

시각센서를 이용한 움직이는 물체의 추적 및 안정된 파지를 위한 알고리즘의 개발

차인혁*, 손영갑*, 한창수*

An Advanced Visual Tracking and Stable Grasping Algorithm for a Moving Object

In-hyuk, Cha*, Young-gab, Son*, Chang-soo, Han*

ABSTRACT

An advanced visual tracking and stable grasping algorithm for a moving object is proposed. The stable grasping points for a moving 2D polygonal object are obtained through the visual tracking system with the Kalman filter and image prediction technique. The accuracy and efficiency are improved more than any other prediction algorithms for the tracking of an object. In the processing of a visual tracking, the shape predictors construct the parameterized family and grasp planner find the grasping points of unknown object through the geometric properties of the parameterized family. This algorithm conducts a process of 'stable grasping and real time tracking'.

Key Words :Kalman Filter(칼만필터), Visual tracking(시각추적), Stable grasping(안정된파지), Parameterized family(매개화된군체).

1. 서론

움직이는 물체를 추적하기 위한 시각추적시스템은 로봇 시스템과 결합되어 많은 실험적인 시스템을 현실화하는데 사용되고 있다. 로봇에게 시각을 부여하는 것은 로봇 스스로 주위 상황을 판단하여 적절한 대응을 하며 작업할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다. 이것은 로봇에게 일정한 지능을 부여하는 것이며 제한적이긴 하지만 다양한 종류의 작업을 스스로 판단하여 처리하도록 할 수 있다. 여러 가지 센서를 이용하여 로봇에게 지능을 부여하는 방법

도 있으나 작업의 종류나 주변 상황에 따라 센서의 종류나 구성을 바꾸어야 하는 어려움이 있다. 그러나 카메라를 이용하는 시각시스템의 경우 적용성이 다른 어떤 센서보다도 우수하여 다양한 종류의 작업에 적용할 수 있으므로 이 분야에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 카메라를 이용한 시각시스템은 획득한 화상을 처리하는 전처리부와 물체를 인식하는 화상 인식부로 나눌 수 있다. 일반적으로 카메라를 통하여 획득한 화상 정보는 잡음이 많이 포함되어 있으므로 이것을 처리하여 얻은 정보도 오차를 포함하고 있다. 따라서 화상을 통하여 얻어낸 정보를 이

* 한양대학교 정밀기계공학과

용하여 물체를 추적하기 위해서는 외부 잡음에 강건해야 하며 실시간으로 시스템을 구동시킬 수 있는 제어 알고리즘이 필요하다. 칼만필터 알고리즘은 이와 같은 조건을 만족시킬 수 있는 알고리즘이며 시스템의 변화하는 상태 변수를 추정하는데 다른 어떤 알고리즘보다 우수한 것으로 알려져 있다.

1992년에 Wiliam과 Wang⁽¹¹⁾ 등이 칼만필터를 이용한 추정 알고리즘을 로봇시스템에 적용하는 방법에 대하여 연구하였다. William은 이 연구에서 하나의 카메라로 물체의 3차원 위치와 자세를 계산해 내고 추정하는 알고리즘을 제안하였으며 이때 물체의 크기와 모양에 대한 정보는 이미 알고 있다고 가정하였다. 본 연구에서는 이러한 사전정보 없이 대상 물체의 기하학적 특징을 이용하여 형상을 인식하고 매개화된 군체를 구성하여 추적물체의 적절한 파지 위치와 자세를 추정하는 알고리즘을 개발하였다. Papanikolopoulos와 khosla⁽¹²⁾는 PID, LQG, Pole-placement 등의 다양한 제어법칙을 이용하여 추정 알고리즘을 연구하였다. 추적한 대상물을 파지(grasping)하기 위한 화상예측 알고리즘에 대한 연구로는 최대공산(Maximum likelyhood) 이론⁽¹³⁾으로 제한된 영역에서 특정 모서리점을 예측하는 알고리즘이 구현되었다. Aisbett⁽¹⁴⁾와 Shariat⁽¹⁵⁾는 여러 개의 대응된 특징점으로 부터 화상의 기하학적 특성을 예측하는 방법을 연구하였다. 화상 정보를 이용한 물체의 추적과 파지에 대한 연구⁽¹¹⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾는 정지된 물체의 인식 및 파지에 관한 연구에서 시작하여 현재는 움직이는 물체를 추적하여 파지할 수 있도록 하는 연구가 진행되고 있으며 이때 좀 더 빠르고 정확한 대상 물체의 인식 및 안정된 파지가 중요한 문제가 되었다.

본 연구에서는 작업 대상물의 시각추적을 위하여 칼만필터(Kalman Filter)를 사용하였다⁽¹⁰⁾. 또한 화상처리 속도의 개선을 위하여 가능한 작은 영역의 화상을 이용하여 특징점을 찾아내는 화상 예측 알고리즘을 적용하였다. 파지시스템은 사전 정보가 없는 작업 대상물의 전체적인 기하학적 특성 인식 문제를 매개화된 군체(parameterized family)로 표현하여 처리함으로써 해결하였고, 이 군체를 이용하여 안정된 파지를 위한 파지점을 찾아내도록 알고리즘⁽¹¹⁾을 구성하였다.

본 연구의 최종 목표는 작업 대상물을 시각 정보를 통하여 추적하고 대상물의 기하학적 특성을 사전정보 없이 인식하며 안정된 파지점을 찾아 파지할 수 있도록 하는 데 있다.

2. 시스템 구성

본 연구를 수행하기 위하여 Fig.1과 같이 시스템을 구성하였으며 크게 기능별로 추적시스템(tracking system)과 파지시스템(grasping system) 그리고 로봇시스템(robot system)으로 나눌 수 있다. 여기서 추적시스템은 화상예측기와 궤적생성부로 구성되며 파지시스템은 형상추론기와 파지계획기로 구성된다. 화상예측기는 카메라가 화상정보로 받아들일 영역을 결정하며 칼만필터 알고리즘을 이용하여 이 영역의 위치를 추정하게 된다. 이때 추적 대상 물체의 위치를 함께 추정하게 되며 화상처리와 형상추론은 이 영역 내의 화상정보를 바탕으로 수행하게 된다.

궤적 생성부는 현재의 로봇시스템 위치를 추정한 대상 물체의 위치로 이동시키기 위하여 필요한 궤적을 생성하여 로봇시스템으로 전달한다. 형상추론기는 카메라로부터 얻어진 화상정보를 처리하여 물체의 형상을 유도하고 매개화된 군체를 구성한다. 이 부분이 전체 프로그램 구성중 계산 시간을 가장 많이 차지하는 부분이며 계산 시간을 단축하기 위해서는 인식 알고리즘의 개선과 빠른 데이터 처리가 가능한 고성능 컴퓨터를 필요로 한다.

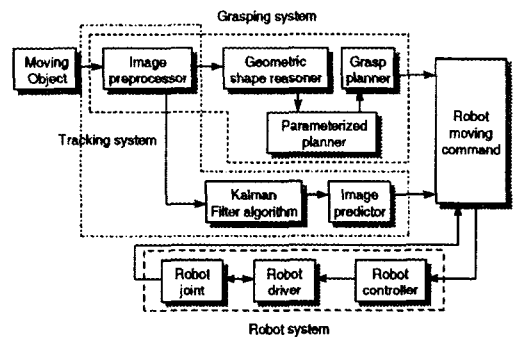


Fig. 1 System construction

파지계획기는 매개화된 군체를 이용하여 작업대상 물체에 대하여 force closure가 이루어지는 파지위치⁽¹¹⁾를 선정한다. 파지계획기는 불필요한 계산을 줄이기 위하여 추적창에 처음 입력된 추적 물체에 대하여만 수행되도록 하였다. 추적창에 입력된 물체의 파지점이 선정되면 추정된 중심위치를 기준으로 거리와 각도로 변환하여 저장하고 파지점 선정 후 파지작업을 완료할 때까지 추적시스템은 움직이는 물체의 중심위치와 기울기만을 추적한다. 파지

작업이 종료되면 새로운 추적 물체를 포착할 수 있도록 카메라를 초기위치로 이동하게 된다. Fig. 2는 전체 시스템을 운영하는 프로그램의 흐름도이다. Fig. 2에서 물체의 추적부분에는 로봇의 구동부분이 포함되어 있으며 파지가 완료되었는지를 알려주는 신호를 발생한다.

시스템을 구성하는 H/W를 살펴보면 Controller는 모든 계산 과정의 처리시간 단축과 시스템의 운영효율을 높이기 위하여 586PC와 MMC(TMS320C31)로 분담하여 처리하도록 구성하였다. PC는 입력된 화상으로부터 특징점을 추출하고 추적알고리즘을 수행하며 MMC(Multi Motion Controller)는 추적알고리즘을 통하여 계산된 로봇구동에 대한 정보를 이용하여 로봇을 구동 시키는 일을 한다. 이때 주변 장치로는 화상획득을 위한 Image grabber(50Hz)와 각 신호의 입출력을 위한 I/O channel과 로봇암을 움직이기 위한 모터 드라이버 등으로 구성되어 있다. 본 시스템이 안정적으로 작동하기 위해서 물체의 움직임이 각 샘플링(sampling) 시간 동안 그 속도가 상수로 표현될 정도로 서서히 움직이며 움직임 궤적은 충분히 부드럽게 움직인다고 가정한다. 샘플링 시간은 화상 정보를 처리하고 최종적으로 로봇암에 추종 명령을 내릴 때까지 걸리는 시간에 따라 결정되며 일반적으로 1cycle time보다 길게 설정한다. 본 시스템에서는 화상 획득과 처리를 위한 샘플링 시간을 500msec로 하고 로봇 구동 명령은 궤적계획을 실행하며 30msec마다 출력하도록 설계하였다. 구동용 로봇으로는 SCARA type의 FARA로봇으로 선정하였고 카메라는 16mm lens, inter pixel space 0.0086mm, 초점거리

12mm 그리고 640x480 pixel array를 지닌 CCD (sony, NTSC)를 사용하였다.

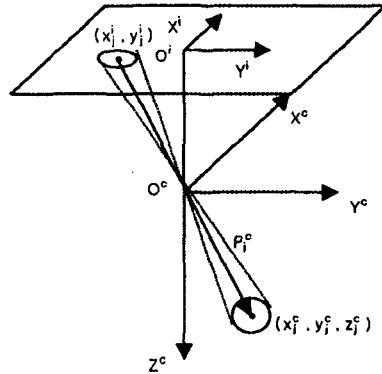


Fig. 3 Pin-hole camera modeling

3. 시각추적시스템(Visual tracking System)

3. 1 칼만 필터를 이용한 위치추정

움직이는 물체의 위치를 추정하기 위해서는 물체의 등속운동 모델과 물체의 위치를 측정하는 센서에 대한 모델링이 선행 되어야 한다. 이때 물체의 운동모델은 시스템 상태방정식이 되고 센서에 대한 모델은 출력방정식이 된다. Fig. 3은 시각 센서로 쓰이는 핀-홀 카메라의 모델이다.

여기서 사용한 각 기호에 대한 정의는 다음과 같다.

- X^i, X^c, O^i : 화상 좌표계
- X^c, Y^c, Z^c, O^c : 카메라 좌표계
- $P_j^c = (x_j^c, y_j^c, z_j^c)^T$: 카메라 좌표계 상에서 j번째 중심점에 대한 좌표
- x_j^i, y_j^i : 카메라 좌표계에서 화상 좌표계로의 j번째 중심점의 투영좌표

카메라 좌표계에서의 특징점 좌표는 식(1)과 같은 관계에 의하여 화상 좌표계로 투영되고 화상 좌표계상에서 특징점의 좌표값을 얻을 수 있다. 이때 카메라 좌표계에서 물체의 특징점은 z방향으로 고정되어 있다고 가정한다.

$$x_j^i = -\frac{F x_j^c}{P_x z_j^c}, \quad y_j^i = -\frac{F y_j^c}{P_y z_j^c} \quad (1)$$

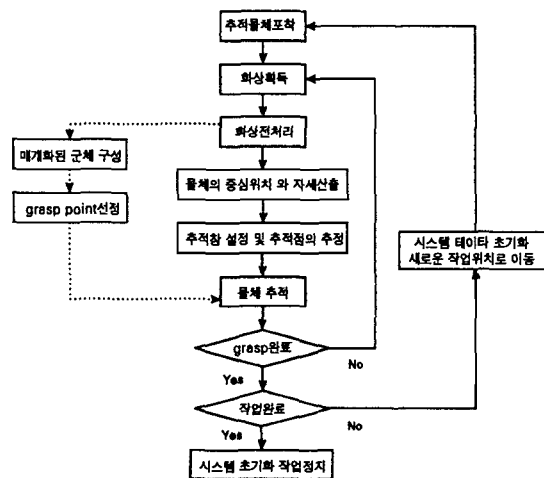


Fig. 2 Program flowchart of the system

여기서

F : 카메라 초점 거리 (0.0173m)

P_x, P_y : 1화소의 x, y 방향의 크기(0.00006m/pixel)

칼만필터를 이용한 시각추적 알고리즘을 구성하기 위해서는 시스템 상태 방정식과 출력 방정식이 필요하다. 출력 방정식은 식(1)의 관계를 이용하여 식(3)과 같이 구할 수 있다. 식(3)은 물체의 화상을 입력 받고 중심점과 같은 특징점을 추출하는데 포함되는 잡음 요소를 포함하고 있다.

시스템 동적 모델은 위치와 관련된 시스템 상태항으로 카메라 관점에서 상대 물체운동을 나타내도록 정의된다. 식(2)는 물체의 중심좌표 위치와 속도를 고려한 상태벡터를 정의하고 그 관계를 표현하였고 모델링 오차에 의한 잡음요소를 포함하고 있다. 여기서 각 기호의 아래 첨자 k 는 이산 시간을 의미하고 상태변수는 물체의 중심좌표와 기울기로 하였다.

$$X_{k+1} = AX_k + \eta_k \quad (2)$$

$$Z_k = HX_k + \xi_k \quad (3)$$

$$H = -F \begin{bmatrix} \frac{1}{P_x z^c} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{P_y z^c} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{-1}{F} & 0 \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} 1 & T_s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T_s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & T_s \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Z^c : 카메라 프레임에서 물체까지의 거리 (0.2m)

F : 카메라 초점 거리 (0.0173m)

P_x, P_y : 1화소의 x, y 방향의 크기(0.00006m/pixel)

여기서 $X_k = [x_k^c, \dot{x}_k^c, y_k^c, \dot{y}_k^c, \theta_k^c, \dot{\theta}_k^c]^T$: 시스템 상태 벡터

A : 시스템 행렬

η_k : 공분산 Q 를 갖는 동적외란 벡터

$Z_k = [x_k^i, y_k^i, \theta_k^i]^T$: 출력 상태 벡터 (물체의 중심위치 좌표)

ξ_k : 공분산이 R 인 영 평균 가우시안 백색외란

H : 시스템 출력 행렬

T_s : 샘플링 시간

따라서 칼만필터를 식(4), (5)와 같이 정식화 한다.

- Time update formulation

$$\hat{X}_{k+1|k} = A\hat{X}_{k|k}$$

$$P_{k+1|k} = AP_{k|k}A^T + Q_k \quad (4)$$

- Measurement update formulation

$$K_{k+1} = P_{k+1|k}H^T(R_{k+1} + H P_{k+1|k}H^T)^{-1} \quad (5)$$

$$\hat{X}_{k+1|k+1} = \hat{X}_{k+1|k} + K_{k+1}[Z_{k+1} - H\hat{X}_{k+1|k}]$$

$$P_{k+1|k+1} = P_{k+1|k} - K_{k+1}H P_{k+1|k}$$

3.2 화상위치 추정 알고리즘

카메라를 통하여 광범위한 작업영역 전체의 화상 정보를 얻어내어 처리하는 경우 오차가 커지며 방대한 데이터 처리로 추적시스템(tracking system)에 필수적인 실시간처리(real-time processing)가 불가능하게 된다. 따라서 작업 대상물의 위치를 예측하고 그 위치를 기준으로 일정한 크기의 창(window)을 설정하여 창 내부의 화상만 받아들여 처리하도록 시스템을 구축한다. 컨베이어를 따라 이동하는 물체를 추적하고 파지하는 경우 물체의 초기 위치와 자세는 일정하지 않다. 따라서 카메라가 이동하여 추적물체의 화상을 획득하기 위한 물체의 대략적인 초기 위치는 컨베이어 시스템에서 일반적으로 많이 사용하고 있는 광센서나 접촉센서와 같은 센서들을 통하여 알 수 있어야 한다. 본 논문에서는 이와 같은 센서시스템은 구축하지 않았으므로 물체의 초기 위치를 임의로 주고 그 위치로 카메라를 이동시켜 카메라를 통하여 만들어지는 창 내부로 물체의 화상이 들어오도록 하였다. 물체가 일단 창 내부로 들어오면 물체의 다음 위치는 추적시스템이 추정하며 카메라를 이동 시켜 화상을 획득할 수 있도록 하였다. 추적대상은 물체의 중심좌표이며 시각 시스템을 이용하여 얻어낸 화상정보를 처리하여 중심좌표를 추출한다.

한번 추적을 시작한 물체에 대해서는 작업이 종료될 때까지 추적을 계속하게 된다. 물체의 파지점은 물체의 화상을 받아들인 직후 찾아내어 중심점에 대한 좌표로 변환하고 물체를 파지할 때 변환된 정보를 사용할 수 있도록 하였다. 화상예측 알고리즘이란 바로 이러한 일련의 과정을 결정하는 것이며 단계별로 설명하면 다음과 같다.

단계1 (화상획득) : 단계 4로부터 전달된 예측된 창

의 위치에 근거하여 새로운 화상을 받아들이나.

단계2 (특징점추출) : 물체의 파지점과 중심점을 추출하고 중심점의 좌표를 칼만필터의 입력값으로 이용한다.

단계3 (화상예측) : 칼만필터 알고리즘을 이용하여 다음 샘플링 시간의 센서입력값 예측

단계4 (창의 위치계산) : 예측된 특징점이 창 영역안에 존재하도록 창의 시작점을 결정하여 단계1에 전달한다.

4. 파지시스템

4.1 형상추론

사전 정보 없는 대상 물체를 파지하기 위해서는 먼저 카메라로부터 얻은 화상정보로부터 작업 대상물체의 형상을 유도하여야 한다. 안정된 파지를 위해서는 물체의 형상뿐만 아니라 물체의 크기도 파지위치를 결정하는 중요한 인자이다. 물체의 형상과 크기와 같은 기하학적 정보를 얻기 위하여 먼저 카메라로부터 얻은 화상정보로부터 대상물체의 형상을 유도하여야 하며 대상물체의 모서리점을 검출하여 형상을 유도하는 방법을 사용하였다⁽¹¹⁾. 이때 초기화상에 포함된 잡음을 제거하기 위하여 매디안 필터를 사용하였고 화상 내의 gray level 변화에 무관하게 물체와 배경의 분리를 위한 임계값은 자동으로 설정하도록 구성하였다⁽¹¹⁾. 마지막으로 추적을 위한 물체의 중심좌표는 추출된 물체의 외곽선에 모멘트법을 적용하여 구한다. 안정된 파지⁽¹²⁾를 위하여 유도된 형상정보 즉 선과 모서리점에 대한 정보와 도심의 위치를 매개화된 군체⁽¹³⁾로 구성하였다. 이때 변과 접촉시에는 변의 법선벡터가 필요하며 절점과의 접촉 시에는 절점을 이루는 양변의 접선벡터가 필요하다⁽³⁾. 따라서 매개화된 군체의 방향벡터 성분은 접촉시 발생하는 wrench계의 방향을 표현한다⁽¹¹⁾. 물체의 표면 마찰계수는 파지시 파지의 위치를 정하는데 중요한 요소가 된다. 마찰계수가 주어진 경우 매개화된 군체의 기본 형태는 다음과 같다.

$$\text{변} : E_i = [(\vec{n}_i - \vec{\mu}_i, \vec{n}_i + \vec{\mu}_i), (P_{C_i}, P_{C_{i+1}})]$$

$$\text{모서리점} : C_i = [(\vec{n}_i - \vec{\mu}_i, \vec{n}_{i+1} + \vec{\mu}_{i+1}), (P_{C_i})]$$

여기서 \vec{n}_i : i번째 단위법선 \vec{i}_i : i번째 접선벡터

μ : 물체의 마찰계수 P_{C_i} : i번째 모서리 점의 위치좌표

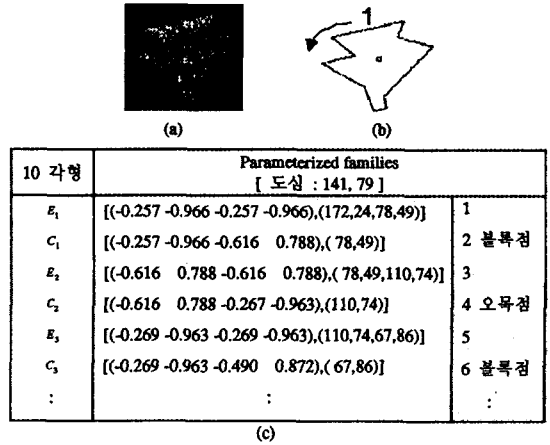


Fig. 4 The Estimated Edge, Center point(b) of an original image(a) and parameterized family(c) about the image data

매개화된 군체는 물체의 기하학적 특징을 나타내며 force closure grasp를 구성하기 위해 제안된 여러 가지 이론에 필요한 물체의 기하학적 정보를 제공할 수 있으므로 유용성이 매우 크다고 할 수 있다. Fig. 4에서는 임의의 형태를 갖는 2차원 화상에 대해서 유도된 외곽선과 중심점, 그에 따른 매개화된 군체의 예를 들어 놓았다.

4.2 파지계획기

매개화된 군체를 이용하여 변과 모서리점의 조합으로 파지위치가 선정될 수 있는 기본 field를 구성한 후 접촉을 통해 물체에 적용할 수 있는 힘의 방향에 기준하여 여러 개의 파지 위치들을 선정한다⁽¹¹⁾. 선정된 파지 위치들을 Son과 Han⁽¹¹⁾이 그의 연구에서 제시한 방법으로 평가하여 최종의 파지 위치들을 구하며 이때 사용자가 로봇 손가락의 구속 조건을 입력하여 평가에 반영할 수 있도록 하였다.

Fig. 5는 원 화상으로부터 물체의 형상을 유도하고 파



Fig. 5 Grasping point

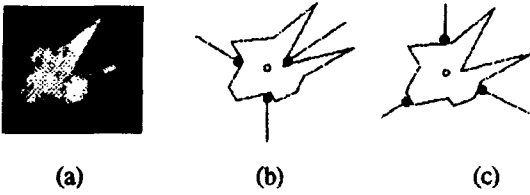


Fig. 6 Grasp position with/without the constraint condition

지위치를 찾아낸 결과를 나타내고 있고 Fig. 6은 구속이 있는 경우 파지 위치를 찾아낸 결과를 보여 준다. 이 시스템은 다 자유도를 갖는 3개의 손가락을 갖는 로봇을 대상으로 하고 있으며 양변이 90도 이하의 각을 가지고 있을 때 손가락이 도달할 수 없다는 구속 조건을 입력한 결과이다. Fig. 6의 (b)는 구속 조건이 없는 경우에 제시된 파지 위치이며 (c)는 구속 조건이 있는 경우 90도 이하의 각을 이루는 절점에 로봇의 손가락이 도달할 수 없기 때문에 (b)와 다른 파지 위치를 찾아낸 결과를 보여준다.

5. 추적시스템 알고리즘 평가

칼만 필터의 성능과 알고리즘은 이미 일반적으로 많이 알려져 있으나 본 시스템에 적용된 칼만 필터가 어떻게 동작하는지 확인하기 위하여 실험에 의하여 얻은 센서의 측정오차분산과 칼만 필터를 적용하여 얻은 추정오차 분산을 비교하여 평가하였다. Table 1은 물체가 정지해 있을 경우 물체의 중심좌표를 추적한 결과이다. 각각의 오차분산(error variance)을 비교한 결과 칼만 필터를 적용한 경우 측정잡음에 의하여 발생한 오차가 상당히 감소한 것을 알 수 있었다. 센서의 측정오차는 정지한 물체의 중심점을 200여회 측정을 반복한 후 평균과 오차분산을 계산하였으며 칼만 필터를 통하여 얻은 추정값으로 다시 평균과 오차분산을 계산하여 비교한 것이다. 이때 공정잡음 η_k 의 공분산 Q 는 $\text{diag}(0.01 \dots 0.01)$ 로 선정하였다. Table 1의 결과에서 알 수 있듯이 칼만 필터를 적용한 경우 시각센서를 이용한 측정시 발생하는 오차분산을 초기 오차분산의 0.26% 수준으로 낮출 수 있었다.

Table 1. Comparison of the error variance

Feature(도심)	Error Variance	
Sensor Error Variance	X	0.06
	Y	0.06
Kalman Output Error Variance	X	0.00016
	Y	0.00016

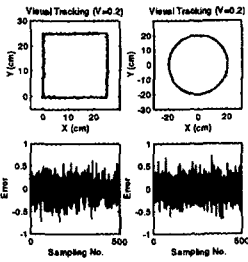
Table 2는 Q 매트릭스를 고정시킨 상태에서 물체의 속도가 변화함에 따른 오차분산을 시뮬레이션한 결과이다. 속도변화에 따른 오차분산의 큰 변화는 보이지 아니하며 선형운동의 경우 속도변화에 대해서는 다소 강건함을 보이고 있다. 그러나 속도가 높아짐에 따라 오차분산이 미세히 커지고 있음을 알 수 있으며 속도에 따라 Q 행렬의 각 해당 항을 적절한 값으로 선정하는 것이 중요하다고 하겠다. 시스템 모델의 외란은 물체의 속도관련 상태변수에 관련되므로 Q 매트릭스의 위치관련 상태변수에 관련되는 항들은 0으로 선택하였고 나머지 항들은 각 샘플링 시간 사이의 속도오차 분산을 계산하여 결정하였다.

Table 2. Tracking Error for Linear Motion with Increasing Acceleration

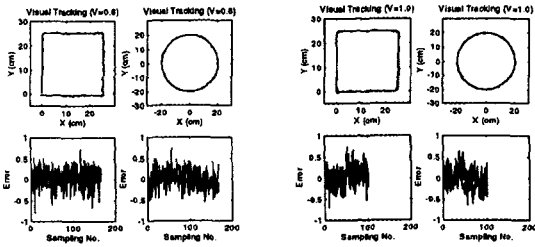
Velocity (cm/sampling time)	Error Variance(X)	Error Variance(Y)
0.2	0.000158	0.000154
0.4	0.000160	0.000161
0.6	0.000165	0.000158
0.8	0.000165	0.000164
1.0	0.000167	0.000168

Table 2의 각 오차분산 값은 추적 알고리즘 구현의 정확한 평가를 위하여 선형으로 일정한 속도로 움직이고 있는 물체의 궤적을 수식화 하여 적용한 결과이며 시각추적 알고리즘을 위하여 필요한 모든 파라미터는 실제 시스템을 구성하고 있는 실험 장비의 사양을 그대로 적용하였고 실제 실험시 발생할 측정 잡음도 고려하였다. 같은 조건 하에서 1000회 정도 추적을 실시하였으며 각 추적 결과에 대한 오차분산을 구하여 결과에 대한 신뢰도를 높였다. 각 측정변수는 서로 독립적이므로 공분산 매트릭스 R 은 대각행렬이 되고 실험에 의하여 $\text{diag}(0.06, \dots, 0.06)$ 로 선정하였다.

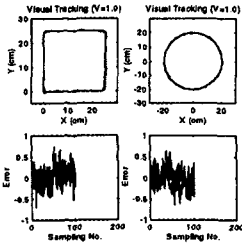
Fig. 7과 Table 3은 물체가 사각형의 궤적과 원형의 궤적을 따라 움직일 때 그 물체를 추적한 결과와 그때의 오차를 나타낸 것이다. $Q = \text{diag}(0.01, \dots)$ 인 경우 각 오차분산 값을 살펴보면 물체의 이동속도에 비례하여 오차분산이 커지고 있으나 궤적의 형태에 대해서는 큰 차이를 보이지 않고 있음을 알 수 있다. Table 2의 선형운동을 추적한 경우의 오차분산 값과 비교하면 속도에 따른 오차분산의 증가가 있음을 알 수 있다. 이것은 선형궤적과는 달리 사각형이나 원형궤적을 추적하는 경우 사각형의 모서리부분과 원형궤적의 지속적인 운동방향의 변화에 기인한 것으로 속도가 높을수록 추적오차가 커진다는 것을



(a)



(b)



(c)

Fig. 7 The tracking results according to the velocity of the path

의미한다. 따라서 이때 Q값을 적절히 조정함으로써 추적 오차를 줄일 수 있다. Table 3에 $Q = \text{diag}(0.1 \dots 0.1)$ 로 Q값을 조정 한 결과를 함께 나타내었다. 선형궤적의 경우와 비슷하게 속도에 따른 추적오차가 감소한 것을 알 수 있다. 각 Table의 결과는 신뢰성을 높이기 위하여 같은 궤적을 같은 조건하에서 20회 반복하여 추적하였고 오차 분산 결과를 평균하였다. 또한 물체가 움직이는 궤적의 정확한 추적성능을 살펴보기 위하여 물체가 움직일 궤적을 수식화 하여 기준궤적으로 선정하여 측정잡음을 고려한 추적궤적과의 차이를 추적오차로 구하였다.

Table 3. Error Variance of each path according to velocity

Q	Velocity (cm/sampling time)	Error Variance of Rectangle path (cm ²)	Error Variance of Circle path (cm ²)
0.01	0.2	0.00016	0.00016
	0.6	0.00022	0.00022
	1.0	0.00030	0.00034
0.1	0.2	0.00016	0.00016
	0.6	0.00017	0.00017
	1.0	0.00018	0.00018

선형궤적의 경우 속도에 따른 변화가 작지만 사각형이나 원형궤적으로 운동하는 물체를 추적하는 경우 속도에 따른 오차분산의 변화가 큰 것을 알 수 있다. 알고리즘의



Fig. 8 A rotating rectangle object for the visual tracking and grasp point

좀 더 정확한 성능검증을 위하여 회전하며 이동하는 물체를 추적하여 파지하는 성능을 고찰하여 보았다. Fig. 8과 같은 직육면체 (40x20mm)의 물체를 선정하여 일정한 회전속도를 갖고 임의로 설정한 직선 궤적을 이동하도록 하였다.

이때 시각추적시스템은 물체의 중심좌표와 물체의 회전각도만을 추정하게 되며 각 파지점은 시각추적 초기에 파지시스템을 통하여 찾아낸 후 파지점을 중심점과 회전각을 기준으로 한 위치 좌표로 변환하여 저장한다. 따라서 이동하는 물체의 중심좌표와 회전각도만 주어지면 이동된 파지점을 계산할 수 있다. Fig. 9는 Fig. 7(a)의 경우와 같은 속도로 0.5(도/sampling time)의 회전을 하며 직선 궤적을 이동하였을 때의 알고리즘 수행 결과를 보여 주고 있다.

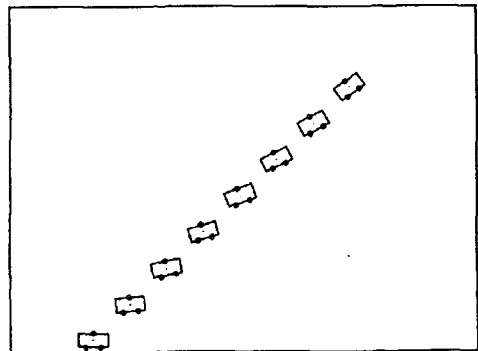


Fig. 9 Visual tracking of a rotating rectangle object and a movement of the grasping points

6. 결론 및 향후 계획

본 연구에서는 움직이는 2차원 다각형 물체를 안정하게 파지하기 위한 시각추적시스템을 구성하였다. 시뮬레이션 및 실험결과를 통하여 전체시스템을 구성하고 있는 각각의 하위시스템을 성능 평가하여 비교적 만족할 만한 결

과를 얻을 수 있었고 움직이는 물체를 추적하고 파지점을 찾아내는 과정을 시뮬레이션을 통하여 평가할 수 있었다. 그러나 아직 외란 상태와 추적 물체의 궤적에 따른 속도에 대한 영향이 크게 나타나므로 이에 대한 연구가 더 진행되어야 할 것이다. 프로그램 처리 시간은 시각추적부의 경우 1cycle time당 0.5msec이하로 실시간 처리가 가능하지만 파지시스템의 처리시간이 인식형태에 따라 약 1-2초 정도 걸리는 것으로 나타났다.

그러나 인식 과정은 하나의 물체를 파지하는 동안 한번만 실행하므로 전체시스템 운영에 큰 영향을 미치지 않도록 하였다. 하지만 빠르고 원활한 시스템 운영을 위해서는 인식을 위한 처리 시간을 단축시켜야 할 필요가 있다. 이를 위해서는 효과적인 화상처리 알고리즘의 개발과 고성능 처리능력을 갖는 데이터 처리장치가 필요할 것이다. 또한 효과적인 시스템 운영 기법의 개발도 병행되어 연구하여야 할 것이다. 본 연구에서는 시스템 구성시 1개의 카메라를 사용하여 2D 물체를 추적하고 파지점을 찾아내도록 알고리즘과 시스템을 구성하였다. 따라서, 3D물체에 대한 적용시 다소 큰 오차를 수반할 것이다. 향후 3D 물체로 시스템을 확장 적용하기 위하여 2개의 카메라를 사용하는 Stereo vision system을 구축할 계획이며 본 연구에서 시각추적시스템 알고리즘 개발시 3D로의 확장이 용이하도록 구성하였다.

참 고 문 헌

1. Jiang Wang and William J. Wilson, "3D Relative and Orientation Estimation Using Kalman Filter For Robot Control," IEEE, International Conference on Robotics and Automation, Nice, France, pp. 2638-2645, May 1992.
2. N. Papanikolopoulos and P. K. Khosla, "Vision and Control Techniques for Robotic Visual Tracking," IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 857~864, 1992.
3. R. J. Evans, "Aircraft Flight Data Compatibility Checking Using Maximum Likelihood and Extended Kalman Filter Estimation," International Federation Automatic Control, pp. 487~492, 1985.
4. Janet Aisbett "An Iterated Estimation of Motion Parameters of a Rigid Body from Noisy Displacement Vectors," IEEE Transactions on Patt. Anal. Machine Int. (PAMI), pp. 12-11:1092-1098, 1990.
5. Hormoz Shariat and Keith E. Price., "Motion Estimation of the Motion with more two frames," IEEE Transactions on Patt. Anal. Machine Int.(PAMI), pp. 12-5:417-434, 1991.
6. Youmin Zhang and Guanzhong Dai, "A SVD-based extended Kalman filter and applications to aircraft flight state and parameter estimation," Proceeding of the American Control Conference, Maryland, June, pp. 1809-1813, 1994.
7. Koichi Hashimoto, *VISUAL SERVOING*, World Scientific, pp. 71-104, 1993.
8. Peter K. Allen, "Trajectory Filtering and Prediction for Automated Tracking and Grasping of a Moving Object," Image Understanding Workshop, January, pp. 1019-1033, 1992.
9. Rafael Kelly and Mark W. Spong, "Fixed-Camera Visual Servo Control for Planar Robots," IEEE International Conference on Robotics and Automation, Minnesota-April, pp. 2643-2649, 1996.
10. Young C. Park and Gregory P. Starr, "Grasp Synthesis of Polygonal Objects Using a Three - Fingered Robot hand," *International Journal of Robotics Research*, vol. 11, No. 3, June, pp. 163-183, 1992.
11. Young-gab Son, Chang-soo Han, "A Study on the Grasping System Using the Identification of Geometric Property," 9th Robotics and Automation Workshop, KOEX, Seoul, Korea, April, pp. 127-131, 1995.
12. Yasuyuki Funahashi, "Grasp Stability Analysis Considering the Curvatures at Contact Points," IEEE, International Conference on Robotics and Automation, Minnesota-April, pp. 3040-3046, 1996.