

초연결 시대의 UAS 주파수의 효율적 활용방안

An Efficient Frequency Utilization Policy for UAS in Hyper-Connectivity Era

강 영 흥

Young-Heung Kang

요 약

UAS(Unmanned Aircraft System)는 과거 군용으로 국한되어 활용되었으나, 최근 기술발전에 힘입어 점차 민간용 시장으로 확대되고 있으며, 그 시장 규모가 급격히 성장할 것으로 예상된다. 특히 초연결 시대의 UAS의 이용 형태는 넥스트(next) 5G 시스템 아키텍처에서 하나의 가능한 기반시설로 큰 역할을 할 것이다. UAS에서의 궁극적인 목표는 국가 공역 시스템(NAS: National Airspace System)으로의 통합 운용이며, 이를 위해 무인 비행체 제어를 위한 비업무용(non-payload) 주파수뿐만 아니라, 초연결시대의 다양한 활용분야에 필요한 업무용(payload) 주파수 확보가 중요한 요소이다. 이에 본 연구에서는 기존의 UAS 무선조정용 주파수의 분석과 비업무용 주파수 개발 연구동향 및 향후 UAS 주파수의 효율적 활용방안을 제안한다.

Abstract

UAS(Unmanned Aircraft System) has been used a lot in military applications but recently its usage is expanding to commercial applications due to its recent technical development and its market is expected to grow rapidly in the future. In hyper-connectivity society, especially UAS would play major role as an one of potential infrastructures for the architecture of the next 5G system. The ultimate goal is the successful integration of UAS in NAS(National Airspace System) relies heavily on ensuring reliable spectrum for the robust CNPC(Command and Non-Payload Communication) links as well as payload links for other various applications in the upcoming hyper-connectivity era. In this paper, we have focused on the analysis of the existing frequencies for UAS radio-control and the current issues for CNPC and payload frequencies, and proposed future efficient utilization policy for UAS in the hyper-connectivity society.

Key words: UAS, Hyper-Connectivity, C2, CNPC, R/C, Spectrum

I. 서 론

무인기(UAV: Unmanned Aircraft Vehicle)는 조종사가 탑승하지 않고 무선링크를 이용한 제어를 통해 조정이 가능하거나, 자율적으로 비행하는 고정익 및 회전익 비행

체를 총칭한다. 이러한 무인기는 과거 군용으로 국한되어 활용되었으나, 최근 기술발전에 힘입어 점차 민간용 시장으로 확대되고 있으며, 그 시장규모가 급격히 성장할 것으로 예상된다. 현재 운송, 통신 중계, 교통감시, 산불감시·진화, 재해 재난 대처, 생태계 모니터링, 국토해양 감

「본 연구는 2015년도 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업(과제번호: B01721510760001002)의 일환으로 수행하였음.」

군산대학교 컴퓨터정보통신공학부(School of Computer, Information & Communication Engineering, Kunsan National University)

· Manuscript received August 31, 2015 ; Revised October 5, 2015 ; Accepted October 8, 2015. (ID No. 20150831-063)

· Corresponding Author: Young-Heung Kang (e-mail: yhkang@kunsan.ac.kr)

시, 위험지역 정찰, 항공촬영, 과학임무(환경, 기상연구, 자원탐사) 등 다양한 민간 공공분야에서 수요 증대가 전망되고 있다^{[1][2]}.

최근 무인기의 용어가 국제적으로 무인기와 지상제어 등을 포함하는 UAS(Unmanned Aircraft System)로 확장되었으며, 초연결 시대의 UAS의 이용 형태는 넥스트(next) 5G 시스템 아키텍처에서 하나의 가능한 기반시설로서 중요한 역할을 하게 될 것이다. 가능한 아키텍처는 그림 1에 보인 바와 같이, 무인기와 비행 중계 노드(flying relay node)로서 UAS들의 이용을 포함한다^[3].

새로운 아키텍처의 빌딩 블록으로서 UAS를 포함시키기 위해서는 몇 가지 이슈 및 문제가 걸림돌이며, 시작부터 고려해야 한다. 무엇보다도 현재의 UAS 배터리 수명은 통신망에서 안정적 이용(충전 없이 수 시간/반나절)을 위해 적합하지 않다고 지적한다. 그러므로 가능한 즉각적인 이용의 형태는 쉽게 충전 포인트에 도달할 수 있어야 하며, 이를 고려하면, 스타디움, 스포츠 이벤트, 쇼핑몰이나 유사 시나리오 등이다. 둘째, 드론을 위험한 장치로 인지하므로, 특히 소비자들에 가까이 있는 도시환경에서 규제 이슈가 현재 매우 제한된 요인이다. 가까운 미래에 드론의 신뢰성 있는 전개를 위해 규제에 대한 적절한 제도들이 고려되어야 한다. 마지막으로 이러한 UAS 구현의 비용문제가 또 다른 장애물이며, 특히 대규모의 UAS 구축 전개에는 더욱 그렇다.

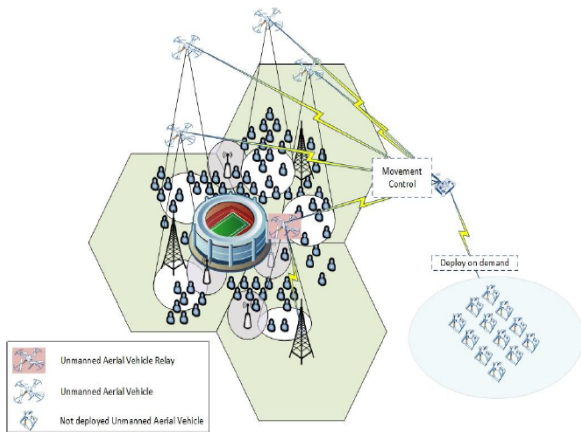


그림 1. UAS를 포함한 미래의 아키텍처^[1]
Fig. 1. Future architecture including UAS.

나아가 UAS 궁극적인 목표는 국가 공역 시스템(NAS: National Airspace System)으로의 통합 운용이며, ISR(Intelligence, Surveillance and Reconnaissance) 군용 UAS 이용이 대표적인 실행의 예이다. 이를 위해 유럽에서는 2028년 무인기의 완전한 통합을 목표로 단계별 로드맵을 완성하였으며^[4], 최근 FAA(Federal Aviation Administration)에서는 NAS에 UAS 통합을 위한 정책, 절차 및 표준을 개발하고 있다^[5]. 여기에는 향후 무인기 운용 밀도가 급격하게 증가함에 따라 무인기 형식-스펙 NAS 통합뿐만 아니라^[6], S&A(Sense and Avoid) 및 무선 스펙트럼 할당^[7]에 대한 문제점 해결이 필수적이라 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 현재 UAS 시스템의 운용 주파수를 분석하고, 향후 UAS를 NAS로 안전하고 신뢰성의 통합을 위한 C2(Command and Control) 통신용 주파수의 확보 방안으로써 국제적 호환 주파수 연구현황 및 향후 초연결 시대를 대비한 데이터 통신용 주파수의 효율적 활용 방안 등을 제시한다. 이를 위해 2장에서는 UAS 시스템, 3장에서는 무선 조정용 주파수 분석, 4장에서는 공역 통합을 위한 LOS(Line-of-Sight)용 및 BLOS(Beyond LOS)용 주파수 할당 및 개발동향, 5장에서는 향후 초연결 시대를 대비한 UAS 주파수의 효율적 활용 방안 등을 제시한 후 6장에서 결론을 내린다.

II. UAS 시스템

2-1 정의

UAS는 그림 2와 같이 무인기, 비행 공역, 항공 관제소, 지상 장비, 지상 지원, 통신장비로 구성된다. 통신장비는 지상 장비와 비행체 사이를 무선통신 방식으로 연결하고, 직접 연결하는 LOS 통신과 위성을 이용한 BLOS 통신으로 구분된다. 또한, 무인기는 유인기가 운항하는 공역 내에서 통합 운용되기 위해서는 항공관제소와 음성통신과 같은 기능도 갖추어야 한다. 통신장비는 무인기 운용에 있어 필수적인 장비이고, 통신 끊김 현상이 발생하지 않도록 99.9% 이상의 링크 가용성(link availability)을 갖추어야 하며, 주/보조 통신과 같이 이중화 주파수로 설계한다.

UAS 통신장비는 크게 업링크(uplink)와 다운링크(downlink)로 나누며, 업링크는 탑재장비로부터 항공기 상태 및

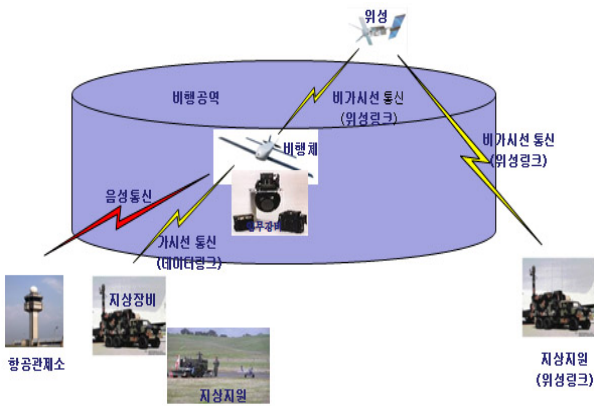


그림 2. UAS 구성 요소^[8]
Fig. 2. Components for UAS.

각종 센서 데이터를 실시간으로 지상장비로 전송하여 지상에 있는 조종사가 마치 항공기에 탑승하여 직접 조종하는 감각을 재현하도록 한다^[8].

2-2 정보 교환

UAS의 일반적인 정보의 흐름은 그림 3에 보이는 바와 같이, 데이터의 내부 및 외부 교환으로 구분된다. 내부적으로 C2 데이터가 GCS(Ground Control Station)와 무인 비행체간에 교환되며, 외부적으로는 ATC(Air Traffic Control)가 네비게이션 보조 서비스, ATS(Air Traffic Service), ATC 음성, S&A 및 비업무용(non-payload) 데이터를 포함한다. 스루풋(throughput) 중심의 업무용(payload) 데이터 (즉, HD 비디오 등)의 직접전달은 전형적인 내부 다운링크

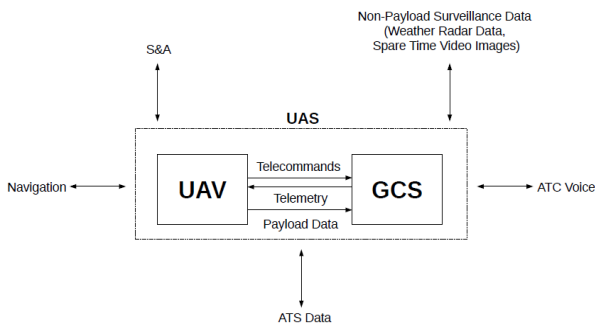


그림 3. UAS 내·외부 정보흐름^[9]
Fig. 3. Internal and external information flow for UAS.

크(UAV에서 GCS) 정보 흐름이다. GCS의 위치 및 이에 따른 ATC에 따라 GCS에서 ATC로 또는 역으로 정보의 흐름은 무인기의 중계가 필요하다^[9].

III. 무선 조정

표 1 및 표 2에 각각 2.4 GHz 및 VHF 대역의 민간규격을 포함한 각국의 무선 조정용 기술기준의 현황을 나타낸다.

3-1 2.4 GHz 대역

2005년부터 미국과 유럽에서는 2.4 GHz ISM 대역의 데이터 통신기법을 사용한 무선 조정이 보급되어 왔다. 그 개요를 표 1에 나타낸다. 현재 출시되고 있는 무선 조정 제품들이 이전의 VHF 대역에서 점차 2.4 GHz 대역으로 이동하고 있어 더욱 이 대역의 활용이 증가하리라 예상되고 있다. 모형 비행기 등의 Radio Control(R/C)에는 수 100 m 통신거리에 있어서 지연이 작은 통신이 필요한 점, 특히 취미 레저용에는 면허수속이 불필요하여 비용이 저렴하다는 장점 때문에 2.4 GHz 소출력 데이터 통신을 사용하는 장치가 많이 보급되고 있다^[10].

3-2 VHF 대역

세계 각국은 표 2와 같이 무선 조정으로 이용하고 있는 주파수 등은 유사하나, 출력, 주파수 편차, 불요방사 등에

표 1. 2.4 GHz 대역의 무선 조정의 사용현황
Table 1. Radio control in 2.4 GHz band.

구분	미국	유럽
안테나전력	1 W (시장은 100 mW 이하가 주류)	· 주파수 호핑(FH) 방식: 100 mW 이하 · 기타 방식: 10 mW 이하
통신방식	특별한 규정 없음 (주파수 호핑(FH), 직접확산(DS), FH/DS 검용, 기타)	특별한 규정 없음 (주파수 호핑(FH), 직접확산(DS), FH/DS 검용, 기타)
2.4 GHz 제품 판매비율	50~70 %	점차 비율이 확대됨

표 2. 각국에 있어서의 무선 조정 기술 기준
Table 2. Comparison of radio control requirements in countries.

		미국	유럽	중국	한국	
변조 방식	A1D F1D		A1D F1D	A1D F1E	A1D F1D	
출력	27 MHz	1 W (27.225 MHz는 5 W)	ERP 100 mW	ERP 750 mW	500 m에서 200 μV/m	
	50 MHz	아마추어 무선에 준함				
	72/75 MHz	750 mW				
주파수 편차	27 MHz	±50 ppm	±750 Hz	27 MHz	±100 ppm	규정 없음
	50/72/75 MHz	±20 ppm		40/72 MHz	±30 ppm	
불요 발사	72/75 MHz	반송파로부터 -56+10Log TP[dB] 이하	47~74 MHz 87.5~118 MHz 174~230 MHz 470~862 MHz	4 mW 이하	규정 없음	규정 없음
			10 GHz 이하	250 mW 이하		
			10 GHz 이상	1 μW 이하		

대한 규정 등이 조금씩 다르다^[10]. 한국은 미국, 유럽과는 달리 불요발사에 대한 규정을 두고 있지 않고 있으므로, 이에 대한 기술기준을 새로이 마련해서 타 무선조정시스템으로부터의 간섭을 차단함으로써 UAS의 안전 운행을 도모할 필요가 있다.

3-3 무선 조정용 주파수

그림 4에 각국의 무선 조정용 주파수를 비교하여 나타내었다. 영국에서는 무선 조정용 주파수로 지상이나 해상에서 이용하는 표면용(surface)과 공중용(airborne)으로 구분하고 있으며, 모든 주파수에서 100 mW 이하로 규정하고 있다. 단, 일반 비특정 SRD(Short Range Device)로 할당된 49 MHz에서는 10 mW 이하로 제한하고 있다. 한편, 미국에서는 50 MHz 및 53 MHz 주파수에서는 Ham 아마추어 무선 자격증을 요구하고 있다.

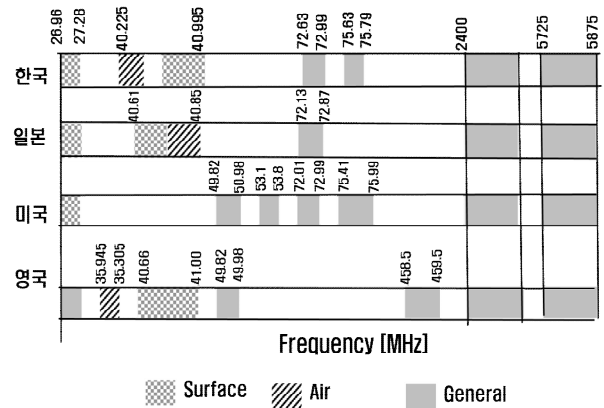


그림 4. 무선 조정용 주파수 비교(단위: MHz)
Fig. 4. Comparison of radio control frequencies.

IV. 공역통합

상용(즉, 화물 운송)뿐만 아니라, 국가 안전 및 방위, 긴급 재난 재해 대처, 과학 등을 위한 중요한 미션을 수행하기 위해 무인기를 NAS로 비행할 필요성이 증가하고 있다. 이러한 공역통합에서 해결해야 할 중요한 문제 중의 하나가 지상에서 무인기에 접속하는 제어 비업무용 통신(CNPC: Control and Non-payload Communications) 링크를 확보하는 것이다. 이에 ICAO(International Civil Aviation Organization)에서는 CNPC 링크가 ITU 지정 AM(R)S(Aeronautical Mobile(Route) Service) 및 AMS(R)S(Aeronautical Mobile Satellite(Route) Service) 하에서 보호된 항공 스펙트럼에서 운용되어야 한다고 결정했다. AM(R)S 스펙트럼은 LOS 지상 기반의 CNPC 링크를 지원하는 반면, AMS(R)S 스펙트럼은 BLOS 위성기반의 CNPC 링크를 지원한다^[11].

4-1 CNPC 스펙트럼 소요 대역폭

UAS CNPC 용 스펙트럼 소요 대역폭은 향후 스펙트럼 할당을 결정하기 위해 ITU에서 2030년까지의 무인기 밀도를 가정하여 계산되었다^[12]. 여기서, 지상 LOS 스펙트럼 소요 대역폭은 34 MHz로 결정되었으며, 위성 BLOS 컴포넌트를 위한 스펙트럼 소요 대역폭은 사용된 위성 시스템 형태(스팟빔이나 지역빔)에 따라 46~56 MHz이다. 이에 UAS용 최대 스펙트럼 소요 대역폭은 다음과 같다.

- LOS 지상 시스템용 소요 대역폭 34 MHz
- BLOS 위성 시스템용 소요 대역폭 56 MHz

4-2 LOS CNPC 스펙트럼

AM(R)S를 사용하는 LOS CNPC용 스펙트럼 할당은 ITU 보고서^[13]에서 고려되었다. 이 보고서는 960~1,164 MHz 대역의 기존 AM(R)S 대역을 고려하고 있지만, 그림 5에 보이는 것처럼 대부분 DME(Distance Measuring Equipment)와 TACAN(Tactical Air Navigation) 시스템이 대역을 점유하고 있으며, 단지 960~977 MHz의 17 MHz가 비어 있어, UAS 운용을 위한 34 MHz 지상 스펙트럼 소요 대역폭의 조건을 만족할 수가 없다^[13]. 이에 WRC-12에서는 5,030~5,091 MHz 대역을 AM(R)S용으로서의 할당을 승인 하였다^[14]. 현재 이 대역은 ARNS(Aeronautical Radio Navigation Service)용으로 중국에서는 MLS(Microwave Landing System) 주파수로 이용되고 있으며, 이 대역에서 운용 되는 위성이 없어 AM(R)S 용으로서 사용이 가능하다.

4-3 BLOS CNPC 스펙트럼

BLOS 위성 CNPC를 지원하기 위한 소요 대역폭은 56 MHz이므로 5,030~5,091 MHz 대역에서 LOS 소요 대역 폭 17 MHz를 제외한 44 MHz는 이를 만족시킬 수가 없다. 이에 올해 WRC-15에서는 FSS(Fixed Satellite Service)가 UAS의 안전한 운용에 필요한 서비스 레벨을 제공하기 위한 두 서비스 간의 호환성이 만족된다면, UAS CNPC 용

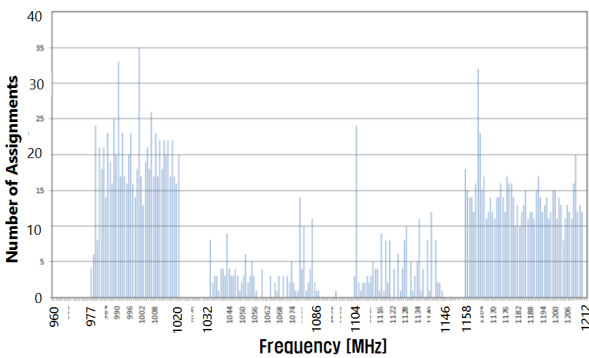


그림 5. DME 및 TACAN 시스템의 점유대역^[11]
 Fig. 5. Spectral occupancy of DME and TACAN ground assignment.

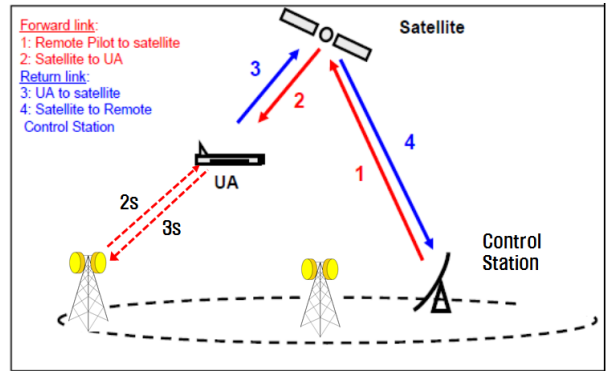


그림 6. FS와 UAES 간의 간섭 시나리오^[11]
 Fig. 6. Interference scenario between FS and UAES.

으로 FSS 주파수 사용 승인이 예상된다. 두 서비스 간의 호환성을 평가하기 위해 NASA에서는 그림 6과 같은 간섭 시나리오를 설정하여 UAS CNPC와 FSS 대역 내의 FS(Fixed Service) 간의 호환성을 평가하였다^[11].

UAS 지상국과 FSS 대역 내의 기존 서비스 간의 호환성의 기술적 연구가 무인기 지상국(UAES: UA Earth Station)으로 알려진 무인기를 서비스하는 위성통신 터미널과 동일 주파수 지상 서비스인 FS 할당 하의 P-P(Point-to-Point) 마이크로웨이브 통신 간의 주파수 공동사용에 관한 것이다. WRC-15에서 Agenda Item 1, 5에 주어진 호환성 평가를 위한 후보 대역은 표 3과 같다.

여기서, FS에 적용된 장기간 보호기준은 20 % 시간에 대해 $I/N = -10$ dB를 초과하지 않는다는 기준을 이용한다. 그림 7은 주파수 14.0~14.5 GHz에서 NASA에서 얻어진 간섭 누적 분포 결과의 한 예를 보인다^[11]. 이 결과로부터 20 % 시간에서 I/N 값이 -50 dB 이하로 40 dB 이상의 마진을 가져 주파수 공동사용이 가능함을 알 수 있다.

표 3. WRC-15 호환성 평가 대역
 Table 3. Candidate bands for compatibility in WRC-15.

주파수 대역	주파수 범위	호환성 연구(그림 6)
Ku	10.95~12.75 GHz	2 and 2s
Ka	17.3~20.2 GHz	2 and 2s
Ku	14.0~14.5 GHz	3 and 3s
Ka	27.5~30.0 GHz	3 and 3s

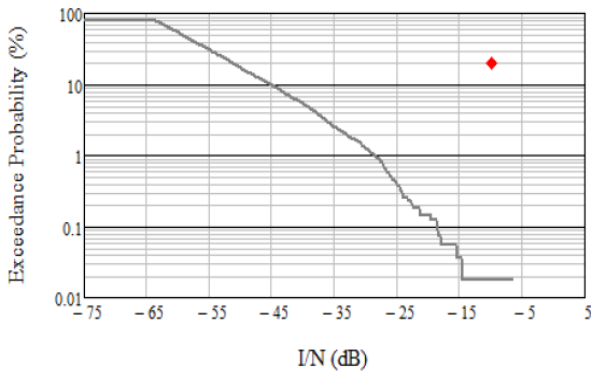


그림 7. UAES 간섭이 FS 수신기에 미치는 I/N 누적 분포의 예^[11]

Fig. 7. Example of cumulative distribution of I/N for UAES interference into FS station receiver.

V. UAS 주파수의 효율적 이용

최근 미국과 유럽을 중심으로 UAS에 대한 활발한 연구개발이 이루어지고 있을 뿐만 아니라, WRC-12에서도 UAS 주파수로서 5 GHz 대역(5,030~5,091 MHz)의 CNPC 주파수가 결정되었으며, 올해 WRC-15에서 UAS와 위성을 연결하는 BLOS 주파수를 결정하기 위한 의제가 상정되어 있는 등 국내외적으로 UAS 주파수 확보문제가 크게 대두되고 있다. 이에 여기서는 UAS 주파수의 효율적 이용방안을 제시하고자 한다.

5-1 Free Band 및 ISM 대역의 활용

미래창조과학부는 정보통신기술 융합 서비스 도입촉진을 통한 신산업 창출을 위해 수백 MHz부터 수백 GHz에 이르는 전 주파수 대역에서 다양한 용도로 활용 가능한 ‘용도 자유대역(K-ICT Free Band)’ 약 8 GHz 대역폭의 공급방안을 마련하였다^[15]. Free Band의 여러 대역 중 262~264 MHz 대역은 원격검침, 스마트 홈 등 장거리 IoT 서비스 등에 활용 가능하므로, 이를 UAS 주파수로 적극 활용하고, 2.4 GHz 및 5.8 GHz ISM 대역의 확장을 통한 UAS 주파수 확보방안이 필요하다.

5-2 주파수 공동사용 방안

미국의 UAS 주파수 관리방안에 따르면 UAS 유저에

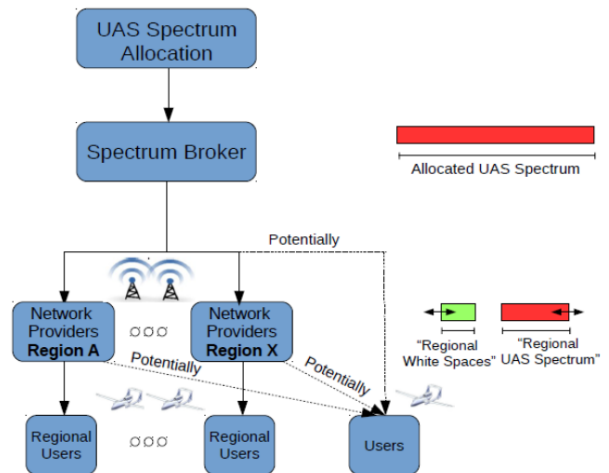


그림 8. UAS 스펙트럼 관리체계^[9]

Fig. 8. Spectrum management infrastructure for UAS.

주파수를 직접 분배하거나, 망 제공자를 통해 간접적으로 분배하는 방법을 택하고 있다. 주파수 공동사용을 포함한 UAS 스펙트럼 관리체계는 그림 8과 같다^[9].

지역적 주파수 공동사용은 셀룰러 개념을 도입하여 무선 핸드오프 기능을 통한 주파수 재사용을 전제로 한다. 스펙트럼 브로커(broker) 시스템은 정부의 개입을 최소화하면서 위치 기반의 스펙트럼 가용성(TV white space, 3.5 GHz) 및 UAV 파라미터(위치, 레인지 등)의 지식을 활용하여 주파수 관리를 수행한다. 다수의 지역 망 제공자들은 경쟁을 통해 효율적으로 스펙트럼을 이용하며, 망 접속 또는 접속하지 않는 유저들에 UAV 레인지, 비행경로 등에 따라 장기간 안정적 스펙트럼을 제공해야 한다.

5-2-1 CNPC용 주파수

UAV 미션은 독립 또는 협력(cooperative)의 형태로 수행된다. 그 루트(routes)는 사전의 계획(P-P 또는 aerial-based) 또는 무계획이지만, 적응형 채널할당을 사용하면 마스터-슬레이브(master-slave) 구조의 협력 UAS에 스루풋을 최대화할 수 있다. 스펙트럼 부족으로 인해 TI (throughput intense)-UAV는 비어 있는 시간에 S&A 비디오 및 업무용 데이터통신을 수행함으로써 SU(secondary user) 기반으로 다운링크 S&A CNPC 및 업무용 스펙트럼을 할당할 필요가 있다. 그림 9에 독립 및 협력 운용 UAS를 위

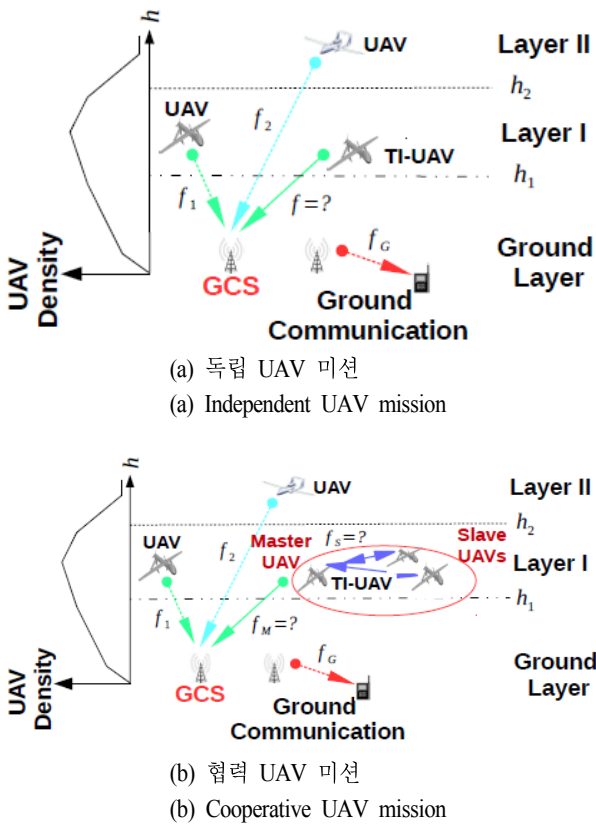


그림 9. 주파수 공동사용 이용형태^[9]
Fig. 9. Spectrum sharing use cases.

한 주파수 공동사용 방안을 나타낸다^[9].

그림 9와 같이 계층에 따라 세 가지 주파수 공동사용 시나리오를 들 수 있다. Case 1은 최상위 티어(tier) UAV와 공동사용으로 CNPC 및 업무용 주파수를 이용하고, Case 2는 독립 또는 협력 운용들간에 동일 티어에서 주파수를 공동사용하는 것이다. 이 경우를 인트라 티어(intra-tier) UAV 주파수 공동사용이라 한다. Case 3은 지상통신 시스템이 사용하지 않는 스펙트럼을 UAV 다운링크에 사용하는 것으로, 지상망은 PU(primary user)로 UAV는 SU로 그 주파수를 이용한다. Case 1과 3을 인터 티어(inter-tier) 주파수 공동사용이라 할 수 있다.

5-2-2 업무용 주파수

LSA(Licensed Shared Access)에 의한 공동사용 주파수를 개방하여 새로운 창조경제 창출의 UAS 가용 주파수

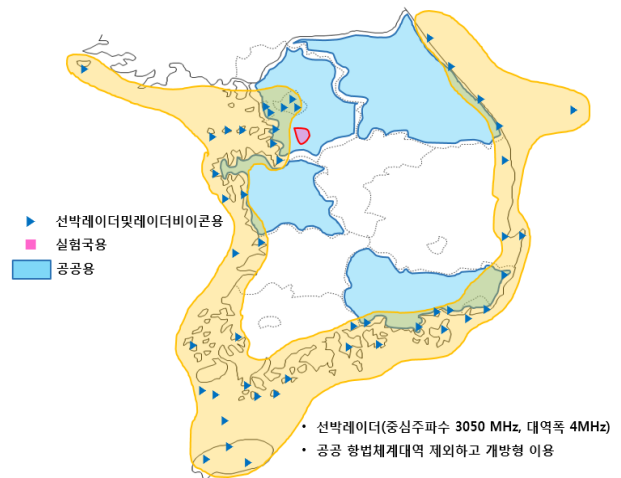


그림 10. 2.9~3.1 GHz 무선국 지역분포^[16]
Fig. 10. Regional locations of the radio stations in 2.9~3.1 GHz.

발굴이 기대되고 있어, 한 예로서 2.9~3.1 GHz 대역의 국내 주파수의 사용현황을 분석하여 그림 9의 Case 3의 주파수 공동사용방안을 제시한다.

본 대역은 그림 10과 같이 선박에 위치, 거리, 방위 등 항해정보를 제공하기 위하여 해안에 설치하는 무선표지 설비(레이더 비콘)용 및 해상무선항행 업무를 하는 선박의 레이더용으로 용도가 지정되어 있으며, 민간용으로 현재 해안선을 따라 중심주파수 3,050 MHz, 대역폭 4 MHz의 선박레이더 및 레이더 비콘이 주로 사용하고 있다. 또한, 공공용으로는 경기, 강원, 충남, 경남지역에서 일부 사용하고 있다^[16].

본 대역은 공공주파수 사용이 전국적으로 많아 일부 지역을 위한 LSA 모델적용이 사업성 면에서 타당성이 부족하지만, 일부 지역에서는 개방형 주파수로 활용하는 것

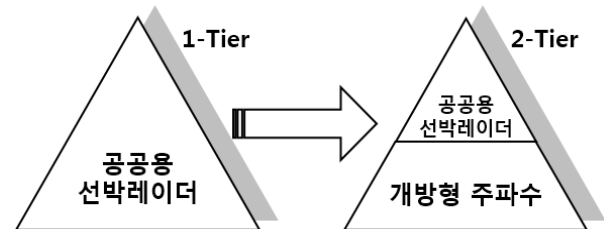


그림 11. 2.9~3.1 GHz 스펙트럼 액세스 모델^[16]
Fig. 11. Spectrum access model for 2.9~3.1 GHz.

이 바람직하다. 따라서 제안된 스펙트럼 액세스 모델은 현재의 공공용 및 선박레이더의 1-Tier에서 그림 11과 같이 일부 지역에서의 개방형 주파수를 사용할 수 있는 2-Tier 모델이 가능하며, 개방형 주파수를 적극 활용한 지리적, 시간적 주파수 공동사용을 통해 UAS 업무용 주파수를 확보해 나가야 한다.

5-3 인지무선 기술의 도입

전통적으로 무선조정으로 면허불요 스펙트럼(즉, IEEE S 대역, IEEE L 대역, ISM 대역)에서 운용되고 있으며, 고정 스펙트럼 할당 정책을 따르고 있다. 최근 새로운 휴대용 기기(즉, 스마트폰, PDA, 태블릿 등)의 개발 및 이의 이용이 최고조에 이르러 이들 기기들이 면허불요 스펙트럼 활용은 급증하고 있는 추세이다. 심지어 어떤 무선망(즉, WiFi, WiMAX, 블루투스 및 셀룰러망)은 UAS 운용 대역과 공존하고 있는 상태이다. 이러한 요인에 따라 UAS의 운용 스펙트럼 대역은 아주 복잡해지고 있으며, UAS는 머지않아 스펙트럼 부족현상에 직면하게 될 것이다. 이러한 스펙트럼 부족문제를 고려하여 FCC(Federal Communications Commission)에서는 PU가 간섭을 받지 않는 조건하에서 면허 스펙트럼 대역내에서 면허불요 기기의 사용을 승인하였다. 이러한 승인은 동적(dynamic) 스펙트럼 액세스를 제공하는 인지무선(CR: Cognitive Radio)로 알려진 중요한 기술을 가져왔다. 따라서 인지무선은 면허 또는 면허불요 스펙트럼 대역의 기회적 이용을 위한 동적 스펙트럼 액세스 기술을 사용하여 UAS의 부족한 스펙트럼 문제를 해결하게 될 것이다^[17].

VI. 결 론

UAS의 주파수를 용도별로 정리하면 표 4와 같다. 무선조정이나 업무용 통신링크용으로 이전의 VHF 대역에서 점차 2.4 GHz 대역으로 이동하고 있어, 더욱 이 대역의 활용이 증가하리라 예상되고 있다. 뿐만 아니라, 새로운 휴대용 기기의 사용이 증가하고 있어 2.4 GHz나 5.8 GHz 대의 ISM 대역은 이미 포화상태에 이르렀다. 이에 이러한 면허불요 대역인 2.4 GHz나 5.8 GHz 대역의 확장, 262~264 MHz Free band의 적극적인 활용, LSA를 이용하여

표 4. UAS 용도별 주파수

Table 4. Frequencies for UAS components.

용도	주파수	특징	
무선조정	27, 35, 40, 50, 53, 71, 75, 262~264 MHz, 458 MHz, 2.4 / 5.8 GHz	기존 ISM 및 Free Band, 소출력 무선기기들과의 간섭	
CNPC	LOS	960~1,164 MHz	DME/TACAN과의 간섭
	BLOS	5,030~5,091 MHz	국제호환, MLS와의 간섭
Payload	1,545~1,555 / 1,646.5~1,656.5 MHz	기존 이동위성에 사용	
	10.95~12.75 / 14.0~14.5 GHz / 17.3~20.2 / 27.5~30.0 GHz	기존 FS와의 간섭, WRC-15에서 논의	
S&A	430, 900 MHz, 2.4 / 5.8 GHz, 4G / LTE	기존 ISM / 이동통신대역, 전용주파수 확보 필요	
	2,700~3,100 MHz, 9,000~9,200 MHz, 9,300~9,500 MHz	기존 항공레이더 사용, 향후 주파수 개발필요	

2-tier나 3-tier로 개방형 주파수의 주파수 공동사용 확장, 인지무선 기술을 활용하여 동적 스펙트럼 액세스에 의한 주파수 공동사용을 강구해야 한다.

한편, WRC-7과 WRC-12에서 LOS CNPC용의 34 MHz 소요 대역폭을 확보하기에 이르렀지만, BLOS CNPC용으로 54 MHz 대역을 확보하기 위한 연구 및 간섭평가가 필요한 실정이다. 특히 5,030~5,091 MHz 대역에서는 운용되는 위성이 없으므로 Ku/Ka 대역에 대한 지상 FS 시스템 간의 간섭분석이 수행되어야 한다. 또한, 올해 이 주파수를 확보하기 위해 WRC-15에서 논의가 이루어질 예정이므로 회의결과를 분석해 나가야 한다.

UAS를 NAS로 통합운영하기 위해서는 간섭이 없고 신뢰성의 C2 통신링크용 스펙트럼 확보도 중요하지만, S & A 기술의 개발을 위한 각종 센서들의 기술개발뿐만 아니라, 여기에 필요한 소요 대역폭 및 운용 주파수의 확보도 매우 중요하다. 현재는 민간 항공기에 사용하는 레이더용 주파수를 사용하고 있지만, 향후 새로운 주파수의 개발이 적극적으로 추진되어야 한다.

결론적으로 초연결 시대를 맞이하여 UAS의 응용분야가 다양해지고 있으며, 이에 따른 주파수의 효율적 운용

방안에 대한 연구가 절대적으로 필요한 시점이며, 응용분야에 따른 업무용 스펙트럼 소요 대역폭에 대한 미래의 장기 예상치를 면밀히 분석 평가하여 소요 스펙트럼을 확보해 나가야 한다.

References

- [1] Market Profile and Forecast, "World unmanned aerial vehicle systems", *Teal Group*, 2014.
- [2] 김희욱, 강군석, 장대익, 안재영, "무인기 제어용 무선 통신 기술 및 표준화 동향", ETRI 전자통신동향분석, 30(3), pp.74-83, 2015년 6월.
- [3] METIS, Updated scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system with recommendations for future investigations, *ICT-317669-METIS/D1.5*, 2015.
- [4] Final Report from European RPAS Steering Group, Roadmap for the integration of civil Remotely-Piloted Aircraft Systems into the European Aviation Systems, June 2013.
- [5] FAA, *Integration of Civil Unmanned Aircraft Systems (UAS) in the National Airspace System(NAS) Roadmap*, First Edition-2013, Nov. 2013.
- [6] T. Simonite, "Air traffic control for drones", *MIT Technology Review*, Oct. 2014.
- [7] P. E. Ross, "When will we have unmanned commercial airliners?", *IEEE Spectrum*, November 2011.
- [8] 김인규, "무인항공시스템(UAS) 가시선 통신용 주파수 표준화 동향", TTA 기술표준 이슈, 2011년 7월.
- [9] J. A. Kakar, "UAV communications: Spectral requirements, MAV and SUAV channel modeling, OFDM waveform parameters, performance and spectrum management", *Master of Science in Electrical Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University*, May 2015.
- [10] 일본 총무성, 정보통신 심의회 정보통신기술분과회 소전력무선시스템위원회 보고서, 2000년 3월.
- [11] R. J. Kerczewski, J. D. Wilson, "Frequency spectrum for integration of unmanned aircraft", *32nd Digital Avionics Systems Conference 6-10*, 2013.
- [12] ITU-R Report M.2171, Characteristics of unmanned aircraft systems and spectrum requirements to support their safe operation in non-segregated airspace, Dec. 2009.
- [13] ITU-R Report M.2205, Results of studies of the AM (R)S allocation in the band 960-1164 MHz and of the AMS(R)S allocation in the band 5030-5091 MHz to support control and non-payload communication links for unmanned aircraft system, Nov. 2010.
- [14] ITU-R Report M.2233, Example of technical characteristics for unmanned aircraft control and non-payload communication links, Nov. 2011.
- [15] 미래창조과학부 보도자료, 2015년 6월.
- [16] 강영홍, 이대영, 박덕규, "3~4 GHz 대 주파수 공동 사용을 위한 스펙트럼 액세스 모델 제안", 한국전자학회논문지, 25(8), pp. 821-827. 2014년 8월.
- [17] Y. Saleem, M. H. Rehmani, and S. Zeadally, "Integration of cognitive radio technology with unmanned aerial vehicles: Issues, opportunities, and future challenges", *Journal of Network and Computer Applications*, pp. 15-31, 2015.

강 영 흥



1984년 2월: 한국항공대학교 통신공학과
(공학사)

1986년 2월: 한국항공대학교 전자공학과
(공학석사)

1993년 2월: 한국항공대학교 전자공학과
(공학박사)

1988년 3월~1990년 2월: 한국항공대학교

통신공학과 조교

1995년 8월~1996년 8월: 일본 오사카대학 개원교수

2003년 8월~2005년 2월: 영국 York대학 방문교수

1990년 4월~현재: 군산대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수

[주 관심분야] 위성통신공학, 통신공학, 이동통신공학, 정보통신
표준화, USN