

무인기 충돌방지를 위한 레이더 센서 시스템 설계

곽영길, 강정완*

한국항공대학교 전자정보통신공학부, 부설 항공전자연구소

ykwag@hau.ac.kr , jwkang-77@hau.ac.kr

Radar Sensor System Concept for Collision Avoidance of Smart UAV

Young Kil Kwag and Jung Wan Kang

School of Electronics and Telecomm. Engineering, Hankuk Aviation University,

Abstract

Due to the inherent nature of the low flying UAV, obstacle detection is a fundamental requirement in the flight path to avoid the collision from obstacles as well as manned aircraft. In this paper, a preliminary sensor requirements of an obstacle detection system for UAV in low-altitude flight are analyzed, and the automated obstacle detection sensor system is proposed assessing both passive and active sensors such as EO camera, IR, Laser radar, microwave and millimeter radar. In addition, TCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System) are reviewed for the collision avoidance of the manned aircraft system. It is suggested that small-sized radar sensor is the best candidate for the smart UAV because an active radar can provide the real-time informations on range and range rate in the all-weather environment. However, an important constraints on small UAV should be resolved in terms of accommodation of the mass, volume, and power allocated in the payload of the UAV system design requirements.

Key words : UAV, Collision Avoidance, Sensor, Millimeter Wave Radar

1. 서 론

무인항공기는 유인항공기 및 인공위성에 비해 개발비용이 저렴하고 운용이 용이하여 경제적이며, 비교적 저고도에서 비행하므로 필요한 시간과 장소에서 원하는 임무를 효율적으로 수행할 수 있다. 또한, 무인 항공기는 고가의 인공위성이나 유인항공기와 달리 적은 비용으로 특수한 위험 환경에서 조종사의 인명 위험 없이 임무를 수행 할 수 있다는 장점이 있기 때문에 군용은 물론 다양한 민수 응용분야에서 활용이 급증하고 있다. 조종사가 없이 비행이 이루어지는 무인항공기의 가장 필수적인 요구사항은 비행 중 발생할 수 있는 장애물에 대한

충돌 회피기능으로서 이 요구조건이 만족되지 않는다면 무인 자율비행이 불가능하게 될 것이다. 자율비행이 가능한 스마트 무인기 충돌회피 기술은 선진국에서도 아직 초기 단계에 있으며 기술개발을 위한 많은 연구가 진행되고 있다 [1-3]. 소형 무인항공기는 한정된 탑재체 무게와 부피 및 전력 등의 제약으로 인하여 충돌회피를 위한 탐지 센서도 소형, 경량, 저 전력의 요구조건에 충족되어야 한다. 특히, 전술, 전략적 목적으로 사용하는 무인 항공기는 주로 저공비행을 많이 하게 되므로 비행 경로상의 모든 장애물을 충분한 회피 시간 여유를 가지고 사전에 탐지하여 자동으로 비행제어를 수행하도록 해주어야 한다. 유인 항공기의 충돌회피는 조종사가 정해진 프로토콜 절차에 따라 인터로게이터를

* 이 논문은 과학기술부 지원으로 수행하는 21세기 뉴 프론티어 연구사업 (스마트무인기기술개발)의 일환으로 수행되었습니다.

이용하여 상대 항공기의 거리와 속도 정보를 얻는 충돌회피 장치 (TCAS)를 사용하여 조종사가 자율적으로 비행을 제어 할 수 있다. 그러나 무인항공기는 유인항공기뿐만 아니라 비행 경로 상에 있는 장애물도 실시간으로 자동으로 탐지하여 거리와 속도 정보를 전천후로 얻을 수 있는 센서가 필수적이다. 본 스마트 무인기 개발 연구에서 제시된 성능 규격은 최대고도 3Km, 최대 비행속도 500Km/h, 최대 체공시간 3-5시간, 이륙중량 300 Kg, 장애물 충돌회피 탐지거리는 전방 3Km 이다. 본 논문에서는 무인기 장애물 탐지용으로 사용할 수 있는 능동 및 수동 센서의 기술특성을 살펴보고 무인기 체계 요구 성능을 기준으로 무인기 충돌방지 센서 시스템 설계 적용 가능성을 분석하여 레이더를 이용한 무인기 충돌방지 시스템의 설계 개념을 제시한다.

2. 장애물 탐지센서 기술특성 분석

일반적으로 대상 표적정보를 탐지하는 센서는 시스템의 임무분석을 통하여 주어진 Mission Specific Sensor를 결정하게 된다. 이러한 용도로 사용하는 센서는 능동센서와 수동센서의 크게 두 종류로 나눌 수 있다[4]. 첫째로 센서 자체에서 에너지를 표적에 방사하여 되돌아오는 에너지를 측정하는 센서는 송신시스템과 수신시스템 모두를 갖추고 있어야 하며 이를 능동센서(Active Sensor)라고 하며 마이크로웨이브 레이더와 레이저 레이더 등이 있다. 둘째로, 표적 자체에서 방사되는 에너지를 측정하는 센서는 수신 시스템만을 가지고 있으며 이를 수동센서(Passive Sensor)라고 하며 광학/적외선 센서가 여기에 속한다. 표 1에 센서의 일반적인 특징을 요약하였다.

Condition	Micro wave	Millimeter wave	LIDAR	Thermal imager
Mode	Active	Active	Active	Passive
Average power	High	Medium	Low	Low
Range/range-rate	Available	Available	Available	Not available
Detection range	Unlimited	10Km	5Km	10~15Km
Components	Large	Small	Small	Small
Angular resolution	Large	Small	Small	Small
Atmospheric effects	No degraded	Some degraded	Degraded	Degraded

표 1. 센서별 특징 비교

이들 센서는 동작 주파수에 따라 고유한 특성이 있기 때문에 부품 크기, 해상도, 기상 및 대기에 의한 영향, 클러터 특성, 방해전파에 대한 대응능력 및 개발비용 등에 따라 장단점이 있다. 저주파대역의 마이크로파 레이더는 단거리에서 대기에 의한 영향이 작지만 크기가 크고 충분한 해상도를 제공하지 못한다. 그러나 높은 주파수 대역의 밀리미터파 레이더나 적외선 센서는 파장이 짧아 크기도 작고 동일한 안테나 크기에 비해 해상도가 매우 좋은 장점이 있지만 대기 감쇄 영향이 크고 기상 영향에 예민하므로 전천후 용도에 적합하지 않다. 또한 전자파 센서의 분해능은 사용 주파수가 높으면 향상되는데 이러한 현상은 센서의 개구면이 일정할 때 빔 폭은 파장에 비례하고 개구면 길이에 반비례하는 특성에 의하여 결정된다. 장애물 탐지를 위한 센서별 장단점을 표 2에 비교하였다[5].

센서 종류	장점	단점
Microwave/Millimeter-Wave Radar (능동센서)	-전천후/주야 동작 -광역 탐색 구역 -거리/방위/속도 정보 및 표적영상 데이터획득	-광학에 비해 중간 정도 해상도 -전파방해에 취약 -은밀 탐지 불가
Microwave/Millimeter-Radiometer (수동센서)	-전천후/주야 동작 -은밀한 영상, 탐지, 추적 -넓은 탐색 구역	-동일 개구면에서 레이더에 비해서 저해상도 -광대역으로인해 전파방해취약
Infrared Imager (능동센서)	-정밀 공간상, 스펙트럼 해상도 영상정보 (FLIR) -은밀 탐지 가능 -주야 동작	-대기영향에 취약 -광역 탐색을 위해 스캔 기계장치 또는 많은 어레이 필요
Laser Radar (능동센서)	-속도와 추적 데이터 -주야 동작 -전파방해에 우수	-대기영향에 취약 -상대적으로 좁은 지역 탐색
Visible Imager (EO) (수동센서)	-최대 해상도의 영상 -은밀 탐지 가능 -완성된 기술로 위험부담 없음	-거리 정보 불가 -주간만 사용 가능 -구름, 비, 안개, 등 대기영향에 취약

표 2. 능동센서와 수동센서의 장단점 비교

유인 항공기 충돌방지 시스템인 TCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System)는 상대 거리, 상대속도, 상대고도 측정에 기반을 둔 시스템으로 상대 항공기에 대한 질문 및 지상관제소를 통하여 고도 정보를 획득하고 충돌 회피 경보를 발생한다. 거리 측정을 위해 레이더 센서나 질문기를 사용하여 대항기에 대한 정보를 추출하고 거리테스트 및 고도 테스트를 거쳐 충돌위험경보(TA) 및 충돌회피경보(RA)를 발생한다. 경보의 종류에 따라 스피커와 기상 레이더 디스플레이에 각각 경보음과 충돌위험 상황 현시를 통해 조종사에게 알리고 조종사는

TCAS의 지시에 따라 회피 방향 및 상승/하강 속도를 결정한다. TCAS 종류에 따라 성능의 차이가 있으나 일반적으로 고 고도에서 비행하는 경우 항공기 충돌회피가 가능하지만 저 고도에서는 DB가 없어서 지형물 회피가 불가능하다. 또한 상대 항공기의 고도 정보가 제공되지 않으면 고도회피 판단이 불가능하고 조종사가 회피 정보 및 회피방향에 따라 능동적으로 회피하기 때문에 무인기의 경우 판단에 제약이 있다.

3. 무인기 충돌방지 센서의 임무 적용성 분석

무인기 비행시 장애물 탐지를 위한 임무 수행을 위하여 적용 가능한 센서를 선택하기 위해서는 센서의 성능과 무인 항공기의 탑재체 무게, 부피, 전력 등의 제약 조건을 고려하여 검토하는 것이 바람직하다. 센서 선택 시 요구사항으로써 거리정보 (Range), 센서와 장애물간의 상대적인 속도 (Range Rate), 진행방향의 장애물 위치에 대한 방위각 정보(Azimuth), 진행방향의 장애물 위치에 대한 상대 고도 정보 (Elevation)등의 정보가 제공되어야한다. 또한 무인기 비행 특성상 넓은 탐색범위, 전천후 주야간 동작 가능, 기동속도 변화, 체공 시간 안정 동작, 전자방해 대처능력(ECCM) 등이 필수적이다. 이와 같은 무인기 시스템 요구조건을 만족할 수 있는 장애물 충돌방지 센서를 검토하기 위하여 표2에서 제시한 여러 종류의 센서의 특징을 종합하여 무인기 적용 가능성을 분석한다.

마이크로웨이브 레이다는 거리와 속도를 모두 측정할 수 있고 대기 감쇄 영향이 적어 탐지거리 제한이 없다는 장점이 있으나 구성품의 무게나 크기가 크고 전력을 많이 소모하므로 무인기의 제한된 탑재량으로 인해서 사용하는데 제약이 클 것으로 판단된다. 밀리미터파 레이다는 속도와 거리를 모두 측정할 수 있지만 대기 감쇄가 많아 탐지거리의 제한이 있다는 단점이 있다. 그러나 무인기 속도와 장애물 간 충돌회피 시간을 고려해 볼 때 회피 탐지거리를 3Km로 설정하므로 최대 5Km 탐지를 위한 소형 경량의 센서로는 밀리미터파 레이다를 사용하는데 크게 문제가 되지 않으며 구성품의 무게나 크기도 작고 근 거리에서 대기 감쇄도 심하지 않아서 이론적으로 최대 10Km 정도까지 사용 가능한 것으로 판단된다. 레이저 레이다(LIDAR)

는 구성품의 무게나 크기는 작고 평균파워도 작으며 탐지거리도 얻을 수 있어서 무인기 충돌방지용으로 고려할 수 있다. 그러나 매우 높은 광학 주파수를 사용하기 때문에 대기 감쇄가 심하여 기상의 영향을 많이 받아 전천후로 사용이 곤란하고, 빔 폭이 매우 작아서 분해능은 높지만 탐색 범위가 좁아서 무인기 비행시 전방 넓은 탐색 구역을 모두 스캔하기 어려운 문제점이 있다. 광학 적외선 센서는 평균전력 소모도 작고 무게나 크기도 작으며 탐지거리도 1 ~ 2Km 정도 가능하지만 수동센서이기 때문에 거리와 속도를 측정할 수 없다는 가장 큰 취약점을 가지고 있으며 대기 감쇄가 심하고 전천후로 사용할 수 없는 제약이 있다. 그러나 고해상도의 영상을 쉽게 얻을 수 있으므로 지상관제 수신소에서 무인기의 비행 상황을 감시하고 전방 장애물을 운용자가 확인할 수 있는 보조수단으로 사용 가능하다고 본다. 표 3 - 표5 에 센서 파라미터와 운용 특성, 및 탑재체 제한 등을 비교분석하였다.

센서 파라미터	마이크로파 레이다	밀리미터파 레이다	광학카메라 적외선센서	레이저 레이다
거리 정보	장거리	단거리	불가 (영상)	단거리
방위 정보	중급분해능	고 분해능	초고해상도	고분해능
속도 정보	상대 속도 (도플러)	상대 속도 (도플러)	연속 불가 (프레임단위)	상대 속도
고도 정보	위상배열 3차원레이다 적용시가능	위상배열 3차원레이다 적용시가능	불 가	불 가

표 3. 장애물 탐지센서 획득정보 분석

비행 요건	마이크로파 레이다	밀리미터파 레이다	광학카메라 적외선센서	레이저 레이다
탐색 범위	광역빔폭 표적탐색	중간 빔폭 표적 탐색	FOV 조정 광역 영상	극소빔폭 국부 탐색
전천후/주야	전천후/주야 사용가능	전천후/주야 사용가능	광학은주간만 적외선은 주야간가능	전천후불가비,구름제약
기동 속도 변화	상대 속도 측정	상대속도 측정	부 적합	부 적합
장시간 체공	가능	가능	가능	가능
전파방해 대응	취약 ECCM	취약 ECCM	안전	안전

표 4. 무인기 비행 특성별 센서 적합성 분석

센서 파라미터	마이크로 파 레이다	밀리미터파 레이다	광학카메라 적외선센서	레이저 레이다
무 게	>50kg	<30kg	<10kg	<20kg
부 피	40"급	30" 급	소형	소형
전 력	고 전력 > 500 w	저 전력 <300 w	저 전력 < 100 w	저 전력 < 100 w
동작 수명	> 5년	> 5년	> 5년	> 3년

표 5. 탑재체 요구조건 적합성 분석

무인기가 비행구역을 통과할 경우 유인 항공기의 충돌 방지를 위하여 현재 항공기에 장착하여 사용하고 있는 TCAS 적용 가능성을 검토해보았다. 물론 무인기에 장착하고 있는 장애물 탐지센서를 이용하여 장애물 표적에 대한 정보를 획득 할 수 있지만 직접 항공기의 고도 정보를 얻을 수 없기 때문에 유인 항공기와의 공역을 공유하고 공항을 이용하기 위해서는 TCAS 장착을 고려해 볼 수 있다. TCAS는 일종의 SSR(Secondary Surveillance Radar)의 Transponder 방식으로 항공기와 질문 응답기(Interrogator)를 이용하여 대상 항공기 표적물에 대한 고도정보를 지상관제소를 통하여 얻어서 충돌 경보를 발생함으로써 조종사가 항공기 간의 충돌위험이 있을 때 항공기를 고도방향으로 상호 회피시키는 방식을 사용한다. 그러나 무인항공기는 조종사가 없기 때문에 무인항공기가 자동으로 질문 응답기를 통하여 상대 항공기의 고도를 알아서 자동회피 제어신호를 발생하기가 용이하지 않으며, 등록된 특정 코드를 가지고 있는 항공기에 대한 정보만 가능하기 때문에 적용상 제한이 클 것으로 보인다.

4. 레이더 기반 무인기 충돌방지 시스템 개념

무인 항공기가 비행시 전방에 나타나는 장애물을 피하기 위해서 확보하여야 하는 안전거리는 비행체의 속도와 센서가 탐지하는 거리 범위의 관계로 나타난다. 따라서 무인기에게 상대적으로 장애물을 탐지하고 회피 경보를 발생하여 회피기동 명령을 주기 위한 센서는 기본적으로 거리 및 속도 측정이 가능한 센서여야 하며 운용환경은 전천후, 주야 동작이 가능하여야 한다. 따라서 위에서 살펴본 각 센서별 특징과 운용특성 및 탑재체 무게 제한 20-30Kg 이하 조건 등을 종합적으로 분석하여 볼 때 장애물 충돌방지를 위한 센서로서 소형 밀리미터파 레이더가 가장 적합할 것으로 검토되었다. TCAS는 유인항공기에 대한 충돌방지용으로 검토하였으나 무인기에 적용하기에는 제약이 많아 선택 사양으로 제시하며, 광학 카메라와 IR센서는 지상 관제소에서 장애물의 감시 확인 목적으로 레이더 센서와 겸용으로 탑재할 것을 제안한다. 레이더 센서 기반 무인기 충돌방지 시스템 개념도는 그림 1과 같다.

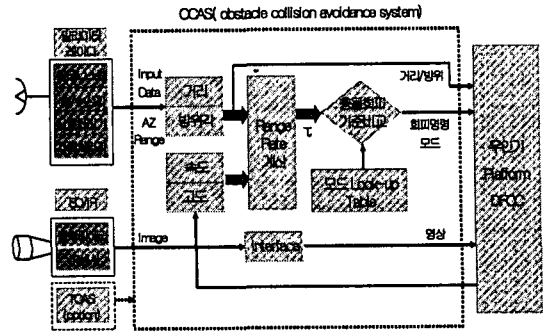


그림 1. 무인기 충돌방지 시스템 (OACAS) 개념도

그림 1과 같이 센서에서 비행 진행 방향으로 존재하는 장애물에 대한 거리와 방위 정보를 실시간으로 제공하고 이를 장애물 감지 및 충돌회피 시스템(Obstacle Awareness and Collision Avoidance System)에서 주어진 거리와 무인기 자체의 속도 정보를 이용하여 거리 변화율을 계산한다. 충돌 회피 안전거리 기준은 무인기의 속도에 따라 회피에 필요한 안전 시간 마진을 거리별로 경보거리 (5Km-white), 회피거리(3Km-yellow), 위험거리 (1Km-red)로 설정한다. 무인기의 최대 속도를 500Km/h로 볼 때 경보시간은 35초, 회피시간은 20초, 위험시간은 7초로 설정하여 표 6에서 보는 바와 같이 3개의 모드로 해당 충돌회피 명령 신호를 비행제어 컴퓨터(DFCC)에 전송한다. 이 신호를 이용하여 항법 데이터에 명령신호를 주어 비행 방향을 미리 준비하고 조정하도록 한다.

거리(m) 속도 (Km/h)	500	1000	2000	3000	4000	5000	비고
140	13	25	50	75	100	125	
210		17	33	50	67	83	
280		13	25	38	50	63	순항시속
360			20	30	40	50	
430			17	25	33	42	
500			14	20	28	35	최고시속
모드	위험 거리	회피 거리	경보 거리	회피 거리	경보 거리	회피 거리	최고시속

표 6. 충돌회피 모드별 거리와 거리 변화 시간

무인기 충돌방지 시스템에서 사용하는 밀리미터파 레이더의 탐지대상은 유, 무인 항공기 및 고정 장애물이며 레이더 정보는 거리, 방위, 장애물 분포(클러터맵)등이다. 밀리미터파 레이더를 설계하기 위해서는 레이더 시스템 파라미터를 설정해야 하는데 여러 가지 파라미터 중 대표적인 파라미터들과 무인기 충돌회피 시스템에서 요구하는 성능을 만족

시키기 위한 각각의 수치들을 분석한 후 표 7에 나타내었다. 그림 2는 위의 레이더 센서 기본 모델에 대한 시뮬레이션 결과로써 거리변화에 대한 SNR의 변화를 나타내고 있다. 위 레이더 모델의 경우 Dwell time 동안의 펄스 개수는 34개이고 거리 5Km에서의 SNR은 약 11dB 이다.

Frequency	35GHz
Detection Range	1Km/3Km/5Km
PRF	2KHz
Pulse Width	33ns
System Bandwidth	30MHz
Range Resolution	5m
Peak power	3Kw
Max Average Power	2.5W(limited by duty factor)
Scan Coverage	180deg(+90~-90) in Az 100deg(+20~-80) in El
Scan Rate	150deg/sec
Antenna Beam Width	2.5 deg
Antenna Gain	38dB
Receiver Noise Figure	3.5dB
RCS	2~30 dBsm (limited by aspect angle)
Prob. of False Alarm	10e-6
Prob. of Detection	90% (SWmodel 1 & RCS 2dB)

표 7. 레이더 센서 기본 모델

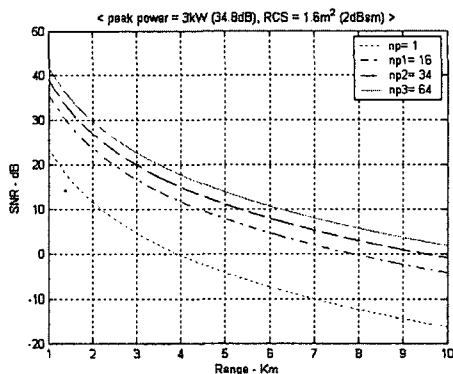


그림 2. 거리 변화에 따른 SNR 변화

5. 결론

본 논문에서는 무인기 충돌방지를 위한 장애물 탐지 센서의 특징을 살펴보고 무인기 탑재체 요구 조건에 적합한 센서의 적용 가능성을 분석하였다. 무인기의 장애물 탐지 센서로서 마이크로파 레이더, 밀리미터파 레이더, 광학, 적외선 센서, 레이저 레이더 등을 비교 분석하였고, 유인 항공기 충돌방지를 위하여 TCAS를 분석하였다. 각 센서별 특징과 무인기 비행 운용특성 및 탑재체 무게 제한 등

을 종합적으로 분석하여 장애물 충돌방지를 위한 센서로서 소형 밀리미터파 레이더가 가장 적합한 것으로 제안하였다. 그리고 밀리미터파 레이더를 이용한 장애물 감지 및 충돌회피시스템의 설계 개념을 제시하고 경보거리, 회피거리 및 위험거리에 따라 충돌회피 알고리즘의 기준을 설정하여 거리와 거리변화율을 설정하였다. 개념연구 단계에서 수행한 레이더 기반 무인기 충돌방지 시스템 설계 개념을 제안하였으며 향후 레이더 센서 시스템 및 충돌회피 알고리즘 연구를 지속적으로 수행하여야 할 것이다. 비행체 충돌방지 시스템은 민군 겸용기술로서 향후 무인기는 물론 헬리콥터, 중소형 항공기 등 저고도로 비행하는 각종 항공기 안전을 위하여 활용 가능성이 매우 높아 기술파급 효과가 클 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Mangogna, A.J., "Development of a Helicopter Obstacle Detection and Air Data System" Digital Avionics Systems, 2001. DASC. The 20th Conference Volume: 1, 14-18 Oct. 2001, PP: 1A4/1-1A4/7 vol.1
- [2] T. Gandhi, Mau-Tsuen Yang, R. Kasturi, O. Camps, L. Coraor and J. McCandless, "Detection of Obstacles in the Flight Path of an Aircraft", Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on , Volume: 39 Issue: 1 , Jan 2003, PP: 176 -191
- [3] S.A. Hovanessian, *Introduction to Sensor Systems*, Artech House, 1988
- [4] Lawrence A. Klein, *Millimeter-Wave and Infrared Multisensor Design and Signal Processing*, Artech House, 1997
- [5] 박영길 외, " 무인기 충돌방지 시스템 개념설계-중간보고서", 한국항공대학교 부설항공전자연구소, 2003. 6