

Research of the Delivery Autonomy and Vision-based Landing Algorithm for Last-Mile Service using a UAV

Hanseob Lee[†] · Hoon Jung

Digital Convergence Research Laboratory, Postal & Logistics Technology Research Center, ETRI

무인기를 이용한 Last-Mile 서비스를 위한 배송 자동화 및 영상기반 착륙 알고리즘 연구

이한섭[†] · 정 훈

한국전자통신연구원 디지털융합연구소 우정물류기술연구센터

This study focuses on the development of a Last-Mile delivery service using unmanned vehicles to deliver goods directly to the end consumer utilizing drones to perform autonomous delivery missions and an image-based precision landing algorithm for handoff to a robot in an intermediate facility. As the logistics market continues to grow rapidly, parcel volumes increase exponentially each year. However, due to low delivery fees, the workload of delivery personnel is increasing, resulting in a decrease in the quality of delivery services. To address this issue, the research team conducted a study on a Last-Mile delivery service using unmanned vehicles and conducted research on the necessary technologies for drone-based goods transportation in this paper. The flight scenario begins with the drone carrying the goods from a pickup location to the rooftop of a building where the final delivery destination is located. There is a handoff facility on the rooftop of the building, and a marker on the roof must be accurately landed upon. The mission is complete once the goods are delivered and the drone returns to its original location. The research team developed a mission planning algorithm to perform the above scenario automatically and constructed an algorithm to recognize the marker through a camera sensor and achieve a precision landing. The performance of the developed system has been verified through multiple trial operations within ETRI.

Keywords : Last-Mile Delivery, Vision-based Landing, Autonomous Drone Delivery

1. 서 론

최근 4차산업 혁명이 시작되고 그 물결이 우리 산업 전반으로 퍼지면서 우리 주변에서도 흔히 4차산업의 산물들이 나타나기 시작했다. 그 중 우리 사회에 가장 직접적으로 나타난 것은 아마도 드론과 로봇일 것이다. 관련 기술

이 많이 개발되기도 했지만 이전 우리 사회에서 공간의 한계를 저비용으로 극복하기 위해 가장 많이 사용하는 방법은 이제 드론을 활용하는 것이 되었다. 방송 촬영 드론, 산불 감시, 방제 드론 등 다양한 분야에서 사용되고 있는데 이 중 가장 각광받고 있는 분야는 단연 물류 분야일 것이다[1, 2].

물류 배송 시장은 해가 거듭할수록 시장 규모가 커지고 물류 서비스를 제공하는 기업 또한 빠르게 성장하고 있는데 시장 규모가 급격하게 성장하면서 택배 단가가 낮아지면서 사람이 직접 택배를 배송하는데 한계에 이르

Received 31 May 2023; Finally Revised 8 June 2023;
Accepted 8 June 2023

[†] Corresponding Author : hanseob.lee@etri.re.kr

기 시작했다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 택배 물량을 분산하여 다른 수단을 통해 배송하는 것이 필요해졌다.

본 연구팀은 이러한 문제를 해결하기 위해 무인이동체를 활용해서 Last-Mile 배송 서비스 연구를 수행하였다. 드론이 물류 거점에서 최종 배송지 근처 또는 건물 옥상까지 물품을 배송하고 배송된 물품을 지상 로봇에 실어 최종 소비자에게 물품을 배송한다. 이를 수행하기 위해서는 드론이 도심지에서 정밀하게 착륙할 수 있도록 영상기반 자동착륙 알고리즘이 탑재되어야 하고 지상 거점으로부터 건물 옥상에 있는 목적지까지 자율 비행이 가능해야 한다. 영상기반 자동 착륙 알고리즘의 경우 연구 초기에는 영상처리 컴퓨터 성능의 한계로 주로 색상 마커를 이용해 착륙 연구가 수행되었다[3, 4]. 이후로는 영상처리 컴퓨터 성능이 우수해지면서 특정 형태의 마커를 인식하고 자동 착륙하는 연구도 진행되었다[5].

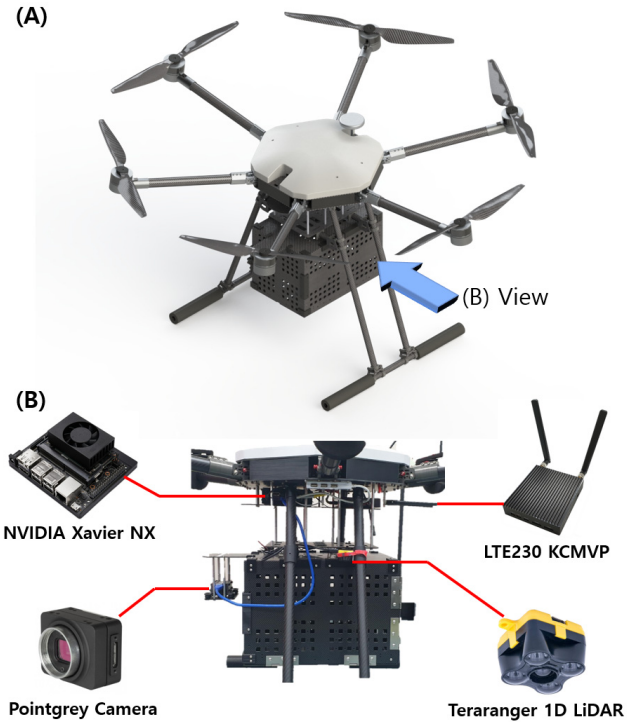
본 논문은 Last-Mile 배송 서비스에 포함된 배송 드론에 필요한 기술에 대해 개발한 내용을 다루고 있다. 먼저 드론이 수행할 임무는 물품 집하지에서 배송 물품을 실어 그 물품의 최종 목적지가 있는 건물 옥상에 물품을 나르는 것이다. 건물 옥상에는 물품을 배송 로봇으로 인계하는 중간 시설물이 있는데 그 시설물 지붕에 있는 마커에 정밀하게 착륙해서 물품을 내려놓아야 한다. 물품을 내려놓으면 배송 드론은 다시 출발지로 복귀해서 다음 물품 배송을 준비하게 된다. 이를 자동으로 수행하기 위해서 건물 상공까지 갈 수 있는 비행 임무와 지붕 위에 마커에 정밀하게 착륙할 수 있는 영상기반 착륙 알고리즘을 개발하였고 ETRI 원내에서 여러 번의 시범 운영을 통해 그 성능을 입증하였다.

2. 시스템 구성

2.1 하드웨어 구성

본 연구를 통해 개발된 배송 드론은 6개의 모터를 가진 Hexacopter 타입이다. 드론의 랜딩기어 사이에 물품을 실을 수 있는 적재함이 위치하고 적재함 앞쪽으로 하방에 H마커를 탐지할 수 있는 카메라가 탑재되어 있으며 적재함과 랜딩기어 사이에 아래 지면까지의 거리를 측정할 수 있는 1차원 Range Finder가 탑재되어 있다. 그리고 적재함 상판 위로 배터리 2개가 위치하며 그 위로 자율 비행 및 영상기반 자동 착륙 알고리즘이 실행되는 mission computer와 LTE 모듈이 위치한다. 전체적인 형상은 <Figure 1A>에서 볼 수 있고 내부 주요 센서 및 구성품들은 <Figure 1B>와 같다.

프로펠러를 포함한 드론의 전체 크기는 약 1.8m×1.8m 정도이고 기체 무게는 9.8kg이며 payload를 포함한 MTOW(Maximum Take-off Weight)는 22kg이다. 다른 세부 제원 내용은 <Table 1>의 내용과 같다.

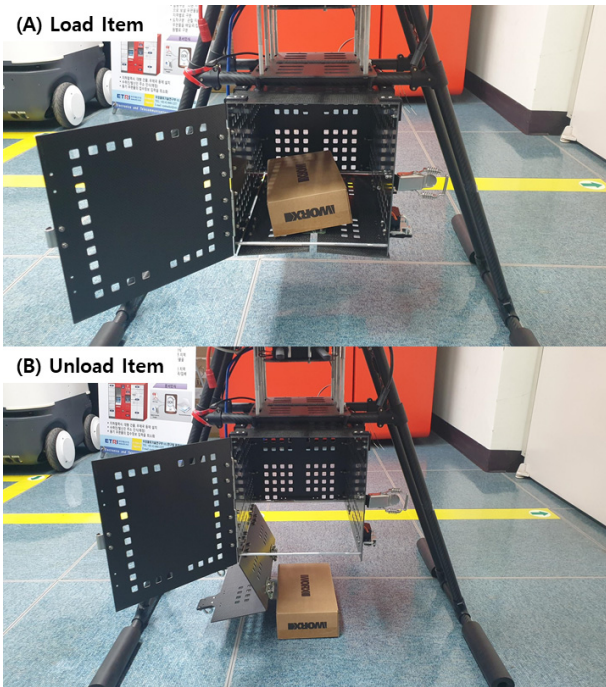


<Figure 1> Hardware Configuration of the Delivery Drone. (A) 3-D Rendering Image of the Drone, (B) The Side View of the Drone and Main Component for Autonomous Operation

<Table 1> Specification of the Delivery Drone

Items	Value
Max. Take-off Weight	22[kg]
Max. Flight Time	21[min]
Delivery Payload	5[kg]
Wind Endurance	10[m/s]
Size	1810×1810×680[mm]
Prop. Size	22.4×8[in]
Motor & ESC	170[KV] 60[A]
Battery	Li-Po 12S 16,000[mAh]

그리고 드론 하방에 부착된 적재함은 드론 후방에서 물품을 적재할 수 있도록 고정식 여닫이문으로 구성되어 있고 적재함 하단으로 물품이 투하될 수 있게 구성되어 있다. 적재함의 구성은 <Figure 2>의 그림과 같다.



<Figure 2> Cargo Box Installed under the Delivery Drone. (A) The Parcel is loaded in the Cargo Box. (B) The Parcel is unloaded from the Cargo Box

2.2 소프트웨어 구성

배송 드론에 탑재되는 소프트웨어는 물품 배송을 위해 자율 비행을 담당하며 배송 경로와 비상상황에 드론을 제어할 수 있는 Mission Planner가 있고 드론을 모니터링하고 배송 과정과 비상상황에 따라 명령을 내릴 수 있는 Ground Control System과 통신하기 위한 Comm Node, 그리고 하방 카메라로부터 들어오는 영상에서 H마커의 위치를 탐지하는 Marker Detection으로 구성되어 있다.

드론에 탑재된 NVIDIA Xavier NX에는 Ubuntu 20.04 LTS가 설치되어 있고 소프트웨어 알고리즘은 ROS Noetic 환경에서 개발되었고 프로그래밍 언어는 C++을 사용하였다.

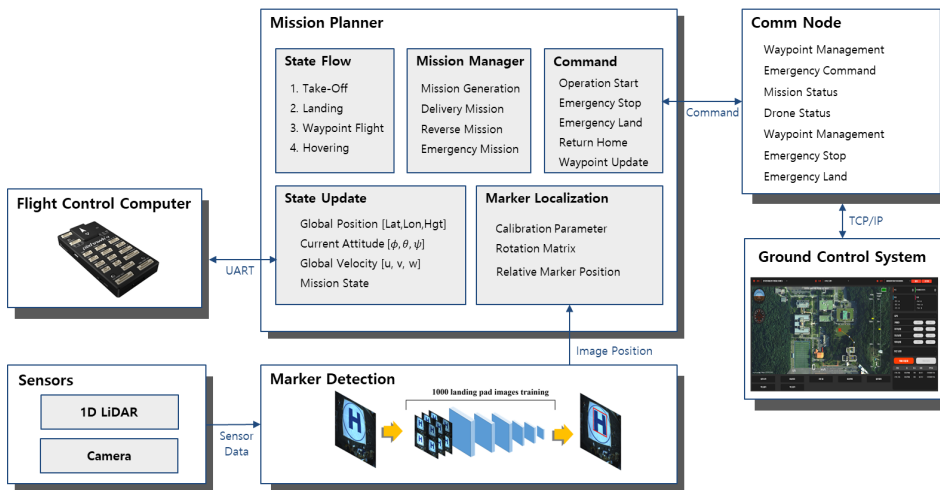
소프트웨어 아키텍처의 전체적인 데이터 흐름 구성은 <Figure 3>에 나온 것과 같다. 먼저 Mission Planner는 크게 다섯 가지 그룹으로 구성되어 있으며 드론을 임무에 따라 State 흐름을 관장하는 State Flow, GCS로부터 배달점 Array를 받았을 때 배송 임무로 변환하거나 출발지로 돌아오는 복귀 임무, 비상상황일 때 임무를 생성하는 Mission Manager, GCS로부터 배송 시작 및 여러가지 비상상황 명령을 받고 배달점 Array를 관리하는 Command, FCC(Flight Control Computer)로부터 드론의 State를 업데이트하는 State Update, 마지막으로 영상기반 착륙을 위해 마커 탐지 알고리즘으로부터 마커의 이미지 평면 위치를 받아서 드론의 현재 정보를 통해 마커 위치를 계산하는 Marker Localization 모듈로 구성되어 있다.

3. 알고리즘

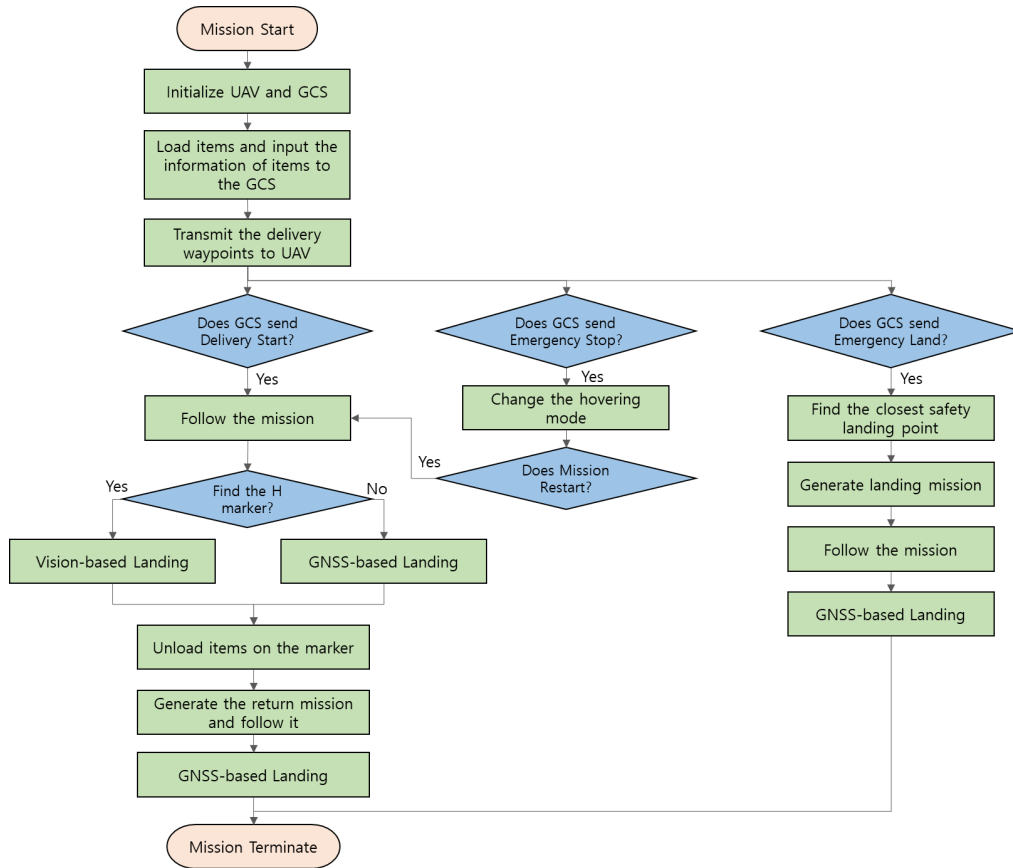
3.1 배송 자동화 알고리즘

드론을 이용해 배송 물품을 건물 옥상에 보내기 위해서는 배송 경로가 설정되어야 한다. 드론은 먼저 지상에서 배송 시스템 운용자에 의해 물품을 탑재하게 된다. 운용자는 배송 관제 시스템을 사용하여 해당 물품의 최종 목적지를 입력하면 현재 드론의 위치로부터 해당 목적지 건물 옥상까지 가는 경로를 드론으로 전송하게 된다. 본 임무를 수행하기 위한 Mission flow chart는 <Figure 4>와 같다.

GCS로부터 전송되는 배달점들은 위도, 경도, 해발고도 (Above Mean Sea Level, AMSL) 세 정보를 포함하고 있다.



<Figure 3> Software System Architecture and Data Flow Chart



<Figure 4> The Flow Chart of the Last-Mile Delivery Mission using UAV

GCS로부터 전송되는 배달점 Array를 DP 라고 하면 DP 는 n 개의 집합으로 구성되어 있으며 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$DP = \{dp_i \mid dp_i \in \mathbb{R}^3, i = 1, \dots, n\}$$

그리고 임무 생성 알고리즘에서는 GCS에서 보내준 Array 정보를 통해 이륙부터 착륙까지 자율 비행 임무를 생성해야 하는데 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$M = \{T(dp_1), W(dp_2), W(dp_3), \dots, L(dp_n)\}$$

위 식에서 $T(\cdot)$ 은 Take-off mission mapping으로 해당 점을 기준으로 이륙을 수행하는 임무를 나타낸다. $W(\cdot)$ 는 Waypoint mission mapping으로 해당점으로 웨이포인트 비행을 수행하는 임무를 나타낸다. 마지막으로 $L(\cdot)$ 은 Landing mission mapping으로 하방 영상으로 마커 탐지가 되었을 때 영상 기반 착륙을 수행하고 그렇지 않을 때 dp_n 을 기준으로 착륙하게 된다. 자세한 내용은 <Algorithm 1>에 Pseudo Code로 나타냈다.

Algorithm 1. $V_{cmd} \leftarrow \text{LandingMission}(P, C)$

```

1:  init :  $P, C$ 
2:   $L_{imp} \leftarrow P.position()$ 
3:  if flagDetection then
4:     $L \leftarrow \text{GeoLocation}(P, C)$ 
5:     $L_{imp} \leftarrow L$ 
6:  else
7:     $L \leftarrow L_{imp}$ 
8:  end if
9:   $V_{cmd} \leftarrow \text{Guidance}(L, P)$ 
10: Return  $V_{cmd}$ 
    
```

그리고 물품 배송을 완료하면 다시 처음 위치로 복귀하는 임무를 생성하게 되는데 복귀 임무는 아래 식과 같이 생성할 수 있다.

$$R = \{T(dp_n), W(dp_{n-1}), \dots, W(dp_2), L(dp_1)\}$$

복귀 임무는 GCS에서 받은 배달점 Array를 거꾸로 읽어 mission mapping을 수행하여 만들 수 있다.

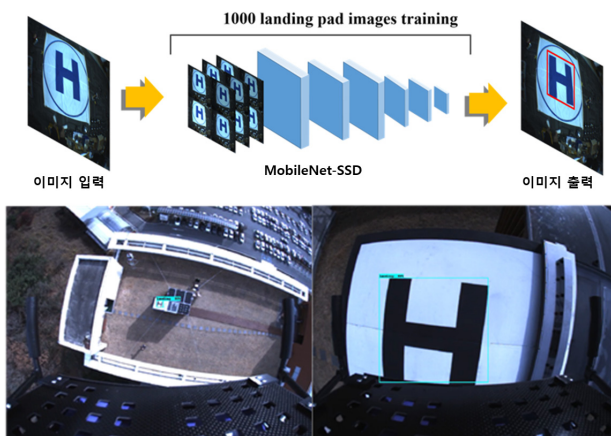
3.2 영상기반 정밀 착륙 알고리즘

물품을 적재한 드론이 착륙 지점 상공에 도착하면 건물

옥상에 설치된 중간 시설물에 착륙해야 한다. 로봇에 인계할 중간 시설물은 크게 만들 수 없기 때문에 최소한의 크기를 가져야 한다. 본 연구에서 사용된 마커의 크기는 1.5m×1.5m 라서 기본적으로 GPS 위치 기반이 아닌 영상 기반 정밀 착륙을 수행해야 한다.

영상기반 착륙을 수행하기 위해서는 먼저 카메라를 통해서 마커를 탐지해야 한다. 마커를 탐지하기 위한 여러가지 방법들이 있지만 본 연구팀은 임베디드 컴퓨터에서도 사용이 가능한 MobileNet-SSD라는 알고리즘을 활용하여 타겟을 학습하였고 학습된 모델을 대회에 사용하였다. MobileNet-SSD의 학습은 실제 환경에서 저장된 비디오로부터 추출된 이미지를 가지고 수행하였다. 입력 영상은 900×720크기로 30Hz의 속도로 들어왔다. 본 연구에서 이미지 영상처리 컴퓨터로 NVIDIA Xavier NX를 사용하였는데 NX는 384개의 GPU 코어를 가지고 있고 이를 통해 학습 기반 탐지 알고리즘을 실시간으로 운용할 수 있다.

드론에 탑재된 카메라를 통해 들어오는 이미지에는 드론 모터에서 나오는 진동 때문에 노이즈가 많이 발생한다. 이러한 센서 환경의 특성을 반영하기 위해서 본 연구팀은 데이터셋을 만들 때 정상 이미지와 함께 흐림 효과(Blur) 처리된 이미지를 추가하였다. 그리고 조도에 대한 강인성을 높이기 위해서 밝기가 조절된 이미지들도 함께 학습 데이터셋으로 추가되었다. MobileNet-SSD의 탐지 결과는 <Figure 5>에서 확인할 수 있다.



<Figure 5> The Results of Vision-based Detection

위의 탐지 알고리즘으로 H마커의 2차원 평면의 위치를 알았다면 다음으로 마커의 현실세계의 위치를 알아야 한다. 이는 탐지된 마커의 이미지 평면에서의 위치와 카메라 파라미터를 통해 알 수 있다. 본 연구에서 사용된 카메라는 Pointgrey에서 제공하는 Chameleon3라는 USB 카메라를 사용하였고 빛을 모으는 렌즈로는 어안렌즈(Fisheye Lens)를 사용하였다. 어안렌즈를 이용해 영상을 획득하면

넓은 영역을 볼 수 있는 장점이 있는 반면에 영상의 가장자리로 갈수록 영상의 왜곡이 심해지므로 이를 3차원 공간의 물리량으로 변환하는 작업이 필요하다. 이러한 프로세스를 Geo-Location 알고리즘이라고 한다. 본 연구에서는 드론과 마커의 상대 고도를 측정하기 위해서 1-D LiDAR를 사용하고 있다. 이 고도값을 이용해서 영상 평면 위에 있는 점을 North-East-Down(NED) 좌표계의 점으로 변환할 수 있다. 변환하는 과정은 아래와 같다.

이미지 평면의 위치에서 NED 좌표계로 변환하는 과정은 먼저 어안렌즈의 모델을 아래와 같이 나타내는 것으로부터 시작된다.

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ f(u, v) \end{bmatrix} = s \mathbf{R}_N^C \mathbf{x}_{rel}$$

위 식에서 u 와 v 는 2차원 이미지 평면에서 중심으로부터 거리를 나타내고 $f(u, v)$ 는 초점으로부터 어안렌즈에 맺히는 상까지의 거리를 나타낸다. 이 거리는 이미지 평면에 있는 타겟의 원점으로부터 거리에 polynomial function으로 approximation을 수행할 수 있는데 그 식은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$f(\rho) = a_0 + a_1\rho + a_2\rho^2 + a_3\rho^3 + \dots$$

where $\rho = \sqrt{u^2 + v^2}$

그리고 s 는 $s \in \mathbb{R}$ 이고 카메라 모델의 좌표계와 NED 좌표계간의 scale factor를 나타내고 \mathbf{R}_N^C 은 $\mathbf{R}_N^C \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$ 이며 NED좌표계와 카메라 좌표계 간의 상대 회전 행렬을 나타내고 있다. \mathbf{x}_{rel} 은 $\mathbf{x}_{rel} \in \mathbb{R}^3$ 이며 NED 좌표계에서 드론의 위치로부터 마커 위치까지의 상대거리를 나타내는 벡터이다. 우리가 알고 싶은 변수는 NED 좌표계의 마커 위치인데 이를 구하기 위해 카메라 모델 식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{x}_{rel} = \begin{bmatrix} x_{rel} \\ y_{rel} \\ H \end{bmatrix} = s^{-1} \mathbf{R}_C^N \begin{bmatrix} u \\ v \\ f(u, v) \end{bmatrix}$$

위 식에서 우리는 마커가 있는 높이를 알고 있을 때 상대고도를 알 수 있으므로 결과적으로 우리가 모르는 변수는 x, y, s 세 가지가 있다. 마커와의 상대 고도 H 를 알고 있으므로 이를 이용해서 다음과 같이 scale factor s 를 구할 수 있다.

$$s = H^{-1}(R_{31}u + R_{32}v + R_{33}f(\rho))$$

위 식과 같이 s 를 구하면 다음과 같이 NED좌표계에서

마커의 상대 위치를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_{rel} &= s^{-1}(R_{11}u + R_{12}v + R_{13}f(\rho)) \\ y_{rel} &= s^{-1}(R_{21}u + R_{22}v + R_{23}f(\rho)) \end{aligned}$$

Geo-location을 수행하기 위해서는 카메라가 어떤 각도로 기울어져 있는지 아는 것이 중요하다. 만약 영상에서 측정된 마커의 위치가 전방에 있는데 이것이 실제로 카메라의 각도에 의해서 측정된 값이라면 제어 입력을 생성하기 전에 보정해야 한다. 본 과제에서는 카메라를 무인기 하방에 방진 처리를 수행해서 고정하였기 때문에 무인기의 자세값이 카메라의 기울어진 각도가 된다.

위의 과정으로 마커의 상대 위치를 알게 되면 이 정보를 이용해 마커에 도달하는 제어 명령을 생성해야 한다. 먼저 수평 속도 명령은 아래 식과 같이 생성할 수 있다.

$$\begin{aligned} \vec{v}_{cmd} &= \mathbf{R}(\psi)(\mathbf{K}_p \vec{e} + \mathbf{K}_d \dot{\vec{e}}) \\ \mathbf{K}_p &= \begin{bmatrix} K_{px} & 0 \\ 0 & K_{py} \end{bmatrix} \quad \mathbf{K}_d = \begin{bmatrix} K_{dx} & 0 \\ 0 & K_{dy} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

위 식에서 \mathbf{K}_p 는 proportional gain matrix를 나타내고 \mathbf{K}_d 는 derivative gain matrix를 나타낸다. \vec{e} 와 $\dot{\vec{e}}$ 는 각각 드론과 마커 사이의 상대 위치 에러 및 상대 속도 에러 벡터를 나타낸다. 에러 벡터는 Global 좌표계에서 정의된 값들이고 속도 명령은 드론의 Body 좌표계에서 정의된 값들이다. 따라서 Global 좌표계의 에러값들을 Body 좌표계로 회전시킬 필요가 있다. 위 식의 $\mathbf{R}(\psi)$ 는 $\mathbf{R}(\psi) \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$ 로서 현재 드론의 heading 각도, ψ 만큼 회전하는 행렬을 나타내고 있다. 마커를 발견하고 고도를 내리는 수직 속도의 경우 다음과 같은 조건으로 명령이 만들어지도록 했다.

$$v_z = \begin{cases} 0.1 & \text{if } \|\vec{e}\| > 5.0m \\ 0.5 & \text{if } \|\vec{e}\| \leq 5.0m \text{ and } H > 0.3m \\ 0.3 & \text{if } H \leq 0.3m \end{cases}$$

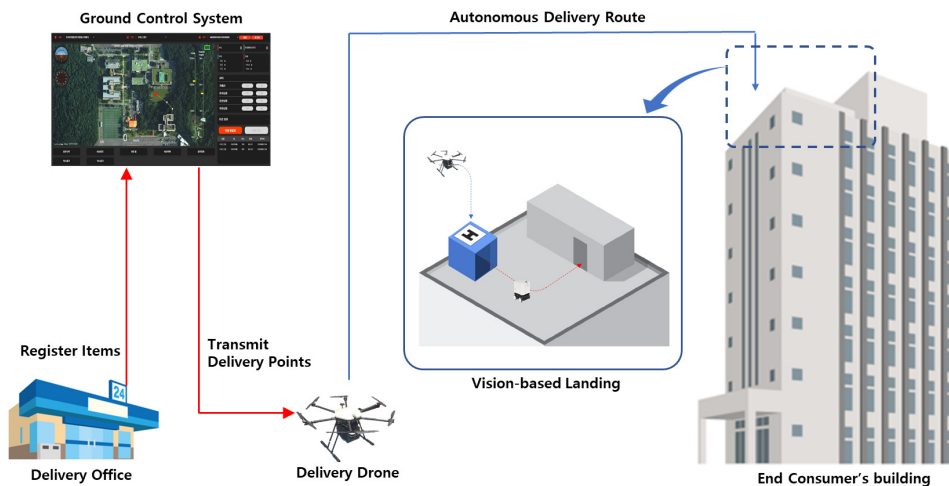
위 식에서 v_z 는 아래방향이 +방향인 수직 속도 명령이며 마커와의 수평 위치 에러의 절대값이 5m보다 클 때는 0.1m/s의 속도로 천천히 내려오고 5m 이내에 있는데 고도가 0.3m보다 높을 때는 0.5m/s 속도로 하강하며 마지막 마커 위의 착륙직전의 단계에서는 0.3m/s로 본래의 하강속도보다 감속하여 착륙한다. 이 단계에서도 같은 속도로 착륙하게 되면 마커와 가까워질 때 발생할 수 있는 ground effect 때문에 착륙 위치가 흔들릴 수 있으므로 속도를 줄여서 충분히 수평 에러를 줄이면서 착륙할 수 있도록 위와 같은 velocity profile을 구성하였다.

4. 실험 결과

4.1 배송 실증 시나리오

개발된 시스템을 검증하기 위해서 본 연구팀은 ETRI 내부에서 시범운영을 수행하였다. 시범 운영 시나리오는 <Figure 6>의 그림과 같다.

먼저 지상에 있는 물품 집하소에서 운용자가 관제시스템을 통해 물품을 등록하고 등록된 물품을 드론 적재함에 적재하여 드론 배송을 준비한다. 드론 배송 준비가 완료되면 관제시스템에 배송 시작 버튼을 누르면 드론이 이륙하면서 드론 배송이 시작된다. 드론은 관제시스템으로부터 받은 웨이포인트를 따라 비행하면서 건물 옥상으로 비행하게 된다. 물품을 투하할 인계 시설물에 도착하게 되면 하방 영상으로부터 마커가 발견되게 되고 그림



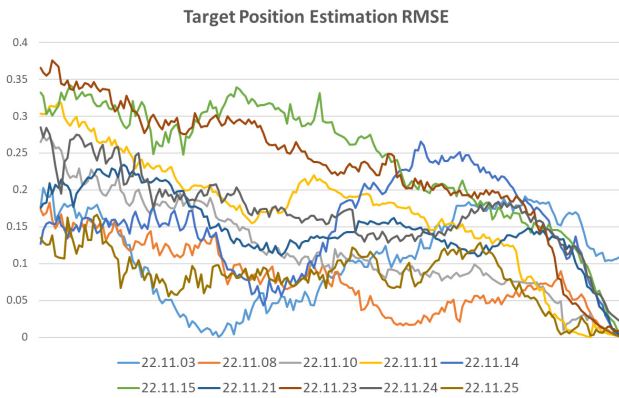
<Figure 6> The Scenario of the Last-Mile Delivery using UAV/UGV Platforms

착륙 모드로 변경될 때 영상기반 착륙 프로세스를 거치게 된다. 마커를 따라 정밀 착륙을 완료하게 되면 마커 위에 물품을 투하하게 되고 드론은 다시 이륙해서 지상에 출발지로 다시 비행하여 도착하게 되면 배송 시나리오가 마무리된다.

4.2 정밀 착륙 결과

시나리오를 따라 드론이 영상 기반 착륙을 수행하게 되는데 착륙 마커의 위치 정확도를 평가하기 위해서는 마커의 절대 위치를 알아야 한다. 마커의 절대 위치를 측정하여 비교하기는 쉽지 않기 때문에 본 연구에서는 마커에 도달하기 바로 직전고도 0m~0.5m 사이의 데이터를 평균을 내서 참값으로 간주하고 약 10m 고도부터 착륙하는 동안의 RMSE를 계산하여 성능을 비교하였다.

아래에 있는 <Figure 7>은 시범운영 기간에 약 10회의 데이터를 분석하여 RMSE 그래프를 나타낸 그림이다. 그래프를 보면 대부분의 경향이 높은 고도에 있을 때 오차가 크게 시작하여 착륙하면서 점점 작아지는 경향성을 확인할 수 있다.



<Figure 7> The RMSE Graphs for the Accuracy of the Position of the Marker

10회에 걸친 시범운영에서 착륙 마커 인식 정확도의 평균은 약 0.151m로 측정되었다.

4.3 배송 시나리오 결과

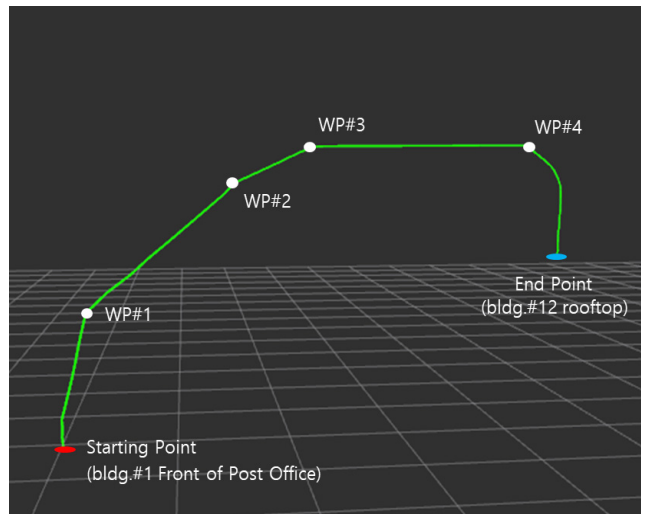
앞서 설명한 시나리오대로 본 연구팀은 ETRI 내부에서 시범운영을 일정기간 동안 진행하였다. 시범 운영을 진행하면서 대부분의 테스트에서 정밀한 착륙 성능을 확인할 수 있었고 물품 투하 또한 잘 되는 것을 확인할 수 있었다. 아래 <Figure 8>은 드론이 착륙할 때 찍은 스냅샷을 나타

냈는데 그림에서 확인할 수 있듯이 드론 크기만한 마커 위에 정밀하게 착륙하는 것을 볼 수 있다.



<Figure 8> The snapshots of the Vision-based Landing

그리고 <Figure 9>는 드론이 배송을 수행하면서 기록한 비행 궤적 데이터를 3차원으로 표시한 그래프이다. 그림을 보면 처음 지상에 있는 시작점에서 배송 시작했을 때 자동으로 이륙하여 4개의 Waypoints들을 지나서 마지막 도착지점에는 영상 기반으로 정밀하게 착륙한 비행 궤적 결과를 확인할 수 있다.



<Figure 9> The 3-D Trajectory of the Last-Mile Delivery using UAV

5. 결 론

본 연구는 Last-Mile 배송 서비스를 수행하기 위해 드론에 적용되어야 할 배송 자동화 알고리즘과 영상기반 자동 착륙 알고리즘에 대한 내용이다.

배송 자동화 알고리즘은 관제시스템으로부터 전송된 배송점을 기반으로 배송 경로와 복귀 경로를 생성하기 위해서 mission mapping이라는 개념으로 배송 임무를 생성하였다. 영상기반 자동 착륙 알고리즘은 먼저 인공지능 기반으로 인계 시설물 지붕에 설치된 H마크를 인식하고 인식된 정보와 드론의 상태 정보를 바탕으로 착륙 마커의 절대위치를 정밀하게 추정하였고 그 위치를 바탕으로 착륙 Guidance와 고도 프로파일을 설계하여 본 연구에 적용하였다.

개발된 알고리즘은 ETRI 내부에서 시범 운영을 통해 알고리즘의 강건성을 검증하였고 앞으로도 계속 시범 운영을 통해 본 서비스를 고도화할 예정이다.

Acknowledgement

This study was supported by Korean Evaluation Institute of Industrial Technology(KEIT) grant funded by the Korea government(MOTIE) (00256794, Development of drone-robot cooperative multimodal delivery technology for cargo with a maximum weight of 40kg in urban areas)

References

- [1] Han, K.S. and Jung, H., Trends in Logistics Delivery Services Using UAV, *Electronics and Telecommunications Trends*, 2020, Vol. 35, No. 1, pp. 71-79.
- [2] Heutger, M. and Kückelhaus, M., Unmanned aerial vehicle in logistics a DHL perspective on implications and use cases for the logistics industry. In DHL Customer Solutions & Innovation Bonn, Germany, 2014.
- [3] Kim, J.W., Lee, D.S., and Shim, H.C., Vision-based Target Detection and Geo-location System for UAVs using a Smartphone, *Proceeding of KSASS*, 2013, pp. 457-460.
- [4] Lee, H.S., Jung, S.W., and Shim, H.C., Vision-based UAV landing on the moving vehicle, 2016 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2016, Arlington, VA, USA, pp. 1-7.
- [5] Lee, H.S., Lee, D.S., Cho, S.W., Kim, H.K., and Shim, H.C., Design of Vision-based Autonomous Landing System on the Moving Vehicle, *Proceeding of KSAS*, 2017, Samcheok, Korea, pp. 570-571.

ORCID

Hanseob Lee | <http://orcid.org/0000-0003-4186-9418>
 Hoon Jung | <http://orcid.org/0000-0003-3962-9562>