

UAM A2A 링크를 위한 USN1용 주파수 대역 활용 고찰

A Study on the Utilization of Frequency Bands for USN1 in UAM A2A Links

이 응 돈* · 문 권 한 · 강 군 석 · 김 대 호
한국전자통신연구원 에어모빌리티연구본부

Eung-don Lee* · Gwon-han Mun · Kun-seok Kang · Dae-ho Kim

Air Mobility Research Division, Electronics and Telecommunications Research Institute, Daejeon 34129, Korea

[요 약]

본 논문에서는 A2A(air-to-air) 방송 링크와 A2G(air-to-ground) 셀룰러 링크를 기반으로 한 UAM(urban air mobility) 통신 환경에서, USN1(ubiquitous sensor network1)용 주파수 대역(917~923.5 MHz)을 A2A 방송 링크로 활용할 수 있는 가능성을 검토하였다. 이를 위해 무선설비 기술기준을 바탕으로 링크 신호 규격, 전술적 충돌관리를 위한 통신 커버리지, 그리고 링크 수용용량 등 UAM 운용에 필요한 충분조건 충족 여부를 분석하였다. 그 결과, 약 230 kbps의 변조율을 갖는 GMSK(Gaussian minimum shift keying) 변조 방식과 10 ms 이하의 짧은 메시지 구조, 그리고 슬롯형 알로하(slotted ALOHA) 기반의 단순한 MAC(media access control) 메커니즘을 사용하는 A2A 방송 링크가 USN1 주파수 대역에 적용 가능함을 확인하였다. 또한, 전후좌우 빔포밍이 가능한 샤크 안테나를 UAM 기체 상부와 하부에 장착하고 유연하게 운용함으로써 지상 IoT(internet of things) 기기와의 간섭도 회피 가능함을 알 수 있었다.

[Abstract]

This paper investigates the feasibility of utilizing the ubiquitous sensor network1 (USN1) frequency band (917~923.5 MHz) for air-to-air (A2A) broadcast links within an urban air mobility (UAM) communication environment, which integrates both A2A broadcast and air-to-ground (A2G) cellular links. Based on technical standards for radio equipment, we analyze whether the sufficient conditions for UAM operation including link signal specifications, communication coverage for tactical conflict management, and link capacity are met. The results confirm that an A2A broadcast link employing a Gaussian minimum shift keying (GMSK) modulation scheme with a modulation rate of approximately 230 kbps, a short message structure of less than 10 ms, and a simplified media access control (MAC) protocol based on the slotted ALOHA mechanism is applicable to the USN1 band. Furthermore, this study demonstrates that interference with terrestrial internet of things (IoT) devices can be effectively mitigated by deploying shark-fin antennas capable of multi-directional beamforming on the upper and lower sections of the UAM aircraft.

Key word : Air-to-air, Air-to-ground, Automatic dependent surveillance-broadcast, Urban air mobility, Ubiquitous sensor network.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2026.30.3.179>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 27 April 2026; Revised 24 June 2026
Accepted (Publication) 26 June 2026 (30 June 2026)

*Corresponding Author; Eung-don Lee

Tel: +82-42-860-3904

E-mail: edlee@etri.re.kr

I. 서론

도심항공교통 (UAM; urban air mobility)은 도심 내 활용이 가능하고 배출가스가 없는 친환경 전기동력 수직이착륙기 (eVTOL; electric vertical take-off & landing) 등을 이용하여 승객이나 화물 운송 등을 목적으로 타 교통수단과 연계 운송을 고려하는 항공체계 기반 모빌리티이다. UAM은 도심 안팎에서 승객·화물 운송을 비롯하여 공공목적 (긴급의료 등)과 관광 사업 등을 위해 운용될 수 있다 [1], [2].

UAM은 도심 인근에 위치한 버티포트에 이착륙하고, 미리 설정된 회랑을 통해 300~600 미터의 중고도에서 운항된다. 중고도에서 운항되는 UAM을 지상국에서 감시하기 위해서는 도심 인근의 회랑을 따라 레이더, A2I (air-to-infra) 방송 수신기 등과 같은 감시 센서를 설치해야 하는데, 주변 지형과 건물 및 교량의 구조물로 인하여 인프라 구축이 쉽지 않다. 이러한 경우, 지상국에서는 UAM을 감시할 수 없는 음영 구역이 발생할 수 있다. 이러한 UAM 운용 환경에서의 문제를 해결하기 위해 논문[3]에서는 방송 기반의 A2A (air-to-air) 링크와 셀룰러 네트워크 기반의 A2G (air-to-ground) 링크를 복합 운용함으로써 별도의 인프라를 구축하지 않고도 전체 회랑을 음영 구역 없이 감시할 수 있는 하이브리드 형태의 UAM 통신 링크 운용 개념이 제안되었다.

한편, 전세계 항공기에는 ADS-B (automatic dependent surveillance-broadcast) 장비가 탑재되어 있으며, 상용 항공기에 탑재된 A2A 방송 링크에 해당하는 ADS-B 1090ES (extended squitter) 링크에는 1,090 MHz 주파수 대역을 사용하고 있고, 범용 항공기에 탑재된 978UAT (universal access transceiver)[4] 링크에는 978 MHz 주파수 대역을 사용하고 있으나, 활용 가능한 주파수 대역폭에 비해 항공기 수가 너무 많아 주파수 대역이 혼잡하여 링크 메시지 간에 충돌 문제가 발생하고 있다. 이에 따라 항공 항행용으로만 할당되어 있는 미사용 1,104 MHz 대역의 A2A 활용 방안에 대한 논의가 진행 중이며[5], [6], 1 대역을 점유하고 있는 DME (distance measuring equipment) 채널 사이의 빈 공간에 신호를 끼워 넣는 인레이 (inlay) 배치 기술을 사용하는 LDACS (L-band digital aeronautical communications system)에 대해서도 연구가 진행되어 왔다[7], [8].

본 논문에서는 A2A 방송 링크와 A2G 셀룰러 링크 기반의 UAM 운용 환경에서 USN1용 주파수 대역 (917~923.5 MHz)의 A2A 방송 링크로의 활용 가능성에 대해 무선설비 기술기준을 토대로 링크 신호 규격, 전술적 충돌관리를 위한 통신 커버리지, 링크 수용용량 등 UAM을 운용하기 위한 충분조건들이 만족하는지를 분석하고 지상 IoT (internet of things) 기기와의 간섭을 줄이기 위한 방안도 제시한다.

II. 전파형식 및 주파수 허용편차

917~923.5 MHz 주파수 대역의 전파를 사용하는 USN1용

표 1. 중심주파수

Table 1. Center frequencies

Ch.	Freq.(MHz)	Ch.	Freq.(MHz)	Ch.	Freq.(MHz)	Ch.	Freq.(MHz)
1	917.1	9	918.7	17	920.3	25	921.9
2	917.3	10	918.9	18	920.5	26	922.1
3	917.5	11	919.1	19	920.7	27	922.3
4	917.7	12	919.3	20	920.9	28	922.5
5	917.9	13	919.5	21	921.1	29	922.7
6	918.1	14	919.7	22	921.3	30	922.9
7	918.3	15	919.9	23	921.5	31	923.1
8	918.5	16	920.1	24	921.7	32	923.3

무선설비의 기술기준[9]에 따른 사용 가능한 전파형식은 N0N, A1D, A7D, B1D, B7D, D2D, F1D, F7D, G1D, G7D 중 1 이상이며, 전파형식 기호는 다음과 같이 표기된다.

1) 첫 번째 글자 (변조방식):

- N: 변조되지 않은 반송파
- A: 진폭 변조
- F: 주파수 변조
- G: 위상 변조
- D: 진폭과 위상을 동시에 변조

2) 두 번째 글자 (신호의 성격):

- 1: 단일 채널 디지털 정보 (부차 반송파 미사용)
- 2: 단일 채널 디지털 정보 (부차 반송파 사용)
- 7: 다중 채널 디지털 정보

3) 세 번째 글자 (정보의 형태):

- N: 정보 없음
- D: 데이터 전송 (원격측정, 컴퓨팅 데이터 등)

USN1용 무선설비 기술기준의 전파형식을 만족하기 위해 UAM A2A 링크에 F1D 전파형식에 해당하는 GMSK (Gaussian minimum shift keying) 변조 방식을 적용한다.

또한, USN1용 무선설비 기술기준의 주파수 허용편차인 중심주파수(표 1)로부터 $\pm 40 \times 10^{-6}$ 이하를 만족하기 위해 ADS-B 978UAT 규격과 동일한 중심주파수로부터 ± 20 PPM (parts per million)에 맞게 설계한다.

III. 복사전력

USN1용 무선설비의 기술기준에 따른 안테나 절대이득을 포함한 복사전력은 표 2와 같다. 안테나 절대이득을 포함한 복사전력인 송신전력에 따라 UAM 간의 감시 영역인 A2A 통신 커버리지가 결정되고, 이러한 통신 커버리지 범위에 의해 UAM 간 전술적 충돌회피를 가능하게 하는 시간이 좌우된다. 통신 커버리지 범위가 넓을수록 UAM 간 전술적 충돌회피 시 시간적 여유가 늘어나므로, 허용범위 내 최대 출력을 사용해야 한다. USN1의 경우, 실외 고정형 점대다점 무선 기기에 한하여

표 2. 안테나 절대이득을 포함한 복사전력

Table 2. EIRP (equivalent isotropically radiated power)

Channel	Reference value
1, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 15, 16, 18	≤ 3 mW
2, 5, 8, 11, 14, 17, 19, 20~25	≤ 10 mW
26~32	≤ 25 mW
	≤ 200 mW
20~32	Limited to outdoor fixed point-to-multipoint radio equipment

최대 200 mW를 허용하지만, A2A 장비의 경우, 이동형 무선 기기에 해당하므로, 최대 25 mW의 출력으로 채널 26~32를 통해 데이터를 송신할 수 있다.

3-1 통신 커버리지와 전술적 충돌관리

위와 같은 조건에서 LOS (line-of-sight) 환경에서 전파가 거리에 따라 얼마나 감쇄하는지를 정량화하는 자유 공간 전파 손실 (FSPL; free space path loss) 공식을 적용했을 때, 최대 통신 커버리지를 계산하고 전술적 충돌회피가 가능한지 분석하면 다음과 같다.

1) 자유 공간 전파 손실 (FSPL) 계산

전파 손실(L_p)은 주파수(f)와 거리(d)에 비례하며, 다음과 같은 수식으로 계산된다. (c 는 광속)

$$L_p = \left(\frac{4\pi df}{c} \right)^2 \quad (1)$$

이를 로그 스케일(dB)로 변환하면 다음과 같이 표현되며,

$$L_p(dB) = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi}{c}\right) + 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) \quad (2)$$

수식 (2)에서 거리를 km 단위로, 주파수를 MHz 단위로 환산하면 다음과 같다.

$$L_p(dB) = 32.44 + 20\log_{10}(d_{km}) + 20\log_{10}(f_{MHz}) \quad (3)$$

2) 링크 버짓 (link budget) 설정

신호를 검출할 수 있는지 판단하려면 수신 신호 강도(P_{rx})가 수신기 감도(S) 보다 커야 한다.

- 송신 출력(P_{tx}): 25 mW $\approx$ 14 dBm(송신 안테나 이득 포함)
- 수신 안테나 이득(G_{rx}): 2 dBi 가정(일반적인 옴니 안테나)
- 수신기 감도(S): -98 dBm 가정
 - 구현 마진, 대기 감쇄, 간섭 등을 고려한 잡음 지수 (NF; noise figure): 7 dBm
 - 요구 SNR(signal-to-noise ratio): 16 dBm
 - 대역폭: 200 kHz

따라서 수신 가능 조건은 다음과 같다.

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{rx} - L_p \geq S \quad (4)$$

3) 단일 전송 시 최대 거리(d_{km}) 계산

$$14 + 2 - \{32.44 + 20\log_{10}(d_{km}) + 20\log_{10}(922.5)\} \geq -98 \quad (5)$$

$$\log_{10}(d_{km}) \leq 1.113 \quad (d_{km} \leq 13) \quad (6)$$

따라서 USN1 주파수 대역에서 GMSK 변조 신호를 25 mW의 출력으로 단일 송신할 때, 구현 마진, 대기 감쇄, 간섭 등을 감안해도 LOS가 보장되는 구역에서는 최대 13 km까지 통신 커버리지가 확보됨을 알 수 있다.

4) ACAS 경보 및 안내 (전술적 분리)

한편, RTCA(radio technical commission for aeronautics)와 GAMA(general aviation manufacturers association)에서는 전술적 충돌관리를 위한 요구시간 60 초를 제시하고 있다. K-UAM 성숙기에서 UAM의 최대 운항속도가 300 km/h이므로[10], 이는 두 대의 UAM이 최대 운항속도로 서로 마주 보며 비행하는 최악의 시나리오에서 전술적 충돌관리를 위해 최소 10 km의 통신 커버리지가 요구됨을 의미한다. 링크 버짓을 통해 분석된 13 km 통신 커버리지는 제안된 기술이 UAM의 전술적 충돌관리를 위해 사용될 수 있음을 보여준다. 이로써 아래와 같은 공중충돌회피시스템 (ACAS; airborne collision avoidance system)의 최고근접지점 (CPA; closest point of approach) 기준 교통조언 (TA; traffic advisory) 및 해결조언 (RA; resolution advisory) 발령하는 기존의 ACAS (airborne collision avoidance system) 장치[11]를 제안된 기술과 연계하여 적용할 수 있음을 의미한다.

- 교통조언 (TA): 양쪽 항공기 간 최고근접지점 (CPA)까지 20~48 초(3.3~8 km) 남았을 때 발령
- 해결조언 (RA): 양쪽 항공기 간 최고근접지점 (CPA)까지 15~35 초(2.5~5.8 km) 남았을 때 발령

IV. 점유주파수 대역폭 및 필요발사

USN1용 무선설비의 기술기준에 따른 중심주파수는 채널 1~32 각각에 대해 917.1~923.2 MHz까지 200 kHz 단위로 할당되어 있고, 특히 25 mW를 사용하는 채널 26~32는 922.1~923.3 MHz를 중심주파수로 사용하고 있다.

4-1 A2A 링크 변조 및 주파수 스펙트럼

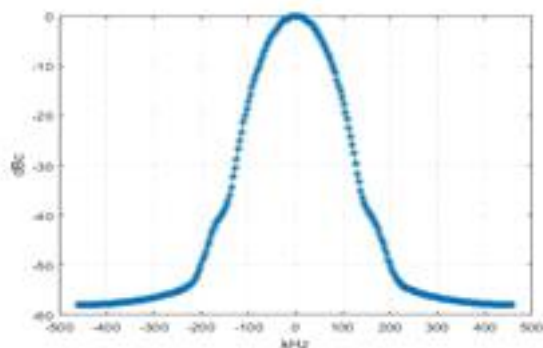


그림 1. A2A 링크 GMSK 신호 주파수 스펙트럼
Fig. 1. Frequency spectrum of A2A link GMSK signals

전송한 바와 같이 항공 무선 항행 업무용 주파수의 한정된 스펙트럼 자원 특성을 고려하여 A2A 링크용으로는 주변 장비와의 간섭을 방지하기 위한 낮은 간섭 대역 외 (OOB; out of band) 성분을 갖는 협대역 변조 방식인 GMSK 방식을 사용한다. BT (bandwidth-time product) 값이 0.2인 GMSK 방식은 그림 1과 같은 주파수 스펙트럼을 갖는 신호를 생성한다.

USN1용 무선설비의 기술기준에서는 지정주파수대 바깥에서의 불요발사 (OOB 성분)를 주요 기준으로 제시한다. 25 mW의 복사전력을 사용할 경우, 중심주파수 923.3 MHz와 지정주파수의 끝 범위인 923.5 MHz에서의 불요발사 값이 중요한 판단 기준이 된다. GMSK 신호 주파수 스펙트럼을 보면, 송신전력 14 dBm에 대해 불요발사 기준 값인 1 GHz 미만에서 -36 dBm 이하를 만족함을 알 수 있다.

4-2 A2A 링크 순방향 오류 정정 부호화

USN1용 주파수 대역은 비면허 대역으로서 지상에서 저전력 IoT 기기에 주로 사용되고 있다. 따라서 지상에서 공역으로의 간섭도 고려하여 A2A 링크에는 버스트 에러에 강인한 8 바이트 오류 정정 능력을 가진 RS (Reed-Solomon) 부호를 사용한다.

V. 간섭회피 또는 간섭경감기술

USN1용 무선설비의 기술기준에 따라 적용 가능한 간섭회피 또는 간섭경감기술은 3 가지가 있고, 그 중 해당 기준의 가목 방식은 주파수호핑 방식을 이용하는 경우이므로 A2A 링크에는 적용되지 않으며, 나목 방식은 LBT (listen before talk) 방식으로서 CSMA/CA (carrier sense multiple access with collision avoidance) 방식에 해당하고, 다목은 최대 점유율 (max duty cycle)을 제한한 것으로서 A2A 링크의 경우(복사전력 25 mW)에는 1% 최대 점유율 조건을 만족해야 한다[9]. CSMA/CA는 경쟁 방식으로 인해, 송신 주기성을 필수적으로 수용해야 하는 시스템에는 적합하지 않으며, UAM과 같이 공중에서 사용 시, 주변의 주파수 간섭의 영향이 지상과 달리 더 발생하여

표 3. 간섭회피(경감) 및 MAC 방식 비교

Table 3. Comparison of interference avoidance(mitigation) and MAC schemes

	LBT + CSMA/CA	1% max duty cycle + slotted ALOHA
Mechanism	- Check if the link is clear before transmitting an A2A link message; if clear, the message is transmitted, and if not, it waits for a random kick-off time.	- Divide one second (1,000 ms) into numerous time slots and transmit the A2A link message within any assigned slots for less than 10 ms.
Pros	- Physically prevent collisions when the link is already occupied by ground IoT devices or other UAM.	- Unlike LBT, it does not involve back-off waiting times, resulting in a constant transmission latency. - The implementation logic is highly simplified, as it only requires receiving data and transmitting at a designated time.
Cons	- Occurrence of the hidden node problem. - In dense areas, increased waiting times pose a risk of failing to meet real-time requirements, such as the 1-second update cycle. - Increased implementation complexity.	- At altitudes of 300~600 m, UAM can establish LOS connections with numerous ground devices. As hundreds of nearby devices each occupy 1% of the link, the probability of packet collisions due to overlapping slots increases exponentially.

성능 저하의 원인이 될 수 있다. 본 고에서는 이러한 환경 변수 요인에 강건한 슬롯형 알로하 (slotted ALOHA) 방식을 적용한다. 표 3은 A2A 링크에 적용할 수 있는 두 가지 형태의 간섭회피(경감) 및 MAC 방식을 비교한 것이다.

5-1 A2A 링크 메시지 구조

그림 2는 UAM용 A2A 링크 메시지 구조를 나타낸 것이다. A2A 링크 메시지는 34 바이트의 A2A 메시지 페이로드, 16 바이트의 패리티, 각각 6 바이트의 프리앰블 및 미드앰블로 총 62 바이트로 구성된다. 여기서 미드앰블은 저고도 운영에 따른 건물과 교량의 구조물에 의한 A2A 신호의 다중 경로 발생을 고려하여 다중 경로 페이딩에 강인하도록 추가로 삽입되었다.

전송한 주파수 스펙트럼을 갖는 GMSK 방식에 대해 230 kbps의 변조율($R_s=R_b$)을 적용하면, 한 개의 A2A 링크 메시지를 변조하여 전송하는데 약 2.16 ms의 시간이 소요된다. 따라서 1% 최대 점유율 + 슬롯형 알로하 방식으로 전송하더라도 1 초 동안 최대 4 개의 A2A 링크 메시지를 전송할 수 있다.

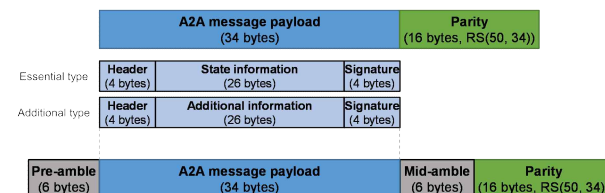


그림 2. UAM용 A2A 링크 메시지 구조
Fig. 2. A2A link message structure for UAM

ADS-B 장비의 경우, 마하 속도로 가속 및 감속하는 항공기를 감시하는 경우에 한해서만 최대 8 Hz로 ADS-B 링크 메시지를 전송하도록 규정하고 있으나, UAM의 경우에는 현실점에서 이에 해당하지 않으며, A2A 링크 프레임(1 초) 내에 상태정보를 포함하는 기본형 메시지 1 개와 추가정보를 포함하는 추가형 메시지 1 개를 함께 전송하는 것 만으로도 충분히 감시 및 충돌회피가 가능하다.

5-2 A2A 링크 수용용량

슬롯형 알로바 방식을 적용할 경우, A2A 링크에서는 ADS-B 978UAT 방식과 동일하게 하나의 타임슬롯을 250 μ s로 설정(1 초에 4,000 개 타임슬롯)하고 타임슬롯에 동기를 맞추어 A2A 링크 메시지를 전송한다. 1 개의 A2A 링크 메시지(2.16 ms)는 9 개의 타임슬롯을 차지하고, 한 대의 UAM 당 A2A 링크 프레임(1 초) 내에 최대 2 개의 링크 메시지를 전송하므로 A2A 링크의 최대 수용용량은 222 대가 된다. 정해진 회로를 따라 운항하는 UAM 운영 특성과 공중 충돌관리를 위한 전략적/전술적 분리를 고려해 볼 때, UAM을 200 대 규모로 동시에 운항하여 A2A 링크 메시지를 서로 송수신하는 상황에서 특정 메시지 프레임을 수신하지 못하더라도, 다음 프레임을 수신함으로써 주변 UAM의 상태를 신뢰성 있게 감시할 수 있다.

5-3 지상 IoT 기기와의 간섭회피

USN1용 주파수 대역을 UAM A2A 링크로 사용할 경우, 300~600 m 상공의 UAM은 지상의 수많은 IoT 기기와 LOS로 연결될 수 있으므로 신호 간섭으로 인해 패킷 충돌 가능성이 있다. 하지만 A2A 링크는 300~600 m 상공에서만 작동(A2G 링크는 셀룰러 이동 통신망 사용)되므로 지상의 IoT 기기들과는 거리 감쇄 덕분에 어느 정도 공간적 분리가 일어나고, A2A 링크 안테나로 전후좌우로 빔포밍이 가능한 안테나(예. 샤크 안테나)를 적용하면 지상 IoT 기기와의 간섭은 대부분 회피 가능할 것으로 예상된다.

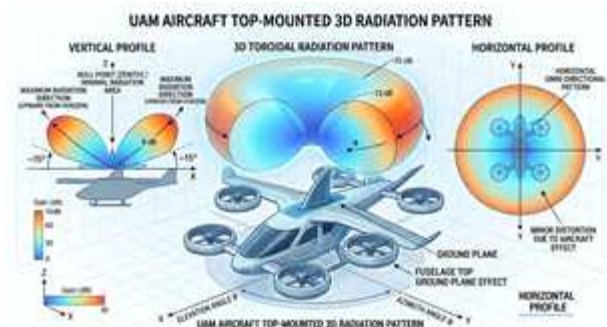


그림 3. 수직 모노폴 샤크 안테나 3D 방사 패턴 (Gemini 제공)
Fig. 3. 3D radiation pattern of a vertical monopole shark-fin antenna (provided by Gemini)

그림 3과 같이 수직 모노폴 샤크 안테나의 3 차원 빔 패턴이 반투명한 도넛 형태이고, UAM 기체 상부에 장착하면, 기체 본체의 금속 프레임이 거대한 차단막 역할을 하게 되어 기체 하부로는 직접파 대비 최소 10~20 dB 이상의 감쇄가 발생한다(그림 3에 도시된 수치는 방사 패턴의 세기를 설명하기 위한 예시임). 이 경우, 송신 패턴의 반대편에 존재하는 타 UAM 기체의 경우에는 신호를 원활하게 수신하지 못할 수 있다. 이러한 문제를 방지하기 위해 UAM 기체 상부와 하부에 샤크 안테나를 설치하여 교대로 신호를 송출하여 전방위 커버리지를 확보한다. 또한 지상 IoT 기기와의 간섭을 줄이기 위해, 상부와 하부 안테나 간 송신 빈도를 조절하고 안테나 별 송신 출력을 조절함으로써 지상 시스템과의 조화로운 운용이 가능하다.

VI. 결 론

A2A 방송 링크와 A2G 셀룰러 링크 기반의 UAM 통신 링크 운용 개념과 공중 충돌관리를 위한 전략적/전술적 분리 및 기술로드맵 상 성숙기에 여러 회랑 동시 운영 등을 상황을 고려했을 때, 917~923.5 MHz 주파수 대역의 전파를 사용하는 USN1용 무선설비의 기술기준을 토대로 ADS-B 978UAT와 유사한 GMSK 변조 방식, 10 ms 이하의 짧은 메시지 구조, 슬롯형 알로바 메커니즘의 단순한 MAC 방식을 A2A 링크에 적용하고, 지상 IoT 기기와의 간섭 저감을 위한 전후좌우 빔포밍 특성을 갖는 안테나를 UAM 기체 상부와 하부에 장착한다면 USN1용 주파수 대역을 UAM A2A 링크로 활용 가능성을 알 수 있다.

Acknowledgments

이 논문은 2024년도 정부(국토교통부)의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원 (과제번호 RS-2024-00406112, UAM 운항공역 감시정보 획득·융합 핵심기술 개발)에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

References

- [1] Federal Aviation Administration(FAA), *Urban Air Mobility (UAM) Concept of Operations v2.0*, Washington, DC, USA, April 26, 2023. Retrieved from <https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/Urban-Air-Mobility-Concept-of-Operations-2.0.pdf>.
- [2] Recommendation ITU-T X.1385 (X.evtol-sec): Security requirements and guidelines for telecommunications in an urban air mobility (UAM) environment, Sep. 2024. Retrieved from

- <https://www.itu.int/epublications/publication/itu-t-x-1385-2025-04-security-requirements-and-guidelines-for-telecommunications-in-an-urban-air-mobility-uam-environment>.
- [3] E. Lee, and D. Kim, "Design of A2A link message structure for UAM," *KSAS 2026 Spring Conference*, Jeju, PElectronic-6, Apr. 2026. Retrieved from https://ksas.or.kr/Publications/sub_05_2.asp.
- [4] RTCA SC-186, DO-282C: Minimum Operational Performance Standards (MOPS) for Universal Access Transceiver (UAT) Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (ADS-B), 2022. Retrieved from <https://www.rtca.org/standards/>.
- [5] GAMA EPIC Data Communications Ad-hoc Committee, *Vehicle-to-Vehicle Datalink Communications: Enabling Highly Automated Aircraft and High-Density Operations in the National Airspace*, Washington, DC | Brussels, Belgium, Dec. 2021. Retrieved from <https://gama.aero/facts-and-statistics/consensus-standards/publications/gama-and-industry-technical-publications-and-specifications/>.
- [6] RTCA SC-228, *Vehicle to Vehicle Communications White Paper* (RTCA Paper No. 302-22/PMC-2350), Washington, D C, Dec. 2022. Retrieved from <https://www.rtca.org/wp-content/uploads/2023/01/V2V-White-Paper-Final.pdf>.
- [7] C. Rihacek, M. Sajatovic, J. Meser, and T. Gräupl, "L-band digital aeronautical communications system (LDACS) - technical validations in SESAR2020," *2019 IEEE/AIAA 38th Digital Avionics Systems Conference (DASC)*, San Diego: C A, Sep. 2019. DOI: 10.1109/DASC43569.2019.9081756.
- [8] Y. Zhu, Z. Wang, K. Guo, and Z. Dan, "L-band Digital Aeronautical Communications System Development Status and Challenges," *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*, Vol. 45 (10): 029161, May 2024. DOI: <https://doi.org/10.7527/S1000-6893.2023.29161>.
- [9] Ministry of Science and ICT, *Partial Amendment to the Technical Standards for Radio Equipment for Radio Stations That Can Be Opened Without Filing a Report* (Notice No. 2026-10), Korea, Feb. 2026. Retrieved from <https://www.law.go.kr/LSW//admRulLsInfoP.do?admRulId=53943&efYd=0>.
- [10] Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAIA) and National Research Foundation of Korea(NRF), *K-UAM Technology Roadmap*(ISBN 978-89-94071-45-9), Korea, June 2021. Retrieved from <https://www.kaia.re.kr/porta/landmark/readTskFinalView.do?tskId=158748&yearCnt=1&menuNo=200100>.
- [11] EUROCONTROL, *ACAS Guide, Airborne Collision Avoidance Systems*, April 2025. Retrieved from <https://www.eurocontrol.int/publication/airborne-collision-avoidance-system-acas-guide>.

이 응 돈 (Eung-Don Lee)



1994년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 2009년 8월 : 충남대학교 정보통신공학과 (공학박사)
 1996년 3월~1999년 11월 : (주)대우전자 주임연구원
 2016년 1월~2016년 3월 : 핀란드 탐페레기술대학교 방문연구원
 1999년 12월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원
 ※관심분야 : 디지털 방송 기술, 통신 시스템, 항공 감시 기술, A2X 통신

문 권 한 (Gwon-Han Mun)



2013년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학사)
 2015년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학석사)
 2015년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원
 ※관심분야 : 신호처리, 통신공학, 항공시스템

강 군 석 (Kun-Seok Kang)



1997년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1999년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 1999년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원
 ※관심분야 : 무인기 통신, 위성통신, 이동통신

김 대 호 (Dae-Ho Kim)



1989년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1991년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 2006년 2월 : 충남대학교 정보통신공학과 (공학박사)
 1991년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 실장
 ※관심분야 : 디지털 통신, 무인기 제어/임무용 통신, UTM/UAM