

# 확장칼만필터를 이용한 실시간 표적추적

임 양 남\*, 이 성 철\*\*

## Real-time Target Tracking System by Extended Kalman Filter

Yang-Nam Lim\*, Seong-Cheol Lee\*\*

### ABSTRACT

This paper describes realtime visual tracking system of moving object for three dimensional target using EKF(Extended Kalman Filter). We present a new realtime visual tracking using EKF algorithm and image prediction algorithm. We demonstrate the performance of these tracking algorithm through real experiment. The experimental results show the effectiveness of the EKF algorithm and image prediction algorithm for realtime tracking and estimated state value of filter, predicting the position of moving object to minimize an image processing area, and by reducing the effect by quantization noise of image.

**Key Words** : Real-time Tracking(실시간 추적), Vision System(비전시스템), Extended Kalman Filter(확장칼만필터)

### 1. 서 론

이동물체를 추적하는 연구에 화상정보를 많이 사용하고 있다. 화상정보를 이용하여 주변환경을 인식할 경우, 가장 문제가 되는 것은 정보의 계산량에 따른 실시간 처리의 어려움이다. 화상정보를 이용한 위치예측과 이동물체의 추적에는 계산량 증가로 인하여 실시간 추적의 어려움과 함께 화상 데이터의 양자화 및 노이즈 영향으로 정도가 저하된다. 그러므로 이동물체의 식별과 위치 추적에 계산량이 많으므로 보다 간단하고 신속히 처리하는 알고리즘이 필요하다.<sup>(1-4)</sup>

본 논문에서는 안정된 예측이 가능한 실시간 표적 추적을 구현하기 위하여 표적 위치를 미리 예측하며, 수치적

으로 안정하고 센서의 비상관 외란까지 다룰 수 있는 확장칼만필터 알고리즘을 사용하고, 움직이는 이동 물체의 추적시 화상처리 속도의 개선을 위하여 카메라가 촬영하는 전체 화상중 가능한 작은 영역의 윈도우 화상을 이용하여 특징점을 찾아내기 위한 이미지 추적 알고리즘과 이미지 습득 및 추적 알고리즘을 연산 수행하는 데이터의 병렬처리 방법으로 영상처리 시간을 단축하는 알고리즘을 제안하고, 실시간 추적의 적용성에 대하여 실험으로 측정된 결과와 비교 분석하였다.

### 2. 확장칼만필터 알고리즘

비선형 시스템 모델을 다음과 같이 표현하자.<sup>(5)(6)</sup>

\* 전북대학교 대학원 기계공학과  
\*\* 전북대학교 기계공학부, 자동차신기술연구소

$$\begin{cases} X_{k+1} = f_k(X_k) + H_k(X_k)\xi_k \\ V_k = g_k(X_k) + \eta_k \end{cases} \quad (1)$$

여기서,  $f_k$ 와  $g_k$ 는 각각  $R^n$ ,  $R^q(1 \leq q \leq n)$ 의 범위를 갖는 벡터함수이고,  $H_k$ 는  $R^n \times R^q$ 의 범위의 행렬함수이다. 그래서  $X_k$ 의 모든 요소에 관계되는 각  $k$ 의  $f_k(X_k)$ 와  $g_k(X_k)$ 의 1차 편도함수는 연속이다.

각각  $1 \leq p, q \leq n$ 인  $R^p$ 와  $R^q$ 의 범위를 가지는 평균 백색 가우시안 노이즈(zero-mean Gaussian white noise)  $\{\xi_k\}$ 와  $\{\eta_k\}$ 를 고려하고 모든  $k$ 와  $l$ 에 대해서 다음과 같이 가정하면,

$$\begin{aligned} E(\xi_k \xi_l^T) &= Q_k \delta_{kl}, \quad E(\eta_k \eta_l^T) = R_k \delta_{kl} \\ E(\xi_k \xi_l^T) &= 0, \quad E(\xi_k X_0^T) = 0, \quad E(\eta_k X_0^T) = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

이 되고, 확장칼만필터 알고리즘은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{cases} P_{0,0} = \text{Var}(X_0), \quad \hat{X}_0 = E(X_0) \\ \text{For } k=1,2,\dots, \\ P_{k,k-1} = \left[ \frac{\partial f_{k-1}}{\partial X_{k-1}}(\hat{X}_{k-1}) \right] P_{k-1,k-1} \left[ \frac{\partial f_{k-1}}{\partial X_{k-1}}(\hat{X}_{k-1}) \right]^T \\ \quad + H_{k-1}(\hat{X}_{k-1}) Q_{k-1} H_{k-1}^T(\hat{X}_{k-1}) \\ X_{k|k-1} = f_{k-1}(\hat{X}_{k-1}) \\ G_k = P_{k,k-1} \left[ \frac{\partial g_k}{\partial X_k}(\hat{X}_{k|k-1}) \right]^T \\ \quad \cdot \left[ \left[ \frac{\partial g_k}{\partial X_k}(\hat{X}_{k|k-1}) \right] P_{k,k-1} \left[ \frac{\partial g_k}{\partial X_k}(\hat{X}_{k|k-1}) \right]^T + R_k \right]^{-1} \\ P_{k,k} = \left[ I - G_k \left[ \frac{\partial g_k}{\partial X_k}(\hat{X}_{k|k-1}) \right] \right] P_{k,k-1} \\ \hat{X}_{k|k} = \hat{X}_{k|k-1} + G_k (V_k - g_k(\hat{X}_{k|k-1})) \end{cases} \quad (3)$$

### 3. 이미지 프로세싱

Fig.1은 투영면적과 3차원 공간 내에 존재하는 물체의 기하학적 관계를 나타낸다. 그림에서 물체의 실제 단면적  $S$ 와 화상 상의 투영면적  $S_i$ 사이에서 다음 관계식을 얻을 수 있다.<sup>(7)</sup>

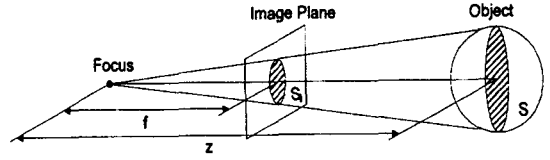


Fig. 1 Relation between Projection Area and Coordinate Axis

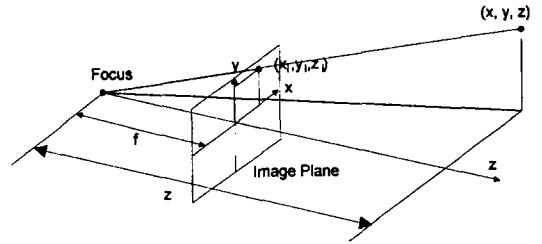


Fig. 2 Perspective Transformation to Image Plane

$$\frac{S}{z^2} = \frac{S_i}{f^2} \quad (4)$$

여기서,  $z$ 는 물체까지의 거리,  $f$ 는 카메라의 초점거리를 나타낸다.

Fig.2는 투영 변환에 의해서 이미지 평면에 투영되는 물체의 상을 이용하여 기하학적 관계를 나타낸다. 물체까지의 거리  $z$ 와 화상상의 물체의 중심위치  $x_i, y_i$ 를 알고 있다면, 물체의 실제  $x, y$ 좌표를 식 (5)로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} x &= \frac{x_i}{z} f \\ y &= \frac{y_i}{z} f \end{aligned} \quad (5)$$

그러므로 물체의 실제 단면적  $S$ 를 이미 알고 있을 때 이미지상에서 얻어진 물체의 중심위치  $x_i, y_i$ , 투영면적  $S_i$ 에 의해 실제의 3차원 위치  $x, y, z$ 를 구할 수 있다.

카메라 렌즈의 왜곡에 의한 변형오차가 없다면 이미지 좌표를 이용하여 정확한 3차원 위치를 측정할 수 있을 것이다. 또, 물체 거리정보는 투영면적의 변화에 의존하기 때문에 투영면적의 검출정도가 그대로 측정결과에 반영되어 화상의 양자화에 의한 영향이 커지게 된다. 그래서 이러한 오류의 요인들이 존재하기 때문에 추정 이론이 이용되어야만 한다.

목표물 추적은 임의의 시간  $t(k)$ 까지의 측정데이터가 주어졌을 때 시간  $t(k)$ 에서의 목표물의 상태 즉, 위치, 속도,

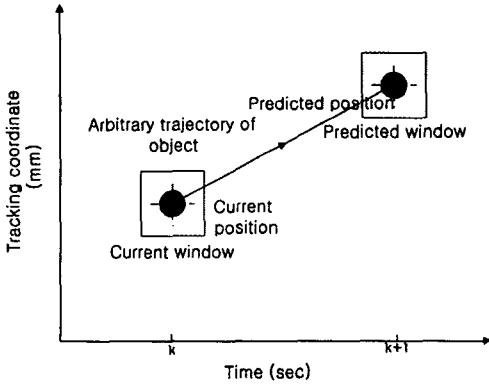


Fig. 3 Geometry of the Moving Object

가속도 등을 추정하고, 시간  $t(k+1)$ 에서의 목표물의 상태를 예측하며, 예측한 점을 중심으로 일정한 영역 즉, 추적 윈도우를 설정하는 작업을 수행한다.

Fig.3에는 시간  $t(k)$ 와  $t(k+1)$ 에서의 추적윈도우를 이용한 중심점 추적방식을 나타내었다. 그림에서 추적 윈도우는 예측한 위치를 중심으로 정한 일정한 영역을 나타내는 것으로 시간  $t(k+1)$ 에서는  $t(k)$ 에서 정한 윈도우 내에 포함된 측정 데이터를 사용해서 목표물의 상태를 추정하고 예측한다.

컴퓨터 내의 화상 습득은 1/30초마다 화상 입력보드를 통해 실행되지만, 단지 이것은 메모리에 화상 데이터의 전송 작업만을 행하는 것이다. CPU는 화상 데이터의 전송 종료까지 무부하 상태에 있다. 그래서 본 논문에서는 Fig.4와 같은 방법을 제안하여 화상습득과 칼만필터에 의한 물체의 위치추정을 병렬 처리하는 것에 대해 실시간의 계측을 가능하게 한다.<sup>(6)</sup>

한 화면을 구성하는 두 개의 필드 화상중, 한 개의 필드 화상(짝수 필드) 습득이 끝난 시점에서 2치화, 중심산출의 전처리를 개시한다. 이 처리를 또 다른 필드화상(홀수 필드)의 습득시간 내에 종료하며, 얻어진 중심위치를 칼만필터에 입력한다. CPU에서 칼만필터의 추정과 화상 입력보드에서 다음의 짝수필드 화상의 습득을 병렬로 실행하고 다음 화면의 한 개의 필드화상(짝수필드)의 습득 종료 전까지 이 화상 내의 물체 위치를 예측한다. 칼만필터의 추정을 여러번 반복하는 것이 샘플링 시간 1/60초 내에 가능하게 되면, 추정시각을 보다 세밀하게 하는 것에 의해 화상 샘플링 1/60초 이상의 세밀한 샘플링에서 물체의 위치 계측이 가능하다. 이 예측을 전제로 새로이 취한 화상내의 처리영역을 추적 윈도우로 한정하여 노이

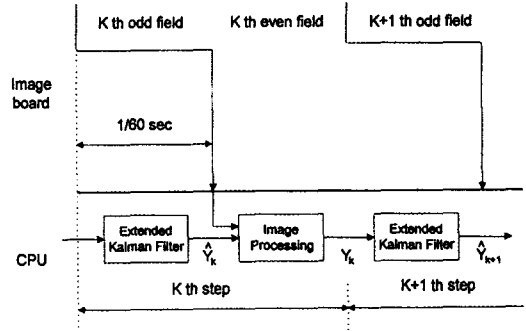


Fig. 4 Timing Chart using Presentational Processing

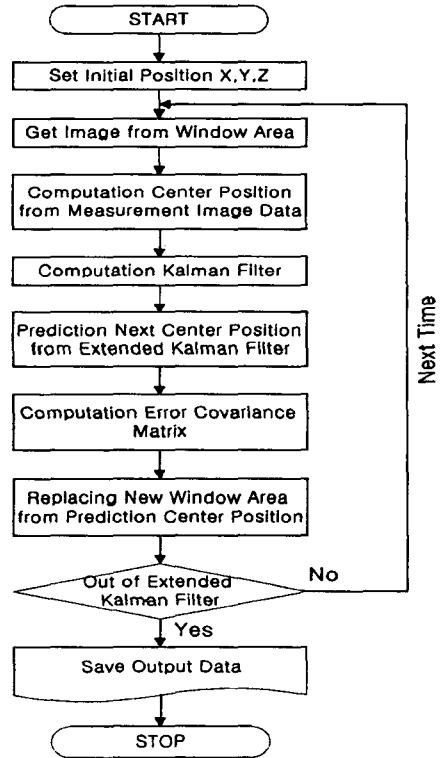


Fig. 5 Flowchart of the Tracking Program

즈를 경감시키고 처리시간의 단축을 실현한다.

화상은 256개의 농담치를 가지고 물체를 구분하므로 배경과 목표물이 분리되어 있지 않으면, 추적필터가 목표물을 벗어나 발산할 경우가 발생하므로 배경을 목표물과 2진화 처리를 사용해 분리하고, 노이즈를 감소시키기 위

해서 검은색 배경으로 단순화하였다. 추적 윈도우의 처리 영역은 화상 내에서 칼만필터의 추정위치를 중심으로 한 가로, 세로 32×32 Pixel을 설정했다.

컴퓨터에서 목표물 이동용으로 실험에 사용한 FARA로 붓을 구동시킴과 동시에 카메라는 화상 데이터를 입력받기 시작하면서 로봇 핸드에 부착된 목표물의 중심점을 추적해 가기 시작한다. Fig.5에 본 논문에서 사용한 이미지 추적 알고리즘의 흐름도를 나타내었다.

#### 4. 운동 모델

시각 추적시스템의 동역학적 모델은 위치 정보를 포함하는 시스템의 상태변수 들을 이용하여 카메라에 대한 물체의 운동을 표현한다. 임의의 운동을 하는 물체를 하나의 동역학적 모델로 표현할 수 없기 때문에 근사화된 동역학적 모델이 고려되어야 한다.

변동하는 운동상태를 최대한 근사하게 표현하기 위해서는 물체가 어떠한 운동이더라도 충분히 미소한 구간마다 자르는 경우 그 구간 내에서는 등속운동을 한다고 가정할 수 있다. 그래서 본 연구에서는 추정에 사용된 이동 물체의 모델을 등속운동 모델이라 가정하였다.<sup>(9)</sup>

상태변수 벡터와 출력 벡터를 다음의 식(6)과 같이 나타내면,

$$X = [x \ \dot{x} \ y \ \dot{y} \ z \ \dot{z}]^T \quad (6)$$

$$Y = [x_i \ y_i \ S_i]^T$$

관측방정식은 다음의 식 (7)로 나타낼 수 있다.

$$Y_k = \begin{bmatrix} x_{i,k} \\ y_{i,k} \\ S_{i,k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{f \cdot x_k}{z_k} \\ \frac{f \cdot y_k}{z_k} \\ \frac{f^2 \cdot S}{z_k^2} \end{bmatrix} + V_k \quad (7)$$

$$= H(X_k) + V_k$$

여기서,  $V_k$ 는 정규 백색과정으로 하는 3차원의 관측 노이즈 벡터이다. 이 비선형 관측방정식 및 시스템 방정식을 기초로 확장 칼만필터를 구성한다. 식(8)~식(11)은 확장 칼만필터 알고리즘을 나타내며 그 중에서 관측방정식은 식(11)로 근사하게 나타낼 수 있다.

$$\hat{X}_{k+1/k} = \Phi \hat{X}_{k/k-1} + K_k (Y_k - H(\hat{X}_{k/k-1})) \quad (8)$$

$$K_k = \Phi P_k C_k^T [C_k P_k C_k^T + R]^{-1} \quad (9)$$

$$P_{k+1} = [\Phi - K_k C_k] P_k \Phi^T + \Omega \quad (10)$$

$$= [\Phi - K_k C_k] P_k [\Phi - K_k C_k]^T + K_k R K_k^T + \Omega$$

$$C_k \cong \left. \frac{\partial H(X)}{\partial X} \right|_{X=\hat{X}_{k/k-1}} \quad (11)$$

여기에서 행렬  $\Omega$ ,  $R$  은 각각 시스템 오차와 관측 오차의 공분산을 나타내고, 6×6, 3×3크기의 행렬이다. 추정과정에 있어서 이  $\Omega$ ,  $R$  의 값을 적절하게 선택하는 것에 의해, 시스템의 변동, 화상의 양자화 영향을 고려한 추정을 할 수 있다.  $K_k$ 는 칼만 이득으로 6×3행렬,  $P_{k+1}$ 은 예측오차 공분산 행렬로 6×6행렬이다. 추정은 이 칼만 이득을 차례로 갱신하면서 행해진다. 이 칼만필터의 이득은 정상상태의 어느값으로 접근 특성을 가지고 있다. 추정과정에 있어서 필터 이득의 산출은 시간적으로 최대한 큰 비율을 점하고 추정을 고속으로 하는 것은 이 이득의 계산과정을 어떻게 하느냐에 따라 다르다. 추정의 고속화로부터 화상 취득 시간 내의 추정과정을 여러번 반복하는 것이 가능하다. 결국, 이득 산출 시간을 단축시키는 것으로 부터 보다 세밀한 시각으로 추정한 값을 얻을 수 있게 된다.

#### 5. 실험 장치 및 방법

실험에 사용한 장비로는 CCD카메라(WV-BL200), 화상처리보드(DT2867-LC), 컴퓨터(386DX-33MHz), 추적좌표 참고용 SCARA 로봇으로 구성되고, 이동하는 표적으로는 SCARA 로봇트 핸드 끝 부분에 부착된 흰색 탁구공을 사용하였다. 그리고 컴퓨터에는 컴퓨터와 로봇트 컨트롤러 사이에 인터페이스를 할 수 있도록 입출력 인터페이스 카드가 설치되어 있다. 이 입출력 인터페이스 카드에는 타이머가 부가되어 있어 프로그램의 실행 시간을 측정할 수 있고, 컴퓨터에서 이미지 습득과 동시에 로봇트를 구동할 수 있게 해준다. Fig.6은 실험 장치의 개략도를 나타내고 있다.

이동하는 표적의 지름은 37.6mm이고, 카메라는 목표물 전방 3m 떨어진 곳에서 데이터를 습득한다. 미리 화상정보를 통해 표적을 선정하여 2진화 처리를 행한 다음, 미리 입력시킨 로봇트 구동 프로그램을 컴퓨터에서, 입출력 인터페이스 카드를 통해 SCARA 로봇트의 핸드 부분에 장착된 표적을 구동시킨다. 그러면 로봇트는 입력되어

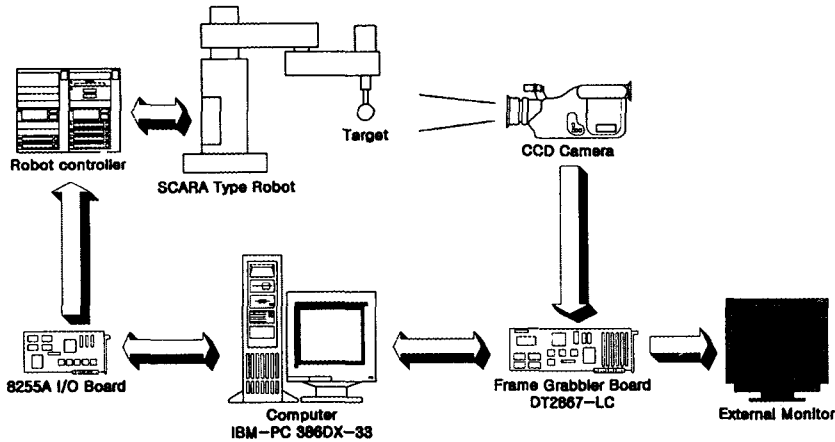


Fig. 6 Overall Configuration Experimental System

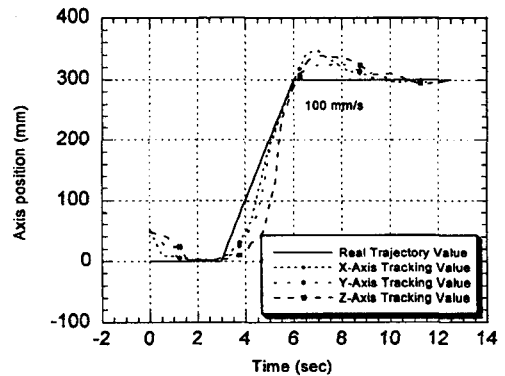
진 추적궤도로 작동된다. 이와 동시에 카메라를 통해 매 샘플링 시간마다 이미지를 습득한다.

습득한 이미지는 화상처리보드에서 Dual Port Access 방식과 입출력 Buffering 방식으로 데이터 흐름의 시간 지연 없이 외부 모니터로의 출력과 동시에 컴퓨터와 인터페이스가 이루어진다.

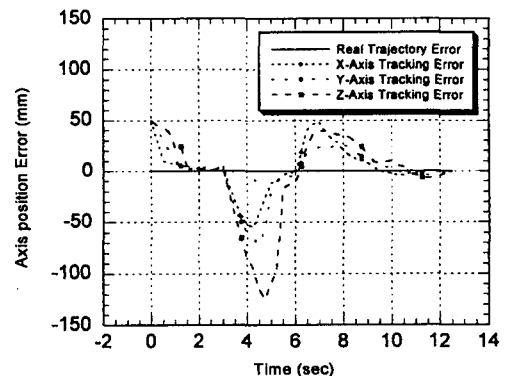
CPU에서는 화상정보를 통해 표적의 중심위치와 면적 정보에 의해 시간  $t(k)$ 에서의 목표물의 상태 즉, 위치, 속도, 가속도 등을 확장 칼만필터 알고리즘을 통해 추정하고, 시간  $t(k+1)$ 에서의 목표물의 상태를 예측하여, 예측한 점을 중심으로 일정한 영역, 즉, 추적 윈도우를 설정하는 작업을 수행한다. 추적 윈도우는 예측한 위치를 중심으로 정한 일정한 영역을 나타내는 것으로 시간  $t(k+1)$ 에서는  $t(k)$ 에서 정한 윈도우 내에 포함된 측정데이터를 사용해서 목표물의 상태를 추정하고 예측한다. 다음 시간  $t(k+1)$ 의 화상정보는 설정된 추적 윈도우를 통해 다시 입력받는다. 이런 반복 과정을 통해 목표물 추적을 계속 실행해 간다. 본 실험에서는 물체의 중심 위치와 면적정보에 의해 물체의 운동을 고려하였고, 안정된 추적향상 및 실시간 추적을 행한다.

## 6. 실험 결과 및 고찰

실험은 3차원 상에서 각각  $x, y, z$ 방향으로 속도를 변화시켜 가며 행하였다. 이때 Fig.7은 추적 목표물 출발점을 좌표축 원점으로 하고, 추적창은  $x, y, z$ 의 각 축으로 부터 50mm씩 떨어진 위치에서 직선운동을 추적한 결과이다.

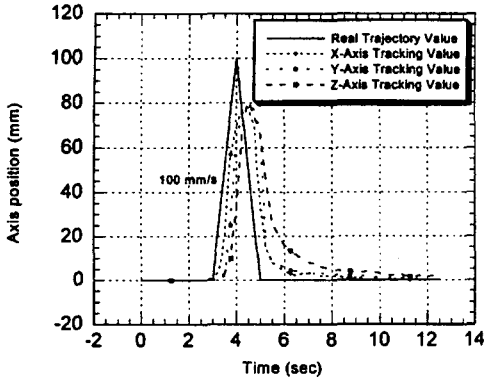


(a) X, Y, Z-position

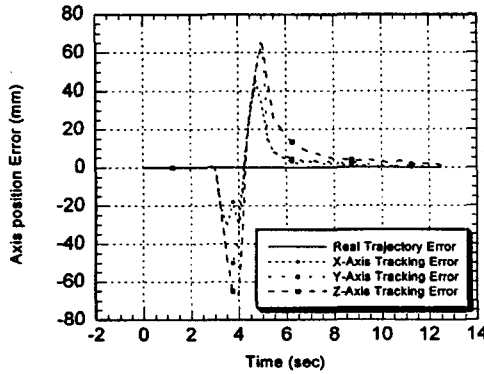


(b) X, Y, Z-position Error with 100mm/s X, Y, Z-direction Velocity

Fig. 7 Comparison of Tracking Result for Axis



(a) X, Y, Z-position



(b) X, Y, Z-position Error with 100mm/s X, Y, Z- direction Velocity

Fig. 8 Comparison of Impulse Responses Tracking for Axis

따라서 Fig.7의 이동 초기 때 나타나는 오차는 이러한 이유 때문이다. 한편 Fig.8은 추적 목표물과 추적장 모두 좌표축 원점에서 임펄스 입력을 추적한 결과를 보여주고 있다.

또, 추적 성능을 비교하기 위해, 속도와 각 축에 따른 최대 오차값과 안정화되는 시간을 비교 분석 하였으며 Table1과 Table2는 이의 결과를 나타낸다.

화상 내에서의 1픽셀은 목표물에서 카메라 거리가 3m 떨어진 위치에서는 목표물 좌표의 2.5mm에 해당되는 값을 가정하여 실험으로 구하였고, 본 논문에서 제시한 알고리즘으로 칼만 이득을 산출하고 중심점을 예측하는 루틴의 실행 시간은 5ms였으며, 이미지 습득과 2치화, 중심점을 산출하는데 소요되는 시간은 15ms였다.

각 축에 대한 추적 결과에서 속도가 커지면 오차값이

Table 1. Straight Motion Tracking Result of X,Y,Z-direction Error

Comparing Term		Velocity			
		25 mm/s	50 mm/s	100 mm/s	200 mm/s
X-axis	Maximum Error (mm)	·	18.7	55.3	205.1
	5% Settling Time (sec)	·	1.3	2.4	3.2
Y-axis	Maximum Error (mm)	7.9	21.5	72.6	·
	5% Settling Time (sec)	1.5	2.2	2.7	·
Z-axis	Maximum Error (mm)	·	40.3	125.7	·
	5% Settling Time (sec)	·	2.3	3.1	·

Table 2. Impulse Input Tracking Result of X,Y,Z-direction Error

Comparing Term		Velocity		
		50 mm/s	100 mm/s	200 mm/s
X-axis	Maximum Error (mm)	·	45.8	150.1
	5% Settling Time (sec)	·	2.1	2.8
Y-axis	Maximum Error (mm)	20.5	68.2	·
	5% Settling Time (sec)	2.5	3.3	·
Z-axis	Maximum Error (mm)	25.7	74.8	·
	5% Settling Time (sec)	3.1	4.5	·

거의 비례적으로 상승하는 것을 볼 수 있었다. 속도가 매우 커지면 오차값이 비례적으로 상승하지 않고 급격히 커지는 것을 볼 수 있는데, 이것은 단위 샘플링 시간당 얻는 데이터 양이 감소함으로 오차값이 급격히 커진다. 이동물체 계속 시 샘플링 시간이 계속의 정밀도에 영향을 주는 요인임을 알 수 있게 해 준다.

그리고, y-축이 x-축보다 오차값도 크고, 수렴시간도 길다는 것을 알 수 있었다. 이것은 로봇트의 y-축 방향 구동시 로봇트의 암의 화상이 잠음으로써 간섭하여 발생한다고 볼 수 있다. z-축도 x-, y-축과 비슷하게 속도가 증가하면 오차값과 수렴 시간이 커진다. 그러나 같은 조건에서 z-축이 y-, x-축보다 오차값과 수렴 시간이 훨씬 커지고, z-축은 x-, y-축의 속도 증가에 대한 비례오차보다 매우 커지는 것을 볼 수 있었다. 이것은 z-축의 위치 계산시 면적정보를 활용하여 계산하므로 화상에 약간의 노이즈가 첨가되면 다른 축보다 크게 영향을 받는다.

본 논문에서 제시한 알고리즘으로 칼만 이득을 산출하고 중심점을 예측하는 루틴을 실행하는데 5ms가 소요되었다. 이것은 본 논문에서 제시한 확장 칼만필터의 추정

과 화상의 습득을 병렬로 처리하는데 충분한 시간임을 알 수 있다. 또한, 추적 윈도우의 이미지 데이터 (32×32pixel)를 습득하고 2차화, 중심점을 산출하는데 소요되는 시간은 8253 타이머로 자체 제작한 보드에 의해서 계산한 결과 15ms가 소요되었다. 이것은 화상 데이터에서 하나의 필드를 습득하는데 걸리는 시간 즉, 1/60sec ≃ 16.67ms에 대해서 본 논문에서 제시한 알고리즘 계산 시간이 15ms임을 볼 때 실시간 추적이 가능함을 보여주고 있다.

## 7. 결 론

본 연구에서는 안정된 예측이 가능한 실시간 표적 추적을 구현하기 위해 표적의 위치를 미리 예측하기 위한 수치적으로 안정하고 센서의 비상관 외란까지 다룰 수 있는 확장칼만필터(EKF) 알고리즘을 사용하고, 움직이는 이동물체 추적시 카메라가 촬영하는 전체 화상중 칼만필터에서 예측한 다음 샘플링 시간에서의 물체의 위치에 근거한 추적 윈도우를 설정하여 영상 처리시간을 단축하였다.

표적의 추적성능을 예측하기 위하여 확장 칼만필터 알고리즘과 이미지 추적 알고리즘을 제시하고, 알고리즘을 사용하여 실험한 결과는 화상의 노이즈를 효과적으로 경감시킬 수 있었으며, 추적 성능에 있어서 좋은 결과를 확인하였다.

## 참 고 문 헌

1. R.E. Kalman, "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems," Transactions of the ASME, Journal of Basic Engineering, pp. 35-45, March, 1960.
2. Jeff B.Burl, "A Reduced Order Extended Kalman Filter for Sequential Images Containing a Moving Object," IEEE Transac-

- tions on Image Processing, Vol. 2, No. 3, pp. 285-295, July, 1993.
3. J.W.Lee, M.S.Kim, and I.S.Kweon, "A Kalman Filter Based Visual Tracking Algorithm for an Object Moving in 3D," IEEE/RSJ International Conference on IROS'95, Vol. 1 pp. 342-347, Aug, 1995.
4. K. Ohba, S.Kajikawa, and H.Inooka, "Model-Based Measurement of 2D Moving Object," ICIP '92 Proceedings of the 2nd Singapore International Conference on Image Processing, Ref. 2, pp. 376-379, 1992.
5. M.S.Grewal and A. P. Andrews, Kalman Filtering: Theory and Practice, Prentice Hall, pp. 168-170, 1993.
6. C. K. Chui, and G. Chen, Kalman Filtering with Real-Time-Applications, Springer-Verlag, pp. 108-128, 1991.
7. R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, Addison Wesley, pp. 52-71, 1992.
8. S.Kajikawa, K.Ohba, T.Ishihara, and H.Inooka, "Real-Time Measurement of Moving Object by Single Camera," Transactions of the JSME(C), Vol. 60, No. 577, pp. 265-271, Sep, 1994.
9. 임양남, 이성철, "칼만필터를 이용한 이동 목표물의 실시간 시각추적의 구현," 한국정밀공학회 '96 춘계학술대회논문집, pp. 254~258, 1996.
10. 안상도, 이성철, "비전시스템을 이용한 이동물체의 실시간 추적," '94 대한기계학회 호남지부 학술강연회 논문집, pp. 97-103, 1994.