

Phase Correlation을 이용한 표적 추적기 개발

Development of a Target Tracker using Phase Correlation

진상훈*, 석정엽**

Sang-Hun Jin and Jung-Youp Suk

Abstract - This paper propose a target tracker using phase correlation. The tracker consist of a pre-processing module, a translation estimation module based on phase correlation, a fine motion estimation module applied when confidence rate could not fulfill a threshold value and a reference image update module. The fine motion estimation module measure the shift, rotation and scale of input image compared to reference using Fourier-Mellin transform. Proposed tracker was tested its accuracv and robustness using some real indoor and outdoor image sequences.

Key Words : target tracker, phase correlation, Fourier-Mellin transform

1. 서론

영상 처리 기법을 이용한 자동 표적 인식(automatic target recognition) 및 표적 추적(target tracking) 기능은 무인 감시 시스템 등의 민수 분야와 영상 탐색기(image seeker), EOTS(Electro Optical Tracking System) 등의 방산 분야 모두에서 점점 더 중요한 부분이 되고 있다. 표적 추적기는 포착된 표적을 지속적으로 추적하여 정보를 시스템에 제공하는 역할을 수행하는 것으로, 외란에 강인하고 시스템의 동특성을 만족할 만큼의 응답특성과 추적 정확도 등을 가져야 한다.

가장 많은 분야에서 실용화된 추적기는 구현이 간단하고 연산량이 비교적 작은 중심점(centroid) 추적기와 BMA(Block Matching Algorithm) 추적기를 들 수 있다[5]. 중심점 추적기는 배경이 단순한 경우 대단히 안정된 추적성능을 발휘하나, 배경이 복잡한 경우나 표적과 배경의 밝기값 분포가 유사할 경우에는 적용하기 어려운 특징이 있으며, BMA 추적기는 영상 조건과는 무관하게 적용할 수 있으나, 표적의 회전이나 크기 변경 등에 취약한 특징이 있다. 그 외에는 영상의 고유한 특징정보를 분석하여 추적기에 적용하는 방법으로 특징점 추적기(feature tracker)가 연구되고 있다[3].

최근 하드웨어 성능의 향상으로 시간 영역뿐만 아니라 주파수 영역에서의 분석 기법에 많이 연구되고 있으며, cross correlation, phase correlation, SPOMF(Symmetric Phase-Only Matched Filter) 등을 영상 인식 및 움직임 추정의 분야에 이용하고 있다[1][2][4].

본 논문에서는 phase correlation 알고리즘과 FM(Fourier-Mellin) 변환을 적절히 결합한 표적 추적기를 제안한다. 제안한 추적기는 복잡한 배경에서도 정확한 표적 추적이 가능하고, 위치 이동, 회전, 크기 변환 등의 표적 운동에도

효과적으로 대응하도록 설계되었다. 추적기는 잡음 제거 및 영상의 특징 정보 강조를 위한 전처리 단계와, 입력영상과 기준영상의 phase correlation을 이용한 변이 추정 단계, 신뢰도가 문턱치 이하인 경우에 FM 변환을 이용한 정밀 추정 단계 및 기준 영상 갱신 단계로 구성된다.

본 논문은 2장에서 phase correlation과 FM 변환을 이용한 위치이동, 회전 및 크기 변경에 대한 추정 원리에 대하여 기술하고, 3장에서 제안한 추적기의 기본적인 동작과 실제 구현에 대하여 설명한다. 4장에서 실내 및 야외 동영상에 대한 시험 결과를 제시하고, 5장에서 결론 및 향후 연구 방향에 대하여 간략히 기술한다.

2. 동작 원리

영상 추적의 기본적인 과정은 표적 인식 단계에서 획득된 추적창(tracking window)내의 기준 영상(reference image)과 새로운 입력 영상의 유사성을 이용하여 표적의 이동을 파악하는 것이다. 본 장에서는 제안한 알고리즘을 구성하는 phase correlation과 FM 변환에 대하여 간단히 기술한다.

기준영상 f_1 에서 (x_0, y_0) 만큼 위치 이동된 입력 영상 f_2 와의 관계는 식(1)과 (2)로 나타낼 수 있다. 두 영상간의 밝기 변화가 있을 경우의 위치 이동은 cross power spectrum을 이용하여 식(3)으로 표현할 수 있다.

$$f_2(x, y) = f_1(x - x_0, y - y_0) \quad (1)$$

$$F_2(u, v) = F_1(u, v) e^{-j2\pi(u x_0 + v y_0)} \quad (2)$$

$$\frac{F_2(u, v) F_1(u, v)^*}{|F_2(u, v) F_1(u, v)^*|} = e^{-j2\pi(u x_0 + v y_0)} \quad (3)$$

이때, F_1, F_2 는 f_1, f_2 를 FFT(Fast Fourier Transform) 변환한 함수이다.

식(3)에 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)를 취한

저자 소개

* 正會員 : (주)넥스원퓨처 구미연구소 선임연구원

** 正會員 : 慶北大學 電子工學科 博士課程

phase correlation 결과

$$Corr(x, y) = IFFT \{ e^{-2\pi i(x_0 + iy_0)} \} = \chi(x + x_0, y + y_0) \quad (4)$$

와 같다. 실제 환경에서는 기준영상과 입력 영상 사이의 시간 잡음과, 두 영상에 포함된 순수 이동 외의 기타 움직임 성분으로 인하여 위치 이동 (x_0, y_0) 은 식(5)로 추정된다.

$$(x_0, y_0) = \arg \left\{ \max_{(\bar{x}, \bar{y})} \{ Corr(\bar{x}, \bar{y}) \} \right\} \quad (5)$$

만일 입력 영상 f_2 가 기준영상 f_1 에 대하여 위치이동, 회전 및 크기변경이 있는 경우의 표현은

$$f_2(x, y) = f_1 [r_0(x \cos \theta_0 + y \sin \theta_0) - x_0, r_0(-x \sin \theta_0 + y \cos \theta_0) - y_0] \quad (6)$$

와 같다. 단, 이동 (x_0, y_0) 는 위치 이동량, θ_0 는 회전 각도, r_0 는 크기 변경 비율을 나타낸다.

먼저 식(6)의 f_1, f_2 에 FFT를 취하면 식(7)의 F_1, F_2 가 되고, 크기만을 취하면 식(8)의 M_1, M_2 가 된다.

$$F_2(u, v) = r_0^{-2} e^{-2\pi i(x_0 u + y_0 v)} F_1 [r_0^{-1}(u \cos \theta_0 + v \sin \theta_0), r_0^{-1}(-v \sin \theta_0 + u \cos \theta_0)] \quad (7)$$

$$M_2(u, v) = r_0^{-2} M_1 [r_0^{-1}(u \cos \theta_0 + v \sin \theta_0), r_0^{-1}(-v \sin \theta_0 + u \cos \theta_0)] \quad (8)$$

식(8)을 직각 좌표계 (u, v) 에서 거리 r 와 방위각 θ 의 평면 극 좌표(plane polar coordinates)로 표현하면

$$M_{P1}(r, \theta) = M_1(r \cos \theta, r \sin \theta) \quad (9)$$

$$M_{P2}(r, \theta) = M_2(r \cos \theta, r \sin \theta) \quad (10)$$

$$M_{P2}(r, \theta) = r_0^{-2} M_{P1} \left(\frac{r}{r_0}, \theta - \theta_0 \right) \quad (11)$$

와 같다. 식(11)을 다시 r 방향으로 로그를 취하면

$$M_{P2}(\lambda, \theta) = r_0^{-2} M_{P1}(\lambda - \lambda_0, \theta - \theta_0), \lambda_0 = \log(r_0) \quad (12)$$

이 되어 회전량 θ_0 와 크기변환 비 r_0 를 식(1)과 유사한 형태의 (λ, θ) 의 위치 이동량으로 변환 하여 표현할 수 있다. 즉, 기준 영상 f_1 과 입력 영상 f_2 각각의 FM 변환 결과인 M_{P1}, M_{P2} 으로 위치 이동시의 움직임 추정 방법과 동일하게 phase correlation을 이용하여 회전 및 크기 변환을 추정할 수 있다.

3. 구현

제안한 표적 추적기의 기본 흐름도(flowchart)는 그림1과 같다. 추적기는 크게 전처리 단계, phase correlation을 이용한 변이 추정 단계, FM 변환과 phase correlation을 이용한 정밀 추정 단계 및 기준영상 갱신 단계로 구분된다.

먼저, 전처리 단계에서는 입력영상에 대하여 추적창 영역에서 간단한 잡음 제거 필터를 거친 후 영상의 경계를 추출하게 된다. 본 논문에서는 가장 일반적이고 우수한 성능을

보이는 평균 필터와 소벨 경계 검출기(Sobel edge operator)를 적용하였다. 최초의 추적창 영역 및 표적 중심 위치, 기준 영상 등은 표적 추적의 선행 단계인 표적 인식 단계에서 결정된다고 가정한다.

변이 추정 단계에서는 기준영상과 입력 영상의 상관 관계를 이용하여 움직임 벡터를 추정하기 위하여 phase correlation을 수행한다. 이때, FFT 연산 시에 발생하는 영상 경계 부위의 불연속성에 의한 주파수 영역에서의 신호 왜곡을 감소시키기 위해 FFT 직전에 영상에 대하여 적절한 창함수(windowing)를 적용하는 것이 반드시 필요하다. 본 논문에서는 창함수로 raised cosine filter를 적용하였다.

변이 추정 결과의 신뢰도(confidence rate)는 phase correlation의 결과 값 $Corr(x, y)$ 를 이용하여

$$SNR = \frac{Cmax - M}{D} \quad (13)$$

와 같이 계산되는 SNR으로 평가할 수 있다[1].

이때, $Cmax$ 는 결과 $Corr(x, y)$ 의 최대치이며, M 및 D 는 각각 $Corr(x, y)$ 의 평균과 표준편차를 의미한다. SNR이 클수록 추적기의 동작에 대한 신뢰도는 높다. 신뢰도가 정해진 문턱치 보다 높을 경우에 추정된 표적의 위치로 움직임 양을 계산하고 추적창을 이동하게 된다.

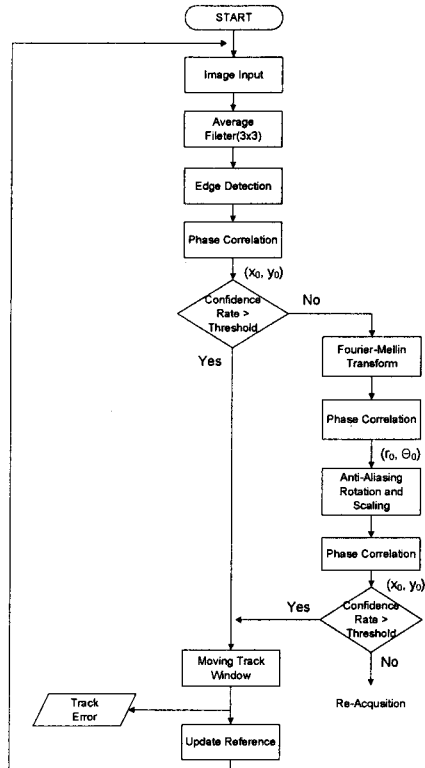


그림 1. 제안한 추적기의 흐름도

변위 추정 단계에서 표적의 회전, 크기 변경 등의 경우나 표적의 일부가 다른 물체에 겹치는 경우 추적 신뢰도 SNR은 낮아지게 된다. SNR이 문턱치 보다 낮은 경우, FM 변환을 이용한 정밀 추정 단계를 수행한다. 정밀 추정 단계에서는 먼저 입력 영상과 기준 영상에 대하여 FFT 및 좌표계 변환 등의 과정을 거쳐 식(12)의 M_{PL1} , M_{PL2} 을 계산하고, 다시 phase correlation을 수행하여 회전량 θ_0 , 크기 변경 비율 r_0 를 추정한다.

다음 과정으로 입력 영상을 $(1/r_0, -\theta_0)$ 만큼 회전 및 배율 조정을 수행하여 보정된 영상을 얻는다. 보정된 화소값을 계산할 때, 영상 보간(image interpolation)을 적용하여 회전 및 배율 변경 시에 발생하는 디지털 영상의 앨리어징에 의한 열화를 최소화하였다. 본 논문에서는 bi-cubic 보간 기법을 적용하였으며 bi-cubic 보간을 위한 합성수 $h_3(x, y)$ 는

$$h_3^1(d) = \begin{cases} \frac{1}{6}(1-2|d|^2+|d|^3), & |d| < 1 \\ \frac{1}{6}(4-8|d|+5|d|^2-|d|^3), & 1 \leq |d| < 2 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (14)$$

$$h_3(x, y) = h_3^1(x)h_3^1(y)$$

와 같다.

입력 영상을 보정한 후에는 회전 및 크기 변경 요소를 제거 하였으므로, phase correlation으로 위치 이동에 대한 움직임을 추정하여 정밀 추정 단계에서의 최종적인 표적 위치를 계산한다. 만일 정밀 추정 결과 신뢰도가 문턱치 보다 낮은 경우, 추적 불능 상태로 판정하여 추적기 동작을 중단하고 표적 재포착(re-acquisition)을 수행하게 된다.

표적 추적 과정에서 표적 또는 추적 시스템의 상대 운동으로 추적기가 표적 인식 단계에서 추출한 기준 영상을 더 이상 사용할 수 없는 경우에 기준영상을 새로이 갱신하는 과정을 필요로 한다. 제안한 알고리즘에서는 두 가지 경우에 기준 영상이 갱신된다.

먼저 추적과정에서 추적 시스템 및 표적의 공간상의 위치 변화에 따라 형상이 변경되는 것을 가정하여 일정한 주기마다 기준 영상이 갱신되는 경우와, 형상의 급격한 변화나 회전, 크기 변경 등의 원인으로 정밀 추정 단계를 수행하는 경우에 기준영상이 갱신되며, 정밀 추정의 경우에는 추정 결과의 신뢰도 값이 문턱치 이상인 경우에만 기준영상 갱신을 수행한다.

추적기 구현 시에 시스템의 동특성을 만족하기 위해 연산 시간을 단축하기 위한 고려도 매우 중요하다. 본 논문에서는 FM 변환 시의 (λ, θ) 좌표계 변환과 회전 및 크기 보정시의 bi-cubic 보간 함수를 미리 작성된 참조표(lookup table)를 이용하여 반복 연산을 줄였다.

또한, phase correlation 단계에서 신뢰도가 문턱치 보다 낮은 경우, 현재 영상에 대하여 바로 정밀 추정을 수행하지 않고, 다음 입력 영상을 이용하여 정밀 움직임 추정을 수행하였다. 이 방법으로 SNR이 문턱치보다 낮은 경우에 변위 추정 단계 외에 정밀 추정 단계를 추가로 수행하여 연산량이 급격히 늘어나는 것을 어느 정도 분산시킬 수 있었다. 실험 결과 신뢰도 문턱치를 약간 높게 조정하는 것만으로도 추적 성능의 심각한 저하 없이 원활한 동작이 가능하였다.

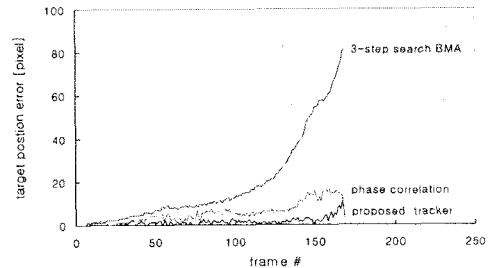
4. 시험

제안된 알고리즘을 평가하기 위하여 사전에 획득된 동영상 을 이용하여 알고리즘을 평가하는 simulator를 구현하였다. 그림 3과 그림 4에 시험에 사용된 두 개의 동영상의 주요 장면을 도시하였다. 영상에서 사각형으로 표시된 부분이 추적 창이며, 표적 중심 위치는 십자선으로 표시하였다.

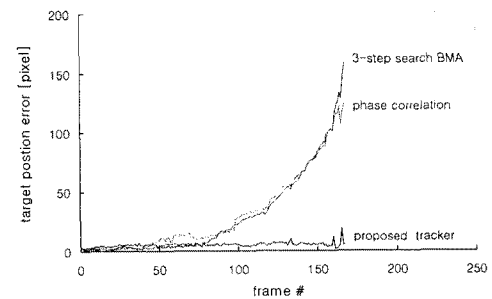
추적기의 성능을 유사한 다른 알고리즘과 비교한 결과가 그림 2이다. 그림 2의 (a)는 그림 3에 나타난 실내 환경에서 정지 표적에 대한 추적 결과이며, (b)는 그림 4에서 나타난 야외에서 표적과 추적 시스템이 동시에 움직이는 경우의 시험 결과이다. 표적의 실제 중심 위치는 시험자의 관찰에 의하여 설정하였으며, 3-step search BMA, phase correlation 및 제안한 추적기의 3가지 알고리즘의 추적결과와 표적의 실제 중심과의 거리를 위치 오차로 설정하였다.

시험에 사용된 추적창의 크기는 64x64이며, BMA 추적기의 갱신 주기는 5 프레임(frame), phase correlation 추적기는 20 프레임으로 설정하였다. 제안된 추적기는 앞서 설명한 바와 같이 일정 주기(20 프레임) 및 SNR 값에 따라 갱신 시점이 결정된다.

그림 5은 그림 3의 (b) 영상에 대한 정밀 보정 과정을 보여준다. 그림 5의 (a)는 기준 영상이며 (b)는 입력 영상이다. (c)는 회전각 및 크기 변경 비율의 추정결과를 보여준다. 중심에서 위아래 방향이 회전각을 나타내고, 좌우방향이 배율을 나타낸다. (d) 정밀 보정 후 입력 영상을 보정한 결과이며, (e)는 정밀 추정 단계 이후에 최종적인 이동량 추정을 위한 phase correlation 결과이다. 그림에서 가장 밝은 위치가 이동량 (x_0, y_0) 에 대응된다. 그림에서 보는바와 같이 일반적인 추적기보다 월등히 높은 SNR을 가지는 phase correlation의 특징을 잘 보여주고 있다.



(a)



(b)

그림 2. 시험 영상의 추적오차 : (a) 실내 (b) 야외

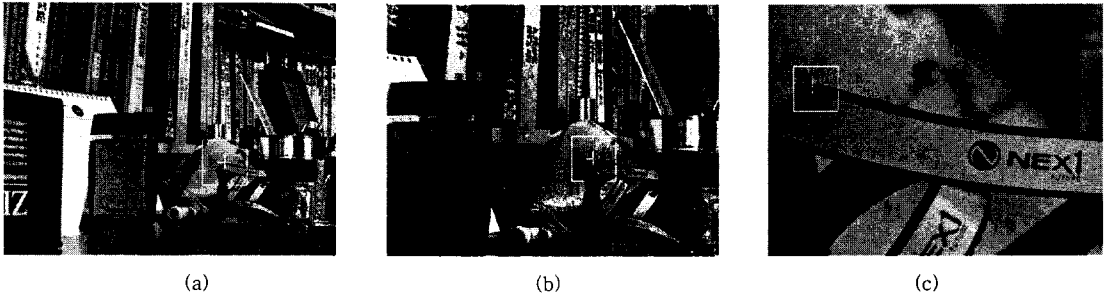


그림 3. 실내 영상에서의 표적 추적 결과 : (a) frame #1 (b) frame #61 (c) frame #164

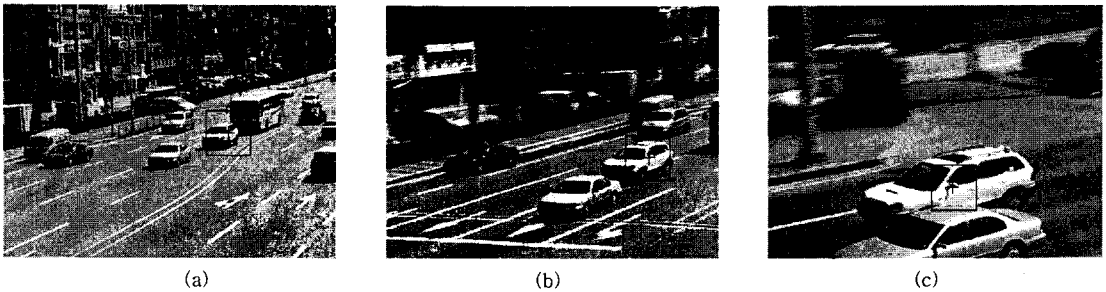


그림 4. 야외 영상에서의 표적 추적 결과 : (a) frame #1 (b) frame #79 (c) frame #155

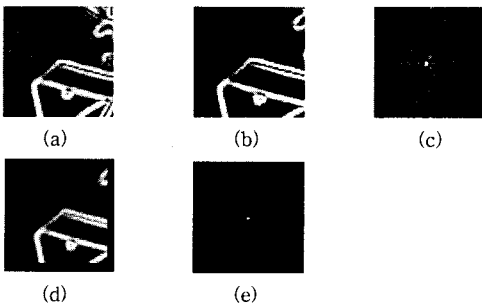


그림 5. 그림 3의 (b) frame #61의 정밀 보정 : (a) 기준 영상 (b) 입력 영상 (c) 정밀 보정 단계에서의 M_{PL1} , M_{PL2} 에 대한 phase correlation 결과, $r=1.14$, $\theta=2.81^\circ$ (d) 회전 및 배율이 보정된 입력 영상 (e) 기준 영상과 보정 영상의 최종 phase correlation 결과, $SNR=43.17$.

5. 결론

본 논문에서는 표적 추적을 위한 새로운 추적기를 제안하였다. 제안된 추적기는 phase correlation과 FM 변환을 이용하여 표적과 추적 시스템의 상대 운동에 따른 표적의 위치 이동뿐만 아니라, 회전 및 크기 변경 등의 경우에도 강한 특성을 가짐을 실험을 통하여 확인하였다.

제안된 추적기는 정지 표적과 이동 표적 모두에 적용할 수 있으며, 특히 순항 미사일(cruise missile), 유도 폭탄(guided bomb) 등의 영상 탐색기를 장착한 유도 무기 분야에서 지상 표적 추적에 효과적일 것으로 사료된다.

본 논문의 연구 결과를 바탕으로 한 추가 연구 과제로는

추적 정확도 향상을 위하여 표적과 추적 시스템의 공간 운동에 의하여 생기는 공간상의 3차원 영상 변이를 보정하는 기법의 연구가 필요하다. 또한 보다 지능적인 기준 영상 갱신 알고리즘과 FFT 및 IFFT를 사용하는 알고리즘의 실시간 구현을 위하여 현재 활발히 연구 개발되고 있는 FPGA(Field Programmable Gate Array)를 이용한 알고리즘의 하드웨어 구현 기법 등이 연구 과제일 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Q-S Chen, M. Defries and F. Deconinck, "Symmetric phase-only matched filtering of Fourier-Mellin transforms for image registration and recognition," *IEEE Trans. pattern anal. machine intell.*, vol. 16, no. 12, pp. 1156-1168, December, 1994.
- [2] B. S. Reddy and B. N. Chatterji, "An FFT-based technique for translation, rotation, and scale-invariant image registration," *IEEE Trans. Image Proc.*, vol. 5, no. 8, pp. 1266-1271, August, 1996.
- [3] J. Shi and C. Tomasi, "Good features to track," *IEEE Conf. Comp. Vision Patt. Recog.*, pp. 593-600, 1994.
- [4] A. A. Hastbacka, "A fast pattern recognizer for autonomous target recognition and tracking for advanced naval attack missiles," *Proceedings of SPIE*, vol. 4379, pp. 316-325, 2001.
- [5] 임채환, 손재곤, "상관방식의 영상 추적에서의 추적항 적용 조절," *전자공학회논문지*, 제34권 6편 제6호, pp. 51-57, 1997.