

# 영상정보를 이용한 무인항공기 자동이착륙 유도제어 시스템 설계

무인항공기가 외부 조종사의 도움 없이 자동 이륙하고, 자율적으로 비행하며 임무를 수행한 후, 영상정보를 사용하여 목표 지점에 자동 착륙할 수 있도록 하기 위한 영상기반 자동이착륙 기술을 개발하기 위해 국내외에서 다양한 연구개발이 진행되고 있다. 본 고에서는 영상정보를 이용한 무인항공기의 자동이착륙을 위한 유도제어시스템 개발에 대해서 국내외 연구개발 동향을 알아보고, 이러한 시스템 개발을 위해 필요한 요소기술에 대해 살펴보고자 한다.

■ 김유단\*, 김현진  
(서울대학교 기계항공공학부)

## 1. 서론

현재 운용되고 있는 대부분의 무인항공기는 외부조종사의 조종에 의해 이착륙하고 있는데, 이 방식은 무인항공기를 운용할 때 외부조종사의 조작실수에 의한 사고, 운용비용 증가 등의 단점이 있다. 따라서 최근에는 ILS (Instrument Landing System) 또는 레이더를 이용하여 무인항공기를 자동으로 이착륙시키기 위한 연구가 수행되고 있다. 그러나 이러한 접근 방법도 ILS나 레이더 설치 및 운용 등 추가적인 인력유지 및 시설확보, 장비장착, 착륙장소 제한 등에 따른 제한점이 있다. 이와 같은 문제점을 극복할 수 있는 방법으로 최근에는 영상정보를 활용하는 연구가 활발하게 시도되고 있다.

회전익 무인항공기의 경우 영상정보를 이용하여 자동으로 목표지점까지 유도 및 착륙시키는 것이 가능하며, 고정익 항공기는 그물망과 같이 공중에 매달린 착륙지점에 부착된 심벌을 인식하여 자동착륙을 유도할 수 있다. 이러한 무인기 자동 이착륙 기술이 성공적으로 개발되면 향후 다양한 분야에서 무인항공기가 효율적으로 운영되어 운용비용 절감효과를 기대할 수 있을 것이다.

본 고에서는 영상정보를 이용한 무인항공기의 자동착륙을 위한 유도제어시스템 개발에 대해서 국내외 연구개발 동향을 알아보고, 이러한 시스템 개발을 위해 필요한 요소기술에 대해 살펴보고자 한다.

## 2. 국내외 연구개발 동향

영상정보를 이용한 무인항공기의 자동이착륙 연구와 관련된 해외 대학들의 연구현황을 살펴보면 다음과 같다. 1990년대 중반부터 미국 내 여러 대학에서 ONR, DARPA, USAF 등의 지원을 받아 무인 헬리콥터를 이용해 영상정보에 의한 목표물 인식, 강건제어 또는 신경망 제어기법을 이용한 자동이착륙 등 진보된 기능을 갖는 자율 비행로봇에 대해 연구를 수행하고 있다. 이 중 UC Berkeley에서는 그림 1에서 보듯이 2002년에 다중 시점 추정기법을 사용하여 패턴을 알고 있는 착륙지점에 무인 헬리콥터의 자동착륙 임무를 성공적으로 수행하였으며[1], 2006년에는 1차원 템플릿 매칭을 통해 영상 이미지로부터 도로를 따라서 비행하는 기능을 갖는 고정익 무인기를 개발하였다[2]. USC에서도 정지된 평면상에 표시된 착륙표적 영상을 인



그림 1. 피치 움직임을 모사하는 착륙 플랫폼(UC Berkeley)

식하고, 고전제어기법을 이용하여 무인 헬리콥터가 착륙표적 위에 착륙하게 하는 연구를 수행하였다[3]. University of Pennsylvania에서는 2000년부터 NSF와 DARPA 지원으로 영상 센서를 사용하는 비행로봇에 대한 연구를 수행하였고[4], 2003년에는 두 대의 카메라를 사용하여 헬리콥터의 자세정보를 추정하였다[5].

또한, 2004년부터는 고정익 무인기와 지상 로봇을 활용한 정찰 및 탐지에 대한 연구를 수행 중에 있다. Carnegie Mellon University에서는 Loop Shaping 기법을 사용한 제어를 무인 헬리콥터 제어에 적용하였으며, 무인기에 시각정보 처리기능을 탑재하여 이동하는 물체를 추적하는 연구를 수행하고 있다 [6, 7]. 조지아텍 (Georgia Tech)에서는 무인 헬리콥터를 사용하여 3km를 비행한 후, 건물의 창문이나 지정된 표적을 자동으로 인식하고 지상관제 시스템에 그 정보를 보내는 실험에 성공하였으며[8, 9], 관련 기술은 국제 비행로봇대회(IARC) 등을 통해 영상기반 무인기 운용기술의 발전이 빠르게 이루어지고 있다. MIT 등은 GPS 정보를 이용하여 고정익기들의 선두 추종 (leader following) 비행에 관한 연구를 수행하였으며[10], 2006년에는 Vicon사의 비전 센서 시스템을 이용한 소형 쿼드 로터 (quadrotor)의 실내 자동착륙 실험을 수행하였다. 스페인의 마드리드 공대에서는 무인 헬기 영상정보 시스템을 이용한 고압 전송선 점검 임무를 수행하였으며[11], 호주의 퀸스랜드 공대에서는 고정익에서 촬영된 저해상도의 이미지로부터 비

상착륙 지점을 결정하는 연구를 수행하였다[12]. 브리검 영 대학(BYU)에서는 Kestrel사의 자동조종장치와 광류(optical flow) 센서를 사용하여 소형 고정익 무인기를 도심과 협곡을 비행하게 한 후, GPS를 이용하여 지정된 위치에 자동착륙을 수행하였다. 그 외 스웨덴 링코핑 대학, 스페인 세비아 대학, 스위스 ETH, 독일의 뮌헨대학 등 유럽 각국에서 영상정보를 이용한 자세 정보추정 및 자동착륙, 표적물 인식에 관한 연구를 활발하게 수행하고 있다.

활주로나 정지된 발사차량을 사용하여 이착륙하는 개념 뿐만 아니라 이동하는 차량이나 선박에서 이착륙하는 개념의 무인기에 대한 연구도 최근 시작되고 있다. UC Berkeley, Oregon Health and Science University 등에서 선박과 같이 피치 방향 또는 롤 방향 움직임이 있는 플랫폼에 자동으로 무인 회전익기를 착륙하기 위한 연구를 수행해 왔으나[13], 아직 영상정보를 이용한 플랫폼의 움직임 추정, 착륙 시 지면효과의 영향모델 등 요소기술 개발에 대한 초기 연구단계에 머물러 있다. 한편 2005년 5월 QinetiQ사는 세계 최초로 VAAC (Vectored-thrust Aircraft Advanced Control) Harrier기를 선박 위에 자동으로 착륙시키는데 성공하였다. 그러나 이 비행시험에서 무인기를 사용한 것은 아니었고, 거대한 선박의 움직임이 경미하여 착륙에 영향을 미치는 상황이 아니었으며 착륙면의 면적이 커서 DGPS 정보만으로 착륙이 가능하였다. 피칭뿐만 아니라 롤 방향, 횡 방향 및 상하방향으로의 다양한 움직임이 있는 플랫폼에 대한 이착륙 문제는 플랫폼의 이동속도, 자세 등에 큰 영향을 받기 때문에 기술적으로 복잡하고, 시스템의 안전을 해치는 돌풍과 같은 외란 요소도 많기 때문에 아직 많은 연구가 필요한 상황이다.

최근 국내에서도 무인기에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 우리나라에서는 정찰기 '비조'를 자체 개발하여 군단급에 실전 배치하여 운용하고 있으며, 포병 화력지원을 위한 영상 정보제공 임무를 수행하고 있다. 비조에는 고전적인 비행제어시스템이 탑재되어 있어 낮은 수준의 자율비행 능력을 갖는 무인기라 할 수 있다. 한국항공우주연구원의 스마트무인기 기술개발사업단에서는 수직으로 이착륙하며 고정익 형태로 비행하는 틸트로터 형식의 스마트 무인기를 2003년부터 개발하고 있으며, 현재 40% 스케일의 스마트 무인기의 자동비행에 성공한 상태이다. 또한, 산자부 중기거점사업으로 대한항공을 중심으로 근접감시용 무인항공기 개발에 대한 연구가 진행되고 있으며, 한국항공우주연구원에서 무인항공기 핵심기술을 개발하기 위한 소형 장기 체공형 무인기에 대한 연구를 수행하고 있다. 그리고 국방과학연구소에서 중고도 무인기 개발이 곧 착수될 예

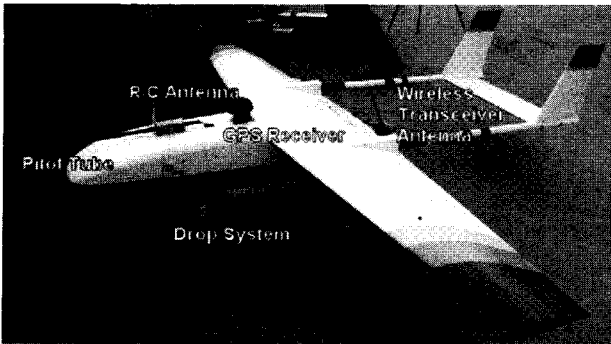


그림 2. 고정익 무인기(서울대 운용)

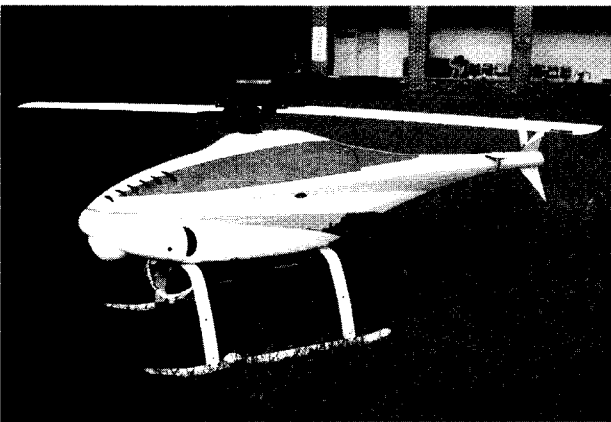


그림 3. 회전익 무인기(충남대 운용)

정이다.

무인항공기의 자율비행제어 시스템 개발을 촉진하기 위해 지난 수년간 지식경제부에서 <한국로봇항공기 경연대회>를 주최하고 있으며, 이에 참여하기 위해 각 대학에서 활발한 무인기 자율비행 연구를 수행하고 있다. 본 대회에서 서울대, 건국대, 충남대, 인하대, 세종대, 카이스트 등 많은 대학에서 고정익 무인기의 자율비행 시험에 성공하였으며, 충남대와 과기원에서 회전익 무인기를 이용해 자동 이착륙을 하는 시험 비행에 성공하였으나 아직 초기단계의 실험이라 볼 수 있다. 서울대에서는 GPS만을 이용한 고정익기의 자동 이착륙에 대한 기술을 확보, 이에 대한 시험비행을 수행 중에 있으며, 무인기 편대비행, 영상을 이용한 고정익기의 자동이착륙, 장애물 회피비행, 고장진단 및 재형상 제어 등에 대한 알고리즘을 개발하여 지상시험을 수행하고 있다. 그러나 영상정보를 활용해서 정밀한 자동이착륙, 충돌회피, 경로추종 등에 대한 연구는 선진국에 비해서 아직까지는 다소 뒤쳐져 있는 것으로 판단된다.

### 3. 자동이착륙 비행제어 기술

영상정보를 이용한 무인기의 자동이착륙 기술을 개발하기 위해서는 무인기 시스템에 실시간 영상처리 및 통신기술, 영상기반 목표물 추적기술, 경로계획 기술, 영상처리 하드웨어 및 소프트웨어, 자동이착륙 유도제어 알고리즘, 비행제어컴퓨터 하드웨어 및 소프트웨어 등의 기술이 연구 되어 통합되어야 한다. 개발된 기술들은 최종적으로 PILS/HILS 시험과 비행시험을 통하여 성능을 시험하고, 시험결과를 바탕으로 성능개선이 이루어져야 한다.

#### 3.1 실시간 영상처리 및 영상기반 목표물 추적 기술

다양한 영상처리 기법을 통해 얻은 영상정보는 목표물 인식 및 추적, 그리고 무인기 자동착륙 알고리즘에 활용된다. 이를 위해 무인기와 착륙지점 사이의 상대적 위치, 상대적 속도 및 3축 자세정보를 기하학적으로 추출해야 한다. 특히 고정익 무인기의 경우에는 회전익기에 비해 빠른 속도로 인해 비행 중 실시간으로 수행하기 위해 고속 영상처리 기법이 요구되며, 큰 용량의 영상정보를 목적에 맞게 효율적으로 압축할 수 있는 기술이 필요하다. 이 기술은 지상통제 시스템에서 영상정보를 가시화하기 위해 무인기가 획득한 영상을 지상으로 보내주거나 무인기 내의 컴퓨터에 영상을 저장하는데 활용할 수 있다.

##### (1) 영상처리 및 이동표적 인식

이동 표적의 인식과 추적을 위해 필요한 기본적인 영상처리 기술을 간략하게 기술하면 다음과 같다.

##### ■ 점 일치 (Point correspondence)

점 일치는 실제 3차원 공간상의 물체와 2차원 영상 이미지 내에서 동일한 점의 위치를 찾아내는 것을 의미하며, 이를 통해 영상을 이용한 무인기의 자동이착륙에 필요한 무인기의 위치, 속도, 자세 등의 정보를 얻을 수 있다. 이 과정은 목표물의 검출, 인식 및 추적을 위해서 선처리 되어야 하는 중요한 과정이라 할 수 있다. 특징점을 추출하는 방법으로는 널리 알려진 해리스코너(Harris corner) 검출기법이 있으며[14], 잡음 등에 대해 강건한 기법인 강건한 특징점 검출기법[15], 크기 불변 특징점 변환(SIFT: Scale-Invariant Feature Transform) 기법[16] 등이 있다.

##### ■ 3차원 복구 (Reconstruction)

3차원 복구는 2차원의 이미지 형상을 3차원 구조로 재건하는 기술을 말한다. 한 물체에 대해 두장 이상의 영상 데이터가 있으면 두 영상에 공통된 특징점을 검출하고, 서로 매칭시키는 과

정을 통해 3차원으로 복구할 수 있다. 이 과정은 목표물의 3차원 데이터베이스와 비교하여 인식을 하는 작업에 필요한 선처리 작업이라 할 수 있다.

■ 검출 (Detection)

검출은 특정한 종류의 존재성 여부 및 위치를 찾아내는 과정이다. 영상처리의 가장 기본적인 검출에는 점(point) 검출, 모서리(edge) 검출, 선(line) 검출 등이 있으며, 고급화된 검출로는 원(circle) 검출, 얼굴(face) 검출 등이 있다. 원하는 모양의 검출을 위해서는 검출기에 원하는 모양의 통계적인 데이터(예: 1과 0)를 입력시켜 영상정보와 비교한다.

■ 인식 (Recognition)

인식은 검출된 여러 특징형상 중 실제로 찾고자 하는 형상의 존재성 및 위치를 찾는 것이다. 원하는 표적을 인식하는 문제에 대한 연구는 꾸준히 이루어져 왔으나 아직까지 높은 정확도

를 가지는 실시간 표적인식 기술이 개발되지는 않았으며, 현재에도 이 분야에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 표적인식에 대한 다양한 접근방법은 템플릿 매칭, 통계적 접근, 구문적(syntactic) 인식 기법, 신경회로망 기법 등이 있으며, 이들의 장단점을 점검하여 표적물 및 무인기 이동특성, 처리속도 제한조건들에 적합한 방법을 선택해야 한다.

■ 추적 (Tracking)

추적은 연속된 영상에서 원하는 목표물의 존재성과 위치를 찾는 과정으로 인식이 실시간으로 이루어 질 경우에는 별도의 추적기술이 필요 없다. 그러나 검출은 가능하나 인식이 실시간으로 이루어지지 않을 경우에는 별도의 추적기술이 필요하다. 추적은 검출을 통하여 찾은 특정한 부류 속에서 검출된 지역만 부분적으로 확대하여 목표물 인식을 수행하여 실시간으로 목표물을 찾아내는 방법을 사용한다. 원하는 목표물과 무인기를 모델링 하여, 모델이 선형 운동방정식을 따르고 상태변수가 정규분포를 가질 때는 칼만필터, 그렇지 않을 때는 입자필터(particle filter)를 주로 사용하게 된다.

위에서 설명한 다섯 개의 영상처리 기법의 상관도 및 데이터 흐름도는 그림 4와 같다. 또한, 카메라 이미지로부터 특징점들을 추출하여 착륙지점에 대한 표적을 인식에 적용한 데이터 플로우를 그림 5에 도시하였다.

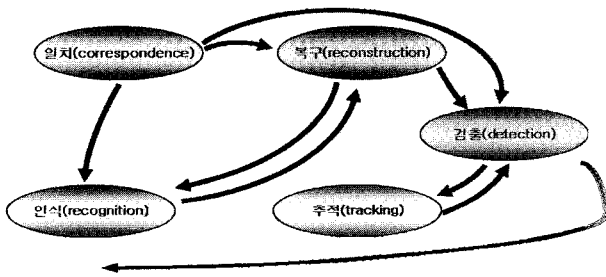


그림 4. 영상처리 기법들의 상관도

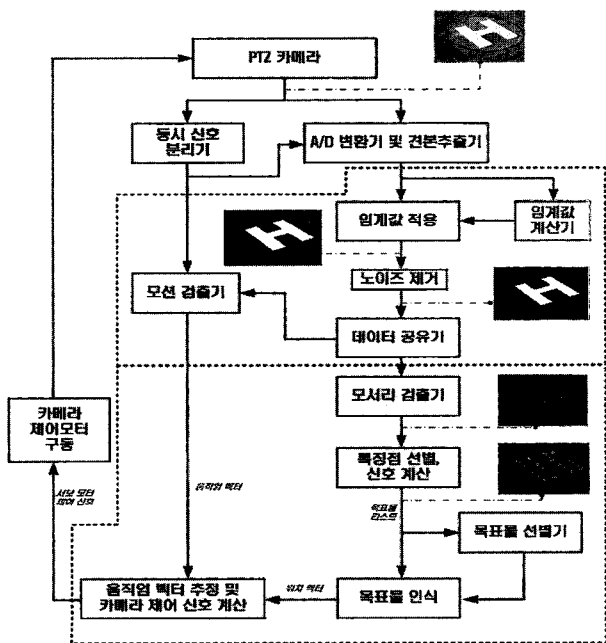


그림 5. 영상기반 표적인식 기술 구조

(2) 카메라 제어 소프트웨어 구현

무인기가 정찰이나 자동 착륙시, 카메라를 통해 목표물의 이미지를 포착하였을 때, 포착된 목표물을 영상의 중심에 나타나게 하기 위하여 팬-틸트 카메라의 롤 각과 피치 각을 제어하는

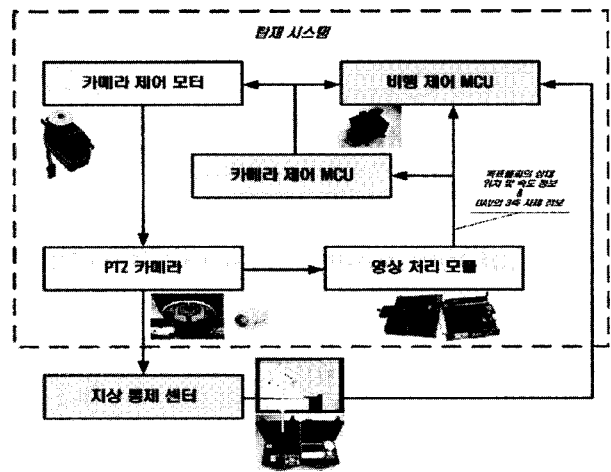


그림 6. 카메라 제어 시스템

영상추적 시스템이 필요하다. 영상추적을 통하여 움직이는 목표물을 항상 영상내부에 위치시킬 수 있다면 목표물 위치 및 속도 등의 정보를 구할 수 있다. 따라서 영상추적 시스템은 영상 기반 무인기 시스템에서 매우 중요한 사항이다. 카메라 제어 시스템과 비행제어 시스템간의 구성도를 그림 6에 나타내었다.

팬-틸트 카메라 제어에는 PID 제어기법이 많이 사용되는데, 주로 위치제어를 통하여 원하는 각도로 카메라를 움직인다. PID 제어는 구현하기가 쉽다는 장점이 있지만, 목표물을 추적하는 속도가 느리고 외란에 민감하다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점은 바람, 엔진 진동 등 외란이 많은 무인항공기 시스템에는 큰 취약점으로 작용하므로, 최근에는 무인항공기의 외란에 강한 팬-틸트 카메라 제어에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 인간이나 생물체의 안구 시스템을 기반으로 한 제어기법이 그 중 하나인데, 인간의 눈이 영상을 받아서 그 정보를 뇌까지 전달해주는 신경전달 경로를 유사하게 모방하는 제어기법이다. 이와 같은 생체안구 (biomimetic eye)에 기반을 둔 제어기법은 무인항공기의 회전이나 지상 목표물의 이동으로 생기는 오차를 보정할 수 있다. 또한 이 제어기법은 팬-틸트 카메라 모터의 속도를 제어하므로 지상의 이동하는 목표물을 사람의 눈과 같이 연속적이고 부드럽게 안정적으로 추적할 수 있다[17].

### (3) 영상압축 및 에러회복 기능

전자 통신기술의 발전에 힘입어, 핸드폰을 이용한 동영상 촬영 및 전송, DMB, 인터넷 TV(IPTV) 등 영상정보는 더 이상 안방의 TV나 극장에서만 접할 수 있는 것이 아니라, 사람이 있는 곳이면 어디에서든 접할 수 있는 유비쿼터스 (ubiquitous) 시대가 되었다. 이러한 다양한 서비스가 개발되면서 생겨나는 기술적 문제로 영상압축 문제와 에러회복 기능 구현 문제 등이 있다. 영상정보는 음성정보나 기타 정보와는 달리 발생하는 정보량이 매우 많다. 예를 들어 압축이 되지 않은 720x480 픽셀의 NTSC 영상을 초당 30프레임으로 전송을 하려면 165Mbps의 속도가 필요하며, 60분 정도의 동영상을 저장하려면 70GB 이상의 데이터 용량이 필요하다. 현재 개발 완료된 유/무선망의 최고 전송속도가 100Mbps를 넘지 않는 것을 고려할 때, 무인기에서 실시간으로 영상을 전송하고 처리하기 위해서는 고효율 압축 기술이 필수적으로 요구된다고 할 수 있다.

영상정보의 압축에서는 비가역 압축을 사용하여 많은 데이터를 줄이게 된다. 이 경우 약간의 영상왜곡이 발생하지만 정보의 양을 큰 폭으로 줄일 수 있다. 영상정보 압축의 대표적인 예

로는 MPEG-2, MPEG-4, H.264 등이 있다. 압축은 중복되는 불필요한 정보를 제거해 줌으로써 용량을 줄이게 되는데, 주로 프레임 간 예측정보를 활용하여 움직임을 보상해 주는 방식을 사용한다. 이와 같이 영상의 일부 불필요한 정보를 제거하여 전송한다면 용량은 많이 줄어들지만 영상왜곡 현상이 발생하게 된다. 예를 들어 패킷을 잃어버리거나 수신된 패킷에 오류가 있으면 화질저하가 발생하게 되며, 제한적이긴 하지만 뒤이어 재생되는 화면에도 오류가 전파된다. 따라서 이러한 전송오류의 영향을 막거나 최소화하기 위해서 다양한 오류 강인 방법을 사용해야 한다. 대표적인 기법인 오류 은폐기법 (error concealment technique)은 손상된 비디오 데이터를 은폐하기 위해서 정상적으로 수신된 데이터의 공간적, 시간적 중복성을 이용하는 기법으로, 손상된 데이터를 복원하기 위해 움직임 벡터를 추정하기 때문에 움직임을 보상하는데 효과적이다[18].

현재 각광을 받고 있는 동영상 압축방식으로는 H.264이 있다. 기존의 동영상 압축방식인 MPEG-4 표준은 휘도 및 색차에 대한 화면 내 예측을 변환된 영역에서 수행한 것에 비해 H.264에서는 공간영역에서 수행한다. 즉, 공간영역의 방향성을 이용하여 다수의 예측모드를 사용함으로써 압축성능을 향상시킨 것이다. 기존의 동영상 압축방식 중 가장 최신 방식인 H.263과 MPEG-4 Part-2는 16x16 또는 8x8 블록단위의 움직임 보상을 사용하였으나, H.264에서는 16x16, 16,8, 8x8, 8x4, 4x4 등의 블록단위의 움직임 보상을 수행한다. 따라서 종전의 방식보다 다양한 형태의 블록단위 움직임 보상이 가능하게 되었으며, 특히 8x8 이하의 움직임 보상을 통하여 다양하고 복잡한 움직임 영역을 충분히 표현할 수 있게 되었다. 또한 H.264에서는 다수의 재구성된 프레임을 참조영상으로 사용하여 움직임 벡터를 추정하고 보상하므로 움직임을 더 정확하게 표현할 수 있으며, 반복적인 움직임이 있는 영상이나 배경과 물체가 겹쳤다가 나타나는 영상과 같은 경우 성능이 크게 향상된다[19].

영상 송수신기의 유효거리를 벗어나 멀리 있는 물체를 정찰할 경우 영상을 송신하지 않고 무인기내에 저장을 할 수 있는데, 이 때에도 영상 압축기술이 절실히 요구된다. H.264의 경우 MPEG-4에 비해 동일한 화질을 유지하면서도 약 1.5배-2배, DVD 시스템에 사용되는 MPEG-2에 비해서는 최대 3배까지의 압축성능을 발휘하는 것으로 알려져 있다. 이와 같이 H.264는 화질 및 압축률이 기존의 압축방식에 비해 뛰어나다. 그러나 여러 장의 참조영상을 사용하여 움직임을 추정하고 보상해 주므로 계산량이 많다는 것이 단점이 될 수 있다. 또한 H.264는 낮은 비트율에서는 상대적으로 화질손상이 적지만, 높은 비트율에

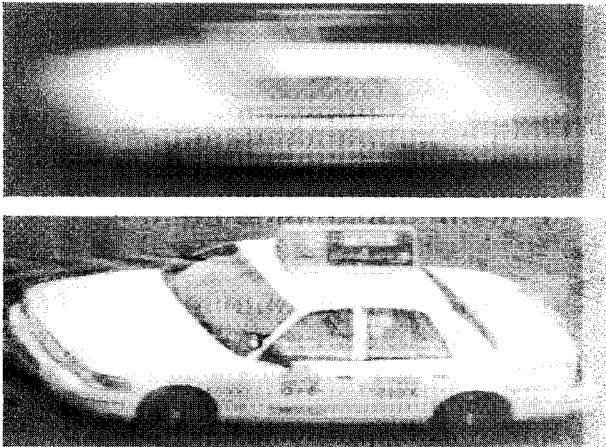


그림 7. Deblurring 기법에 의한 화질개선(20)

서는 다른 코덱에 비해 화질개선이 획기적이지 못하다. 그러나 이는 HD-DVD급 정도의 고화질에서 제한적인 사항이므로 무인기의 정찰임무를 수행하는 데 있어서는 큰 문제가 되지 않을 것으로 보인다.

#### (4) 화질개선 알고리즘 구현

무인기와 같이 비행하는 과정에서 이동하는 물체를 대상으로 촬영한 영상은 탑재카메라의 흔들림과 목표물 이동에 의해 흐릿하게 보이게 된다. 이와 같은 문제에 대한 기존의 접근법으로는 빛의 민감도(ISO)를 높여주는 방법이 있지만 미세한 흔들림에 대해서만 보정이 가능하며, 민감도가 높아지는 만큼 약한 빛에 대해서도 민감하게 반응하므로 노이즈 발생이라는 문제가 생긴다. 이러한 문제를 해결하기 위해 블러링 제거(deblurring)기법이 사용되는데, 이 기법은 이미지 획득과정에서 물체의 움직임, 카메라의 흔들림 등에 의해 발생하는 노이즈를 제거하는 기법이다. 그림 7은 흐리게 찍힌 영상과 블러링 제거 기법을 이용하여 화질을 개선한 영상을 보여주고 있다[20]. 바람과 엔진의 진동 등 외란이 특히 많은 무인기의 특성상, 획득하는 이미지는 카메라의 흔들림으로 인해 발생하는 노이즈가 많으므로 블러링 제거기법이 적절할 것이다.

#### (5) 고속 영상처리 기술

H.264 동영상 압축기술은 여러 장의 참조영상(reference frame)을 이용하여 움직임 벡터를 추정하고 보상하기 때문에 MPEG-2에 비해 계산시간이 오래 걸린다는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 최근에는 빠른 H.264 압축을 위한 기술에 대해 연구가 진행되고 있으며, 이중 하나가 빠른 다중 프레임

선택방법(Fast Multi-Frame Selection Method)이다. 이 방법을 H.264에 적용시키면 기존의 방법보다 최대 76%까지 계산시간을 줄일 수 있다[21].

영상처리 기술의 하나인 일치(corresponding)는 목표물의 검출, 인식 및 추적을 위해 가장 먼저 선행되어야 하는 중요한 과정이다. 특징점을 일치시킬 때 가장 좋은 알고리즘으로 평가받고 있는 크기불변 특징점 변환(SIFT) 기법은 특징점 회전, 확대, 축소 및 약간의 변형에 대해서도 강건하게 일치시켜주는 장점이 있는 반면, 계산시간이 오래 걸려 실시간으로는 구현하기가 쉽지 않다는 단점을 가지고 있다. 따라서 최근에는 SIFT기법의 실시간 구현을 위해 많은 연구가 이루어지고 있다. 일반적으로 SIFT는 가우시안 차분을 기반으로 사용하고 있는데, 가우시안 차분 대신 웨이블릿(wavelet) 차분을 기반으로 SIFT를 수행할 때 계산시간을 약 60-70% 단축시킬 수 있다는 결과가 보고되어 있다[22].

### 3.2 비행 경로계획 및 자동이착륙 유도제어 기술

무인항공기가 주어진 임무를 효율적으로 수행하기 위해서는 새로운 임무를 부여받았을 경우나 예상하지 못했던 위협을 회피하기 위해 자동으로 비행경로를 생성해 주는 알고리즘이 필요하다.

고정의 항공기의 이륙 과정은 활주로를 주행하여 일정한 속도에 이르러 충분한 양력이 확보되면 기수를 들어 상승비행을 수행한다. 고정의 항공기의 착륙과정은 최종 접근(final approach), 플레어(flare), 접지, 지상활주의 4단계로 구성된다. 이러한 이착륙 과정은 항공기의 순항 과정에 비해 상대적으로 비행시간은 짧지만, 여러 가지 자동조종장치가 동시에 작동하고 항공기의 형상 및 상태변수 등이 크게 변화하며, 지면과 가까우므로 사고 위험이 높기 때문에 상대적으로 조종사의 기술에 대한 의존도가 높아 자동화가 어렵다. 특히 무인기의 경우에는 조종사가 육안으로 무인기의 자세 등을 파악하여 조종해야 하기 때문에 인위적 요인에 의한 사고 위험이 매우 크다. 해상 선박에 착륙하는 경우와 같이 표적이 이동하고, 파도에 의한 외란이 존재할 때는 더욱 안전한 착륙이 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 무인항공기의 안정된 비행과 자동 이착륙을 보장하는 자동조종장치 및 유도 알고리즘이 요구된다[23].

#### (1) 비행경로 설계

항공기의 비행경로 설계 방식은 비행상태 지정을 통한 방식

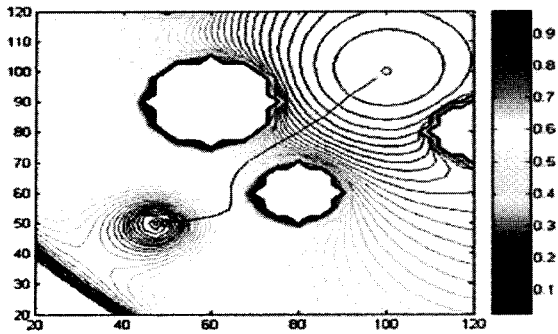


그림 8. 포텐셜 필드를 이용한 경로 설계

과 경로점(waypoint) 지정을 통한 방식으로 구분할 수 있다. 항공기의 임무는 정상 수평비행이나 정상 균형상회 비행 중에 수행되는 경우가 많은데, 비행상태 지정을 통한 경로 생성기법은 이러한 특성을 고려한 방식이다.

항공기의 정상상태를 이용하여 경로를 생성하는 방법은 생성할 궤적이 간단하거나 반복적인 임무에 효과적이지만, 정해진 목표지점을 정확히 통과하는 경로생성이 어렵다는 단점이 있다. 반면, 경로점을 이용하여 비행경로를 생성하는 기법은 경로점의 기하학적 위치관계를 이용하여 경로를 생성하는 방법, 운동 기구학식만 (Kinematics)을 이용하는 방법, 항공기의 전체 동역학 모델을 이용하는 방법으로 구분된다.

기하학적 위치관계를 이용하여 경로를 생성하는 기법은 비행체의 운동방정식은 고려하지 않기 때문에 주어진 경로점을 통과하는 궤적을 생성하는 것이 매우 쉽다. 이 방법을 이용하면 경로점을 통과하는 경로생성 뿐만 아니라, 다양한 부가조건을 고려하여 경로를 생성할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 위험구간이나 장애구간을 회피해야 하거나 실시간 경로생성이 필요한 경우에 유용하게 활용될 수 있다. 이러한 기법에는 대표적으로 Geometry 기법, 포텐셜 필드 기법 (Potential field) 등이 있다. Geometry 기법은 고려하는 지역을 유한 개의 지역으로 나누어 위험으로부터 자유로운 경로를 생성해주는 기법으로 대표적으로 Voronoi 기법이 있다[24]. 포텐셜 필드 기법은 포텐셜 함수를 이용하여 위험에 대해서는 밀어내는 힘을 적용하고, 표적에 대해서는 당기는 힘을 적용하여, 음의 구배(Negative gradient) 방향으로 경로를 생성해주는 기법이다[25]. 이 기법은 알고리즘이 간단하여 실시간 적용이 용이하나, 다수의 위험이 존재하는 경우 국부(local) 최적해에 빠질 가능성이 있다. 포텐셜 기법에서 발생하는 국부 최적해를 피하기 위해 해석적 방법인 조화함수(Harmonic Function)를 이용하는 방법과[26] 항법함수(Navigation

Function)를 이용하는 방법도[27] 있으며, 수치적 방법으로 유한 요소법과[28] 파면전파 (Wavefront Propagation) 방법도[29] 연구되고 있다. 그림 8은 포텐셜 필드와 항법 함수를 이용하여 경로를 설계한 예를 보이고 있다.

비행체의 기구학식을 이용하여 경로를 생성하는 기법은 상대적으로 간단한 기구학식인 항법식에 유도 알고리즘을 적용하여 경로점을 통과하는 궤적을 생성하는 기법이다. 따라서 비행경로를 실시간으로 생성할 수 있으며, 기본적인 비행체 특성을 고려할 수 있다는 점에서 유용하다. 이러한 기법에는 전통적인 유도기법인 비례항법을 이용하여 궤적을 생성하는 기법, 역시선각을 이용하는 방법, 충돌각을 이용하여 경로를 생성하는 기법 등이 있다. 경로생성을 위한 또 다른 방법으로 항공기 전체 모델을 사용하여 궤적을 생성하는 방법을 들 수 있다. 비선형성이 강한 항공기 모델을 사용하여 비행궤적을 생성하기 때문에 비행경로 생성에 시간이 오래 걸리며, 경로점을 통과하는 비행경로를 생성하는데 많은 어려움이 있다. 그러나 항공기 전체 모델을 사용하여 비행궤적을 생성하기 때문에 현실적인 비행궤적이 생성할 수 있다.

그 밖의 경로생성 방법으로는 퍼지 (Fuzzy) 기법[30], 근접 다이어그램 (Nearness Diagram) 기법[31], 동적 윈도우 (Dynamic Window) 기법[32] 등이 있다. 퍼지기법은 위협의 위치와 방향, 거리에 의해 만들어진 퍼지규칙을 바탕으로 제어입력이 설정되는 방식으로 빠른 실행이 필요한 경로생성에 적합한 알고리즘이다. 근접 다이어그램 기법은 각 방향에 대해 도달가능 공간(feasible space)에서의 거리를 바탕으로 하여 그래프를 만들고 이를 이용하여 목표점까지의 경로를 생성하는 방법이다. 동적 윈도우 기법은 현재의 위치영역 (Domain)을 속도와 각속도에 대한 영역으로 바꾸어 경로를 생성하는 방법으로 시스템 동역학 제약을 고려한 국부지역의 경로 생성에 적합한 알고리즘이다.

### (2) 충돌회피

무인기가 위험한 군사작전이나 재난지역의 탐색 등에 활용되기 위해서는 임무수행 중에 직면하게 되는 위협이나 장애물을 회피하거나 무인기간의 충돌회피 능력을 갖추는 것이 필요하다. 다수의 무인기 혹은 장애물이 있는 환경에서 충돌하지 않는 적절한 경로를 생성하는 것은 실시간으로 경로를 생성해야 한다는 제약조건과 시시각각 변하는 각종 변수들을 모두 고려해야 하기 때문에 매우 까다로운 문제이다. 이러한 위협 및 충돌회피를 위한 경로계획은 주로 기하학적 위치관계를 이용하

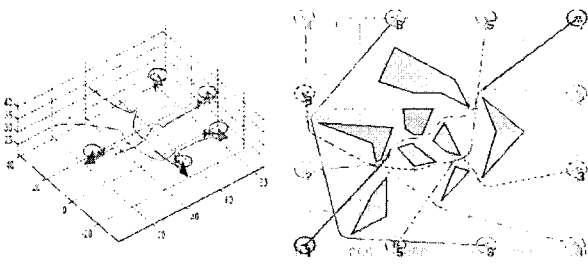


그림 9. 회전익(좌) 및 고정익(우) 무인기 충돌회피

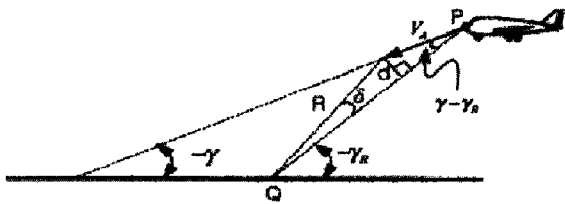


그림 10. 글라이드 슬로프 기하

여 빠르게 경로를 생성하는 방법이 주로 연구되고 있다. 그림 9는 포텐셜 필드 기법과 모델예측제어 기법을 이용한 회전익 무인항공기의 충돌회피, 고정익 무인항공기의 회전반경을 고려한 충돌회피의 예를 보이고 있다.

최근에는 비전을 이용한 충돌회피 기술에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다[33]. 영상정보를 활용하여 “See and Avoid” 개념으로 충돌회피 및 유도 알고리즘을 개발하면 무인기의 자동착륙을 위해 장착된 영상장비를 활용하여 TCAS-II와 같은 충돌회피 시스템을 따로 개발하지 않아도 되는 장점이 있다.

### (3) 자동착륙 유도제어

고전적인 ILS (Instrument Landing System)에 근거한 착륙 유도 과정은 Glideslope와 Localizer에 의해 형성된 비행경로를 따라 항공기의 강하가 유도된다[34]. 그림 10에 보이듯이 ILS 착륙시스템의 종방향에는 Glideslope 송신기가 기준 비행경로각을 제공하며, 항공기는 기준 비행경로각으로부터 이탈거리를 제어하여 정상경로로 복귀하게 된다. 횡방향은 Localizer 송신기가 송신하는 신호를 따라 궤적오차가 없도록 기수각을 제어하는 방식을 사용한다.

민간 항공기의 이착륙 시스템으로 미국 스텐포드 대학을 중심으로 연구되었던 IBLS (Integrity Beacon Landing System)는 Category III의 정확성(accuracy)과 무결성(integrity)을 확보하기 위하여 DGPS를 이용하였다. 항공기는 지상에 있는 의사위성(Pseudolite)과 IBLS 기준국(Reference station)으로부터의 신호뿐

만 아니라, DGPS로부터의 수신된 정보를 이용하여 항법오차를 센티미터 (cm) 수준으로 정밀 착륙이 가능함을 보여주었다 [35]. 그러나 이러한 방식은 일반 항공기의 경우 미리 예정된 착륙 비행경로를 추종하기 위하여 항공기의 비행경로각이나 고도 등을 제어하는 방식으로 이루어진 것으로, 공항과 항공기에 매우 복잡한 시스템을 설치해야 하는 부담이 따르며, 완전 자동화를 위해 추가적인 연구개발이 요구된다. 무인항공기의 경우 숙련된 외부조종사의 원격제어로 착륙을 유도하고 있으며, 자동착륙을 위한 연구개발이 매우 활발하게 수행되고 있다.

최근에는 GPS와 같은 초정밀 위성항법시스템과 신호처리 기술의 발달로 인하여 수 cm 정밀도의 위치추정이 가능하게 되었다. 또한, 영상정보를 이용하여 목표물을 인식하고 추적하는 영상기반의 항법시스템에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다 [36, 37]. 이러한 장비를 이용하면 기존의 ILS 시스템에서 쓰이는 고가의 장비를 효과적으로 대체할 수 있을 뿐만 아니라 보다 정확하고, 경제적이고, 신뢰성 높은 유도제어 시스템을 구축할 수 있다. 한편, 영상정보를 활용하여 목표물을 인지하고 목표물의 상대거리 및 위치를 추정하는데 머물지 않고, 스테레오 비전을 활용한 자세추정 기법도 활발히 연구되고 있다[38]. 기존에 사용되는 INS와 저렴한 GPS는 물론 영상정보를 이용하여 무인항공기의 자세정보를 추정하게 되면, 3중으로 다중화된 자세추정 감지기를 탑재하는 것과 동일한 효과를 볼 수 있기 때문에 고장 허용 비행제어 시스템을 구축할 수 있다는 장점이 있다.

회전익 무인항공기는 영상정보를 활용하여 목표지점을 인식하고 위치를 추정하여 상대거리를 서서히 줄이는 방법으로 자동착륙 비행을 수행할 수 있다. 반면, 고정익 무인항공기는 회전익 무인기와는 달리 호버링(hovering) 기동이 불가능하므로 다른 자동착륙 방법을 모색하여야 한다. 비교적 소형의 고정익 무인항공기는 동력을 끄고 파라슈트를 이용해서 적당한 속도로 글라이딩 하여 착륙할 수 있다. 그러나 이러한 방식은 착륙 장소의 제약, 파라슈트 수납공간 제한, 전개와 착륙시 기체의 제어가 어렵다는 단점이 있다. 고정익 무인기의 또 다른 착륙 방법으로 회수의 편리를 위해 그물망을 이용하기도 한다. 그물망의 표식을 인식하여 그 표식으로 유도를 통하여 비교적 쉽게 자동착륙을 할 수 있다. 이러한 방식을 위해서는 영상정보를 이용하여 표식의 상대좌표를 파악하고 적절한 비행경로와 유도 명령 생성할 수 있는 시스템을 갖추어야 한다. 일반적으로 고정익기의 비행속도는 회전익기의 속도에 비해 상대적으로 빠르므로, 고정익 무인항공기의 자동착륙에는 빠른 영상정보 처리 속도가 요구된다. 또한, 그물망을 인지하고 상대거리 및 위치를



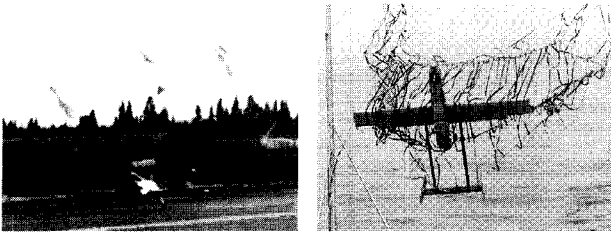


그림 11. 고정익 무인기의 착륙

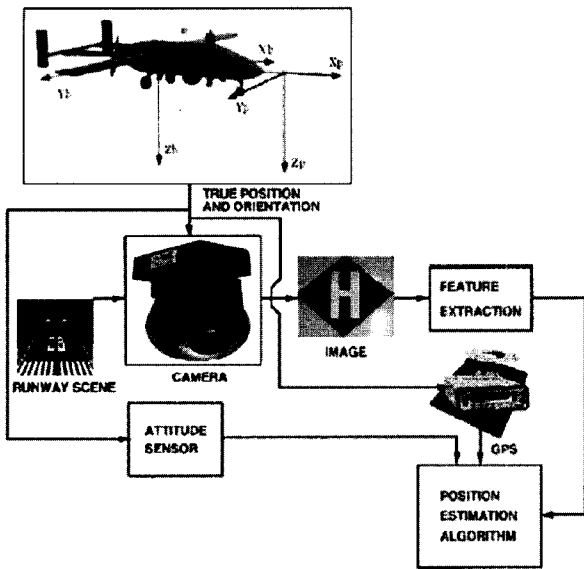


그림 12. GPS/영상장비 통합 시스템

적절한 오차범위 내에서 추정할 수 있는 알고리즘이 설계되어야 한다. 그림 11은 파라슈트와 그물망을 이용한 고정익 무인기의 자동착륙 과정을 보여주고 있다.

그림 12에 보이는 것은 신뢰성 높은 자동착륙 시스템 개발을 위해서 GPS와 영상정보를 결합한 시스템의 블록선도이다. 영상센서를 통해 획득한 정보를 이용하면 목표물의 좌표값을 추정할 수 있고, 이를 이용하여 목표물로의 유도명령 생성이 가능하다. 이 기법을 이용하면 지상의 고정된 착륙목표지점 뿐만 아니라 구축함과 같이 착륙목표 지점이 이동함과 동시에 파도에 의한 교란까지 존재하는 환경에서도 카메라 영상정보를 이용하여 자동으로 착륙할 수 있다. 또한 무인항공기의 공중급유와 움직임은 목표물의 추적촬영 등의 임무수행도 가능하기 때문에 무인기의 활용도를 극대화할 수 있을 것으로 예측된다.

### 3.3 시스템 통합, 지상 및 비행시험

무인기가 영상정보를 이용하여 자동이착륙하기 위해서는 비

행제어 컴퓨터보다 데이터 처리능력이 뛰어나고 속도가 빠른 영상처리 컴퓨터가 단독으로 필요하다. 또한, 비행제어 컴퓨터와 상호 연동하여 미션을 수행하기 위해서는 두 컴퓨터 간의 하드웨어와 소프트웨어 통합이 요구되므로 자동착륙 관련 임무 요구도를 충족시킬 수 있도록 안정적으로 시스템을 통합해야 한다.

통합된 무인항공기 시스템은 지상시험과 비행시험을 거쳐서 하드웨어 및 소프트웨어의 오류를 수정하고, 최종적으로 원하는 성능을 만족시키도록 개발되어야 한다. 무인항공기의 연구 및 개발에서 가장 어려운 점 중의 하나는 비행시험 과정에서 발견되는 다양한 문제들을 처리하는 데 소요되는 시간과 노력이 매우 크다는 것이다. 항공기의 수학적 모델과 비행제어 알고리즘을 컴퓨터 환경에서 시뮬레이션을 통해 성공적으로 수행했다고 하더라도, 하드웨어를 탑재한 비행시험은 다양한 불확실성을 내포하고 있으므로 만족스럽지 못한 결과가 발생하게 되고 많은 오류를 발생시킨다. 그러므로 비행시험 전에 시뮬레이션, PILS, HILS로 이어지는 일련의 단계를 구축하여 연구개발을 수행함으로써 많은 문제점들을 미리 해결하고 시간과 노력을 절약할 수 있다. 지상시험을 통해 성능검증이 완료된 후에는 실제 비행시험이 실시되어야 하는데, 미리 정의된 자동착륙 요구도를 시스템이 만족하는지 비행시험을 통해 성능을 검증해야 한다.

#### (1) 시스템 통합

영상정보를 이용한 무인항공기의 자동이착륙 시스템을 개발하기 위해서는 유도 제어명령을 생성하는 비행제어 컴퓨터와 영상을 처리하는 영상처리 컴퓨터 간의 하드웨어/소프트웨어 통합이 필수적으로 요구된다. 영상처리 컴퓨터를 지상통제 시스템 내에 두는 이원화된 구조를 취할 경우 무인기에 탑재된 장비에서는 촬영된 영상을 그대로 지상으로 송신해 주기만 하면 된다. 따라서 탑재체의 중량 및 필요전력을 감소시킬 수 있고, 탑재 컴퓨터 내의 소프트웨어 임무설계를 간단하게 할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 지상통제 시스템에서는 영상처리 장비로 고사양의 PC를 사용할 수 있다는 장점도 있다. 그러나 항공기에 탑재된 비행제어 컴퓨터와 지상통제 시스템 간의 통신량이 늘어나고, 이로 인해 시간지연이 발생하므로 신속한 상황판단과 임무수행에 불리하다는 단점이 있다.

영상정보를 이용하여 지상목표물 추적하거나, 자동으로 착륙을 수행하기 위해서 빠른 영상정보의 취득과 처리가 요구되므로 비행제어 컴퓨터와 영상처리 컴퓨터를 기체에 동시에 탑

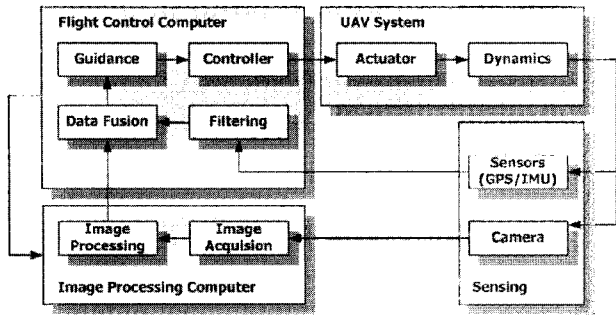


그림 13. 탑재시스템 데이터 플로우

재하여 실시간으로 연동되도록 구성해야 할 필요가 있다. 그림 13은 무인기에 탑재된 시스템 간의 소프트웨어 데이터 플로우를 보여주고 있다. 영상처리 컴퓨터는 실시간으로 들어오는 동영상 정보를 빠른 속도로 디지털화하여 취득하고, 이에 대해 영상처리 알고리즘을 적용하여 비행제어 컴퓨터에 전달한다. 비행제어 컴퓨터는 각종 센서데이터를 필터링하여 이를 영상처리 정보와 결합하여, 무인항공기의 목표물 추적 또는 자동착륙을 위한 유도제어 명령을 생성하게 된다. 이때 영상처리 컴퓨터에서 비행제어 컴퓨터로의 단방향 전송만이 필요한 것이 아니라, 역으로 비행제어 컴퓨터에서 영상처리 컴퓨터로의 피드백 루프도 필수적으로 요구된다. 그 이유는 비행제어 컴퓨터는 무인항공기가 수행해야 하는 다양한 임무에 적절한 영상처리 알고리즘을 영상처리 컴퓨터가 선택할 수 있도록 제반정보를 전달해 주어야 하기 때문이다.

영상처리 컴퓨터는 일반적으로 비행제어 컴퓨터보다 높은 클럭을 갖고 있어, 많은 데이터를 처리하면서 운용된다. 그러므로 처리속도가 다른 두 컴퓨터간의 긴밀한 연결을 위해서는 그림 14에서 보여주고 있는 것과 같이 버스시스템과 버퍼 메모리의 역할이 중요하다. 카메라 정보는 디지털 변환되어 선입선출(First-In, First-Out) 메모리를 거치고, 영상처리 컴퓨터의 프로세서를 통해 이미지 처리가 이루어진다. 처리된 이미지 관련 정보는 비행제어 컴퓨터가 적시에 호출하여 사용될 수 있도록 버스 인터페이스를 통하여 전달되어야 한다. 또한 비전센서가 아닌 다양한 센서들로부터의 정보도 비행제어 컴퓨터로부터 버스 인터페이스를 통하여 영상처리 컴퓨터로 전송되어야 한다. 비행제어 컴퓨터는 전달받은 영상정보와 다른 센서들의 정보를 이용하여, 무인항공기의 조종면을 구동하는 동시에 목표물 추적을 위한 카메라 gimbal 시스템의 구동 명령도 계산하게 된다.

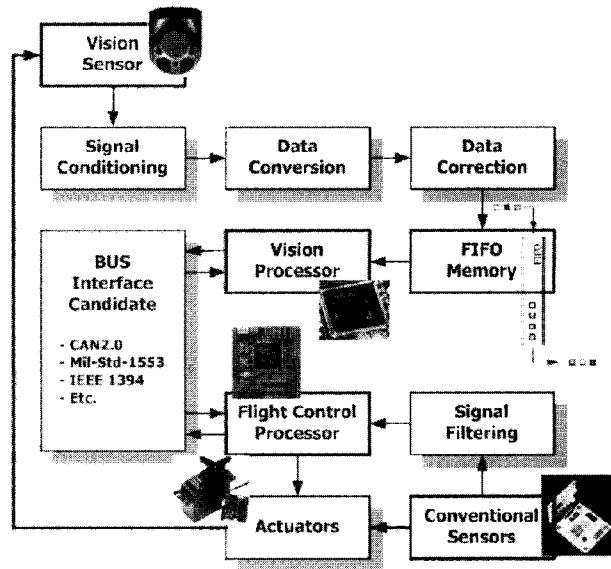


그림 14. 비행제어컴퓨터와 영상처리컴퓨터 통합

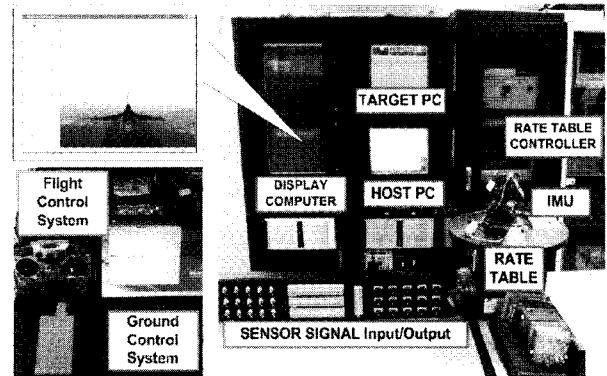


그림 15. PILS/HILS 장비(서울대학교)

(2) 지상시험(PILS/HILS 시험)

PILS/HILS (Process In the Loop Simulation/Hardware In the Loop Simulation)시스템은 실제 사용할 프로세서와 센서, 작동기 등 하드웨어를 시스템의 루프 상에 직접 연결하여 시뮬레이션을 수행함으로써 지상에서 비행제어 시스템의 성능을 검증하는 과정이다. HILS 시스템을 이용하면 지상에서 실제 항공기에 탑재할 하드웨어와 소프트웨어를 결합하여 운용하는 것과 동일한 효과를 얻을 수 있어, 적은 비용으로 실시간 해석 및 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 산업체나 연구소에서는 개발 시험의 비용 절감 및 안전성을 확보하기 위하여 HILS 시스템을 이용하여 V-Cycle이나 Waterfall model 등과 같은 다양한 방법을 제시하고 있다. 그림 15는 서울대학교에 구축되어 있는 PILS/HILS 시스템을

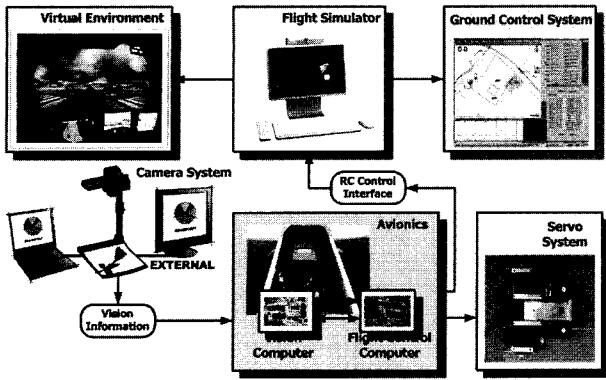


그림 16. 영상정보를 포함한 PILS/HILS 블록선도

보이고 있다. 비행제어 컴퓨터, 항공기 비선형 시뮬레이션 프로그램, 모션테이블, AD/DA 장비, 디스플레이 시스템 등을 이용하여 모듈별 구조로 PILS/HILS 장비를 구축하여 운용하고 있다. 이러한 시스템을 바탕으로 비행시험을 실시하기 전에 모의비행을 실시하여 비행제어 컴퓨터와 주변장치 간의 데이터 플로우를 점검하는 동시에, 시현장비를 통하여 경로점 항법을 수행하고 있는 무인항공기의 모션과 위치를 파악할 수 있다.

한편, 영상정보를 이용하는 무인기 자동이착륙 과정을 검증하기 위해서는 영상정보를 이용한 PILS/HILS 시스템을 구축해야 한다. 즉, 비행 시뮬레이터를 이용한 가상환경을 생성해 주어야 하며, 영상처리를 이용한 무인기의 표적탐지 및 추적, 자동이착륙을 위한 일련의 비행시험을 모사하여 성능을 검증해야 한다. 그림 16은 영상 시스템이 통합되어 있는 HILS 시스템의 구성도를 보이고 있다. 가상화면 스크린에 송출된 영상정보는 HILS 시스템에 연동되어 있는 카메라 시스템에 의해 촬영되어 영상처리 컴퓨터에 전달된다. 영상처리를 통해 획득한 정보는 비행제어 컴퓨터에서 제어명령을 계산하는 데 사용되어, 데이터 인터페이스를 통해 비행 시뮬레이터에 다시 전달되어 하나의 피드백 루프를 구성하게 된다. 비행 시뮬레이터에서 나오는 출력은 가시화 프로그램에도 전달되어 사용자가 무인항공기의 모션과 위치를 파악할 수 있도록 한다. 이러한 시스템을 이용해서 가상의 영상정보와 비행데이터를 모사한 입력정보를 이용하여 비행제어 컴퓨터와 영상처리 컴퓨터가 자동이착륙을 위해 주어진 임무를 효율적으로 수행하는지 검증이 가능하다.

(3) 비행시험

무인항공기 시스템의 최종 성능평가를 위해서는 사고위험을 최소화 할 수 있는 장소에서의 비행시험이 필수적으로 요구된

다. PILS/HILS 실험으로 비행시험에서 발생할 수 있는 문제점들을 보완하였다 하더라도, 실제 비행시험에서는 또다시 크고 작은 많은 문제점이 발견된다. 하드웨어 문제로는 전원관리, 커넥팅, 통신간섭 등이 발생할 수 있으며, 소프트웨어 문제로는 시분할 실행 태스크의 중첩으로 인한 무한루프, 단위변환 실수 등으로 인해 비행체 손실로 이어지기도 하므로 가능한 모든 고장 발생 원인에 대한 체크 리스트를 작성하여 체계적으로 점검한 후에 시험을 수행하도록 한다.

유인항공기의 경우 비행성능 평가기준이 명확하게 정의되어 있는 반면에, 무인항공기의 경우 비행시험을 통하여 판단해야 하는 성능평가 요소가 상대적으로 불분명하다. 영상인식을 이용한 자동착륙을 위해서는 영상정보를 이용한 목표 표지물 인식과 추적에 대한 정확도와 소요시간, 착륙방향 및 위치에 대한 제어로직의 정확성 등을 고려해야 한다. 최종적으로 실제 비행 시험에서는 무엇보다 인명의 안전이 중요하므로 그물망의 운용과 착륙지점의 선정에도 주의를 기울여야 할 것이며, 평가항목에 대한 신속하고 정확한 검증을 위하여 실시간 평가 프로그램을 지상통제 시스템에 구현해야 할 것이다.

비행시험 단계에서는 다양한 불확실성에 의해 자동이륙, 영상획득, 표적추적, 자동착륙 단계의 정확도가 기존에 설정한 요구도에 미치지 못할 수도 있다. 따라서 비행시험을 실시하며 자동이착륙 요구도를 최종적으로 시스템이 만족하는지 여부를 분석하고, 이에 대해 무인항공기 개발 전 과정으로의 피드백을 통해 성능을 개선해야 한다.

통합된 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어의 오류들은 비행 시험 전에 PILS/HILS 테스트에서도 발견될 수 있지만, 마지막 비행시험에서 문제가 발견될 가능성도 존재한다. 이러한 하드웨어 문제점은 그림 17에서 보이고 있는 무인항공기 개발과정 블록선도의 우측편을 따라 회귀하여 전자장비 유닛 시험을 다시 실시해야 한다. 한편, 비행제어 시스템의 소프트웨어 내에서는 센서 필터링 오차, 항법오차 등에 의한 조종명령의 포화현상 및 고주파 운동이 발생할 수 있다. 다양한 비행 시나리오에 대해 위에서 언급한 문제점이 발생하는지의 여부를 점검하고 정해진 한계값을 초과하는 오차가 발생할 경우에는 그림 17의 개발과정 좌측편을 따라 설계 초기단계인 모델링 및 시스템인식 과정, 혹은 제어기 설계 과정 회귀하여 재설계 혹은 재조정하는 과정이 필요하다. 특히 영상처리를 이용한 자동착륙 시스템 개발을 위해서는 앞서 언급한 영상처리 알고리즘에 대한 성능평가를 통해, 영상신호 획득시의 디지털 샘플링 시간, 영상처리를 위한 각종 필터계수 등을 튜닝하는 작업이 필요하다.

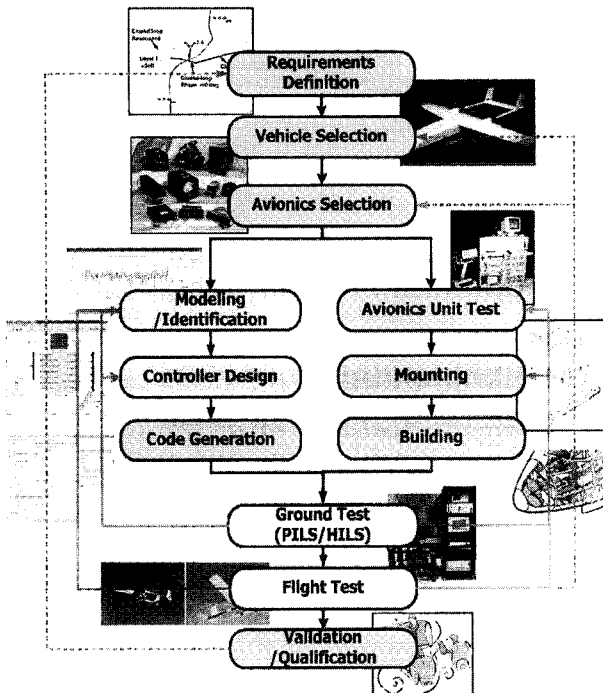


그림 17. 비행제어시스템 알고리즘 개선 블록선도

영상정보를 바탕으로 계산되는 위치나 자세정보가 제어기에 직접 피드백 되는 경우에는 그 문제가 제어기 설계의 문제인지 영상 알고리즘 자체의 문제인지 구별하기 힘들다. 따라서 각각의 모듈에 대한 사전 점검을 가급적 완벽하게 마친 후에 비행시험을 실시해야 할 것이다.

#### 4. 결론

현재 대부분의 무인항공기는 외부조종사가 육안으로 비행체의 자세나 고도 등을 보면서 조종하여 이착륙을 수행하기 때문에 유인항공기와 마찬가지로 무인항공기 외부조종사의 교육과 훈련에 많은 비용과 시간을 투입하여야 한다. 무인항공기 사고의 대부분은 이착륙 시에 인적요인에 의한 것으로, 경미한 사고를 포함한 전체 사고의 70%가 조종사 실수 등 인적요인에 기인한 것으로 분석되고 있다. 기존의 운용되고 있는 자동이착륙 시스템은 레이다 장비나 기지국을 따로 운영해야 하는 부담이 있으나, 무인기의 카메라 영상정보를 이용하여 자동이착륙을 수행하면 추가적인 시설비용 및 인력 등이 필요하지 않고, 효율적이며 신뢰성 높은 시스템을 구축할 수 있다. 따라서 영상정보를 이용한 자동이착륙 유도제어 시스템 기술을 개발하면 인적요인에 기인한 무인항공기 사고를 예방할 수 있고, 외부조종사의

교육과 훈련비용 및 고가의 장비설치 비용을 절감할 수 있기 때문에 다양한 분야에서 무인항공기의 활용성을 높일 수 있으며, 이러한 의미에서 기술의 중요성 및 부가가치가 매우 높다고 할 수 있다.

고부가가치의 자동이착륙 유도제어 시스템 기술을 포함하는 비행제어 시스템 설계 기술은 항공우주선진국들의 기술적 독점이 심하고, 기술이전을 매우 꺼리는 핵심기술 분야이다. 이는 비행제어시스템 설계기술이 항공기 기동성의 획기적인 향상은 물론 매우 복잡한 임무를 자율적으로 수행할 수 있도록 하여, 항공기의 성능을 극대화 하는 결정적인 기술이므로 군사적으로 전략적인 가치가 매우 높기 때문이다. 이러한 기술은 최근에 들어서 민간부분에서도 활용도가 점차 증가하고 있으며, 인접 분야에 기술적 파급효과가 매우 큰 기술로 자리매김 하고 있는데, 비행제어시스템 설계기술은 단기간의 집중적인 투자로는 효과를 거두기 어렵고, 장기간 동안의 설계경험, 지식정보 및 비행시험을 통한 성능개선 연구가 필요하다는 특성을 가지고 있다. 따라서 선진 항공기 시스템 설계기술뿐만 아니라 각종 무인 시스템 설계 기술의 기반을 확보하기 위해서는 저비용·고신뢰성의 영상정보를 활용한 무인기의 자동이착륙 시스템 개발이 필수적이라고 사료된다.

#### 후기

본고는 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원(Grant No. R0A-2007-000-10017-0)을 받아 수행된 연구입니다.

#### 참고문헌

- [1] O. Shakernia, R. Vidal, C.S. Sharpy, Y. Ma, and S. Sastry, "Multiple View Motion Estimation and Control for Landing an Unmanned Aerial Vehicle," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Washington DC, May 2002.
- [2] S. Rathinam, Z. Kim and R. Sengupta, "Vision Based Monitoring of Locally Linear Structures using an UAV," *Journal of Infrastructure Systems*, vol. 14, no. 1, pp. 52-63, 2008.
- [3] S. Saripalli, J.F. Montgomery, and G.S. Sukhatme, "Vision-based Autonomous Landing of an Unmanned Aerial Vehicle," *IEEE International Conference on Robotics and*

- Automation*, pp. 2799-2804, Washington DC, May 2002.
- [4] B. Grocholsky, S. Bayraktar, V. Kumar and G. Pappas, "UAV and UGV Collaboration for Active Ground Feature Search and Localization," AIAA 3rd "Unmanned Unlimited" Technical Conference, Chicago, IL, Sep. 2004.
- [5] E. Altuk, James P. Ostrowski, C. J. Taylor, "Quadrotor Control Using Dual Camera Visual Feedback," *IEEE International Conference on Robotics & Automation*, Taiwan, Sep. 2003.
- [6] M. L. Civita, G. Papageorgiou, W. C. Messner, and T. Kanade, "Design and Flight Testing of a Gain-Scheduled H-infinity Loop Shaping Controller for Wide-Envelope Flight of a Robotic Helicopter," *American Control Conference*, pp. 4195-4200, Denver, CO, June 2003.
- [7] O. Amidi, T. Kanade, and J.R. Miller, "Vision-Based Autonomous Helicopter Research at Carnegie Mellon Robotics Institute," *American Helicopter Society International Conference*, Heli, Japan, April 1998.
- [8] E.N. Johnson, and S.K. Kannan, "Adaptive Trajectory Control for Autonomous Helicopters," *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, vol. 28, no. 3, 2005.
- [9] E.N. Johnson, A.A. Proctor, J. Ha, and A.R. Tannenbaum, "Visual Search Automation for Unmanned Aerial Vehicles," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 41, no. 1, 2005, pp. 219-232.
- [10] J. How, E. King, and Y. Kuwata, "Flight Demonstrations of Cooperative Control for UAV Teams," AIAA 3rd "Unmanned Unlimited," *Technical Conference*, Chicago, IL, Sep. 2004.
- [11] <http://www.disam.upm.es/vision>
- [12] <http://eprints.qut.edu.au/archive/00002763/>
- [13] E. A. Wan, A. A. Bogdanov, R. Kiebertz, A. Baptista, M. Carlsson, Y. Zhang, and M. Zulauf, "Model Predictive Neural Control for Aggressive Helicopter Maneuvers," *In Software Enabled Control: Information Technologies for Dynamical Systems*, IEEE Press, Wiley & Sons, 2003.
- [14] C. Harris, and M. Stevens, "A Combined Edge and Corner Detector," *4th Alvey Vision Conference*, Manchester, UK, 1988, pp. 189-192.
- [15] K. Mikolajczyk, and C. Schmid, "An Affine Invariant Interest Point Detector," *ECCV 2002*.
- [16] D. Lowe, "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints," *IJCV 2004*.
- [17] H. Zou, Z. Gong, S. Xie, and W. Ding, "A Pan-Tilt Camera Control System of UAV Visual Tracking Based on Biomimetic Eye," *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Kunming*, China, Dec. 2006.
- [18] J. Suh, "Error Concealment Techniques for Visual Quality Improving," *Chungbuk National University*, Korea, Jan. 2006.
- [19] H.264/MPEG-4 PART10 AVC Video Coding, McubeWorks, Inc., Jan. 2004.
- [20] <http://www.merl.com/projects/deblur/>
- [21] A. Chang, O. C. Au, and Y. M. Yeung, "A Novel Approach to Fast Multi-Frame Selection for H.264 Video Coding," *IEEE*, Hong Kong University, 2003.
- [22] W. Cho, J. Lee, Y. Kim, C. Park, and J. Paik, "Robust Feature Point Extraction Using Difference of Wavelet," 제19회 신호처리합동학술대회논문집, 제19권, 제1호, 2006년.
- [23] G. B. Chatterji, P. K. Menon, and B. Sridhar, "GPS/Machine Vision Navigation System for Aircraft," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 33, no. 3, 1997.
- [24] P. Ogren, and M. Winstrand, "Combining Path Planning and Target Assignment to Minimize Risk in a SEAD Mission," *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference*, San Francisco, CA, Aug. 2005.
- [25] J. Barraquand, B. Langlois, and J-C. Latombe, "Numerical Potential Field Techniques for Robot Path Planning," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 22, no. 2, 1992, pp. 224-241.
- [26] J. O. Kim, "Real-Time Obstacle Avoidance Using Harmonic Potential Function," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 8, no. 3, 1992, pp. 338-349.
- [27] D. E. Koditschek, and E. Rimon, "Robot Navigation Functions on Manifolds with Boundary," *Advances in Applied Mathematics*, vol. 11, no. 4, 1990, pp. 412-442.
- [28] G. K. Schmidt, and K. Azarm, "Mobile Robot Navigation in a Dynamic World Using an Unsteady Diffusion Equation Strategy," *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Raleigh, NC, July 1992.

[29] 최종욱, 김필준, 김유단, "위협지역 회피를 고려한 Potential Field 방식의 무인항공기 궤적 설계," 제어자동화시스템공학회 심포지엄(CASS 2006), KINTEX, pp. 218-223, 경기도, 2006년 6월.

[30] J. Z. Sasiadek, and Q. Wang, "3-D Guidance and Navigation of Mobile and Flying Robot Using Fuzzy Logic," *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference*, Boston, MA, Aug. 1998.

[31] J. Minguez, and L. Montano, "Nearness Diagram Navigation: Collision Avoidance in Troublesome Scenarios," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 20, no. 1, pp. 45-59, 2004.

[32] O. Brock, and O. Khatib, "High-Speed Navigation Using the Global Dynamic Window Approach," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Detroit, MI, pp. 341-346, 1999.

[33] Y. Watanabe, E. N. Johnson, and A. J. Calise, "Vision-based Approach to Obstacle Avoidance," *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference*, San Francisco, CA, Aug. 2005.

[34] B.L. Stevens, and F.L. Lewis, *Aircraft Control and Simulation*, 3rd ed, John Wiley, Inc., New Jersey, 2003.

[35] D. N. Kaufmann and B.D. McNally, "Flight Test Evaluation of the Stanford University/United Airlines Differential GPS Category III Automatic Landing System," *NASA Technical Memorandum 110345*, 1995.

[36] A. D. Wu, E. N. Johnson, and A. A. Proctor, "Vision-Aided Inertial Navigation for Flight Control," *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference*, San Francisco, CA, 2005.

[37] S. Saripalli, J. F. Montgomery, and G. S. Sukhatme, "Visually Guided Landing of an Unmanned Aerial Vehicle," *IEEE Transactions on Robotics and Automations*, vol. 19, no. 3, 2003.

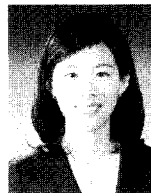
[38] C. Demonceaux, P. Vasseur, and C. Pegard, "Omnidirectional Vision on UAV for Attitude Computaton," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Orlando, FL, 2006.

◎ 저자약력



**김유단**

- 1983년 서울대학교 항공공학과(공학사).
- 1985년 서울대학교 항공공학과(공학석사).
- 1990년 Texas A&M University 항공우주공학(공학박사).
- 1992년~현재 서울대학교 기계항공공학부 교수.
- 관심분야 : 항공기, 위성체, 발사체 유도제어시스템 설계.



**김현진**

- 1995년 KAIST 기계공학과(공학사).
- 1999년 UC Berkeley 기계공학과(공학석사).
- 2001년 UC Berkeley 기계공학과(공학박사).
- 2004년~현재 서울대학교 기계항공공학부 조교수.
- 관심분야 : 지능제어, 무인비행체, 로봇 및 MEMS/NEMS 제어, 학습이론.