영상평면의 중심점, ξ_f 는 영상 처리를 통해 획득한 물체의 센트로이드(centroid), 그리고 ω 는 잡음(noise)이다. 본 논문에서는 시스템의 복잡성을 줄이기 위해 능동 카메라의 패닝(panning) 동작만을 고려하였으며, 위치 제어를 포함한 DC모터 구동부와 영상을 판단하여 대상물의 중심점 위치를 구하는 영상처리부로 구성된다. 전체 시스템은 영상 출력값과 기준입력과의 차이를 구동부의 출력으로 보상하도록 하는 폐루프 제어 구조이다. 최종적인 목표는 위 시스템을 안정하게 하는 비전 제어기(vision controller)를 구하는 것이며, 여기에는 영상 정보를 전체 시스템 제어기의 궤환 정보(Feedback Data)로 사용하는 데 있어서 필요한 신뢰성을 확보를 위한 몇 가지 추가 기법이 적용된다.

2.1. 궤환 제어기 센서로서의 비전 시스템

움직이는 물체를 감지하기 위한 기존의 영상 처리 방식에 대하여 [7]에서 배경 차이를 이용하는 방법, 객체의 특징 정보를 이용하는 방법, 객체의 외곽선을 이용하는 방법, 차영상을 이용하는 방법 등에 대하여 비교 설명하고 있다. 이 중에서 차영상은 카메라가 고정되어 있을 경우에는 매우 유용하지만 능동 카메라를 이용할 경우 카메라의 움직임(ego-motion)이 차영상에서 검출된 움직임 영역에 영향을 미쳐 오차가 발생하므로 반드시 각 영상의 배경 보정 기법이 추가로 필요하다. 이때 주로 특징점 기반의 배경 보정 기법 [6]과 센서를 이용하여 카메라의 회전 각도를 읽고 이

값을 이용하여 배경 영상을 보정하는 기법[8]을 사용하는 데, 이 두 보정 기법은 정확성과 속도 처리 측면에서 서로 장단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 상호 보완적인 방법으로 특징점 기반 배경 보정 기법을 바탕으로 하되 여기에 카메라 회전 각도 측정을 통한 보정 방식을 결합하고 아울러 특징점 검출 구간 설정 방식을 적용함으로써 물체를 추적하여 위치를 산출하는 데 보다 적은 시간으로 보다 신뢰성 있는 값을 얻고자 하였다.

2.1.1. 특징점 검출 구간의 설정

특징점 기반 배경 보정 기법은 주변 픽셀과 밝기값의 차이가 가장 높게 나타나는 특징점에 대하여 연속된 두 영상 간에 LMedS(Least Median of Squares) 기법을 이용하여 배경의 움직임을 검출한 후 어파인 변환을 적용하는 것이다[6]. 이때 픽셀 밝기 값에만 의존하여 특징점을 무작위로 검출하는 경우, 움직이는 물체가 특징점을 많이 가지고 있을 경우 오히려 배경 영역에서 신뢰성 있는 특징점을 추출하는 것이 어려워질 수 있다. 물론 더 많은 수의 특징점을 이용하여 해결하는 방법도 있을 수 있지만 이는 연산량의 증가라는 문제가 더 커짐으로써 궤환 제어 시스템에 적용하기에는 더욱 곤란해진다. 따라서 본 논문에서는 특징점의 개수를 기존의 방식[9]보다 적은 약 12개 정도로 줄이는 대신 각 특징점이 영상 영역에 골고루 분포하도록 특징점 검출 구간을 분류함으로써 각 특징점의 신뢰성을 보장할 수 있도록 한다. 능동 카메라가 패닝(panning) 동작만을 한다는 가정을 바탕으로 y 좌표는 6개, x 좌표는 3개, 총 18개의 특징점 추출 영역을 설정하였다(Fig. 2. 참조). 이때, 특징점은 두 영상에서 모두 같은 영역에서 검출될 수도 있지만, 동일한 특징점이 다른 영역에서 검출될 수도 있으므로, 이를 고려하여 인접 영역에 대한 특징점 비교도 병행하였다. 이와 같은 처

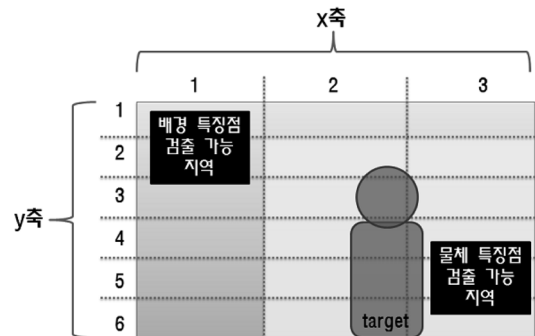


Fig. 2. Separation of the extraction zone for feature points.

리 과정의 변경을 통해 처리 시간은 기존(특징점 24개의 경우)에 비해 약 40 ms 정도 감소시킬 수 있었으나, 특징점 개수 감소로 인해 오차 발생율은 10% 정도 증가하는 문제점이 발생하였다.

2.1.2. 배경 보정 기법의 결합(fusion)을 통한 오차율 감소

기존의 카메라의 회전 각도 정보를 이용하여 배경 화면을 보정하는 방식의 경우, 이전 영상을 카메라의 회전 각도에 따라 기하학적으로 이동 시켜서 새로운 영상과 비교하는 것을 기본 알고리즘으로 한다. 이 방식은 모든 픽셀에 대하여 [8]의 변환식을 이용하여 1:1로 변환함을 의미한다. 따라서 픽셀 개수만큼의 연산량을 기본적으로 필요함은 물론 주어진 변환식의 삼각함수 연산의 복잡성으로 인해 연산시간의 증가가 필연적이다. 본 논문에서는 이와 같은 관계식을 간략화 시켜 2.1.1에 추가로 적용함으로써 2.1.1에서 발생한 오차율 증가라는 문제를 해결해보고자 한다.

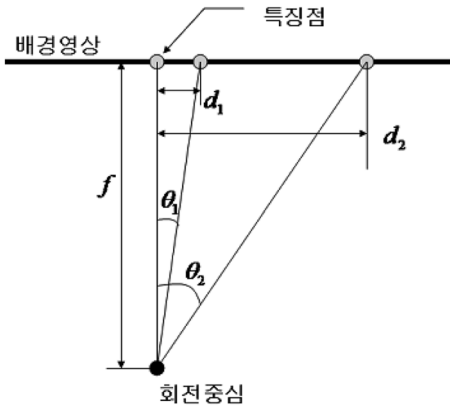


Fig. 3. The movement of feature points according to the rotation of camera.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 카메라가 회전하면 이에 따라 배경의 특징점도 이동한다. 이때 회전각 θ_1, θ_2 에 따른 이동 거리 d_1, d_2 는 각도가 비교적 작은 범위 내에서는 어느 정도 비례 관계가 성립한다는 것을 알 수 있다. 이에 따라 카메라의 회전 각도를 θ_p 라고 할 때 특징점의 이동 거리 d_c 는 아래의 식과 같이 구해진다. 단, f 는 카메라의 초점 거리이다.

$$d_c = K_{dp} \cdot f \cdot \tan \theta_p \quad (1)$$

이 식에서 카메라의 회전 각도와 비례하는 보정 거리에 대해 선형화된 비례 상수 K_{dp} 를 도입하고 이를

픽셀 이득(pixel gain)이라고 정의한다(픽셀 이득 K_{dp} 는 본 논문에서 제시한 시스템의 수학적 모델링 입출력 관계식을 통해서 이론적으로 구할 경우 그 값은 약 2.25이며, 이 값은 실제 실험을 통해서 그 신뢰성을 확인하였다[10]). 이 식을 이용하여 카메라의 회전 각도에 의해 구한 d_c 값은 특징점의 신뢰성을 판단하는 기준으로 사용한다. 즉, 2.1.1의 방식으로 구한 특징점의 위치 변화값이 0.6~1.4($\pm 40\%$ 범위내)에 있지 않을 경우, 해당 특징점의 신뢰도를 떨어뜨리고 d_c 값을 해당 결과에 대체하여 사용하는 것이다. 실제로 이 방법을 추가하여 보정했을 때 평균 보정 오차는 0.0391로써, 기존의 0.1589에 비해 약 1/4 정도로 줄어들었음을 확인하였다.

2.2. 관심영역(ROI; Range of Interest) 설정

앞서 2.1의 기법과 더불어 본 논문에서는 영상 데이터의 처리량을 줄이기 위해 다음 프레임에서의 물체 위치를 예측하여 검색 영역을 좁히는 방법을 추가적으로 도입한다. 우선 현재 물체의 x 좌표인 x_t 와 표본화 시간 τ 전에 얻어진 x 좌표 x_{t-1} 을 이용하여 목표 물체의 속도 v_{target} 을 구하고 이에 따라 등속 운동을 하는 물체의 시간 후의 위치를 구하면 다음과 같다.

$$x_{t+1} = x_t + \tau \cdot v_{target} \quad (2)$$

추적 대상은 등속 운동만을 하도록 제한된 것이 아니므로 움직이는 방향 또는 속도를 바꾸거나 움직임 자체를 멈출 수도 있다. 하지만 짧은 표본화 시간을 고려할 경우 이 변화는 극단적이지 않을 것으로 예상되지만, 어느 정도의 유동적인 여유값은 필요하다. 이에 따라 물체 움직임의 크기에 비례하는 상수 x_{margin} 과 y_{margin} 을 도입하고 이 영역에 나타나는 물체 움직임에 대해서 다음 예상 위치를 탐색할 관심 영역(Region of Interest)을 식(3)과 같이 구한다.

$$\begin{aligned} x_{left} &= x_t - (\tau \cdot |v_{target}| + x_{margin}) \\ x_{right} &= x_t + (\tau \cdot |v_{target}| + x_{margin}) \\ y_{top} &= y_t - y_{margin} \\ y_{down} &= y_t + y_{margin} \end{aligned} \quad (3)$$

Fig. 4는 식(3)에 의해 구한 관심 영역을 도식화한 것이며, 이 영역 내에서의 차영상을 이용하여 이동 물체의 센트로이드를 구하게 된다.

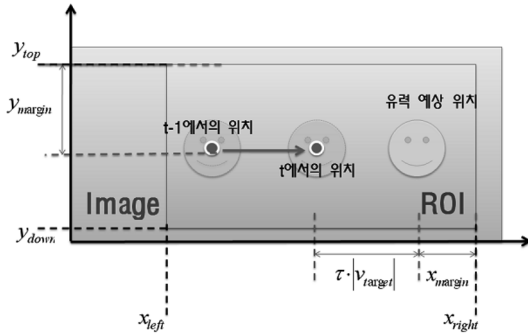


Fig. 4. Region of ROI setting.

3. 시스템 모델링과 제어기 설계

Fig. 1의 구동부와 영상처리부를 하나의 통합된 시스템으로 간주하여, 이를 안정화하는 것을 목적으로 하는 제어기를 설계한다. 각 서브시스템(subsystem)을 수학적으로 모델링하고 부족한 매개변수 정보로 인해 생기는 오차 부분은 실험적 추정을 통해 보정하였다. 우선 DC모터 구동부의 수학적 모델은 실험적으로 다음과 같이 구하였다.

$$G_d(s) = \frac{4.6}{s(s+2.95)} \quad (4)$$

3.1. 기존의 영상처리부 모델링

카메라의 패닝(panning) 회전 운동만을 고려하면 특징점의 위치 좌표에 대한 상태 공간 모델은 다음과 같이 나타낼 수 있다[11,12].

$$x_f(k+1) = A_f x_f(k) + B_f \theta_r(k) + E_f v(k) \quad (5)$$

$$A_f = I_{2 \times 2}, \quad E_f = \tau \frac{f}{Z} I_{2 \times 2}$$

$$B_f = \tau \begin{bmatrix} \frac{xy}{f} & \frac{f^2+x^2}{f} \\ \frac{f^2+x^2}{f} & \frac{xy}{f} \end{bmatrix}$$

여기서 $x_f = (x, y)^T \in R^2$ 로서 특징점의 위치, $v = (v_x, v_y)^T \in R^2$ 는 외부에서 기인하는 외란(exogenous disturbance), $\theta_r = (\theta_x, \theta_y)^T \in R^2$ 은 카메라의 팬틸트 모터에 들어가는 제어입력(control input), τ 는 표본화 시간, f 초점거리, 그리고 Z 는 투영된 물체의 z 축 거리를 의미한다.

상태 공간 모델을 보면 이 시스템은 비선형의 형태로 나타나지만 목표 물체의 특징 좌표 변화가 작다면 현재 위치 근처에서 선형화가 가능하고, 이것은 결국 선형 시불변(linear time invariant)문제라 생각할 수 있다[12].

3.2. 전체 시스템 모델링과 제어기 설계

모델링 대상은 카메라가 회전하면서 변화하는 영상 평면의 한 점이 가지는 동특성(dynamics)이다. Fig. 5는 Fig. 1의 시스템 구성에서 요구되는 제어기를 모두 포함한 전체 시스템 블록 다이어그램을 나타낸다.

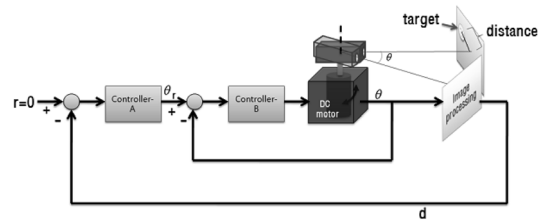


Fig. 5. Block diagram with controllers.

이 중 실험값을 통해 추정할 수 있는 부분은 θ 의 입력에 대해 영상처리부에서 출력되는 한 점의 위치정보이다. 이를 위해서 우선 구동부에 위치 제어기를 추가하여 우리가 원하는 회전각도 입력 θ_r 을 인가했을 때 동일한 출력 θ 가 나오도록 위치 제어기(controller-B)를 설계한다. 이 위치 제어기는 기본적으로 PID 제어기 구조를 가지며 근계적과 R-H(Routh-Hurwitz) 테이블에 근거하여 PID 계수값을 결정하였다. 설계된 이산 위치제어기를 포함한 구동부의 전달함수는 다음과 같다. 이때 샘플링 시간 τ 는 0.2초이다.

$$G_B(z) = 0.947 + 0.01 \frac{\tau}{z-1} + \frac{1.6(z-1)}{\tau z} \quad (6)$$

3.2.1 영상처리부를 포함한 전체 시스템 모델링

전체 시스템 모델의 기본적인 형태는 식 (5)를 참조하였으며, 실험에서 구한 응답특성을 통해 부족한 매개변수를 추정하였다. 우선 전체 영상평면의 전 영역에서 골고루 추출한 여러 개의 특징점의 동특성을 실험적으로 구하고, x, y 축을 각각 세 영역으로 나눈 9개의 영역에서 각각 한 개씩 무작위로 추출한 특징점들의 좌표 변화를 관찰하였다(식(5)의 E_f 는, τ 가 아주 작은 값이고, 대부분의 경우 초점거리에 비해 Z 값이 상대적으로 크기 때문에, 큰 영향을 미치지 않는다고 가정한다).

모터에 10°의 입력을 주었을 때 각 특징점의 동특성은 모든 영역에서 유사하게 나타나며 Fig. 6은 이중 하나를 나타낸 것이다.

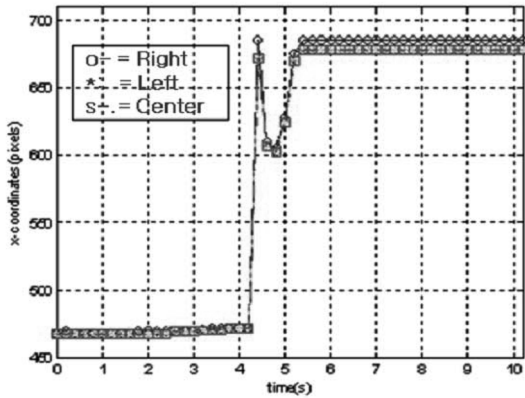


Fig. 6. X-coordinates of a feature point in the center region of image.

또한, Fig. 6은 각 영상 평면의 왼쪽, 가운데, 오른쪽의 세 영역에서 추출한 무작위 픽셀의 좌표 변화를 보여준다. 여기에서 세 영역의 특징점은 모두 비슷한 동특성을 보이며 정상상태 값 모두 4% 미만의 오차 범위의 비슷한 값을 가짐을 알 수 있는데, 이것은 중심영역 특징점의 정상상태 값인 210픽셀 중에서 약 8픽셀 정도의 오차만을 의미한다. 따라서 영상 평면의 모든 영역의 픽셀이 모터 회전에 대해 유사한 동특성을 가지고 있다고 간주하는 것 역시 합리적이라 할 수 있다.

이를 바탕으로 중심부에 있는 원점 근처의 특징점의 실험값을 구하여 이를 기반으로 한 수학적 모델을 구한다. 우선 위에서 실험적으로 구한 결과값은 전체 시스템 $G(s)$ 대해 $T=0.2(s)$ 의 표본화 시간 간격으로 표본화된 시스템 응답이라고 할 수 있고, 이산 시스템 응답은 각 표본화 시간에 대해

$$G(z) = \sum_{k=0}^{\infty} g(kT)z^{-k} \quad (7)$$

과 같이 나타난다. 즉, 각 표본화 시간의 응답값 $g(kT)$ 를 이용하면 전달함수의 매개변수를 추정할 수 있다. 우선 최종값은 안정된 값을 가져야 하며 1표본의 시간 지연이 있는 시스템이므로 전달함수 형태는 엄밀한 진분수적(strictly proper) 형태에서 분모가 분자보다 1차 큰 형태로 추측할 수 있다. 이를 바탕으로 [13]의 기법을 이용하여 그 값을 구하면 전체 시스템 전달함수는 다음과 같다.

$$\tilde{G}(z) =$$

$$\frac{20.8(z^5 - 0.2732z^4 + 0.2439z^3 + 0.01951z^2 + 0.1951z + 0.1317)}{z^6 + 0.0052z^5 + 0.287z^4 - 0.0042z^3 - 0.035z^2 + 0.0395z - 0.0603}$$

(8)

식(8)의 시스템에 10° 계단 입력을 인가했을 때, 모의실험과 실제 실험에서의 응답을 비교한 결과는 Fig. 7과 같다. 두 값 사이의 평균 제곱 오차는 0.00023이고, 입력이 3°, 5°일 때의 경우도 모두 비슷한 결과를 나타냈다.

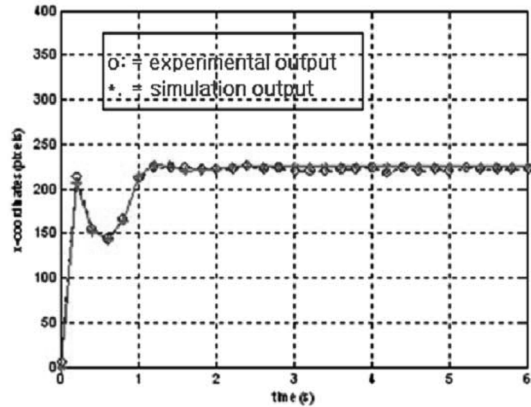


Fig. 7. Response of the modeling and the real experimental result.

3.2.2. 비전 제어기 설계

전체 시스템 제어기 Controller-A를 설계하기 전에, 시스템 전달함수 $\tilde{G}(z)$ 의 근궤적을 살펴보면 모든 근이 단위 원 안쪽에 존재하며 피드백 상수 이득 $K < 0.75$ 에서 안정된 시스템이다. 시스템의 이득 여유도는 음의 값을 가지므로 이득 여유도와 위상 여유도가 모두 양의 값을 갖도록 조정하면 피드백 상수 이득 K 는 0.02로 정할 수 있다. 이것은 근궤적에서 여러 가지 시스템 성능을 고려한 설계 규격의 감쇄율인 0.707을 갖는 근과 가장 근접한 위치에 있게 하는 이득값과 일치한다. Controller-A를 PID 제어기법을 이용하여 설계하기 위하여 근궤적과 R-H 테이블을 살펴보면 시스템을 안정시키는 D제어기 이득은 존재하지 않으며 실제로 실험 시 D제어기는 발산을 유도하게 되므로 Controller-A(비전 제어기)는 PI제어기 형태로 설계한다. 이는 식(9)로 표현되며, 이때 K_p, K_I, τ 은 각각 0.02, 0.1, 0.2이다.

$$C_A(z) = K_p + K_I \frac{\tau}{z-1} \quad (9)$$

4. 모의 실험 및 실험 결과

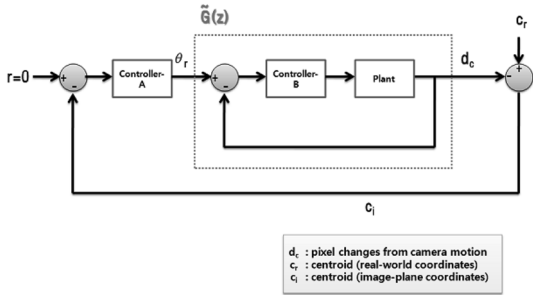


Fig. 8. Block diagram of the simulation.

$\tilde{G}(z)$ 는 모터의 회전각도 θ 입력에 따라 변하는 픽셀 동특성 d_c 를 출력하는 시스템이다. 외부 입력으로서 실세계(real-world) 좌표계에서의 물체 위치인 C_r 이 인가되면 이것은 모터의 움직임에 따라 영상에 투영되는 좌표값 C_i 로 변하게 된다. 예를 들어 움직이는 물체가 한 방향으로 일정한 속도를 가지고 움직인다고 가정하면, C_r 은 변화하지만 모터가 물체와 같은 방향으로 동일한 속도를 가지고 움직인다면 영상평면 상에서 물체의 좌표는 변하지 않으므로 C_i 는 일정한 값으로 유지될 것이다.

4.1. 모의실험 구성과 결과

Fig. 9에서 계단 입력인 C_r 은 카메라 시점을 기준으로 영상평면의 중심점보다 우측으로 100픽셀 떨어진 좌표에서 움직임이 한 번 검출되고 그 이후에는 대상체가 계속 그 자리에 멈춰있거나 같은 위치에서만 움직임을 보이는 경우를 의미한다. 이때 d_c (출력값)은 최종적으로 C_r (입력값)을 추종하는 것을 알 수 있다.

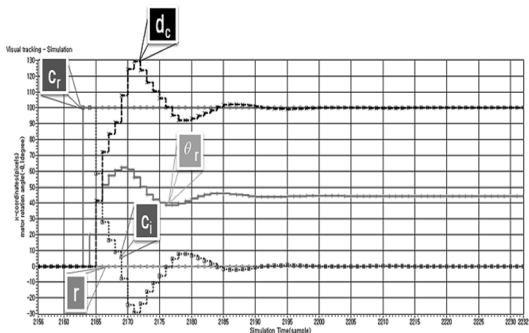


Fig. 9. Simulation result of PI Controller.

4.2. 왕복 이동 물체에 대한 실험 결과

Fig. 10은 대상 물체가 우측으로 이동 후 일정 위치에

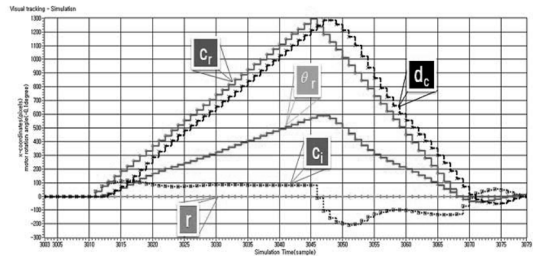


Fig. 10. Simulation result of the object which was going and returning.

서 다시 좌측으로 이동하는 경우의 모의실험 결과이다.

초기 위치가 기준점이었던 움직이는 물체는 실세계 좌표계 상에서 우측 방향으로 1300픽셀만큼 이동한 다음, 이전보다 좀 더 빠른 속도로 좌측으로 이동하여 다시 기준점까지 돌아오는 경우이다. 실험 결과에서 대상 물체가 영상 중심점에서 100픽셀 이내에 항상 존재하는 것을 확인할 수 있다. 영상 좌표계의 축 전체 크기가 1024픽셀임을 감안할 때 이 범위는 영상평면의 중심 영역에 움직이는 물체가 존재하도록 하기에 충분한 것임을 알 수 있다. 같은 조건에 대해 실제 움직이는 사람을 추적하는 실험 결과는 Fig. 11에 나타나 있으며 이때의 영상 결과는 Fig. 12와 같다.

실세계 좌표계 상에서 사람의 위치는 녹화된 동영상에서 확인한 값과 모터의 회전각도, 그리고 실제 공간 상에서 움직인 거리에 대한 관계식을 통해 구해졌다. 때문에 그 정확성을 100% 보장할 수는 없지만 그 변화 추세와 존재하는 범위 및 구동 시간 등이 모의실험과 거의 일치하였으며 그 오차는 전 영역에서 4.9% 이하였다(모터가 움직이는 동안 영상평면에 투영된 센트로이드 좌표가 가끔 정확히 0값을 갖는 것은, 목표점의 오차 범위를 30픽셀로 설정하고, 이보다 작은값은 목

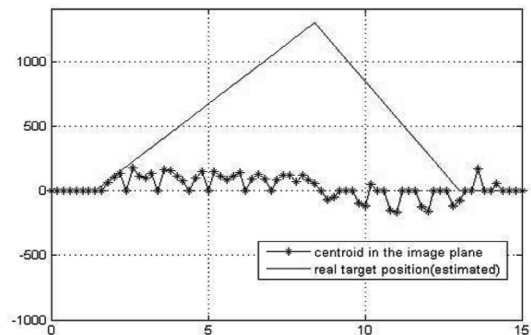


Fig. 11. Experimental result of the object which was going and returning.

표에 도달하였다고 판단하여 프로그램에서 강제적으로 0이 되도록 설정하였기 때문이다).

Fig. 12의 영상에 오버레이(overlay)된 검은 점은 움직이는 물체(사람)의 센트로이드를 나타내며 대상체의 예상 ROI는 흰색 실선의 사각형이다. 배경의 물체와 조명 위치의 변화를 통해 카메라의 움직임을 확인할 수 있으며 이를 통해 대상체인 사람이 우측으로 이동 후 잠시 멈췄다가 좌측으로 움직였음을 알 수 있다.



Fig. 12. Result of the real image for the tracking.

5. 결 론

본 논문에서 제안한 비전 제어기의 설계는 구동부 인가 전압을 입력으로, 투영된 영상의 픽셀 좌표를 출력으로 보는 시스템 모델을 기반으로 하였다. 픽셀 동특성을 고려한 제어기의 설계는 시스템 특성에 맞는 안정화에 유효하며 비전 시스템과 제어 이론을 결합하여 그 성능을 향상시켰다. 또한, 관심영역 설정 방식을 통하여 영상처리량을 줄일 수 있었으며 모델링의 정확도와 제어기 성능은 모의실험과 실험 결과를 비교할 때 신뢰할 수 있는 것임을 보였다.

추가적으로 DSP를 이용한 하드웨어 구현 시 보다 빠른 처리 속도를 보장할 수 있을 것이다. 또한 물체의 관심영역은 물체 좌표 정보를 이용한 위치 추정 알고리즘을 적용하면 처리속도와 정확도를 더욱 높일 수 있을 것이다. 이후 킬링 회전 시의 픽셀 동특성을 함께 고려한 팬틸트 서보 제어의 연구를 통해 보다 일반화된 형태의

능동 비전 제어 시스템을 구현할 수 있으리라 생각한다.

참고문헌

1. L. Jor Dao, M. Perrone, J. P. Costeira, and J. Santos-Victor, "Active face and feature tracking," *Image Analysis and Processing*, pp. 572-576, 1999.
2. 김유단, 김현진, "영상정보를 이용한 무인항공기 자동이착륙 유도제어 시스템 설계," 제어 로봇 시스템 학회지, 제 14권, 제 4호, pp. 28-41, 2008년 12월.
3. Peter I. Corke and Malcolm C. Good, "Dynamic effects in visual closed-loop systems," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 12, no. 5, pp. 671-683, October 1996.
4. C. Brown and D. Coombs, "Real-time binocular smooth pursuit tracking," *International Journal of Computer Vision*. Vol. 11, no.2, pp.147-164, 1993.
5. Mario Sznajder, Tamer Inanc and Octavia Camps, "Robust controller design for active vision systems," *Proceedings of the American Control Conference*, pp.2013-2017, June 2000.
6. Shoichi Araki, Takashi Matsuoka, Naokazu Yokoya and Haruo Takemura, "Real time tracking of multiple moving object contours in a moving camera image sequence," *IEICE TRANS. INF. & SYST.*, vol. E83-D, No. 7, pp. 1583-1591, 2000.
7. 양현철, 이성수, "동영상 코덱과 연동이 가능한 객체 추적 카메라용 저연산량 움직임 추적기," 전자공학회 논문지, 제45권 SD편, 제10호, pp66-74, 2008.
8. Don Murray and Anup Basu, "Motion tracking with an active camera," *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 16, no. 5, pp.449-459, 1994.
9. 정영기, 호요성, "능동 카메라를 이용한 특징기반의 물체추적," 한국해양정보통신학회 논문지, 제8권, 제3호, pp694-701, 2004.
10. 윤수진, *능동 카메라를 이용한 이동 물체 추적*, 석사학위논문, 성균관대학교, 2008.
11. D. Tsakiris, "Visual tracking strategies," Master's thesis, Dept. of Electrical Eng., Univ. of Maryland, College Park, 1988
12. Tamer Inanc, Mario Sznajder and Octavia Camps, "Robust identification and model (in)validation of active-vision systems," *Identification and control*, ? Copyright, Springer London, pp.167-200, 2007.
13. Richard C. Dorf, Robert H. Bishop, *Modern control system*, Pearson Education, Inc., 2008.

접수일: 2011년 2월 25일, 심사일: 2011년 3월 9일,
게재확정일: 2011년 3월 15일