

# 이동물체의 추적을 위한 정밀 위치추정

\*인추식, 이자성, 홍석교, 고영길  
아주대학교 제어계측공학과

## Precision Position Estimation for Tracking the Moving Object

\*Chu Sik In, Ja Sung Lee, Suk Kyo Hong, Young Gil Koh  
Dept. of Control and Instrumentation Eng. Ajou Univ.

### Abstract

The correlation tracker developed by John M. Fitts in 1979 is the most complex to mechanize but provides the best tracking performance in a low SNR condition. Correlation tracker would remove the requirements for optimizing threshold and has no need to know information about the target. But if the displacement of the target is large, the tracking error of the correlation tracker tends to diverge. In this paper, we suggest a precision image tracking algorithm which improves the tracking performance via iterative application of the matched filter estimation algorithm.

### I. 서론

이동하는 목표물을 정밀하게 추적하고 안정된 조준을 유지하는 문제는 관측위성이나 광학적 통신 시스템과 전략적 목표물 추적 시스템에서 매우 중요한 요소이다.

이미지 트래커는 이미지센서를 사용하여 얻어지는 연속된 두 frame의 이미지로부터 상대적 변위를 측정하여 목표물을 추적하게 한다. 일반적으로 이미지센서의 정밀도는 개개의 감지소자(pixel)의 크기와 소자간의 간격에 따라 결정된다. 감지소자의 크기와 간격이 작을 수록 정밀한 이산적 이미지를 얻을 수 있으나, 그에 반하여 같은 시계(Field of View)를 커버하기 위해서 많은 수의 감지소자가 소요된다.

1979년에 미국 Hughes Aircraft Company에서 John M. Fitts에 의해 개발되어 미국의 주요 관련기관에서 채용되어 사용되고있는 correlation 트래커<sup>[1]</sup>는 두 이미지간의 상관관계를 계산하므로써 감지소자의 물리적 정밀도보다 수십배 높은 정밀도를 software적으로 얻을 수 있게 한다. 종전의 centroiding이나 edging에 의존한 방법은 목표물과 배경을 구분하기 위한 처리를 필요로 했고, 이에 따른 추적대상 이미지에 대한 제약이 있었다. Correlation 트래커는 이러한 여러 가지 제한을 보완하고 노이즈에도 강하여 비교적 열악한 이미지상태에서도 쓰일 수 있다는 장점 또한 가지고 있다.

그러나 Fitts가 제안한 correlation 트래커는 선형 근사식에 근거하고있어 목표물의 이동이 커질 경우 tracking error가 커지거나 발산하게되는 단점을 갖고 있어 추적 대상체의 이동속도가 빠를 경우 추적성능이 떨어지는 경향이 있다.

본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위해 반복추정기법(iterative estimation technique)을 적용한다. Iteration을

위해 매 추정마다 카메라가 이동했을 때 보일 것으로 예상되는 가상의 이미지를 생성하여 다음번 추정에 사용하게된다. 실 적용을 위하여 실시간 시뮬레이션을 하고 그 성능을 분석하였으며, 분석결과 반복되는 추정을 통하여 Tracking error가 현저하게 줄어드는 것을 확인하였다.

### II. Matched Filter

노이즈로 인한 tracking error를 최소화하기 위해 Matched filter이론을 적용한다. 이것은 노이즈가 섞인 신호가 다른 어떠한 필터보다도 Matched filter를 통과할 때 최대의 SNR(Signal to Noise Ratio)을 갖고 출력되기 때문이다.

연속된 두 frame의 이미지 데이터중 이전 frame의 intensity data를  $I_0(x, y)$ , 나중 frame의 intensity data를  $I_N(x, y)$ 라 하면 두 frame간의 관계를

$$I_N(x, y) = I_0(x - \delta_x, y - \delta_y) + \epsilon(x, y) \quad (1)$$

로 표현할 수 있다.

여기서

$$\begin{cases} \delta_x = \text{이미지 데이터의 } x \text{ 방향의 이동거리,} \\ \delta_y = \text{이미지 데이터의 } y \text{ 방향의 이동거리,} \\ \epsilon(x, y) = \text{zero mean gaussian white noise} \end{cases}$$

이미지 트래커의 목적은 연속된 두 frame의 이미지 데이터간의 이동량  $\delta_x, \delta_y$ 의 최선의 추정치  $\hat{\delta}_x, \hat{\delta}_y$ 를 구하는 것이다. 여기서 추정치  $\hat{\delta}_x, \hat{\delta}_y$ 는 Matched filter의 출력이 최대가 되는 지점으로 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$\hat{\delta}_x = -\frac{1}{C_x} \sum_i \sum_j [W_x \cdot (I_N(i, j) - I_0(i, j))] \quad (2)$$

$$\hat{\delta}_y = -\frac{1}{C_y} \sum_i \sum_j [W_y \cdot (I_N(i, j) - I_0(i, j))]$$

여기서  $W_x(i, j), W_y(i, j)$ 는 영상신호에 효과적으로 "match"되는 최적의 weighting function으로

$$W_x(i, j) = -\frac{\partial I_0(i, j)}{\partial x} \quad (3)$$

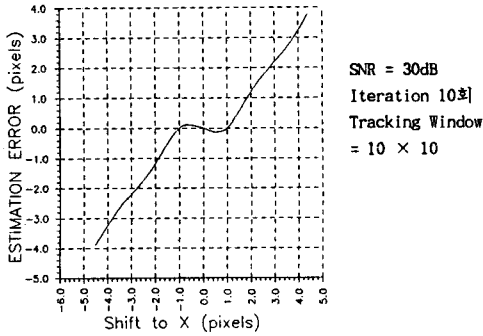
$$W_y(i, j) = -\frac{\partial I_0(i, j)}{\partial y}$$

이고,  $C_x, C_y$ 는 scale factor로 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_x &= \sum_i \sum_j W_x^2(i, j) \\ C_y &= \sum_i \sum_j W_y^2(i, j) \end{aligned} \quad (4)$$

### III. Iteration

Matched Filter에 의한 이동량의 추정은 일정영역내에서는 비교적 만족할 만한 값을 내지만, 두 frame간의 이동량이 클수록 그 추정오차가 발산하는 현상을 보인다.



< 그림 1 > Matched Filter의 이동량에 따른 에러그래프

이러한 문제를 해결하기 위해 가상의 이동영상을 생성하여 이동량의 추정치를 점차로 근사하게 접근시키는 반복처리를 하였다. 즉, 한번 추정된 추정치만큼  $I_M(i, j)$ 의 영상을 이동시킨 가상의 영상을 생성한 후, 그 가상의 영상을 입력 영상으로 하여 다시 이동량을 추정해 내는 과정을 반복하여 그 합을  $\delta_x, \delta_y$ 로 한다.

그러므로  $\delta_x, \delta_y$ 의 추정치  $\hat{\delta}_x, \hat{\delta}_y$ 를 구하는 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{\delta}_x^{(n)} &= \hat{\delta}_x^{(n-1)} - \frac{1}{C_x} \sum_i \sum_j [W_x(I_M(i, j) - I_O(i, j))] \\ \hat{\delta}_y^{(n)} &= \hat{\delta}_y^{(n-1)} - \frac{1}{C_y} \sum_i \sum_j [W_y(I_M(i, j) - I_O(i, j))] \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $\hat{\delta}_x^{(0)}, \hat{\delta}_y^{(0)}$ 는 초기치로써 0으로 한다.

다음은 iteration을 위해 카메라가 가상으로 이동했을때 보일 것 같은 가상의 영상을 생성하는 예이다.

A	B	C
D	E	F
G	H	I

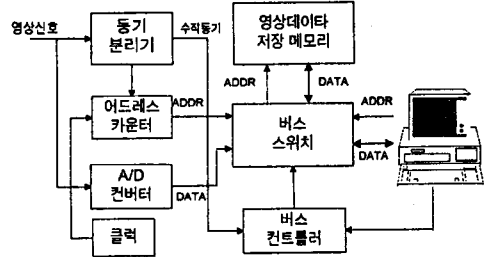
ex)  $\hat{\delta}_x^{(n)}$  to right,  $\hat{\delta}_y^{(n)}$  to down

Ⓐ	Ⓑ	Ⓒ
Ⓓ	Ⓔ	Ⓕ
Ⓖ	Ⓗ	Ⓖ

$$\begin{aligned} \text{Ⓒ} &= A \cdot \hat{\delta}_x^{(n)} \cdot \hat{\delta}_y^{(n)} + B(1 - \hat{\delta}_x^{(n)}) \cdot \hat{\delta}_y^{(n)} \\ &+ D \cdot \hat{\delta}_x^{(n)} \cdot (1 - \hat{\delta}_y^{(n)}) + E(1 - \hat{\delta}_x^{(n)}) \cdot (1 - \hat{\delta}_y^{(n)}) \end{aligned} \quad (6)$$

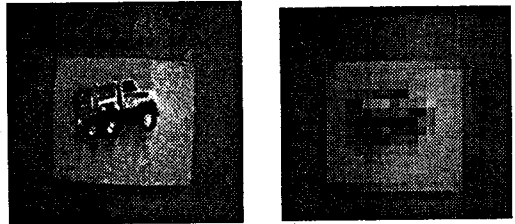
### IV. 시뮬레이션

CCD카메라로부터의 영상신호를 256x240 8bit frame grabber로 디지털 변환하여 사용했다.



< 그림 2 > 프레임그래버의 블럭도

실험에는 원 영상에서 가로, 세로 각각 10배로 해상도를 떨어뜨린 영상이 사용되었다. 이는 실제로 얻어지는 영상의 해상도보다 정밀한 이동의 검출을 확인하기 위해서이다. 이같이 해상도를 떨어뜨린 이미지에 white noise 이미지를 더하여 0.1 pixel 단위로 이동시켜가며 실험했다. 그림 3은 실험에 사용된 영상들이다. 실 시간(30Hz) 처리를 위해 전체 이미지를 사용하지 않고, 중심부의 부분 이미지만을 tracking window로 잡아 연산하였다.

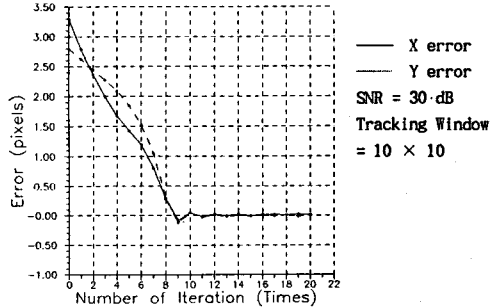


본래의 이미지

해상도를 낮춘 이미지

< 그림 3 > 실험에 사용된 이미지들

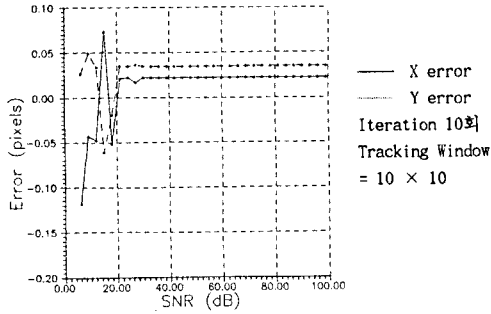
그림 4는 이미지의 이동이 X축상으로 3.3pixel, Y축상으로 2.8pixel인 이미지의 변위를 측정할 경우 iteration을 통해 tracking error가 점차적으로 줄어드는 것을 보인다. Iteration이 계속되면서 tracking error가 0.05pixel 이하의 작은 값으로 줄어들어 subpixel level의 추적이 가능함을 알 수 있다. 또한 목표물의 이동량이 작은 범위에서도 Fitts에 의해 계산된 tracker보다 정밀하게 추정함을 알 수 있다. 여기서 first iteration의 결과가 Fitts의 correlation algorithm의 성능과 동등하다.



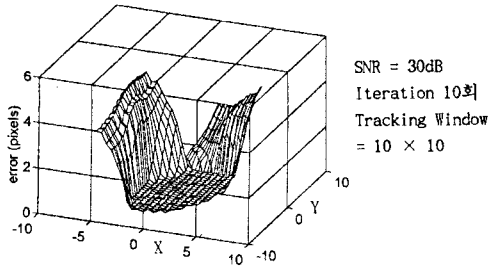
< 그림 4 > Iteration 횟수에 따른 에러그래프

그림 5에서는 SNR의 변화에 따른 tracking error의 변화를 보였다. 10회의 iteration을 했고, tracking window크기는 10 x 10으로 했다. 약 20dB의 noise에서도 잘 추적됨을 알 수 있다.

그림 6에서는 목표물의 이동량에 따른 tracking error를 나타내었다. 일정 영역을 벗어나면서 tracking error가 급격히 커짐을 알 수 있다.

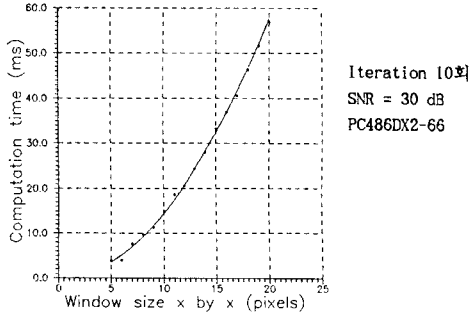


< 그림 5 > SNR의 변화에 따른 에러그래프



< 그림 6 > 이동량에 따른 에러그래프

그림 7에는 tracking window크기에 따른 처리시간을 보였다. 실시간의 처리를 위해 30ms이하의 처리시간이 요구된다. 본 논문에서는 tracking window크기를  $10 \times 10$  으로 하였으며 처리시간은 15ms였다.



< 그림 7 > Tracking Window크기에 따른 연산시간

실험결과를 토대로 실시간 tracking을 위해 컴퓨터 시스템의 속도 등의 사항을 고려하여 본 논문에서 제시한 tracker의 Performance를 살펴보았다. Tracking Window를  $10 \times 10$  Pixel로 하고, iteration은 10회, SNR을 30dB로 한 상태에서 추적했을 때 tracker의 performance는 표 1 과 같다.

## V. 결론

본 논문에서는 가상영상의 생성과 Matched filter연산의 반복을 통하여 sub-pixel level의 정밀도를 갖는 이미지 트래킹 알고리즘을 제시하였다. 실시간 시뮬레이션을 통하여 그 특성을 분석하였다. 실험결과 약 20dB정도의 SNR을 갖는 노이즈하에서도 tracking error가 커지지 않아 노이즈에도 강한 성능을 보였다. 또한 Fitts의 correlation tracker보다 정밀한 추적이 가능했고, 추적범위도 향상시키는 효과를 얻었다.

< 표 1 > Tracker의 Performance

카메라의 F.O.V( $\theta$ )	22.37 °
연 산 시 간	15 ms
추 적 범 위	상하좌우 각 3pixel씩
추 적 범 위 각( $\varphi$ ) $2 * \text{atan}(3/128 * \tan \theta / 2)$	0.532 °
최대 추적 각속도 $30 * \varphi / \text{sec}$	15.95 °/sec
TRACKING ERROR 0.03( pixel )	0.0053 °

※ PC 486DX2 66MHz에서 수행

## VI. 참고 문헌

- [1] J. M. Fitts, "Precision Correlation Tracking", Annual Rocky Mountain Guidance and Control Conference, Feb.1979
- [2] J. M. Fitts, "Correlation Tracking Via Optimum Weighting Functions", Electro-Optical Division, Hughes Aircraft Company, Culver City, CA, Report No. P73-240, April 1973.
- [3] M. Sonka, V. Hlavac, and R. Boyle, "Image Processing, Analysis and Machine Vision", Chapman & Hall, 1993
- [4] R. C. Gonzalez, R. E. Wood, "Digital Image Processing". Addison Wesley, 1992
- [5] C. A. Lindley, "Practical Image Processing in C", John Wiley & Sons INC, 1991
- [6] K.S.Fu, R.C.Gonzalez, C.S.G.Lee, " ROBOTICS Control, Sensing, Vision and Intelligence ", McGraw-Hill, 1987.
- [7] Carl W.Hwlstrom, "Probability and Stochastic Processes for Engineers", Maxwell Macmillan, 1991.
- [8] H.L.Van Trees, "Detection, Estimation, and Modulation Theory", John wiley and Sons, 1968.