

무인헬기의 정밀 자동착륙 접근을 위한 영상정보 처리

Vision Processing for Precision Autonomous Landing Approach of an Unmanned Helicopter

김 덕 열, 김 도 명, 석 진 영*
(Deokryeol Kim and Do-Myoung Kim, and Jinyoung Suk)

Abstract : In this paper, a precision landing approach is implemented based on real-time image processing. A full-scale landmark for automatic landing is used. canny edge detection method is applied to identify the outside quadrilateral while circular hough transform is used for the recognition of inside circle. Position information on the ground landmark is uplinked to the unmanned helicopter via ground control computer in real time so that the unmanned helicopter control the air vehicle for accurate landing approach. Ground test and a couple of flight tests for autonomous landing approach show that the image processing and automatic landing operation system have good performance for the landing approach phase at the altitude of 20m~1m above ground level.

Keywords : autonomous landing approach, unmanned helicopter, vision processing, canny edge detection, circular hough transform

I. 서론

영상 카메라는 대부분의 무인항공기에 기본 임무장비로 장착이 되어있으며, 비교적 적은 비용으로 상당히 많은 종류의 정보를 획득할 수 있는 장비이다. 조종사가 시계비행(Visual Flight)만으로 이·착륙 및 비행이 가능하다는 것에서 알 수 있듯이 영상은 Inertial Navigation System (INS), Global Positioning System (GPS), Laser Range Finder (LRF), Attitude and Heading Reference System (AHRS), Heading Sensor, 초음파 거리계 등을 대체 또는 보조할 수 있는 정보를 내재하고 있다. 영상 정보를 이용하면 하드웨어의 교체 없이 프로그램만으로 자동 이·착륙, 항법, 유도제어, 표적인식, 표적추적 등 무인항공기의 성능 향상이 가능하다는 장점이 있다. 이처럼 활용도가 높은 영상정보를 이용해 다양한 분야에서 활발한 연구가 진행 중이다[1-2]. University of California Berkeley 및 University of Southern California에서는 각각 영상정보를 이용한 무인헬기의 자동착륙에 성공하였다. 이 때 사각형을 이용한 착륙표적을 이용하였고 비행체의 위치 및 자세를 추정하여 자동착륙을 위한 정보로 활용하였다. University of Florida에서는 비행체에서 촬영되는 영상 중 지평선을 인식하여 소형 무인비행체의 자세를 추종하고 이를 이용한 경로점 항법을 수행하였다. 이외에도 편대비행, 공중급유, 차량추적, 비상착륙 등 영상정보를 이용한 무인항공기 유도 및 제어의 연구는 다양한 분야에서 활발하게 진행되고 있다. 국내에서도 이러한 연구추세에 발맞추어 영상정보를 이용한 무인항공기 임무응용

분야에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나, 비행 중의 영상정보 처리에 대한 임무수행 사례는 있으나, 비행시험을 통한 자동착륙 등을 구현한 사례는 아직 파악되지 않고 있다.

본 논문에서는 무인헬기를 보다 정밀하게 착륙시키기 위해 영상정보를 이용하여 카메라와 표적 사이의 3차원 상대 좌표를 계산하였다. 본 연구실에서 보유하고 있는 연구용 무인헬기를 이용한 자동착륙을 목표로 착륙대 설정에서부터 착륙단계별 구체적인 영상 처리 방법에 관해 연구하였으며, 실제 비행시험을 통하여 최종단계를 제외한 자동착륙 접근을 위한 영상정보 처리 성능의 유효성에 대해 기술하였다.

II. 영상처리 및 인식기법

본 절에서는 무인헬기의 자동착륙접근을 위한 영상처리 및 영상인식기법에 관해 기술하였다. 착륙 표적은 비행고도 20m에서 무인헬기에 탑재한 영상카메라를 이용하여 안정적으로 인식할 수 있는 크기로 설계하였다. 표적의 모양은 그림 1과 같이 비교적 인식이 용이한 사각형과 원을 사용하

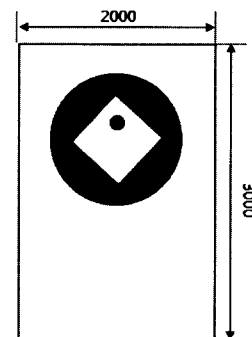


그림 1. 착륙 표적.
Fig. 1. Landing target.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008. 9. 30., 채택확정 : 2008. 10. 30.

김덕열, 김도명, 석진영 : 충남대학교 항공우주공학과

(avian@hanmail.net/zoocyday@hanmail.net/jsuk@cnu.ac.kr)

※ 이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R0A-2008-000-10017-0).

었다. 영상 내의 표적을 인식하고 표적의 특정부분에 대한 픽셀 길이를 바탕으로 표적과의 상대거리를 계산하였다. 고도가 낮아지면 표적이 카메라의 촬영 범위가 좁아지기 때문에 내부쪽은 작은 도형을 이용하게 된다. 표적은 검정색과 흰색만을 사용했는데, 컬러를 사용하면 조도나 빛의 반사에 영향으로 특정한 컬러를 분리하기가 어려워지고, 연산 시간도 흑백영상에 비해 길어지는 단점이 있어 사용을 배제하였다.

영상처리의 목적은 영상 내의 표적을 인식하여 표적 내부의 원의 지름 또는 정사각형의 대각선 픽셀길이를 측정하고, 도형 중심의 픽셀좌표를 찾는 것이다. 이후 픽셀길이와 픽셀좌표, 비행체 자세를 이용하여 표적과 카메라 사이의 3차원 거리를 계산하게 된다. 영상처리 과정은 다음과 같이 전처리과정, 사각형 검출 및 정사각형 내부의 원 검출 과정으로 구성된다.

1. 전처리 과정

입력받은 컬러영상을 흑백영상으로 변환한 후 흑백영상의 각 픽셀이 특정 밝기 값 이상이면 흰색으로, 그렇지 않으면 검정색으로 변환하여 출력하는 이진화를 수행한다. 이를 통해 필요한 정보만 남도록 영상을 단순화시킨다. 또한 일반적으로 잘 알려진 열림연산을 통해 잡음을 제거하였다 [3].

2. 사각형 검출

본 논문에서는 직사각형 및 정사각형을 검출하기 위하여 canny edge detection 기법을 사용하였다. 외곽선(edge)은 영상의 특징을 갖는 선 요소로 영상의 명암과 색상이 급격히 변하는 부분으로 정의된다. 그림 2에서 밝기 값이 급격히 변할수록 기울기가 크지만, 점진적으로 변할수록 서서히 기울기 값이 작아진다. 이러한 밝기의 변화율, 즉 기울기를 검출하기 위해 식 (1)-(2)와 같이 1차 차분을 사용한다.

$$f_x = f(x+1, y) - f(x, y) \quad (1)$$

$$f_y = f(x, y+1) - f(x, y) \quad (2)$$

영상에서의 기울기를 의미하는 그래디언트(gradient)의 크기를 구하면 외곽선을 얻을 수 있다. X방향과 Y방향의 차분 값은 마스크(mask) 연산을 사용하여 계산하였다. 마스크 연산이란 마스크를 원 이미지상의 계산지점에 올려놓은 후, 해당 마스크의 계수 값과 해당 이미지상의 값을 곱한 다음 모두 더한 값을 현재 지점에서의 새로운 값으로 지정하는 연산이다. 1차 차분을 위한 마스크는 Sobel 마스크를 이용하였으며, 계산된 차분 값을 이용하여 식 (3)과 같이 외곽선의 강도를 구할 수 있다.

$$|F| = |f_x| + |f_y| \quad (3)$$

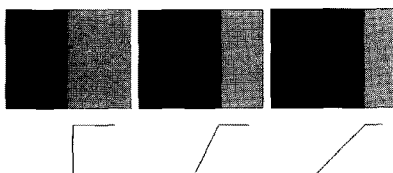


그림 2. 외곽선 기울기.
Fig. 2. Edge gradient.

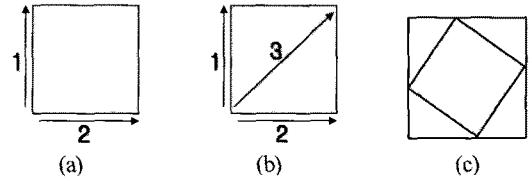


그림 3. (a) 각도계산, (b) 길이 비 계산, (c) ROI 설정.
Fig. 3. Calculation order for (a) intercalary angle, (b) side and diagonal proportion, and (c) ROI assignment.

또한 연결된 외곽선을 검출하기 위해 식 (4)와 같이 f_x 와 f_y 를 이용하여 벡터의 기울기를 계산한다.

$$\theta = \begin{cases} \tan^{-1}(f_y/f_x) & (\text{if } f_x \neq 0) \\ 90 & (\text{if } f_x = 0, f_y \neq 0) \\ 0 & (\text{if } f_x = 0, f_y = 0) \end{cases} \quad (4)$$

이진화된 영상의 외곽선을 추출하여 면적이 1000픽셀 이하인 것은 잡음으로 간주하여 제거한 후, 볼록도(convexity)를 검사하여 오목한 부분이 있는 도형도 제거한다. 남은 외곽선 중 변이 네 개인 것을 추출하면 사각형이 검출된다. 검출된 사각형 중 직사각형을 추출하기 위해 각 변의 시작점을 꼭짓점으로 간주하여 그림 3(a)와 같은 순서로 변과 변 사이의 각도가 90°인지 검사한다. 남은 도형 중 정사각형을 추출하기 위해 그림 3(b)와 같은 순서로 변과 대각선의 최대 길이비가 $1:\sqrt{2}$ 인지 검사한다. 검출된 정사각형의 최대·최소 x, y 픽셀 좌표를 이용하여 관심영역(ROI, Region of Interest)을 설정한다.

3. 정사각형 내부의 원 검출

원 검출은 표적 검출의 신뢰도를 높이고 연산시간을 단축하기 위해 관심영역 내부에서만 수행된다. 원 검출 기법으로 circular hough transform을 사용하였다[4-6]. 입력영상에 직선이 존재한다고 가정하고 직선 위의 점 (x_i, y_i) 를 식(5)와 같이 변환한다.

$$p = x_i \cos \theta + y_i \sin \theta \quad (5)$$

여기서 p 는 직선과 원점과의 거리이고, θ 는 원점에서 직선에 내린 수선과 x축과의 각도이다. 그림 4와 같이 직교좌표계의 동일직선에 위치한 N개의 점은 hough plane의 N개의 곡선으로 변환된다. 입력영상의 모든 점에 대하여 hough transform을 수행하면 hough plane의 곡선들이 중첩되는 점 (p_m, θ_m) 이 생성되고 이를 역변환하면 직교좌표계의 직선을 검출할 수 있다.

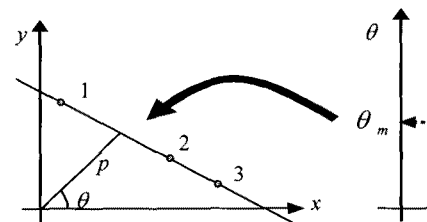


그림 4. Hough 변환.
Fig. 4. Hough transform.



그림 5. Hough변환을 이용한 원 검출 입력영상과 출력영상.
Fig. 5. Input and output image for circular hough transform.

입력영상에 원이 존재할 때, 특정한 길이의 직선을 검출하기 위하여 그림 5(a)에 대한 hough transform을 수행하면 hough plane상에 그림 5(b)와 같은 곡선이 생성된다. 가장 밝은 점이 원하는 지름을 가진 원의 중심이다[4].

4. 영상 검출 분석

표적 인식은 표적 최외각 직사각형과 내부의 정사각형이 검출되는 경우의 수를 다섯 가지로 나눠 각 경우에 대한 처리를 달리하였다. 이는 고도 정보가 없어도 무인 헬기가 표적에 접근하고 있는 상황을 적절히 파악하기 위함이다.

case 1은 그림 6에서 보여지는 바와 같이 아무 영상도 인식되지 않는 경우이다. 표적이 영상 내에 들어오지 않거나 일부만 들어와 영상을 검출할 수 없을 때 발생한다. 이 경우는 표적이 인식될 때까지 전체영역에 대하여 영상을 검색한다. 고도와 상대위치는 이전 값을 유지한다.

case 2는 그림 7에서 나타난 바와 같이 표적과 카메라가 근접해 카메라의 Field of View (FOV)가 정사각형 안쪽으로 좁혀질 때이다. 이 때에는 정사각형 안쪽의 작은 원을 검출하여 고도 및 상대위치를 계산한다.

case 3은 그림 8과 같이 직사각형만 인식되고 내부의 정사각형은 인식되지 않는 경우이다. 주로 표적이 영상 내에 모두 들어오지만 표적과 카메라의 거리가 멀어 내부의 정사각형은 인식하지 못하는 경우에 발생한다. 이 때에는 직사각형 내부의 큰 원을 이용하여 고도 및 상대거리를 계산한다.

case 4는 그림 9와 같이 직사각형과 정사각형이 모두 인식되는 경우이다. 표적이 영상 내에 모두 들어오고, case 3

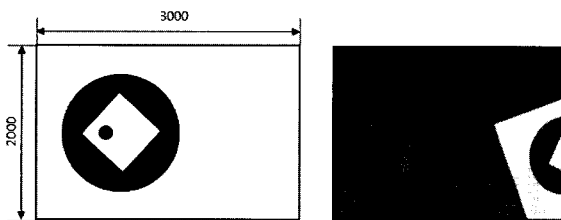


그림 6. 영상 검출 첫번째 경우.
Fig. 6. Image detection: case 1.

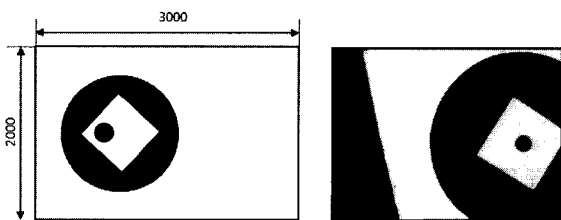


그림 7. 영상검출 두번째 경우.
Fig. 7. Image detection: case 2.

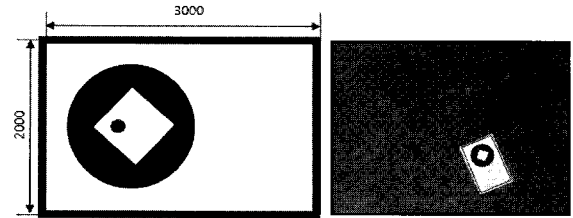


그림 8. 영상검출 세번째 경우.
Fig. 8. Image detection: case 3.

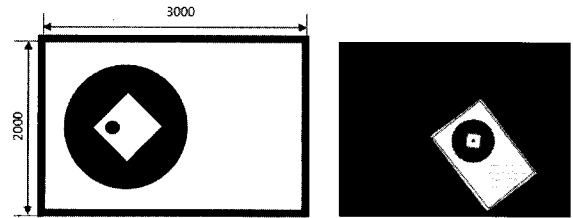


그림 9. 영상검출 네번째 경우.
Fig. 9. Image detection: case 4.

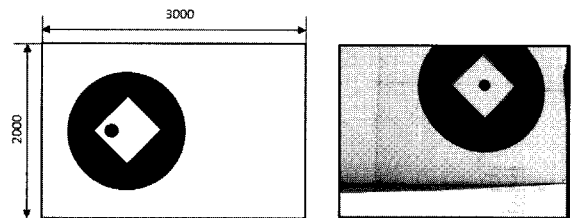


그림 10. 영상검출 다섯번째 경우.
Fig. 10. Image detection: case 5.

보다 표적과 카메라가 조금 더 가까울 때 발생한다. case 3과 마찬가지로 직사각형 내부의 큰 원을 이용하여 고도 및 상대거리를 계산한다.

case 5는 그림 10과 같이 정사각형만 인식되는 경우이다. 카메라의 FOV가 직사각형보다는 좁지만 정사각형보다는 클 때 발생한다. 이 경우 표적 내부의 큰 원, 작은 원, 정사각형이 여러 가지 경우로 검출될 수 있다. 고도 및 상대거리를 계산하는데 큰 원의 지름, 작은 원의 지름, 정사각형의 대각선 평균 중 검출되는 순서대로 이용한다.

5. 수직 · 수평거리 인식

본 연구에서는 무인헬기로부터 표적까지의 북쪽, 동쪽 거리 및 비행고도를 계산하여 착륙과정 중에서 무인헬기를 표적의 중심으로 유도하고자 하였다. 그림 11에서 나타내진 바와 같이 카메라 화각과 고도에 따라 촬영범위가 결정되고 간단한 비례식을 통해 표적과 무인헬기의 수직거리, 즉 고도를 계산할 수 있다.

무인헬기의 고도는 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Altitude = \frac{I_{width} \times (S_t)}{4 \times S_p \times \tan(FOV/2)} \quad (6)$$

여기서 S_t 는 표적의 특정 부분의 길이(m), S_p 는 촬영된 S_t 의 영상 길이(pixel), I_{width} 는 영상의 가로 픽셀 수이다.

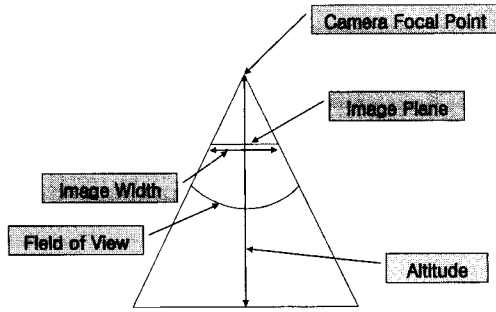


그림 11. 카메라 화각과 촬영영역.
Fig. 11. FOV and sight range of a camera.

계산된 고도와 영상의 가로길이를 이용해 영상의 한 픽셀에 대응하는 실제 길이 D_p 를 식 (7)과 같이 계산할 수 있다.

$$D_p = \frac{2 \times \text{Altitude} \times \tan(\text{FOV}/2)}{I_{width}} \quad (7)$$

카메라는 비행체에 고정되어 있기 때문에 비행체의 자세와 카메라의 자세는 동일하다고 가정하였다. 비행체의 자세가 변하면 비행체가 정지하고 있더라도 영상 내에서 표적이 이동하게 되므로 비행체의 자세에 따른 표적위치 보정이 필요하다. 기체고정좌표계에서 비행체의 직하방을 향하는 카메라 시선벡터성분을 지면좌표계의 성분으로 변환시키면 식 (8)과 같다. 여기서 C는 표준 직교변환 행렬이다 [7].

$$\begin{bmatrix} LOS_{north} \\ LOS_{east} \\ LOS_{down} \end{bmatrix} = C^T \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

그림 12에서 나타내는 바와 같이 영상에서 표적의 중심 픽셀과 화상의 중심 픽셀 사이의 픽셀거리를 실제거리로 환산해서 식 (8)에 더해주면 비행체로부터 표적까지의 T_{north} 와 T_{east} 를 식 (9)-(10)과 같이 구할 수 있다.

$$T_{north} = LOS_{north} + D_p \times (I_x - (I_{width}/2)) \quad (9)$$

$$T_{east} = LOS_{east} + D_p \times ((I_{width}/2) - I_y) \quad (10)$$

여기서 I_x , I_y 는 각각 표적중심 픽셀의 가로, 세로 좌표이다.

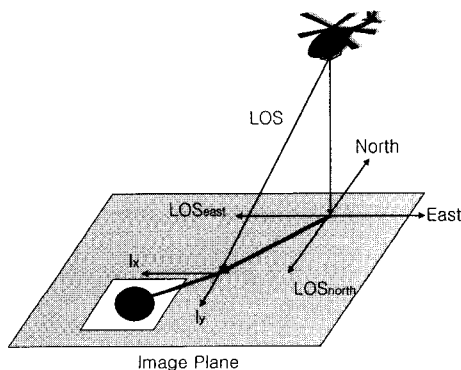


그림 12. 영상평면과 위치 보정.
Fig. 12. Image plane and position compensation.

III. 지상시험 및 비행시험 결과

본 논문에서는 영상처리기법을 이용하여 실제 무인헬기의 자동착륙에 응용하고자 하므로, 시험절차는 구체적인 비행시험에 기준을 두어 진행되었다. 지상시험 및 비행시험에 사용된 무인헬리콥터는 현재 충남대학교 항공우주공학과에서 연구용으로 운용되고 있는 CNUHELI-020을 이용하였다. 그림 13에서 보여지고 있는 CNUHELI-020은 다양한 자동비행모드를 가지고 있으며, 자세한 사양은 참고문헌 [8]에 기술되어 있다. CNUHELI-020의 자동비행 유도제어시스템은 다양한 임무운용로직을 탑재하고 있으며, 이를 응용하여 본 연구에 활용하였다[9]. 비행시험은 그림 14와 같이 영상처리를 비행체 외부의 컴퓨터에서 수행하는 off-board 방식을 사용하였다. 무인헬기로부터 영상을 수신하여 처리한 후, 표적과 비행체간의 북쪽, 동쪽 상대거리와 비행고도를 무인헬기로 송신하여 유도 명령으로 사용하였다.

1. 지상시험

본 연구에서 계산된 영상처리 알고리즘의 정확도를 검증하기 위하여 먼저 축소표적을 제작하여 실내에서 표적인식과 비행체 자세에 따른 위치보정 시험을 수행하였다. 그림 13에서 카메라는 비행체의 앞에 장착되어 있으며, 비행체는 정북방향, 카메라는 직하방을 향하도록 하고, 표적과 카메라의 거리를 약 1m 유지한 상태에서 축소표적을 북쪽, 동쪽방향으로 각각 30cm씩 이동하여 영상처리를 통해 계산한 결과와 비교하였다. 또한 임의로 롤 및 피치자세를 주어

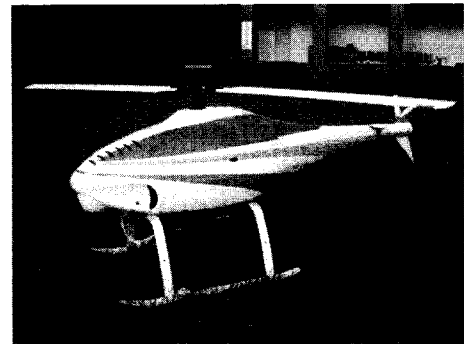


그림 13. CNUHELI-020.
Fig. 13. CNUHELI-020.

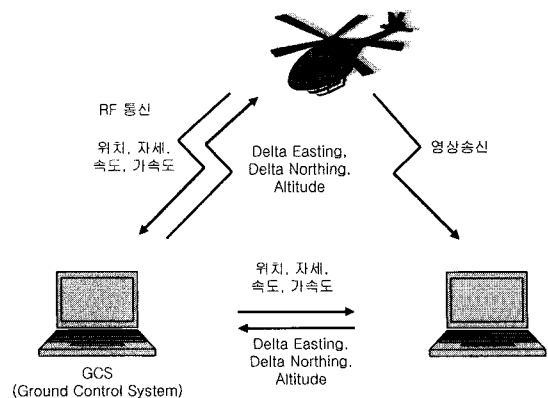


그림 14. 비행시험 시스템 구성.
Fig. 14. Schematic of flight test system.

표 1. 지상시험 결과 (북쪽 변위).

Table 1. Result of ground test (Difference in Northing).

| 내용 | 북쪽 이동 | | roll 인가 | pitch 인가 |
|-------|---------------|--------------|----------------|--------------|
| 영상 | | | | |
| del E | 0.03m | 0.02m | 0.02m | 0.04m |
| del N | -0.15m | 0.13m | 0.15m | 0.12m |
| Roll | 0.81 ° | 0.82 ° | -12.73° | 1.03° |
| Pitch | 0.43 ° | 0.38° | 0.63° | 6.89° |
| 오차 | 0.02m | | 0.02m | 0.02m |

표 2. 지상시험 결과 (동쪽 변위).

Table 2. Result of ground test (Difference in Easting).

| 내용 | 동쪽 이동 | | roll 인가 | pitch 인가 |
|-------|--------------|---------------|---------------|--------------|
| 영상 | | | | |
| del E | 0.28m | -0.05m | -0.05m | -0.04m |
| del N | -0.05m | -0.05m | -0.03m | -0.07m |
| Roll | 0.83° | 0.83° | -9.54° | 0.86° |
| Pitch | 0.45° | 0.51° | 0.66° | 6.02° |
| 오차 | 0.03m | | 0.02m | 0.02m |

출력되는 위치를 확인하였다. 지상시험 결과를 표 1-2에 정리하였다[10]. 북쪽 및 동쪽의 실제 이동거리와 영상을 이용한 계산 값이 2Cm 이내의 오차를 보였다. 따라서 표적 인식 및 북쪽, 동쪽 거리 계산과 롤/피치 자세에 대한 표적의 위치 보정이 잘 이루어짐을 확인하였다.

2. 비행시험

지상에 착륙 표적을 설치한 후 비행체를 수동으로 조종하여 표적 상공 20m이상까지 위치시킨 후 영상유도 명령을 인가하여 자동으로 착륙 접근을 시도하였다. 그림 15는 자동착륙 접근과정을 촬영한 것이다.

수신된 아날로그 영상은 frame grabber를 통해 초당 30장의 디지털 영상으로 변환된다. 그림 16은 비행체가 자동착륙 접근하면서 촬영한 표적영상이다. 고도 약 20m부터 1m까지 무인헬기가 표적을 향해 접근함을 확인할 수 있다. 그러나 고도 1m 이하에서는 표적 밖으로 벗어나서 최종 착륙에 이르지 못하는 못하였다. 첫 번째 비행시험(FT#1)에서는 유도 명령으로 사용될 3차원 상대거리를 초당 2회로 전송하였으며 모든 연산은 실시간으로 처리했다. 영상을 이용해 계산한 고도 데이터는 수직으로 장착한 레이저 고도계의 데이터와 비교하였고, 북쪽, 동쪽 거리 차는 표적의 위치정보와 비행체의 GPS 데이터를 이용하여 계산한 값과 영상으로 계산한 값을 비교하였다. 그림 17-19는 첫 번째 비행시험 결과를 그래프로 정리한 것이다. GPS 데이터는 오차가 10m~1m로 기준이 될 만한 정확도를 갖지 못하지만 카메라 화각 안에 표적이 지속적으로 들어오는 것을 통해 무인헬기의 자동착륙 접근이 잘 이루어짐을 확인할 수 있었다.

두 번째 비행시험(FT#2)은 초당 10회로 수행하던 디지털 정지 프레임 저장을 아날로그 방식으로 대체하여 연산시간

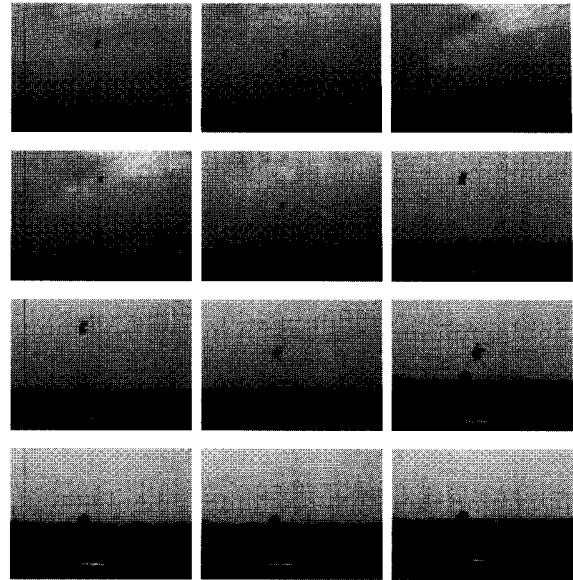


그림 15. 무인헬기의 자동착륙 접근 비행시험.

Fig. 15. Automatic landing approach flight test of unmanned helicopter.

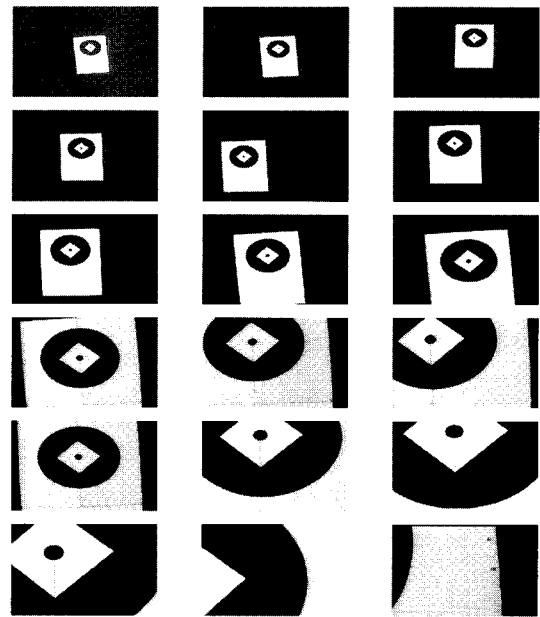


그림 16. 자동착륙 접근시험시의 표적영상.

Fig. 16. Target image information during autolanding approach.

을 단축시켰으며, 무인헬기와 착륙표적간의 3차원 상대거리를 초당 10~15회 계산하여 비행체로 전송하였다. 그림 20은 두 번째 비행시험의 고도데이터이다. 약 50초, 190초 210초 정도에 윈 검출 오류로 인하여 고도 오차가 심하게 발생하였다. 이는 알고리즘의 보안을 통해 해결할 사항이나, 지속적인 도형 검출 오류가 아니면 비행체 유도 및 제어 알고리즘에서 이를 고려하므로 자동착륙 접근성능에 큰 문제를 보이지 않았다. 고도가 내려감에 따라 도형 검출의 오차가 실제 고도 계산에 미치는 영향이 적어지기 때문에 laser range finder로 측정된 고도와 영상으로 계산한 고도의

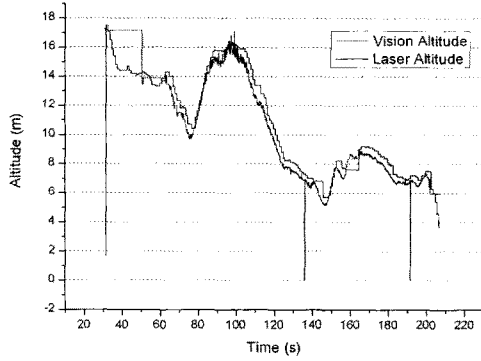


그림 17. 비행고도 (FT#1).
Fig. 17. Flight altitude (FT#1).

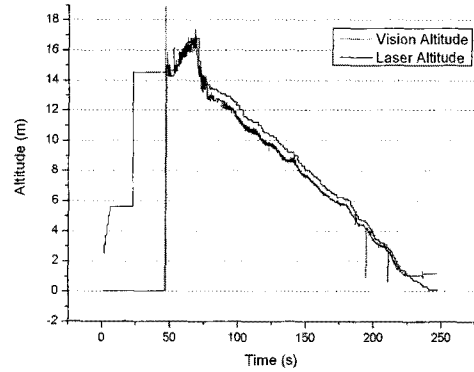


그림 20. 비행고도 (FT#2).
Fig. 20. Flight altitude (FT#2).

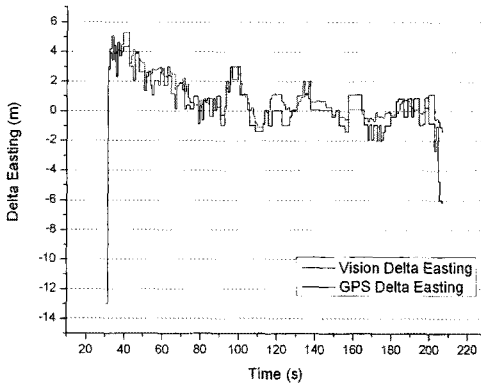


그림 18. 동쪽 거리 편차 (FT#1).
Fig. 18. Difference in easting (FT#1).

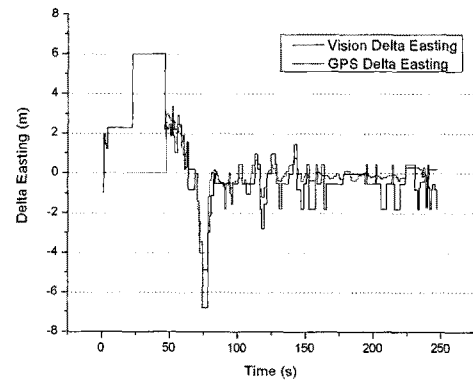


그림 21. 동쪽 거리 편차 (FT#2).
Fig. 21. Difference in easting (FT#2).

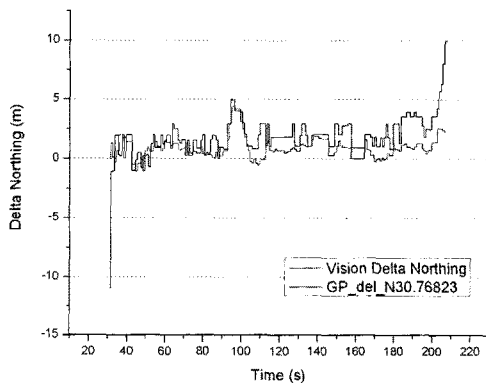


그림 19. 북쪽 거리 편차 (FT#1).
Fig. 19. Difference in northing (FT#1).

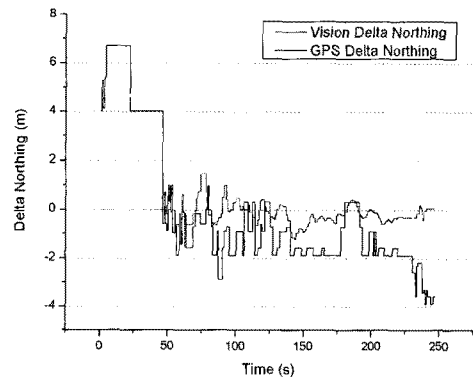


그림 22. 북쪽 거리 편차 (FT#2).
Fig. 22. Difference in northing (FT#2).

편차가 작아지는 것을 알 수 있다.

그림 21-22는 표적과 무인헬기와의 동쪽/북쪽 좌표 편차를 보여주고 있다. 비교를 위하여 사용한 GPS의 다운로드 데이터는 데이터의 해상도가 상대적으로 커서 기준값으로 적합하지 않으나, 참고자료를 위하여 그래프에 나타내었다. 그림 15에서 알 수 있듯이 입력되는 영상 중앙에 표적이 지속적으로 위치함을 통해 동쪽 및 북쪽 거리 편차가 적절히 계산됨을 확인할 수 있었다.

IV. 결론

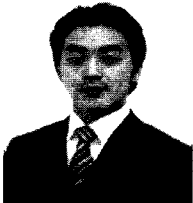
본 연구에서는 영상기반 자동 착륙 기법을 검증하기 위하여 실물크기의 표적을 사용하여 실시간으로 실험을 수행하였다. 표적을 인식하기 위해 canny edge detection, circular hough transform 등을 사용하였고, 헬기의 자세에 따라 발생하는 표적과의 상대거리오차를 보정하여 무인헬기로 송신하였다. 영상처리는 무인헬기에 탑재된 카메라로 촬영한 영상을 전송하여 비행체 외부에 있는 컴퓨터로 수행하는

off-board 방식을 택하였다. 지상시험을 통하여 설계된 3차원 상대위치 측정기법의 정확성과 신뢰성을 검증하였으며, 자동비행이 가능한 무인헬기를 이용하여 실제 비행시험을 수행하여 영상을 이용한 유도 명령 값으로 고도 약 20m~1m까지 무인헬기의 자동착륙 접근을 유도하였다. 수 회의 비행시험을 통하여 영상을 이용한 자동착륙기법의 기술적 가능성을 검증하였다고 판단된다. 본 연구결과를 바탕으로 향후 정확도를 높인 영상처리기법 및 정보추정기법을 적용하여 무인헬기와 착륙표적간의 3차원 상대거리를 추정하여 보다 신뢰성 있는 데이터를 획득하면, 최종착륙단계까지 영상을 이용하여 완전한 자동착륙이 가능할 것으로 기대된다. 또한 본 연구에서는 자동착륙에 관한 정량적인 요구조건이 미비한 관계로 이에 대한 분석은 실시하지 못하였으나, 향후 이에 대한 보다 자세한 규정 해석을 바탕으로 자동착륙접근단계의 성능 및 신뢰성에 대한 추가적인 연구를 수행할 계획이다.

참고문헌

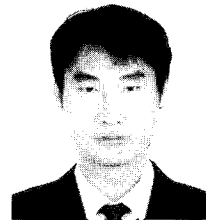
- [1] S. Saripalli, J. F. Montgomery, and G. S. Sukhatme, "Vision-based Autonomous Landing of an Unmanned Aerial Vehicle," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2002.
- [2] C. S. Sharp, O. Shakernia, and S. S. Sastry, "A Vision System for Landing an Unmanned Aerial Vehicle," *Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, 2001.
- [3] 정성환, 이문호, OpenCV를 이용한 컴퓨터 비전 실무 프로그래밍, 홍릉과학출판사, 2007.
- [4] D. H. Ballard, "Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes," *Pattern Recognition*, vol. 13, no. 2, pp.111-122, 1981.
- [5] C. Kimme, D. H. Ballard, and J. Sklansky, "Finding circles by an array of accumulators," *Communications of the Association for Computing Machinery*, vol. 18, pp. 120-122, 1975.
- [6] Intel Corporation, *Open Source Computer Vision Library - Reference Manual*, 1999.
- [7] 김병수, 김유단, 방효충, 탁민제, 홍성경, 비행동역학 및 제어, 경문사, 2004.
- [8] 방극희, 김낙완, 홍창호, 석진영, "자동화 비행시험기법에 의한 소형 무인헬리콥터의 파라미터 추정," 제어 · 로봇 · 시스템학회 논문지 제14권 제9호, pp. 916-924, 2008.
- [9] 김도명, 방극희, 장준제, 남수현, 김덕렬, 석진영, "무인헬기 CNUHELI의 운용체계설계 및 비행시험," 한국항공우주학회 추계학술발표회, 부산, 2006.
- [10] 김덕렬, 김도명, 석진영, "영상기반 거리측정 기법연구," 한국항공우주학회 추계학술발표회, 제주, 2007.

김 덕 열



2006년 충남대 항공우주공학과 졸업.
2008년 동 대학원 석사.
2008년~현재 한국항공우주산업 근무.
관심분야는 비행제어, 영상기반 제어

김 도 명



2003년 충남대학교 항공우주공학과 (공학사). 2005년 동 대학원(공학석사). 2005~현재 동 대학원 박사과정 재학 중. 관심 분야는 비행제어, 무인항공기 편대비행, 비행시험

석 진 영

제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지 제11권 제3호 참조