

# Optical Flow-Based Marker Tracking Algorithm for Collaboration Between Drone and Ground Vehicle

Jong-Hwan Beck<sup>†</sup> · Sang-Hoon Kim<sup>††</sup>

## ABSTRACT

In this paper, optical flow based keypoint detection and tracking technique is proposed for the collaboration between flying drone with vision system and ground robots. There are many challenging problems in target detection research using moving vision system, so we combined the improved FAST algorithm and Lucas-Kanade method for adopting the better techniques in each feature detection and optical flow motion tracking, which results in 40% higher in processing speed than previous works. Also, proposed image binarization method which is appropriate for the given marker helped to improve the marker detection accuracy. We also studied how to optimize the embedded system which is operating complex computations for intelligent functions in a very limited resources while maintaining the drone's present weight and moving speed. In a future works, we are aiming to develop collaborating smarter robots by using the techniques of learning and recognizing targets even in a complex background.

**Keywords :** Marker Tracking, Optical Flow, Robot Collaboration, Keypoint Detection

# 드론과 지상로봇 간의 협업을 위한 광학흐름 기반 마커 추적방법

백종환<sup>†</sup> · 김상훈<sup>††</sup>

## 요약

본 논문에서는 드론과 지상 로봇 간 효과적인 협업을 위하여 광학 흐름 기술 기반의 특징점 추적 알고리즘을 제안하였다. 드론의 비행 중 빠른 움직임에 의하여 많은 문제점이 발생하여 지상물체를 성공적으로 인식하기 위해 직관적이면서도 식별자를 가지고 있는 마커를 사용했다. 특징점 추출이 우수한 FAST알고리즘과 움직임 감지가 우수한 루카스-카나데 광학흐름 알고리즘의 장점들을 혼합하여 기존 특징점-특정량 기반 객체 추적 방법보다 개선된 속도의 실험결과를 보여준다. 또한 제안한 마커의 검출방법에 적절한 이진화 방법을 제안하여 주어진 마커에서의 검출 정확도를 개선하였으며, 추적속도는 유사한 환경의 기존연구보다 40% 이상 개선됨을 확인하였다. 또한 비행드론의 경량화와 속도개선에 문제가 없도록 최소형 고성능의 임베디드 환경을 선택하였으며, 제한된 개발환경에서도 물체검출과 추적 등 복잡한 연산이 가능하도록 동작 환경에 대하여 연구하였다. 향후에는 다른 환경에서 빠르게 움직이는 두 로봇 간의 협업의 정확도를 향상시키기 위해 지능적 비전기능에 대해 추가할 예정이다.

**키워드 :** 마커 추적, 광학 흐름, 로봇 협업, 특징점 추출

## 1. 서론

기술 개발과 경제 발전의 가속화로 인해 현대사회의 환경은 더욱 복잡해지고 있다. 이러한 환경에서 단일 개체의 정보

만을 이용하는 것보다 다중 개체의 정보를 이용하여 상황을 추론하고 행동을 결정하는 것이 더 효율적이며 경제적이다. 최근 여러 나라는 로봇 분야에서의 협업(Collaboration)에 대해 관심이 증대되고 있다. 한국과학기술기획평가원의 보고서 [1]에 따르면, 미국에서는 협업형 프로그램을 2011년부터 추진 중이며 일본에서는 후쿠시마 원전 사태 이후 재난 상황에서도 활용 가능한 협업 로봇 시스템 연구 개발을 진행하고 있다.

로봇 간 협업 시스템에 대한 기술 개발은 다양한 플랫폼에서 이루어지고 있다. 특히, 드론을 활용한 협업 기술 연구들 [2-5]은 다양한 분야에서 사용되는 드론 개발에 대한 현대인들의 수요를 반영하고 있다. 일반적으로 드론 협업은 다른 드

\* 이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2015R1D1A1A01057518).

\*\* 이 논문은 2017년도 한국정보처리학회 추계학술발표대회에서 "드론과 지상 로봇의 비전 기반 협업 시스템을 위한 기준 마커 검출"의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임.

† 준회원: 환경대학교 전기전자제어공학과 석사과정

†† 종신회원: 환경대학교 전기전자제어공학과 교수

Manuscript Received : December 21, 2017

Accepted : January 28, 2018

\* Corresponding Author : Sang-Hoon Kim(kimsh@hknu.ac.kr)

론이나 지상 로봇을 대상으로 하며, 대부분의 드론은 비전 시스템이 탑재되어 있어 비전 응용 기술을 적용하기에 용이한 면이 있다[6-8]. 이로 인해 기존 연구에서는 협업을 위한 비전 응용 기술을 위하여 인공 표식 기반 추적 알고리즘을 제시하고 있다. 그러나 인공 표식의 내부 패턴이 복잡하여 실시간 처리가 어렵고 검출 속도가 느려 실제 환경에서 성능을 보장할 수 없었거나, 너무 단순하여 식별자 구분의 다양성이 없는 단점들이 있었다. 또한 기존 추적 방식들은 카메라의 위치가 고정되고 흔들림이 적은 영상과 같이 제한된 환경에서만 성능을 보장하였으나 Fig. 1과 같이 모션 블러 효과가 발생했을 때 검출 성능 저하의 한계점이 있었다.

본 논문에서는 실제 환경에서 드론과 지상 로봇의 효과적인 협업을 위해, 광학 흐름 기반의 마커 특징점 추적 알고리즘을 제안하려 한다. 마커는 외곽선 및 내부 패턴 검출이 비교적 쉬운 이진 사각형 기준 마커(Fiducial Marker)를 사용하여 식별자 구분 및 인식 성능 개선에 중점을 두었으며 제안하는 알고리즘을 이용하여 드론 기체의 움직임이 있는 동적 영상에서도 성능을 보장하고자 한다.

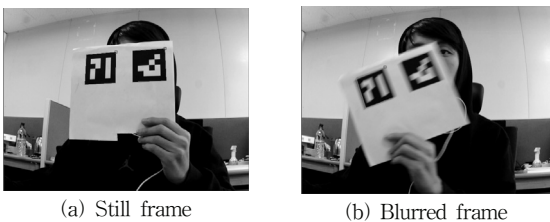


Fig. 1. Shortcoming of Conventional Detection Method

## 2. 기존 연구

### 2.1 비전 기반 마커 인식 기술

2015년 발표된 H. Kobayashi의 2차원 바코드를 이용한 자기측정 방법에 관한 논문[7]에서 저자는 QR 코드라고 알려진 ISO/IEC 18004와 비전 시스템을 이용한 바퀴형 로봇의 자기 위치 추정 방법을 제안하였다. Fig 2는 해당 연구의 간단한 개념도를 보여준다. 저자는 QR 코드를 ‘랜드마크 코드’라고 지칭하여 자체 포함된 기하 정보를 로봇의 비전 시스템을 통하여 전역 지도에서의 이동 로봇 자기위치 추정 기술을 연구하였다. 해당 연구는 이동 로봇의 위치 파악에 있어 QR 코드

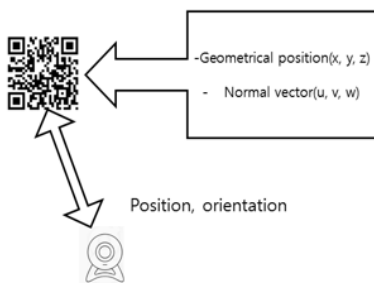


Fig. 2. Self-localization for Mobile Robot using QR Code

의 경제성과 효율성을 의의를 둔 연구였다. 그러나 QR 코드를 인식하고 내부 정보를 검출하는 것에 있어서 로봇이 반드시 멈춰서 인식하는 시간이 필요하다는 점을 저자는 논문에서 언급하고 있다.

### 2.2 객체 추적 알고리즘

객체의 추적(Tracking)은 컴퓨터비전의 한 분야이다. 추적은 이미지 시퀀스 내에서 매 프레임마다 관심 물체의 위치를 추정하는 것이다. 객체 추적의 가장 일반적이고 고전적인 방법으로 Meanshift 방법을 예로 들 수 있다. Meanshift 알고리즘은 데이터 분포의 분포 중심을 찾는 방법으로 이름 그대로 평균을 따라 이동한다는 의미를 가지고 있다. 비전시스템 분야에서의 Meanshift 알고리즘은 추적하고자 하는 대상 물체에 대한 색상 히스토그램과 입력 영상의 히스토그램을 비교해서 가장 유사한 히스토그램을 갖는 윈도우 영역을 찾는 것을 말한다. 알고리즘의 진행은 아래와 같이 이루어진다.

① 색상 모델에서 히스토그램을 구한다. 윈도우에 들어오는 픽셀에서 각 색상별로 들어온 픽셀 개수를 전체 픽셀수로 나눈다.

② 추적하고자 하는 객체 모델에 입력 영상 픽셀 색상이 얼마나 포함되어 있는지 수치화한다.

③ 이전 영상 프레임에서 물체의 위치를 초기에서 얻은 가중치(weight)로 하여 현재 윈도우 내에 있는 픽셀 좌표들의 무게중심 위치를 구한다.

④ Meanshift로 대략적인 윈도우의 중심을 찾았다면 이를 관심영역(ROI)로 두고 윈도우의 크기를 조금씩 변경하면서 모델 히스토그램과 현재 윈도우 크기 안에 있는 영상의 히스토그램을 비교한다.

또한, 이 알고리즘은 특징점(keypoint)과 같은 데이터 분포도 대상으로 적용할 수 있다. 따라서 Harris Corner[9]와 같은 특징점을 사용하여 관심 영역의 후보를 추출 후 알고리즘을 적용하는 기법도 사용할 수 있다. 그러나 추적하고자 하는 대상이 배경과 유사한 데이터 분포를 가지면 성능이 떨어지며, 윈도우 크기 설정에 대한 신뢰성이 떨어져 일반적인 실외 환경에서 사용하기 어려운 한계점이 있다.

## 3. 광학 흐름 기반 특징점 추적 알고리즘

### 3.1 협업용 마커 인식 알고리즘

본 연구는 기존의 방법[10]을 개선하여 모션 블러 효과에 강건한 광학 흐름 기반의 마커 특징점 추적 알고리즘을 보완책으로 제시한다. 기존 방법에서는 DAISY 특징량(descriptor) [11]과 FAST(Features from Accelerated Segment Test) 코너 검출법을 사용하는 Meanshift 추적 알고리즘을 사용하였다. 이는 연산량이 비교적 많아 임베디드 시스템 환경에서 성능을 저하시킬 수 있다. Fig. 3은 알고리즘 동작의 흐름도를 보여준다. 알고리즘은 크게 두 분류로 나뉘고, 마커 검출 알고리즘을 제안하는 추적 알고리즘이 보완하는 형태로 되어 있다. 마커 검출 알고리즘은 ArUco 마커를 전처리하여 영상 분

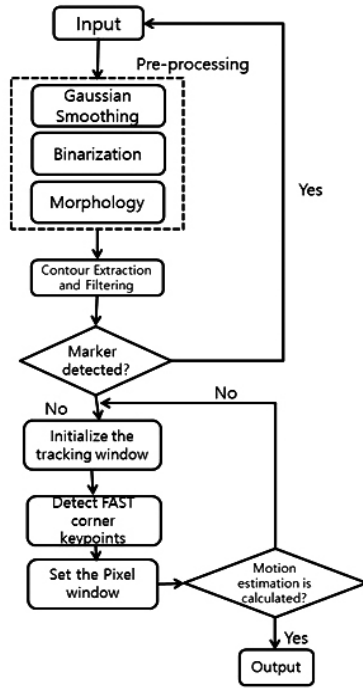


Fig. 3. Flowchart of Optical-flow based Keypoint Tracking Method

할을 이용해 외곽선 추출과 다각형 근사를 이용한 와핑(Warping)을 이용한 방법으로 정적 영상에서의 성능을 연구에서 보여주고 있다[12]. 그러나 동적 영상에서의 모션 블러 효과로 인하여 성능을 보장할 수 없기에 본 연구에서 제안하는 알고리즘을 이용하여 동적 영상에서도 마커 검출 성능의 안정성을 구현하고자 한다. 모션 블러 효과는 동적 영상에서 움직임으로 인해 출력 영상에 잔영이 남아 흐릿해지는 현상을 말한다. 일반적인 검출 알고리즘은 이를 고려하지 않는다.

### 3.2 기준 마커 선정

비전 기반 로봇에 있어 마커 선정은 성능과 관계되어 있다. 본 연구에서는 증강 현실 시스템에서 사용되는 기준 마커인 ArUco 마커를 사용하여 인식 성능을 개선하려 한다. ArUco 마커만의 특징은 첫째, 마커 내부거리와 비트 천이 횟수를 고려한 마커 사전과의 간단 비교만으로 식별자를 구분할 수 있고 둘째, QR 코드에 있는 여러 검출 코드가 존재하며, 셋째, 마커 식별에 회전이 고려되어 있어 회전되어 있는 마커도 간단히 구별할 수 있다. Fig. 4에서 ArUco 마커의 예시와 해당 하는 비트 구조를 보여주고 있다.

본 논문에서는 4×4 Dictionary를 기준으로 설정한다. ArUco 마커는 미리 정의된 헤더 파일에서 마커의 개수 및 마커 크기별 배열 형태로 Dictionary가 정의되어 있다. 검출된 마커의 회전에 대비하여 하나의 마커에 대하여 4개의 헤밍 코드가 저장되어 있으며 몇 번째 바이트 리스트와 일치하는 지 비교하여 마커의 회전 각도를 알아낸다. 드론의 비전 시스템을 통해 마커가 검출되면, 영상 처리를 통해 검출된 마커가 비트 매트릭스로 변환되며, Fig. 4b에서 보이는 내부

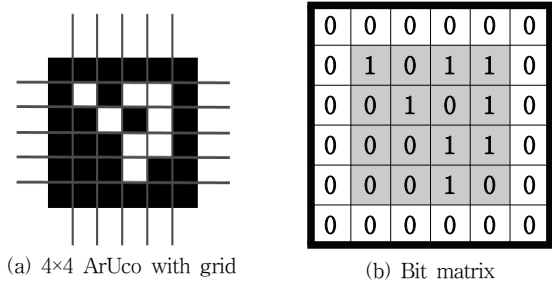


Fig. 4. Aruco Marker

4×4 비트 매트릭스는 좌측 상위부터 오른쪽으로 스캔되며 Circular shift 연산을 통하여 변수에 저장되고 바이트 리스트로 변환된다. 예시에서 필요한 바이트 수는 (4×4)/8=2바이트가 필요하며 각 바이트를 10진수로 표현하여 미리 저장되어 있는 Dictionary와 비교한다. 예시에서 마커는 (181, 50)을 나타내며 회전은 0도이므로 Dictionary 헤더 파일의 바이트 리스트의 첫 번째에 선언되어 있는 것을 참고하면 본 마커의 식별자가 ID 0라는 것을 알 수 있다. 회전이 90도씩 증가할 때마다 바이트 리스트의 다음 번째 선언되게 된다.

### 3.3 FAST 특징점

FAST 코너 검출법[13]은 극도의 빠름을 추구한 특징점 추출 방법으로 속도 뿐 아니라 특징점의 품질 또한 기존 알려진 Harris corner[9]나 DoG(Difference of Gaussian)[14] 보다 상회한 면을 보여준다.

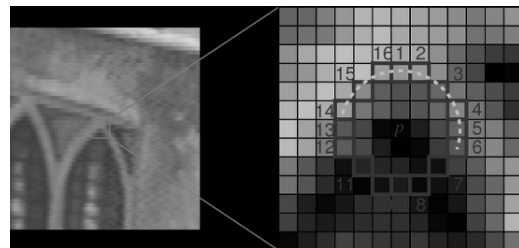


Fig. 5. FAST Keypoints Detection

Fig. 5에서 보이듯, 어떤 점 p가 있을 때 이 점이 코너인지 여부를 p를 중심으로 하는 반지름 3인 원 안의 16개 픽셀을 보고 판단한다. p값보다 일정값 이상 밝거나 어두운 픽셀이 n 개 이상 연속되어 있다면 p를 코너점으로 판단한다. 이 때, n에 따라 FAST-9에서 FAST-16까지 다양한 버전이 있다. FAST 알고리즘은 픽셀의 밝기값을 p보다 밝은 경우, 어두운 경우, 유사한 경우를 결정 트리(decision tree)를 이용하여 결정하고 코너점 여부를 결정하는데, p와 인접한 주변 점들을 코너점으로 같이 검출하는 경우가 많다. 이는 다음 Equation (1)과 같은 수치화함수로 제거한다.

$$V = \max \{ \sum |x - p| - t, \sum |p - x| - t \} \quad (1)$$

저자의 다음 논문[15]에 의하면, 여러 FAST 버전 중 FAST-9의 성능이 가장 뛰어나다.

3.4 Lucas-Kanade

광학 흐름의 구현 방법 중의 하나인 루카스-카나데[16] 방법은 영상 처리에서 가장 많이 쓰이는 방법이다. 루카스-카나데 알고리즘은 다음과 같은 3가지 식으로 표현된다. 첫째, 밝기 향상성. 프레임 상에 어떤 객체가 있으면 그 객체의 픽셀은 다음 프레임에서도 그 값이 변하지 않는다. 이는 Equation (2)처럼 표현된다.

$$f(x, t) = I(x(t), t) = I(x(t + dt), t + dt) \quad (2)$$

둘째, 시간 지속성. 영상 내 연속된 프레임 사이에서의 객체 이동량은 다소 적다. Equation (2)에서 편미분의 연쇄에 의하여 다음과 같은 Equation (3)이 만들어진다.

$$\frac{\delta I}{\delta x_t} \left( \frac{\delta x}{\delta t} \right) + \frac{\delta I}{\delta x_{x(t)}} = 0 \quad (3)$$

셋째, 공간 일관성. 공간적으로 서로 인접하는 점들은 동일한 객체에 속할 것이며 같은 움직임을 가질 것이다. 이 세 가지 식을 기반으로 모션 벡터를 추출하고, 모션 벡터 방향으로 객체 윈도우를 이동하면 객체의 추적이 가능하다. Fig. 6은 루카스-카나데 방법의 예시를 보여주며, Fig. 7은 실제 알고리즘 상에서의 동작을 보여준다.

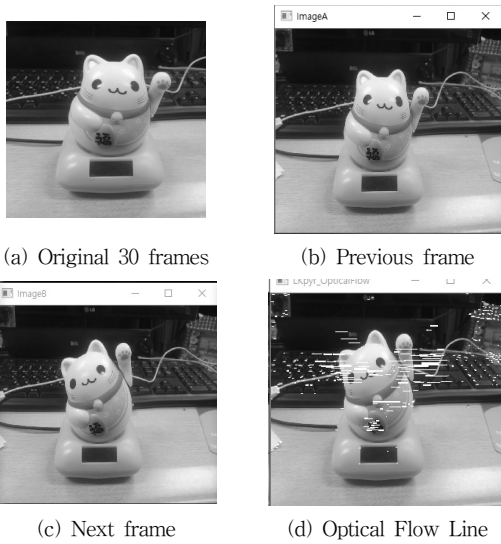


Fig. 6. Example of Lucas-Kanade Method

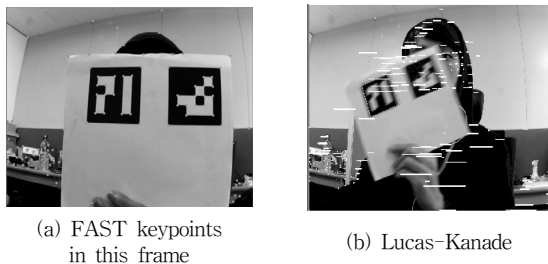


Fig. 7. Two Methods of Object Tracking

4. 실험

4.1 실험 환경

본 논문에서 제안한 드론과 지상로봇의 협업용의 특수한 마커 추적 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 Table 1과 같은 실험 환경에서 개발이 진행 되었다. 실험 영상을 촬영하기 위한 드론으로는 DJI Phantom3 Professional을 사용하였다. 시중에서 가장 대중적인 드론으로 알려져 있다.

Table 1. Experimental Tools

	Item
Platform	Odroid XU4
RAM	8GB
OS	Ubuntu 16.0.2
Library	OpenCV 3.3, ArUco library
Image size	640 × 480
Marker size	10cm × 10cm, 6.5cm × 6.5cm

4.2 기준 마커 검출 실험

실험 영상은 도킹 가능한 드론이 지상 1.5m, 2.0m에서 제자리 비행을 통하여 찍은 30개의 영상을 입력으로 하고, 성능 평가는 머신 러닝의 이진 분류 성능 평가를 바탕으로 성능 평가 지표로 사용되어지는 정확도(Accuracy)를 이용하였다.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (4)$$

TP, TN, FP, FN은 각각 참 긍정(True Positive), 참 부정(True Negative), 거짓 긍정(False Positive), 거짓 부정(False Negative)의 총 수를 의미한다. 실험 영상에 대하여 성능 비교를 위하여 기존 연구에서 사용했던 ArTags의 십자가형 마커와 기준 마커의 다른 종류인 AprilTags와 비교하였다.

Table 2. Performance Evaluation Results

	ArTags	AprilTags	ArUco(a)	ArUco(o)
Accuracy	84.55%	90.21%	92.92%	93.94%
Processing time	431ms	301ms	151ms	131ms

성능 평가 결과 기준 마커인 ArUco의 정확도는 세 가지 마커 중에 가장 뛰어난 약 92%의 정확도를 보였으며, 수행 시간 역시 ArUco가 가장 빠른 것으로 나타났다. 십자가형은 내부 코드가 없지만 피라미드 템플릿 매칭을 사용하는 알고리즘 때문에 수행 시간에 영향이 있으며 ArUco의 Dictionary 비교 방식이 강건한 성능을 보여주는 것으로 생각된다.

부가적으로, ArUco의 이진화 방법에서 적응형 이진화(Adaptive Thresholding) 방법 (a)은 기존 연구들에서 많이 구현한 방법이었으나 Otsu 방법으로 이진화한 결과 (o)의 정확도와 수행시간의 성능 개선 효과를 보였다.

4.3 마커 추적 실험

실험은 본 논문에서 제안한 블러 효과에 강건한 마커 추적 시스템의 실험 결과를 설명한다. 실험은 한경대학교 1공학관 실내 복도에서 이루어졌으며 드론은 지상에서부터 2m 상공을 비행하고 있는 상태에서 6.5cm × 6.5cm 마커가 부착된 4축 로봇의 상부를 약 20초 촬영하였다. 촬영된 영상을 가지고 임베디드 보드 환경에서 개발한 소스 파일을 컴파일하여 실행하였고 마커 검출 결과의 식별자는 파란색으로, 제안한 알고리즘 결과의 식별자는 초록색 사각형으로 표현하였다.

Fig. 8은 입력 영상과 제안된 알고리즘을 적용하였을 때의 추적 영역을 나타낸 것을 보여준다. Fig. 8의 (c)와 (d)에서 마커의 검출 알고리즘과 제안된 알고리즘이 잘 동작하는 것을 보여준다. Fig. 8의 (e)와 (f)에서 블러 효과가 발생함에 따라 검출 알고리즘이 동작하지 않는 것이 보인다. 그러나 제안된 알고리즘은 잘 동작하여 마커 추적을 실행하는 것이 보인다.

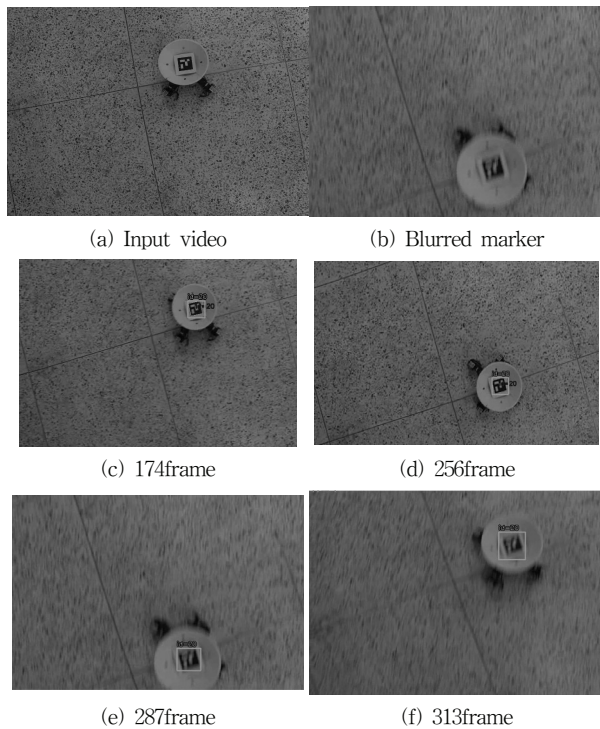


Fig. 8. Marker Tracking Experiment

Table 3. Detection Processing Time

	Algorithm	Processing time[ms]
Marker tracking method	Only Detection	60.72
	DAISY descriptor[10]	120.01
	Optical-flow based keypoints tracking method	75.05

Table 3에 [10]에서 사용한 DAISY 특징량을 이용한 Meanshift 추적 알고리즘을 영상에 적용하여 임베디드 보드 상에서의 처리 시간의 평균값 비교를 정리하였다. 기본적으로

로 단일 마커 처리보다 다중 마커 처리에서 더 많은 시간이 소요되었다. 제안한 알고리즘은 [10]에서 제시된 알고리즘보다 속도 면에서 개선을 보였다.

5. 결 론

본 논문에서는 드론과 지상 로봇 간 효과적인 협업을 위하여 광학 흐름 기술 기반의 특징점 추적 알고리즘을 제안하였다. 드론의 비행 중 빠른 움직임에도 불구하고 지상물체를 성공적으로 인식하기 위해서, 직관적이면서도 식별자를 가지고 있는 마커를 사용했으며, 연구방법으로는 기존의 특징점 추출이 우수한 FAST알고리즘과 모션 감지가 우수한 루카스-카나데 광학흐름 알고리즘의 장점들을 혼합하여 기존의 특징점-특징량 기반 객체 추적 방법보다 개선된 속도의 실험 결과를 보여준다. 또한 제안한 마커의 검출방법에 적절한 이진화 방법을 제안하여 주어진 마커에서의 검출 정확도를 개선하였으며, 추적속도는 유사한 환경의 기존연구보다 40% 이상 개선됨을 확인하였다. 또한 비행드론의 경량화와 속도 개선에 문제가 없도록 최소형 고성능의 임베디드 환경을 선택하였으며, 제한된 개발환경에서도 물체검출과 추적 등 복잡한 연산이 가능하도록 동작환경에 대하여 연구하였다. 향후에는 다른 환경에서 빠르게 움직이는 두 로봇간의 협업의 정확도를 향상시키기 위해 지능적 비전기능에 대해 추가할 예정이다.

References

- [1] H. Oh et al., "Trends on policy and technology of S&T and ICT," in *Korea Institute of Science and Technology Evaluation and Planning*, No.66, pp.24-37, 2016.
- [2] F. Koohifar, A. Kumbhar and I. Guvenc, "Receding Horizon Multi-UAV Cooperative Tracking of Moving RF Source," in *IEEE Communications Letters*, Vol.21, No.6, pp.1433-1436, 2017.
- [3] K. A. Ghamry, Y. Dong, M. A. Kamel, and Y. Zhang, "Real-time autonomous take-off, tracking and landing of UAV on a moving UGV platform," in *Control and Automation, 24th Mediterranean Conference (MED)*, pp.1236-1241, 2016.
- [4] T. Mcgee, Z. Kim, and X. Xiao, "Vision-based road-following using a small autonomous aircraft," in *Proceedings of IEEE Conf. Aerospace*, Montana, pp.3006-3015, 2004.
- [5] J. Beck et al., "Sensor Fusion Docking System of Drone and Ground Vehicles Using Image Object Detection," in *Software and Data Engineering*, KIPS Transactions, Vol.6, No.4, pp. 217-222, 2016.
- [6] B. Dzodzo, L. Han, X. Chen, H. Qian, and Y. Xu, "Realtime 2D code based localization for indoor robot navigation." in *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, Shenzhen, pp.486-492. 2013.

[7] H. Kobayashi, "A personal localization system using self-contained 2D barcode landmarks" *IEEE 24th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, Buzios, pp.882-887. 2015.

[8] S. Lee, "Embedded vision based SLAM for consumer robots," Ph. D. dissertation, Sungkyunkwan University, Seoul, Korea, 2012.

[9] C. Harris and M. Stephens, "A combined corner and edge detector," in *Alvey Vision Conference*, Vol.15, No.50, pp. 10-5244. 1988.

[10] N. Luo, Q. Sun, Q. Chen, Z. Ji, and D. Xia. "A novel tracking algorithm via feature points matching," in *PLoS One*, Vol.10, No.1, 2015.

[11] E. Tola, V. Lepetit and P. Fua, "Daisy: An efficient dense descriptor applied to wide-baseline stereo," in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.32, No.6, pp.815-830. 2010.

[12] B. Okumura, M. Kanbara, and N. Yokoya, "Augmented reality based on estimation of defocusing and motion blurring from captured images," in *Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, IEEE/ACM International Symposium, pp.219-225. 2006.

[13] E. Rosten and T. Drummond, "Fusing points and lines for high performance tracking," in *Tenth IEEE International Conference (ICCV)*, Vol.2, pp.1508-1515. 2005.

[14] D. G. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints," in *International Journal of Computer Vision*, Vol. 60, No.2, pp.91-110. 2004.

[15] E. Rosten and T. Drummond. "Machine learning for high-speed corner detection," in *Computer Vision (ECCV)*, pp. 430-443, 2006.

[16] B. D. Lucas and T. Kanade, "An iterative image registration technique with an application to stereo vision," pp.674-679, 1981.



### 백종환

<http://orcid.org/0000-0001-8718-484X>  
e-mail : kawa0240@hknu.ac.kr  
2015년 환경대학교 정보제어공학과(학사)  
2016년~현재 환경대학교  
전기전자제어공학과 석사과정  
관심분야 : Image Processing, Mobile  
Robot Application



### 김상훈

<http://orcid.org/0000-0001-5351-8215>  
e-mail : kimsh@hknu.ac.kr  
1999년 고려대학교 전자공학과(박사)  
2004년~2005년 University of Maryland,  
College Park, Visiting Professor  
1999년~현재 환경대학교  
전기전자제어공학과 교수  
관심분야 : Image Processing, Robot Vision, Embedded System