

무인항공기 보조항법을 위한 데이터링크 기반 거리측정 기술 설계 방안

심 의 석*, 송 충 호*, 오 일 혁*, 최 재 원**

A Study on the Ranging Methods for the UAV Data-Link Systems

Eu-Suk Shim*, Choong-Ho Song*, Il-Hyuk Oh*, Jae-Won Choi**

요 약

현재 운용하는 무인항공기의 경우 데이터링크를 통해 비행체와 지상통제 시스템간의 통신을 수행하며 지상에서 제어명령의 송신과 상태정보와 영상등의 정보를 수신하게 된다. 중거리 이상의 거리를 비행하는 비행체의 경우 GPS와 INS를 결합한 복합항법 기능을 사용하여 항법 장치의 안정성을 확보한다. 하지만 INS는 GPS가 재밍 혹은 간섭에 의해 문제가 발생할 경우 정확도를 보장할 수 없다. 데이터링크를 사용한 위치측정기능은 GPS 재밍 등의 문제로 복합항법 사용이 어려워졌을 때 INS를 보정할 수 있는 유용한 기능이다. 본 논문에서는 데이터링크를 사용한 비행체 위치측정을 위한 지상통신장비와 비행체 간 거리측정 방법과 설계 고려사항에 대해서 기술 한다.

Key Words : UAV, Data-link, INS, GPS, Ranging

ABSTRACT

Generally, inertial navigation system (INS) is used for the unmanned aerial vehicle (UAV) systems. However, if global positioning system (GPS) does not operate normally due to interference or satellite jamming, the position error of INS is linearly increased. In this time, the positioning method using data-link system is one of candidates for the GPS. Data-link based positioning can be divided direction measurement and ranging. In this paper, two ranging methods for data-link based positioning are introduced. In addition, we will discuss the problems that need to be considered in implementing ranging and how to solve them.

1. 서 론

무인항공기 (UAV : Unmanned Aerial Vehicle)는 조종사의 직접적인 탑승 없이 정찰, 감시, 전투 등의 임무를 수행하는 항공기를 의미한다.^[1] 무인항공기는 그림 1과 같이 순항가능거리에 따라 근거리, 중거리, 장거리, 그리고 임무고도에 따라 저고도, 중고도, 고고

도 무인항공기로 분류 가능하다. 이와 같이 무인항공기는 취미 목적의 근거리 무인항공기부터 고고도에서 정찰임무를 수행을 목적으로 하는 무인항공기까지 다양한 형태로 개발되고 있다.^[2] 무인항공기 중 비 가지 거리에서의 사용을 목적으로 개발되는 무인항공기의 경우 지상통제소의 조종사가 데이터링크를 통해 전달 되는 정보만을 사용하여 임무를 수행하게 된다. 따라

※ 본 연구는 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.

♦ First and corresponding author : LIG Nex1, eusuk.shim@lignex1.com, 정희원

* LIG Nex1, choonghosong@lignex1.com; ilhyuk.oh@lignex1.com

** Agency for Defense Development, choijw@add.re.kr, 정희원

논문번호 : 201903-015-C-RE, Received March 10, 2019; Revised April 10, 2019; Accepted April 16, 2019

서 지상통제소에서 비행체의 정확한 항법정보를 전달 받지 못하게 될 경우 임무를 성공적으로 수행하지 못할 뿐 아니라 항공기 자체의 생존성 또한 보장하기 힘들게 된다. 무인항공기에서는 이러한 문제 해결을 위해 복합항법장치를 적용한다. 복합항법장치는 관성항법 (INS : Internal Navigation System)과 GPS (Global Positioning Systems), GNSS (Global Navigation Satellite Systems) 등의 위성항법, 그 외의 가용한 보정센서를 결합하여 비행체의 정확한 위치, 속도, 자세를 실시간으로 제공하는 장치이다.^[3, 4]

관성항법장치는 초기 위치 및 자세를 기반으로 가속도계와 자이로스코프를 이용하여 이동체의 현재 위치와 속도 그리고 자세정보를 제공해 준다. 가속도계와 자이로스코프는 자체 정확도에 따라 차이는 발생할 수 있으나 오차를 지속적으로 누적시킨다는 문제점이 있다. 이로인해 일정시간 이상 비행했을 경우 정확도가 오차 누적치만큼 감소하기 때문에 충분한 수준의 정확도를 보장할 수 없다. 복합항법장치는 관성항법장치의 오차누적을 보정하기 위해 위성항법정보를 이용하여 주기적인 위치 및 자세 보정을 수행하게 된다.^[5]

하지만 위성항법정보가 전파방해(Jamming)등의 상황으로 인해 정상적으로 수신 불가능해질 경우에는, 관성항법장치의 오차를 보정해줄 수 없으므로 무인항공기의 안전성을 보장 할 수 없게 된다. 이러한 GPS 수신 불가 상황 발생을 고려하여 데이터링크는 DSSS 등을 적용하여 링크 유지를 보장한다.^[6] 따라서 재밍 상황에서 항법을 보조하기 위한 목적으로 데이터링크를 통한 무인기 위치 측정방법이 유용하게 사용될 수 있다.

데이터링크를 사용한 무인기의 위치 측정을 위해서는 비행체의 방향을 획득하기 위한 지상통신장비의 비행체지향 안테나 고각, 방위각 정보와 비행체와 지

상통신장비간의 거리를 측정하여 제공할 수 있어야 한다.^[5,6]

지상통신장비가 비행체가 송신하는 RF 신호만으로 비행체를 지향하고 이를 통해 방위각 및 고각정보를 획득하기 위해서는 모노펄스 방식의 RF 추적 기법을 사용한다. 모노펄스 방식은 하나의 펄스만을 사용하여 신호의 방향을 추적하는 방법으로, 매 펄스 주기마다 표적의 추적이 가능하기 때문에 빠르게 이동하는 비행체의 고속추적에 적합한 방식이다.^[7]

비행체와의 거리측정을 위해서는 일반적으로 두 가지 방식이 사용가능한데, 이는 각각 내부 기준시간 기반 거리측정 방법과 외부 기준시간 기반 거리측정 방식이다. 내부 기준신호 기반의 거리측정 방식은 지상통신장비에서 송신한 모뎀프레임 신호 타이밍을 기준으로 탑재통신장비의 송신 타이밍을 결정 한 후, 최종적으로 지상통신장비에서 송신한 심볼의 타이밍과 수신한 프레임 타이밍의 차를 사용하여 신호의 Round Trip Delay (RTD)를 계산, 거리를 측정하는 방식이다.^[6] 내부 기본신호 기반 측정방식은 기존 모델의 기능을 추가하여 구현이 가능하기 때문에 거리측정을 위해 추가적인 하드웨어의 변경사항 없이 적용이 가능한 장점이 있다. 하지만 거리를 측정하여 비행체가 다시 해당 정보를 수신하기 까지 총 3번의 송수신 과정이 필요하기 때문에, 비행체의 속도 및 거리에 따라 오차가 증가하게 된다. 또한 내부 처리지연시간의 측정 오차가 발생할 경우 거리측정에 심각한 오류를 발생시킬 수 있다.

반면 외부 기준시간 기반의 측정방식의 경우는 비행체와 지상통신장비간의 동기화된 신호가 필요하기 때문에 이를 위한 추가적인 장비와 설계가 필요하다. 하지만 비행체에서 수신신호를 기반으로 거리를 측정하기 때문에 고속이동 및 장거리 비행체의 거리측정의 정확도 측면에서 유리하다.

본 논문에서는 두 가지 거리측정 방식의 비교와 함께 외부 기준시간을 기반으로 하는 거리측정 방식의 설계 및 구현 고려사항을 기술하고 영향성에 대한 시험 및 분석을 수행한다.

II. 데이터링크 기반 무인항공기 거리측정 방법

무인기 시스템의 구성은 임무를 수행하게 되는 무인항공기와 이를 지상에서 통제하여 임무를 지휘하고 운영하는 통제장비 마지막으로 통제장비와 무인항공기 상호 제어 및 임무정보등을 송수신하는 데이터링크로 구성 된다. 이 중 데이터링크는 무인항공기에 장

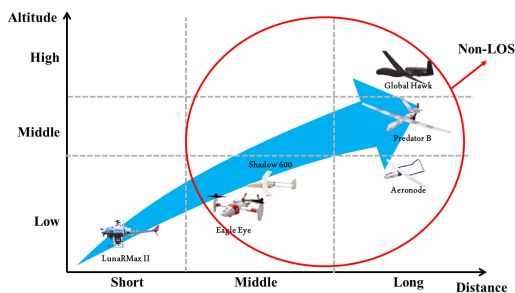


그림 1. 무인항공기의 분류
Fig. 1. Classification of the UAV systems

착되는 탑재통신장비(Airborne Data Terminal, ADT)와 지상의 통제장비와 연동되는 지상통신장비(Ground Data Terminal, GDT)로 구성된다.^[6]

데이터링크를 통해 비행체의 위치정보를 획득하기 위해서는 비행체 방향정보와 ADT와 GDT간 거리 정보가 필요하다.

비행체의 방향정보는 GDT 안테나의 지향정보를 통해 획득 하여야 한다. 이를 위해 GDT는 모노펄스 방식의 RF 추적 기능을 보유하여야 한다. 모노펄스 시스템은 신호를 모노펄스비교기를 통해 수신신호를 방위각 및 양각 차신호와 합신호로 분리하여 모노펄스 수신기에서 입력신호의 합과 차를 비교하여 정지 방향대비 반사판의 안테나의 신호대비 오차각을 분석하고 안테나의 구동부는 분석된 오차각을 사용하여 안테나의 방위각 고각을 신호방향을 지향하도록 구동하게 한다.^[8,9]

모노펄스 방식의 RF 추적기능은 비행체의 GPS를 지속적으로 수신하여 방향을 지향하는 추적방법과 비교하여 지상에서의 추적 방향의 실시간성의 보장에 따른 성능 향상을 기대할 수 있다. 특히 무인항공기의 경우 비행체의 GPS 정보를 메시지 기반으로 수신하기 때문에 GDT에서 획득하는 ADT의 GPS 위치정보가 지연되어 수신되므로 빔폭이 좁은 협각 안테나를 사용하는 시스템에서 성능 확보에 어려움이 있다. 반면 모노펄스 기반의 RF 추적을 사용할 경우 GDT에서 안테나의 위치보정을 실시간으로 할 수 있어 향상된 성능을 기대할 수 있다. 또한 비행체에서 GPS 정보를 비정상적으로 수신하게 되는 경우에도 비행체의 방향을 정상적으로 지향 할 수 있기 때문에 데이터링크 기반 보조항법 기능에 적합한 추적 방식이다.

ADT와 GDT 사이의 거리 측정을 위해서는 비행체와 지상통신장비간 동기화된 시간 기준점이 필요하다. 이차이에 따라 거리측정방법은 GDT의 시간을 기준

로 사용하는 내부 기준시간 기반의 거리측정 기법과 ADT와 GDT간 동기화된 시간 기준점 (1pps)을 제공하여 사용하는 외부 기준시간 기반 거리측정 방법으로 분류 가능하다.

2.1 내부 기준시간 기반 거리측정 방법

내부 기준시간 기반의 거리측정 방법은 무선모뎀의 RTD를 측정하여 계산한다. 측정방법은 그림2와 같다. ADT는 GDT에서 송신한 신호의 시간동기를 획득 시점에 송신 신호를 GDT에 전달하게 된다. GDT에서는 수신신호 획득 시점과 이전 자신의 송신 시점을 비교하여 거리를 측정하게 된다. 따라서 측정된 거리는 다음과 같이 계산된다.

$$L = \frac{t_{RTD} - ((t_{G_{Tx}} + t_{A_{Rx}}) + (t_{A_{Tx}} + t_{G_{Rx}}))}{2} \times c \quad (1)$$

여기에서 t_{RTD} 는 측정된 RTD 시간으로 모뎀 처리 시간과 전파지연시간을 포함하며 아래의 수식과 같이 표현 가능하다.

$$t_{RTD} = 2t_D + ((t_{G_{Tx}} + t_{A_{Rx}}) + (t_{A_{Tx}} + t_{G_{Rx}})) \quad (2)$$

t_D 는 ADT, GDT간 신호의 전파지연시간, $t_{G_{Tx}}, t_{G_{Rx}}$ 는 각각 GDT 송신과 수신 처리시간, $t_{A_{Tx}}, t_{A_{Rx}}$ 는 ADT의 송신과 수신 처리시간을 의미하며, c 는 광속을 의미한다. 따라서 $(t_{G_{Tx}} + t_{A_{Rx}})$ 는 GDT에서 ADT로의 상향 송신 처리시간이며, $(t_{A_{Tx}} + t_{G_{Rx}})$ 는 하향 송신 처리시간이다. 수식 (1)에서 확인 할 수 있듯이 내부기준 시간을 사용하여 정확한 거리를 측정하기 위해서는 상향과 하향 송수신 처리시간을 계산하여 보정해 주어야 한다.

통신장비들의 송수신 처리시간이 완벽하게 계산되어 있다고 하더라도, 거리가 계산 되는 동안의 시간 동안 이동한 비행체의 거리만큼 측정 오차는 누적되게 된다. 측정된 거리정보는 비행체로 전달되어 항법 신호를 보조하도록 되어 있기 때문에, 비행체의 이동 거리에 따른 측정 누적 오차는 아래의 수식 (3)과 같이 계산된다.

$$L_c = \left(\frac{3}{2} t_D + (2(t_{G_{Tx}} + t_{A_{Rx}}) + (t_{G_{Rx}} + t_{A_{Tx}})) \right) \times v \quad (3)$$

일반적으로 전파지연시간은 거리가 가깝다면 모뎀

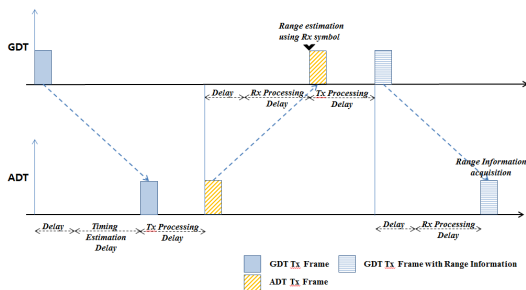


그림 2. 내부 기준시간 기반 거리측정 방법 방법
Fig. 2. Ranging method based on Internal Reference Time

의 송수신 처리시간에 비해 매우 작기 때문에 수식 (3)은 최종적으로 수식 (4)와 같이 표현 가능하다.

$$L_e \approx (2(t_{G_{Tx}} + t_{A_{Rx}}) + (t_{G_{Rx}} + t_{A_{Tx}})) \times v \quad (4)$$

2.2 외부 기준시간 기반 거리측정 방법

무인항공기는 항법정보를 위해 GPS를 사용하게 된다. 외부 기준시간 기반의 거리측정 방법은 이렇게 수신된 GPS의 1pps 정보를 GDT와 ADT간의 기준시간으로 사용하여 거리를 측정하는 방법으로 그림 3과 같이 동작하게 된다. GDT는 1pps를 기준으로 신호를 송신하고, ADT는 수신신호의 1pps 기준 지연시간을 측정하여 거리를 계산하게 된다. 따라서 거리는 아래의 수식 (5)와 같이 계산할 수 있다.

$$L = (t_{RD} - (t_{G_{Tx}} + t_{A_{Rx}})) \times c \quad (5)$$

수식 (5)에서 t_{RD} 는 기준신호 대비 수신 신호의 지연시간을 나타낸다.

외부의 기준시간을 사용하여 거리를 측정하게 될 경우 그림 3과 같이 한 번의 신호 수신만으로 거리 측정이 가능하기 때문에, 신호 측정까지의 지연시간이 내부 기준시간 기반의 거리측정 방법에 비해 빠르다. 따라서 측정 시간동안 이동하게 되는 비행체의 거리도 상대적으로 작게 된다. 외부 기준신호 기반의 거리 측정방법을 상대할 경우의 계산시간 동안 이동하는 비행체의 거리에 따라 누적되는 오차는 아래의 수식과 같이 계산 된다.

$$L_e \approx (t_{G_{Tx}} + t_{A_{Rx}}) \times v \quad (6)$$

그림 3은 외부 기준신호와 내부 기준신호를 사용한

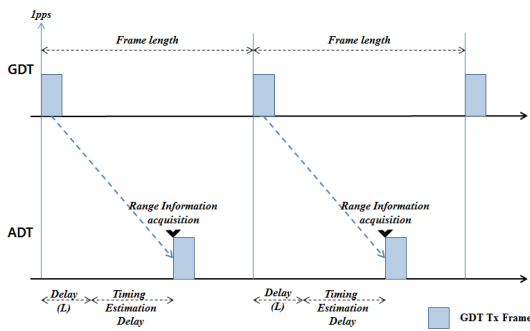


그림 3. 외부 기준시간 기반 거리측정 방법
Fig. 3. Ranging method based on External Reference Time

거리측정 시 비행체 속도에 따른 이론적인 거리 오차를 보여준다. 이 경우 메시지 복조까지 걸리는 신호 지연시간을 상향링크 전송의 경우 50ms로 하향링크 전송은 25ms로, ADT와 GDT간의 거리는 200km 떨어져 있다고 가정하였다. 상향과 하향의 신호처리 시간이 다른 이유는 일반적으로 영상을 송신하게 되는 하향송신에 보다 높은 대역폭을 할당하여 심볼 처리 시간이 감소하기 때문이다. 내부 기준시간을 사용하는 경우는 비행체가 거리측정 정보를 얻기까지 2번의 상향신호의 전송과 1번의 하향신호 전송 과정이 필요하지만 외부 기준신호를 사용하는 경우에는 1번의 상향신호 전송만을 필요로 하기 때문에 그림 4와 같은 결과가 발생하게 된다. 또 한 이러한 오차의 크기는 비행체의 속도가 빨라질수록 더욱 크게 발생한다.

이처럼 비행체의 속도와 통신장비의 지연시간 성능에 따라서 내부 기준시간을 사용하는 경우보다 외부 기준시간을 사용할 경우 위치 측정의 성능면에서 보다 유리하다. 하지만 외부 기준시간 기반의 경우 추가적인 하드웨어와 설계 고려사항이 존재한다.

2.1.1 1pps 신호지연 보상

지상통신장비와 비행체는 서로 다른 형상과 특성을 요구하기 때문에 동일한 1pps 장비의 사용은 물론 1pps 신호의 전달 방법도 다를 수밖에 없다. 이 경우 GPS의 수신기 혹은 배선의 차이로 인해 지상과 비행체에서 수신하는 1pps 각각의 특성이 서로 달라진다. 일반적으로 지상통신장비의 경우 GPS 수신기에서 생성하는 1pps 신호를 통신장비에서 즉각적으로 수신할 수 있는 반면에 비행체의 경우 비행체 설계특성에 따라 신호선이 길어져 1pps 신호가 지연되기 때문에 측정 오차가 발생하게 된다. 따라서 장비 설계 시 이 부분을 고려하여 오차를 보상하여야 한다. 오차 보상 방식으로는 시스템 장착 전 하드웨어적으로 1pps 입력

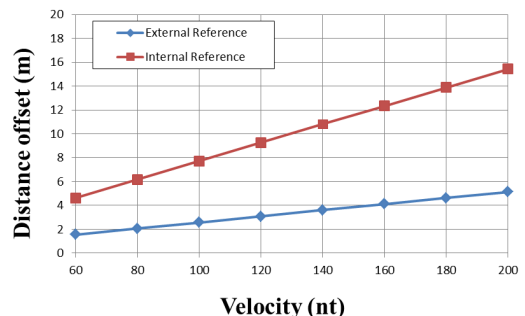


그림 4. 측정방법 별 속도에 따른 거리 오차
Fig. 4. Distance offset caused by UAV velocity.

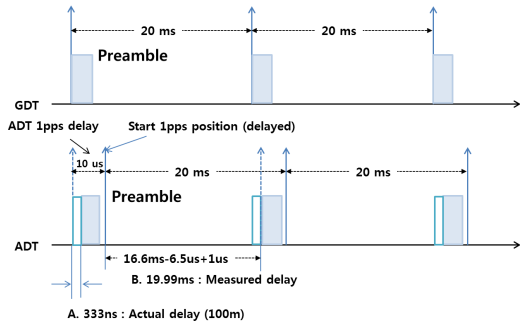


그림 5. 1pps 지연오차에 따른 거리 오차 발생
Fig. 5. Distance offset caused by 1pps delay

신호를 측정하고 이를 보상에 두는 방법과 GPS 신호가 정상적으로 동작할 때 GPS 기반 거리측정을 통해 현재의 오차를 소프트웨어 적으로 보상하는 방안이 있다.

그림 5는 지상통신장비와 비행체간의 거리가 100m 가량 떨어져 있을 때 1pps 신호의 오차가 발생시키는 거리측정 오차를 보여준다. 거리측정을 위해 데이터링크에서 송신하는 프리앰블의 주기는 20ms 이며 지상의 1pps와 비교한 비행체 1pps 오차는 10us가 발생한 경우이다. 이때 실제 측정되어야 하는 거리는 333ns에 해당하는 100m 이어야 하지만 (A) 실제 측정되는 거리는 599km (19.99 ms, B)로 큰 차이로 오차가 발생하게 된다. 이 경우 약 3km (10us) 정도 비행체와의 거리가 멀어지면 그 때부터 0m로 거리가 측정 될 것이다. 이처럼 1pps의 오차는 가까운 거리의 경우 더 큰 오류를 발생 시킬 수 있다.

2.1.2 홀드오버 성능

데이터링크 기반의 거리측정이 사용되는 시점은 GPS의 재밍등에 의해 1pps가 정상적으로 수신되지 않게 될 경우이다. 따라서 비행체와 지상통신장비에 설치되는 GPS 수신기는 외부 신호가 비정상적으로 동작할 경우에도 정상적인 1pps를 송출 할 수 있도록 하는 기능이 필요하다. 일반적으로 이러한 기능을 홀드오버라 한다. 특히 1pps의 성능에 민감한 외부 기준 시간 기반 거리측정을 위해서는 홀드오버 성능이 중요하다. 비행중 문제가 발생한 시점부터 비행체의 회항까지의 시간을 고려하여 적절한 시간동안은 충분한 홀드오버 성능을 제공하는 제품을 선정하는 것이 중요하다.

그림 6은 Trimble사의 mini-T GG 모델의 형상이며, 해당 모델에 대한 홀드오버 성능시험의 결과는 그림7과 같다. 시험은 약 1시간 GPS를 연동하여 학습을



그림 6. Mini-T GG GPS 수신기 (Trimble社)
Fig. 6. Mini-T GG GPS receiver (Trimble)

수행 하고, 이 후 GPS를 제거하여 홀드오버 모드에 진입하도록 한 상태에서 성능을 측정 하였다. 그래프의 x축은 시험시간을 y축은 오차를 나타낸다. 전원을 인가한 이 후 일정 시간동안은 모듈이 GPS를 정확히 잡지 못해 오차를 발생시키지만 약 10분 후부터 0ns를 중심으로 ±10ns 이내의 오차 범위에서 동작함을 알 수 있다. 전원이나 1시간 후 홀드오버 모드에 진입 후 약 10분간은 오차범위가 10ns 이내임을 알 수 있다. 하지만 이 후 오차범위가 급격히 벌어져 홀드오버 모드 진입 20분 후에는 90ns까지 오차가 증가하였다. 1pps 신호가 약 10ns 정도의 오차를 발생시킬 경우 거리 측정오차는 약 3m 발생하게 되므로, 시험에 사용한 모듈 1시간 학습 후의 홀드오버 성능은 20분 후 약 30m 오차를 발생시킴을 알 수 있다.

홀드오버 성능은 모듈의 오실레이터 성능과 학습시간에 따라 달라진다. 따라서 항법 설계 시 홀드오버에 의한 1pps 오차를 반영한 거리측정 오차모델을 계산할 필요가 있다.

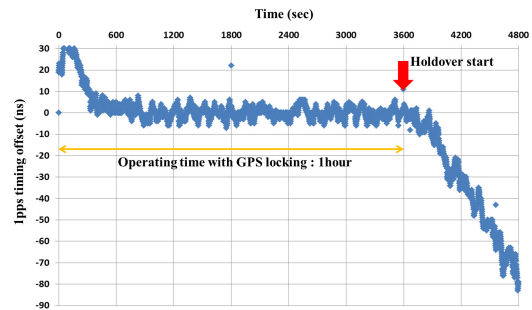


그림 7. Mini-T GG GPS 수신기 Holdover 성능
Fig. 7. Holdover performance of Mini-T GG GPS receiver

III. 결 론

본 논문에서는 비행체의 항법 보조를 위한 데이터 링크 거리측정 방법들에 대해 알아보고 각각의 고려 사항 및 성능을 확인하였다.

내부 기준클럭을 사용하는 경우 모뎀반의 기능 구현을 통해 추가적인 장비 없이 거리 측정이 가능하다. 하지만 실제 거리측정을 위해서는 양방향 통신이 모두 정상적으로 개설되어 있어야 하며, 통신지연에 의한 오차가 발생할 수 있다. 이로 인해 비행체의 속도가 증가함에 따라 누적오차가 증가한다. 외부 기준클럭기반 거리측정의 경우 기능을 정상적으로 사용하기 위해서는 설계에 1pps 신호의 정확도를 보장하기 위한 장비 신호지연과 사용하게 되는 GPS 수신기의 홀드오버에 의한 오차를 고려하여야 한다. 특히 홀드오버 성능은 GPS 수신시간과 장치의 오실레이터 성능에 크게 영향을 받는다.

따라서 비행체의 운용 특성에 따라 내부 및 외부 기준클럭기반의 거리측정 방법 중 적절한 방법을 선택하여 데이터링크에 적용할 필요가 있다. 만약 장기간 느린 속도로 운용되는 정찰목적의 무인항공기의 경우 비행체의 속도에 따른 거리측정 오차가 작게 발생하게 되기 때문에, 내부기준시간 기반의 거리측정방법이 유리하다. 반면에 고속이동 및 타격 후 이탈을 목적으로 하는 항공기의 경우 빠른 속도로 인해 RTB (Return to base) 시간이 짧기 때문에 외부기준시간 기반의 거리측정 방법을 선택하는 것이 더 유리 할 수 있다.

References

[1] D. H. Lee, J. S. Choi, D. K. Lee, J. K. Ahn, and B. S. Song, "Design of ku-band communication assembly for smart unmanned aerial vehicle," in *Proc. Conf. Korean Soc. Aeronautics and Space Sci.*, pp. 1212-1216, Apr. 2016.

[2] C. H. Lim, "World unmanned vehicle industry trends," *Current Ind. and Technol. Trends in Aerospace*, vol. 2, no. 1, pp. 25-35, Jul. 2004.

[3] W. H. Jang, M. K. Kwak, J. S. Hong, and S. H. Jang, "Development of integrated navigation algorithm for smart UAV," in *Proc. Conf. The Korean Soc. Aeronautics and Space Sci.*, vol. 2013, no. 4, pp. 1200-1203,

2013.

[4] H. C. Shin, C. K. Sung, T. W. Kim, S. H. Nam, K. S. Suh, J. S. Lee, S. W. Lee, and M. J. Yu, "Development and performance evaluation of INS/GNSS/Radar integrated high precision hybrid navigation system for UAV," *J. Inst. Contr., Robotics and Syst.*, vol. 24, no. 8, pp. 688-696, Aug. 2018.

[5] J. S. Park, Y. H. Song, B. H. Lee, and C. B. Yoon, "A study on position estimation for UAV using line-of-sight data-link system," *J. KIECS*, vol. 11, no. 11, pp. 1031-1038, Nov. 2016.

[6] M. Ednch and R. Schmalenberger, "Combined DSSS/FHSS approach to interference rejection and navigation support in UAV communications and control," *IEEE Int. Symp. Spread-Spectrum Tech. & Appl.*, Prague, Czech Republic, Sep. 2002.

[7] C. H. An, H. C. Kim, U. Y. Park, Y. J. Ryu, and D. K. Kim, "A study on cooperative UAV tracking using Two-GCS with monopulse tracking and filtering," in *Proc. Conf. Inst. Contr., Robotics and Syst.*, vol. 1, no. 2, pp. 797-804, Jul. 2011.

[8] H.-J. Kwon, Y.-J. Lee, and J.-W. Jung, "A study on 1-channel monopulse receiver," *J. Inst. Electron. and Inf. Eng.*, vol. 51, no. 1, pp. 71-76, Jan. 2014.

[9] H.-J. Kwon, Y.-J. Lee, and B.-W. Kang, "Design and fabrication of the 1-channel monopulse receiver," *J. Inst. Electron. and Inf. Eng.*, vol. 52, no. 12, pp. 3-9, Dec. 2015.

심 의 석 (Eu-Suk Shim)



2005년 : 세종대학교 인터넷학과 졸업
2007년 : 세종대학교 인터넷학과 석사
2011년 : 세종대학교 인터넷공학과 박사
2013년 : 한국전자통신연구원 연구원

2014년~현재 : LIG넥스원 수석연구원

<관심분야> 데이터링크 시스템, 통신시스템, 물리계층 보안

[ORCID:0000-0002-7211-028X]

오 일 혁 (Il-Hyuk Oh)



1996년 : 단국대학교 전자 공학과 석사
1996년~2016년 : LIG넥스원 군위성통신단말 탐색/체계 개발, JTDLS 위성 모뎀 개발
2017년~현재 : MUAV 무인기 데이터링크 개발

<관심분야> 통신 시스템, 모뎀, 디지털 신호처리, 전술데이터링크, 무인기 데이터링크

[ORCID:0000-0003-4610-3235]

송 충 호 (Choong-Ho Song)



1996년 : 한양대학교 전자통신공학과 졸업
1998년 : 한양대학교 전자통신공학과 석사
2002년 : 한양대학교 전자통신공학과 박사
2002년~현재 : LIG넥스원 수석연구원

<관심분야> 무인기 데이터링크, 전술 데이터링크, 위성통신 시스템, 위성추적 안테나 및 알고리즘

[ORCID:0000-0002-9628-4268]

최 재 원 (Jae-Won Choi)



2006년 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 졸업
2008년 : 숭실대학교 정보통신공학과 석사
2011년 : 숭실대학교 전자공학과 박사
2012년~현재 : 국방과학연구소 선임연구원

<관심분야> UAV 데이터링크, RF 회로, 안테나, 메타물질, 무선 전력 전송

[ORCID:0000-0001-5962-8490]