

論文

DOI:<http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2012.40.1.35>

영상기반항법을 위한 파티클 필터 기반의 특징점 추적 필터 설계

원대희*, 정상경*, 이영재**

Particle Filter Based Feature Points Tracking for
Vision Based Navigation System

Dae Hee Won*, Sangkyung Sung* and Young Jae Lee**

ABSTRACT

In this study, a feature-points-tracking algorithm is suggested using a particle filter for vision based navigation system. By applying a dynamic model of the feature point, the tracking performance is increased in high dynamic condition, whereas a conventional KLT (Kanade-Lucas-Tomasi) cannot give a solution. Furthermore, the particle filter is introduced to cope with irregular characteristics of vision data. Post-processing of recorded vision data shows that the tracking performance of suggested algorithm is more robust than that of KLT in high dynamic condition.

초 록

본 논문은 영상기반항법에서 특징점의 이동변위가 큰 경우에도 추적 성능을 확보할 수 있는 파티클 필터 기반의 특징점 추적 필터를 설계하였다. 기존 KLT (Kanade-Lucas-Tomasi) 알고리즘에서 이동량이 큰 경우의 추적 성능을 향상시키기 위해 특징점의 동역학 모델을 적용하였고, 불규칙적인 영상정보의 특성을 반영하기 위해 파티클 필터를 사용하였다. 저장된 이미지로 KLT 알고리즘과의 특징점 추적 성능을 비교한 결과 제한한 알고리즘은 큰 이동량을 갖는 경우에도 추적 기능을 유지하는 것을 확인하였다.

Key Words : Feature Point Tracking(특징점 추적), Particle Filter(파티클 필터), KLT, Vision Based Navigation(영상기반항법)

1. 서 론

날로 진보하는 전자기술에 힘입어 항공분야의 무인항공기 시스템은 비약적으로 발전 하고 있다. 기능적인 측면에서는 다양한 임무 수행이 가능해 졌으며, 운영적 측면에서는 넓어진 운용

반경을 갖게 되었다. 이와 더불어 실내나 도심 협소 지역 등에서의 임무가 추가적으로 요구되므로 기존의 GNSS (Global Navigation satellite System)와 INS (Inertial Navigation System) 기반의 항법 이외에 영상기반 항법 연구가 활발히 진행되고 있다[1, 2, 3].

영상기반 항법은 비행 지역에 대한 사전 정보가 불필요하며, 지상의 지형지물에 대한 영상정보로 상대적인 자세와 위치를 추정할 수 있다. 무인항공기에 이 기술을 접목시킴으로써 실내항법, GPS 취약지역 비행, 영상기반 충돌 회피 등

† 2011년 7월 11일 접수 ~ 2011년 12월 14일 심사완료

* 정희원, 건국대학교 항공우주정보시스템공학과

** 정희원, 건국대학교 항공우주정보시스템공학과

교신저자, E-mail: youngle@konkuk.ac.kr

서울시 광진구 화양동 1번지

의 다양한 임무 수행이 가능해 진다[4].

영상기반 항법을 수행하기 위해서는 영상정보로부터 항법 정보로 활용 가능한 특징점을 추출하고 추적하는 기술이 필요하다. 패턴 매칭 기반의 알고리즘을 사용하기 위해 넓은 범위의 영역을 특징점으로 선정하는 SURF (Speeded Up Robust Features)[5], SIFT (Scale Invariant Feature Transform)[6] 등이 사용된다. 그러나 특징점을 추정하기 위해 매 픽셀마다 연산을 수행해야 하는 점을 고려한다면, 넓은 영역의 특징점은 연산량을 증가시키므로 실시간성이 저하된다. 상대적으로 작은 크기의 윈도우를 특징점으로 선정하는 KLT (Kanade-Lucas-Tomasi) [7]는 앞서 설명한 알고리즘보다 연산량이 현저히 작아 실시간으로 동작 가능하다. 그러나 KLT 알고리즘은 특징점의 동역학적 모델이 없고, 추정되는 영상정보의 명암 변화율에만 의존하여 최소자승법으로 특징점 위치를 추적한다. 이러한 특성으로 인해 KLT 알고리즘은 특징점의 이동량이 큰 경우 위치 추정 성능이 현저히 떨어진다[7, 8]. 일부 컴퓨터 공학 분야에서 파티클 필터를 사용하여 특징점 추적 연구를 수행하였으나, 정확한 추정을 위해 KLT 특징점 보다 넓은 범위의 영역기반 매칭을 사용하거나 컬러, 모션, 형상 등을 추가적으로 사용하여 연산량이 많다[9].

기존 KLT와 파티클 필터를 적용한 연구가 일부 진행되었다. 기존 연구 [10, 11]는 주로 고정된 지역 내에 움직이는 대상을 추적하기 위해 수행되었다. 움직이는 대상 자체를 특징점으로 설정하므로 특징점의 크기가 크게 설정되었다. 더욱이 추적 성능 향상을 위해 컬러 영상을 사용하여 알고리즘이 복잡하고 연산량이 많은 제한점이 있다. 항법을 위한 영상정보는 앞선 연구와 반대로 촬영지역이 이동하며, 고정된 사물을 추적해야 한다. 또한 단순한 기법으로 연산량을 충분히 감소시켜 실시간 성능 확보가 필요하다.

본 논문은 KLT의 실시간 성능은 유지하며, 특징점의 이동량이 큰 경우에도 우수한 추적 성능을 동시에 갖출 수 있는 파티클 필터 기반의 특징점 추적 알고리즘을 제시한다. 이동량이 큰 경우의 추적 성능 향상을 위해 특징점의 동역학적 모델을 도입하였고, 비선형적인 영상 정보의 특징을 반영하기 위해 비선형 필터에 적합한 파티클 필터를 사용하였다. 또한 기존의 기법과 달리 더 작은 영역의 특징점을 사용하였고, 컬러 정보 없이 명암 값만 사용하였다. 제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 획득된 영상정보로 KLT 알고리즘과 추적 성능을 비교하였다. 분석 결과

KLT 알고리즘은 특징점의 이동변위가 큰 경우 추적 기능을 상실하였으나 파티클 필터는 연속적인 추적 성능을 보이며 상대적으로 우수한 성능을 나타냈다. 또한 연산시간 측정 결과에서도 실시간 운용 가능성을 확인하였다.

본 논문의 2절에서는 영상기반항법에 활용되는 특징점에 대해서 살펴본 후, 기존 알고리즘인 KLT를 분석하고 제안하는 파티클 필터 기반의 추적 알고리즘에 대해서 설명한다. 3절에서는 제안한 기법의 성능 검증을 위해 저장된 영상정보를 사용하여 특징점 이동변위의 크기에 따른 추적 성능을 살펴보고 4절에서 결론을 맺었다.

II. 특징점 추적 필터 설계

2.1 특징점

영상기반항법을 수행하기 위해서는 영상 정보로부터 항법에 활용하기 위한 특정 데이터를 추출해야 하며, 이 데이터를 특징점이라 부른다[7]. 특징점은 영상정보 내에서 바라보는 시점이 바뀌어도 형태가 지속적으로 변하지 않는 특성을 지닌 점으로 선정한다. 주로 모서리의 교점이나 코너 등의 명암차가 큰 곳으로 식별이 쉽고 변화가 적은 지점이 해당된다. 그림 1은 설명한 특징점의 예를 보여준다. 특징점을 연속적으로 추적하면 기하학적 배치에 의해 상대적인 영상 센서의 움직임을 알아 낼 수 있다. 이러한 기술적인 장점으로 인해 영상기반항법이 널리 이용된다. 항법 정보로 사용될 특징점은 Harris Corner Detection [12], SUSAN Detector [13], Curvature Scale Space Corner Detector [13], FAST Detector [14] 등을 통해 선정되나, 본 논문에서는 추적에 초점이 맞추어져 있으므로 자세한 설명은 생략한다.

영상을 표현하는 방법은 컬러, 흑백이 있으며 본 논문은 연산량 감소를 위해 명암만을 표현하는 흑백 이미지를 사용하였다. 영상의 명암 정보는 픽셀의 위치 (x, y)와 시간 (t)에 따라 다른 값

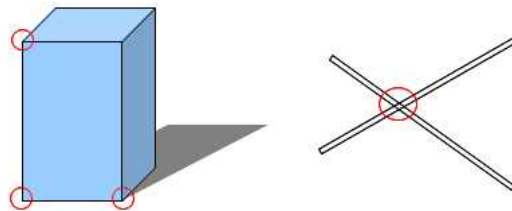


그림 1. 특징점 예시

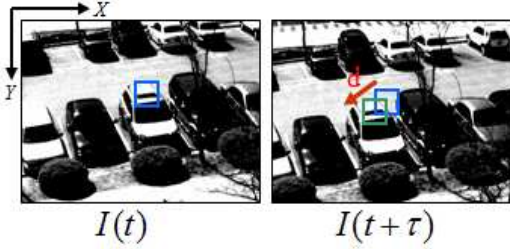


그림 2. 두 시점의 특징점 변화 예

$$I(x, y, t + \tau) = I(x - \xi, y - \eta, t) \quad (1)$$

을 나타낸다. 이때 두 시간 간격 τ 사이에 이미 지 변위 $d = (\xi, \eta)$ 가 발생하였다고 가정하면 식 (1)과 같이 표현할 수 있다[7, 8].

좌변과 우변은 식 (2), (3)과 같이 치환하면 두 영상 정보사이의 오차는 식 (4)로 나타낼 수 있다. 이때 s 는 특징점 윈도우의 크기를 나타낸다.

$$J(\mathbf{x}) = I(x, y, t + \tau) \quad (2)$$

$$I(\mathbf{x} - d) = I(x - \xi, y - \eta, t) \quad (3)$$

$$\varepsilon = \int_s [I(\mathbf{x} - d) - J(\mathbf{x})]^2 s d\mathbf{x} \quad (4)$$

2.2 KLT 알고리즘

KLT 알고리즘은 식 (5)로 계산된 영상정보의 X, Y 방향의 명암 변화율을 이용하여 특징점을 추적한다.

$$g = \left[\frac{\partial I}{\partial x} \quad \frac{\partial I}{\partial y} \right]^T \quad (5)$$

짧은 시간 간격으로 영상을 획득하면 이동변위는 매우 작아 특징점은 평행하게 이동하였다고 볼 수 있다[7]. 이때 이웃한 시점의 특징점을 테일러 정리를 이용하여 선형화하면 식 (6)이 되고, 오차는 식 (7)로 표현할 수 있다.

$$I(\mathbf{x} - d) = I(\mathbf{x}) - g \cdot d \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \int_s [I(\mathbf{x}) - g \cdot d - J(\mathbf{x})]^2 s d\mathbf{x} \\ &= \int_s [h - g \cdot d]^2 s d\mathbf{x} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서,

$$h = I(\mathbf{x}) - J(\mathbf{x}).$$

식 (7)을 변위로 미분하여 0이 되는 값을 찾으면, 오차를 최소화하는 변위를 계산할 수 있다.

$$d = G^{-1} \sum g \cdot h, \quad (G = \sum g \cdot g^T) \quad (8)$$

식 (8)은 최소자승법을 이용한 KLT 알고리즘의 특징점 추적식이 된다[7, 8]. 이 경우 명암 기울기는 특징점 윈도우만을 제한적으로 표현하므로 윈도우를 벗어나는 큰 이동변위가 발생할 경우 추적 기능을 상실할 수 있는 한계점을 갖는다. 그리고 불규칙한 영상정보를 선형식으로 표현하였으므로 많은 정보를 상실할 뿐만 아니라 복잡한 영상에 대해 대표값으로 활용할 수 없는 문제를 갖는다.

2.3 파티클 필터 기반 특징점 추적

일반적으로 추정 필터는 시스템의 동역학 모델을 사용하므로 상태변수의 추정 정확도를 향상시킬 수 있으며, 측정 잡음에 의한 영향을 완화시킬 수 있다. 본 논문에서는 영상정보 측정값에만 의존하는 KLT 알고리즘의 단점을 보완하고자 특징점의 동역학적 모델을 도입하였다. 상태변수는 특징점의 좌표와 이동변위로 설정하였다.

$$\mathbf{X} = [x \quad \xi \quad y \quad \eta]^T \quad (9)$$

$$\mathbf{X}_{t+1} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \Delta t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{X}_t + w_t \quad (10)$$

w_t : Process noise

필터 구성을 위한 관측모델은 특징점 윈도우 내에서 명암의 기울기를 측정하는 식을 사용하였다. 영상정보의 명암은 주변 환경적인 요인에 의해 전체적으로 바뀔 수 있으나, 명암의 기울기는 상대적으로 덜 영향을 받는다. 따라서 환경적 요인에 상대적으로 덜 민감한 명암 기울기를 측정값으로 사용하였다. 식 (11)은 관측식을 나타내며, x, y 방향으로의 명암 기울기로 구성되어 있다.

$$\mathbf{z}_t = f(\mathbf{X}_t, s, v_k) = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial I_t}{\partial x} \right)_s \\ \left(\frac{\partial I_t}{\partial y} \right)_s \end{bmatrix} + v_k \quad (11)$$

v_k : Measurement noise

앞서 구성된 모델을 적용하기 위한 필터로 파티클 필터를 사용하였다. 파티클 필터는 잡음의 특성이 정규분포가 아니거나, 모델이 비선형인 경

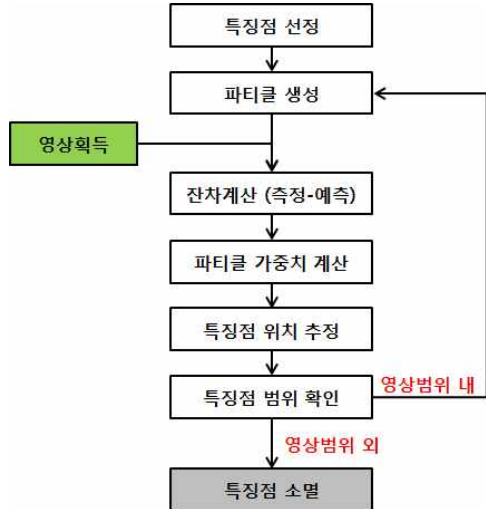


그림 3. 파티클 필터 기반의 특징점 추적 알고리즘 흐름도

우에도 적용 가능한 기법이다[15]. 특히 본 논문에서 사용하는 영상정보와 같이 명암정보가 불규칙한 특성을 갖는 시스템에 적합하다. 파티클 필터는 상태변수가 존재 가능한 범위 내에 파티클을 생성한 후 선분산과 측정값으로 생성된 가중치로 상태 변수를 추정한다. 루프 반복에 따라 가중치를 기준으로 파티클이 도태되거나 복제되며 상태변수를 추정해 나아간다. 기본적으로 몬테 카를로 샘플링을 통해 추정하며 상태변수의 확률분포를 해로 제공한다[15, 16]. 이러한 특징으로 인해 확률분포가 정규분포를 따르지 않고 여러 개의 피크를 갖는 시스템에도 적용이 가능하다.

그림 3은 파티클 필터를 사용하여 구성한 특징점 추적 알고리즘의 흐름도를 보여준다. 초기의 영상정보로 특징점을 추출하고, 특징점마다 파티클을 생성해 준다. 새롭게 측정된 영상정보가 입력되면, 후보 파티클을 사용하여 예상되는 특징점 위치의 명암 기울기 정보를 계산하고 기존 특징점의 명암 기울기 정보와의 차이를 계산한다. 계산된 잔차를 사용하여 개별 파티클의 가중치를 계산하면 파티클의 확률 분포가 얻어진다. 확률분포를 기반으로 가중평균을 취하면 특징점의 위치를 추정할 수 있다. 이때 특징점의 위치가 영상범위를 벗어나는 경우 더 이상 추적이 불가능해지므로 추적을 중단하고, 범위 내에 있는 경우는 반복하여 추적 기능을 수행한다.

특징점 추적에 있어서 파티클 필터는 이미지의 비선형 모델을 선형화 없이 사용 가능하며,

특징점이 이동 가능한 여러 후보군에 대한 가능성을 점검하므로 KLT보다 우수한 추적 성능을 가질 수 있다.

III. 실험방법 및 결과

3.1 실험방법

제시한 알고리즘의 성능 분석을 위해 사전에 저장된 영상정보를 사용하였다. 영상정보 한 프레임의 크기는 480*640 (VGA급)로 획득하였으며, 특징점은 15*15 픽셀로 설정하였다. 카메라는 이전 프레임의 특징점과 50% 이상 공통부분이 포함될 수 있도록 3 pixels/frame 이내로 이동하도록 설정하였다. 영상 획득/처리를 위한 하드웨어 및 소프트웨어는 다음의 표와 같다.

획득한 영상정보는 Harris Corner Detection [12]으로 획득된 특징점 중 1개를 선정하여 분석에 사용하였다.

그림 4는 사용된 영상정보와 특징점을 나타낸다. 파티클 필터 운용을 위한 파티클은 50개를 사용하였다. 상태변수가 특징점의 2차원 변위와 변위 변화량으로 총 4차이므로, 각 파티클은 4차의 상태변수를 갖는 1개의 후보 샘플이 된다.

표 1. 하드웨어/소프트웨어 사양

하드웨어	영상획득: NI-PXI 8186 (2.2 GHz, 256 MB)
	영상처리: Intel Core i7, 4GB RAM
	카메라: Basler A601F
소프트웨어	영상획득: NI Vision Assistant 8.0
	영상처리: MATLAB R2010a



그림 4. 사용된 영상정보와 특징점

3.2 특징점 변위가 작은 경우

연속 촬영한 40개의 이미지를 사용하여 KLT와 파티클 필터 추적 알고리즘을 비교하였다. 영상정보의 특징점 변위는 정지 상태에서 출발하여 약 3~5 pixels/frame 내외로 천천히 이동하는 환경에서 획득되었다.

그림 5, 6은 KLT와 파티클 필터의 특징점 추적 결과를 보여준다. 특징점의 이동변위가 작으므로 두 결과 모두 특징점을 상실하지 않고, 추적함을 확인할 수 있다. 그림 7은 두 추적 알고리즘의 추정 오차를 보여준다.

오차는 특징점 원본과 추정된 특징점의 명암 기울기의 차이를 RMS (Root Mean Square)로 표현하였다. 초기에 파티클 필터는 넓게 퍼진 후보 파티클의 검증과정으로 인해 오차가 크게 나타났으나, 시간이 지날수록 참 값의 확률분포를 찾게 되므로 점점 작아지는 양상을 보였다. 특징점 이동량이 작은 경우에는 두 추적 방법 모두 우수한 성능을 보였다. 15~35 프레임 사이에서 RMS 오차가 일부 증가하는 현상이 나타난다. 특징점의 크기가 15*15이고, 측정 잡음 (명암)이 픽셀당 1인 경우 RMS는 225이므로 해당 구간은 오차가 증가하는 것으로 보이나 추정 오차는 미미한 수준이라 볼 수 있다.

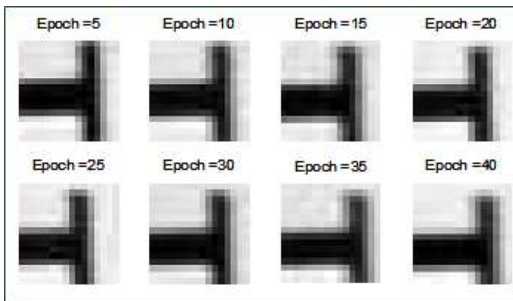


그림 5. 이동변위가 작은 경우의 KLT 추적결과

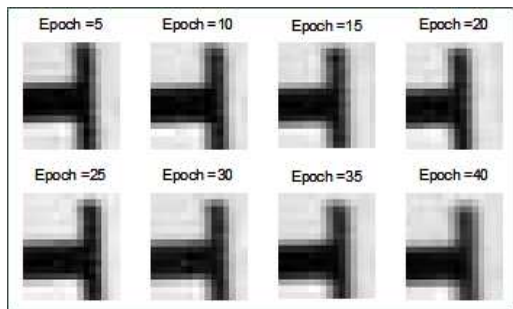


그림 6. 이동변위가 작은 경우의 파티클 필터 추적 결과

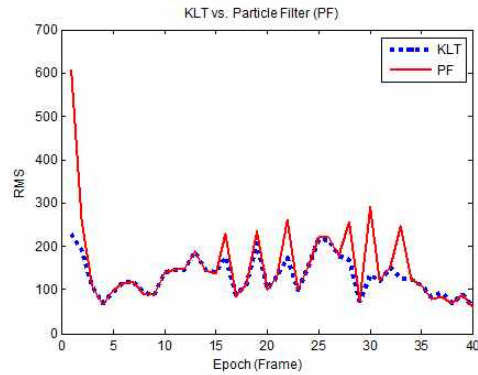


그림 7. 이동변위가 작은 경우의 KLT와 파티클 필터의 오차 비교

3.3 특징점 변위가 큰 경우

특징점의 이동변위가 큰 경우의 성능을 비교하기 위해 3.2절에서 사용한 데이터를 매 2 frame 마다 추출하여 사용하였다. 즉 사용한 데이터는 동일하나 영상 프레임마다 이동변위는 2배로 증가하였으며 이동변위의 범위는 약 6~10 pixels/frame 이다.

그림 8은 KLT를 이용하여 추적한 결과를 보여준다. 초반의 KLT는 특징점을 잘 추적하나, 9

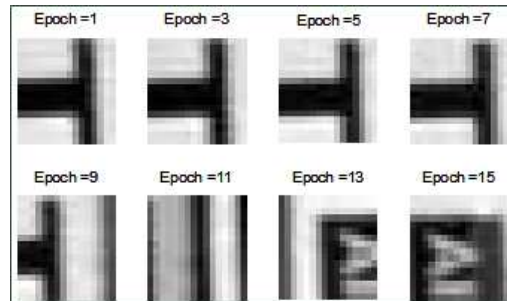


그림 8. 이동변위가 큰 경우의 KLT 추적 결과

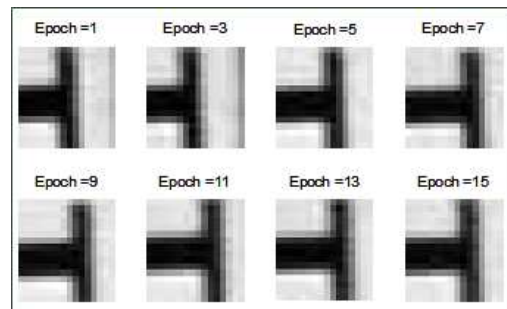


그림 9. 이동변위가 큰 경우의 파티클 필터 추적 결과

번째 프레임부터 추적 기능을 상실하여 특징점을 추적하지 못하였다. 이에 반해 그림 9의 파티클 필터는 초기 수렴구간을 제외한 모든 프레임에서 추적 기능이 원활히 작동함을 확인할 수 있다.

그림 10은 두 결과에 대하여 오차를 그래프로 나타낸 것이다. 파티클 필터는 초반에 그림 7과 마찬가지로 초기화 과정에서 큰 오차를 보이나 7번째 프레임을 전후하여 파티클 오차가 작게 수렴함을 확인할 수 있다. 반면 KLT는 초반에는 추적 성능을 유지하나 7 프레임 이후 추적 기능을 상실하였다. 초반에는 약 6 pixels/frame의 속도로 이동하고 영상의 잠을 성분으로 인해 미미한 추정오차가 누적되었다. 그러나 7프레임 이후 8pixels/frame의 빠른 속도와 누적된 오차로 인해 추적 기능을 상실하였다.

알고리즘 상에서 설정된 특징점의 크기는 15*15 픽셀로 이동변위가 큰 실험에서 최대 10 픽셀의 이동변위가 발생할 경우 특징점의 약 33% 영역만이 추적에 유효하다. 따라서 KLT에서 특징점을 대표하는 명암 기울기로 추적 기능을 유지하기는 어렵다. 파티클 필터는 특징점의 동역학 모델을 사용할 뿐만 아니라, 파티클로 예상되는 후보 위치에 파티클을 생성하여 확률적으로 추정하므로 KLT보다 추적 성능이 우수하다.

15*15 크기의 특징점 추적 실험에서 이동변위가 작은 경우 최대 이동범위는 5 pixels/frame이고, 큰 경우는 최소 6 pixels/frame이었다. 이때 KLT의 추적 성능이 서로 다르게 나타난 것으로 보았을 때, 약 5 픽셀 이상의 이동이 발생하면 추적 기능을 상실한다고 판단된다. 즉 이전 프레임과 공통부분이 약 36~55% 이하이면 이전 이미지의 명암 기울기 정보로 특징점을 추적할 수 없다. 하지만 이 분석 결과는 영상정보와 주변 환

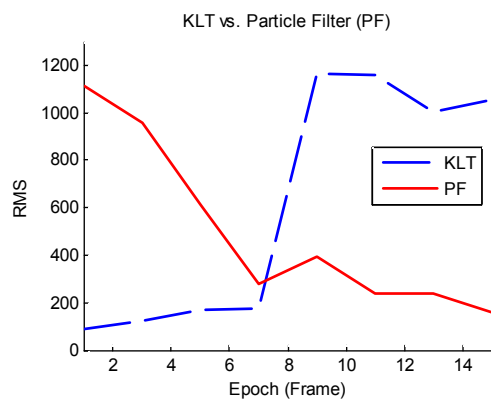


그림 10. 이동변위가 큰 경우의 KLT와 파티클 필터의 오차 비교

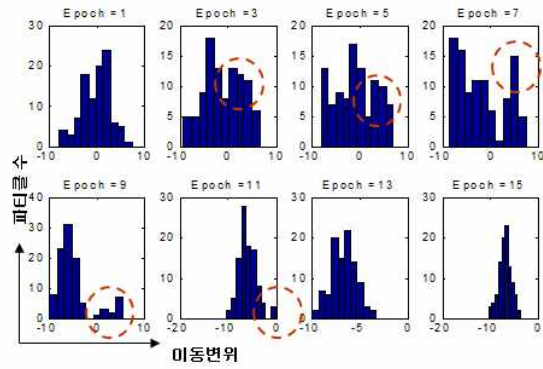


그림 11. 파티클 필터의 확률분포 변화

경 조건에 따라 달라질 수 있다. 그림 11은 파티클 필터의 확률분포 변화를 나타낸다. 초기에 생성된 후보 파티클은 추정과정을 거치며, 특징점과 유사한 명암 변화를 갖는 부분에 많은 파티클이 분포하게 된다. 이때 확률분포는 정규분포를 따르지 않고, 유사성이 높은 부분에서 다중 피크를 갖는 모습을 보인다. 그림의 원형으로 표기된 부분은 특징점은 아니지만 유사한 명암 변화를 보이는 부분이다. 해당 부분은 초기에 높은 확률을 가지나, 시간이 지날수록 측정값과의 비교를 통해 파티클 수가 적어지므로 해당 파티클은 도태되어 전체 분포는 하나의 피크를 갖게 된다. 최소자승법이나 선형 필터에서는 이러한 비정규 분포에 대해 하나의 피크로 수렴하지만 파티클 필터는 추정과정에서 확률 분포를 유지하므로 특징점 추정 시 보다 우수한 성능을 나타낸다.

항공분야 영상기반 항법의 적용 가능성을 점검하기 위해 일정 높이에서 촬영한 영상 데이터를 사용하여 추가 분석하였다. 영상 데이터는 정지 상태에서 시작하여 최대 15 pixels/frame으로 이동하였으며, 첫 프레임과 마지막 프레임의 처리 결과를 그림 12에서 나타내었다. 총 7개의 특징점을 사용하였고 특징점 당 50개의 파티클을 사용하였다. 추적 시간동안 발산 없이 모두 안정적으로 추정함을 확인하였다.

3.4 연산시간 분석

파티클 필터는 파티클의 수가 증가할수록 추정 성능이 향상되나, 연산시간이 증가하여 실시간 운용성이 낮아지는 제한사항이 있다. 표 2는 그림 4를 추적한 KLT와 파티클 필터의 연산시간을 비교한 결과이다. 총 50프레임을 처리하는데 소모된 시간을 나타내며, 저장된 데이터를 사용하였으므로 영상획득 시간은 포함되지 않았다.

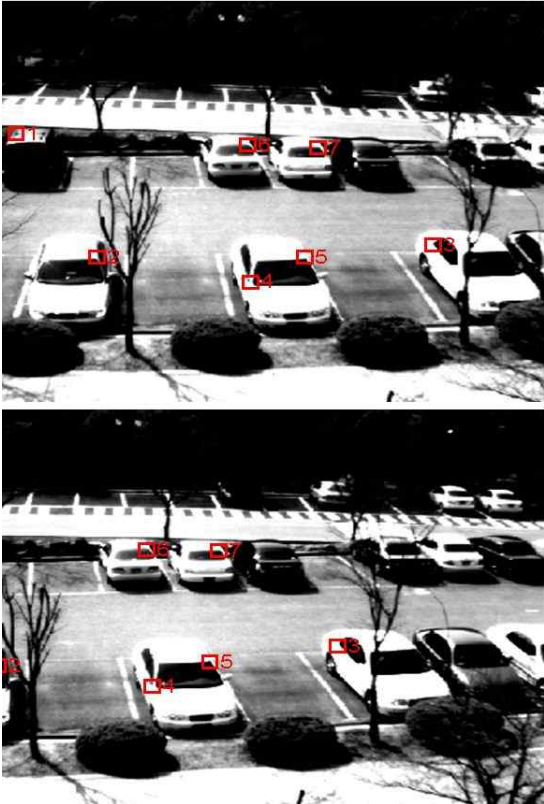


그림 12. 다중 특징점 추적 결과: 첫프레임(상), 마지막 프레임(하)

분석 결과 파티클 필터가 약 2배가량 시간이 더 소모되었으나, 프레임당 소요 시간이 약 5 msec이므로 충분히 실시간으로 동작할 수 있는 수준이다. 일반적으로 파티클 필터의 연산량이 많으나 본 논문에서는 4차의 상태변수와 50개의 파티클을 사용하였기 때문에 실시간 동작 가능성을 확보할 수 있었다.

또한 기존 관성센서와 영상센서를 결합한 항법 연구결과[17]에 따르면, 3~7개의 특징점에 대해 초당 10회의 영상정보 업데이트로 영상항법을 구성할 수 있다고 기술하고 있다. 본 연구결과에서 특징점당 5 msec의 영상처리 시간이 소모 되었으므로 7개의 특징점과 10 프레임 영상처리 시 약 350 msec ($5 \text{ msec} * 7 \text{ 개} * 10 \text{ 프레임}$)이 소요 되므로 충분히 실시간 동작 가능성을 확보하였다.

표 2. 50 프레임 연산시간 비교

KLT	파티클 필터
125.4 msec	239.6 msec

고 볼 수 있다. 그림 12에서 7개의 특징점을 50 프레임에서 추정하였을 때, 약 2.25 msec가 소요 되었다. 10 프레임 처리 시 앞의 분석보다 100 msec가 더 소요된 450 msec의 시간이 걸렸으나, 실시간 구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

본 논문에서 활용한 영상보다 복잡한 영상을 사용할 경우 주변 영상과 확연한 구분을 위해 특징점의 크기를 증가시켜야 한다. 또한 카메라의 다이내믹이 증가할 경우 파티클 필터로 검색해야 할 후보 범위가 증가한다. 따라서 후보 범위에 대한 공백을 줄이기 위해 파티클 수를 증가시켜 추정 성능을 확보해야 한다. 하지만 파티클 수가 증가할수록 연산량이 증가하므로 운용환경에 따라 적정 다이내믹 범위와 파티클 수를 결정해야 한다.

IV. 결 론

기존의 KLT 알고리즘은 윈도우 기반의 특징점을 사용하므로 연산량이 적어 실시간 운용 가능성이 높다. 그러나 명암 기울기 기반의 최소자승법으로 특징점을 추적하므로 이동변위가 크거나 주변의 유사한 성질의 영상정보가 존재하는 경우 추적 성능이 감소한다. 본 논문에서는 KLT의 실시간 운용성은 유지하며 이러한 제한점을 극복하기 위해 특징점 동역학 모델을 사용하였고, 주변의 유사한 특징점으로 수렴하는 것을 방지하고자 파티클 필터를 적용하였다.

저장된 이미지로 특징점 추적 성능을 분석한 결과 이동변위가 작은 경우 두 기법 모두 우수한 추적 성능을 보였다. 그러나 이동변위가 큰 경우 KLT는 추적 기능을 상실하는 반면, 파티클 필터는 추적 기능을 유지하였다. 파티클 필터는 예상되는 특징점 위치를 후보 파티클로 생성하여 확률분포를 지속적으로 유지하며 추정하므로 주변의 유사한 지점으로 수렴하는 것을 방지할 수 있었다. 따라서 파티클 필터 기반의 특징점 추적 필터는 KLT의 단점을 보완하여 더 우수한 성능을 나타내었다. 또한 연산시간은 파티클 필터가 2배 정도 소요시간이 길었으나, 프레임당 약 5msec 정도의 처리시간을 보였으므로 충분히 실시간으로 동작할 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문에서 제시한 파티클 필터 기반의 특징점 추적 필터는 영상기반항법에 사용되어 우수한 항법 성능을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 2009년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(No. 2009-0090722).

참고문헌

- 1) J. Kim, *Autonomous Navigation for Airborne Application*, Ph.D. Dissertation, Sydney University, May 2004
- 2) J. Kim and S. Sukkarieh, "Autonomous airborne navigation in unknown terrain environments," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 40, no. 3, pp. 1031-1045, 2004
- 3) 천세범, 복수 비전 센서를 이용한 INS/GP 성능 향상, 건국대학교 박사학위논문, 2008
- 4) H. Durrant-Whyte and T. Bailey, "Simultaneous localization and mapping tutorial I&II," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 13, no. 2&3, June 2006
- 5) H. Bay, T. Tuytelaars, L. V. Gool, "SURF: Speeded Up Robust Features", *Lecture Notes in Computer Science, Volume 3951/2006*, 2006
- 6) D. G. Lowe, "Object recognition from local scale invariant features," *Proc. of the International Conference on Computer Vision 2*, pp. 1150-1157, 1999
- 7) Carlo Tomasi and Takeo Kanade, *Detection and Tracking of Point Features*, Technical Report CMU-CS-91-132, April 1991
- 8) 원대회, 천세범, 강태삼, 성상경, 이영재, "비전센서 기반의 SLAM을 위한 특징점 추정 필터 설계", *한국항공우주학회 2007년도 추계학술 발표회 논문집 (II)*, pp.1252-1255, 2007
- 9) M. Z. Islam, C. M. Oh, C. W. Lee, "Video Based Moving Object Tracking by Particle Filter", *Int. Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern*. Vol.2, No.1, pp.119-132, 2009.
- 10) 김세진, 주영훈, "Particle filter를 이용한 이동 물체 추적 알고리즘", *한국지능시스템학회 논문지*, Vol.19, No.4, pp.586-591, 2009
- 11) A. Dore, A. Beoldo, C. S. Regazzoni, "Multiple Tracking with a Corner-based Particle filter", 2009 IEEE 12th Int. Conf. on Computer Vision Workshop, pp.1251-1258, 2009
- 12) C. Harris, M. Stephens, "A Combined Corner and Edge Detector", *Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference* pp. 147 - 151, 1988
- 13) A. Alexeandrov, "Corner Detection Overview and Comparison", *Computer Vision 558 Lecture note in Martin Luther University*, 2002
- 14) <http://svr-www.eng.cam.ac.uk/~er258/work/fast.html>
- 15) B. Ristic, *Beyond the Kalman Filter*, Artech House, 2004
- 16) 원대회, *비전센서 기반의 SLAM 기술을 이용한 DR 성능 향상*, 건국대학교 석사학위논문, 2008
- 17) D. H. Won, S. Chun, S. Sung, Y. J. Lee, J. Cho, J. Joo, J. Park, "INS/vSLAM System Using Distributed Particle Filter", *International Journal of Control, Automation, and Systems*, Vol.8, No.6, pp.1232-1240, 2010