

드론 충돌 회피 통신 센서의 물리 계층 구조와 성능에 대한 연구

황현구

한국전자통신연구원

hyungu@etri.re.kr

Study on physical layer structure and performance of drone collision avoidance communication sensor

Hwang Hyungu

Electronics and Telecommunications Research Institute

요약

본 논문은 드론의 충돌 회피를 위하여 ISO/IEC JTC 1/SC 6에서 진행중인 국제표준 LADAN(Low Altitude Drone Area Network : 저고도 드론 네트워크)의 통신 구조와 그 성능에 대하여 분석한 것이다. 최근 ISO 국제 표준 기구에서는 저고도 소형 드론들의 충돌 회피를 위한 통신 표준 LADAN의 개발이 진행되고 있다. LADAN은 총 4개의 part로 나누어져 있으며, 본 논문은 그 중에서 part 2 shared communication(공유 통신)의 물리 계층에 대한 것이다. 공유 통신은 드론간 통신을 가능하게 하여 드론이 서로 인식하고 충돌 회피를 위한 경로 협상을 가능하게 한다. 본 논문에서는 공유 통신 물리 계층의 구조를 알아보고, 그 성능을 제시한다. 이러한 성능 결과로 송신 파워에 따른 통신 거리를 계산할 수 있으며, 이는 실제 저고도 드론간 통신을 활용함에 있어 유용한 자료를 제공한다.

I. 서 론

대형 무인기의 경우, 항공기간 충돌 회피를 위하여 유인 항공기가 장착하는 레이더, TCAS, ADS-B 등의 다양한 장치를 장착한다. 그러나, 주로 저고도에서 운항하는 소형 드론의 경우에는 이러한 유인 항공기용 장비를 크기나 무게 혹은 파워 문제로 장착할 수 없다.

이처럼 저고도 소형 드론을 위한 충돌 회피 통신 장치는 유인기나 대형 무인기와는 다른 통신 방식이 필요하고, 이를 위해 현재 국제 표준 기구 ISO에서 LADAN 표준이 개발되고 있다. LADAN part 2 공유 통신은 이미 국내 TTA에서 제정된 표준 '무인비행장치 통신 물리 및 데이터 링크 계층 기술'을 기반으로 한다.

공유 통신은 간단한 물리 계층과 좁은 주파수 밴드를 설정하여, 드론이 낮은 파워로 멀리 자신의 정보를 방송하거나 다른 드론과 정보를 교환하는 것을 지원한다.

공유 통신에서 드론은 하나의 2ms 슬롯을 점유하여 매 초마다 드론의 정보를 방송할 수 있다. 또한, 필요한 경우 슬롯 자원을 더 할당하거나, 긴급히 할당할 수도 있다.

저고도 드론은 이러한 공유 통신의 기능을 활용하여 다른 드론의 위치를 실시간으로 파악하고, 충돌 가능성을 계산할 수 있는 토대를 마련해 준다. 만약, 충돌 가능성이 임계치를 넘는 경우, 한 드론은 즉시 자원을 할당하여 다른 드론에게 경로 협상을 요청할 수 있다.

본 논문에서는 공유 통신의 물리 계층의 구조를 알아보고, 물리 계층의 성능을 제시하고자 한다. 또한 성능을 통하여 송신 파워에 따른 통신 거리를 알아보고, 이를 통해 드론 운용에 대한 방법을 제시한다.

II. 공유 통신의 구조와 성능

한 프레임의 시간은 1초이다. 1초 프레임은 다시 500개의 슬롯으로 나누어진다. 각 슬롯의 시간은 2ms이다.

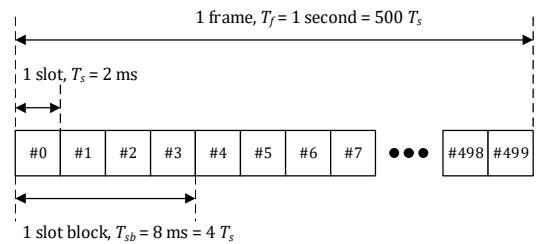


그림 1. 공유 통신의 1초 프레임 구성도

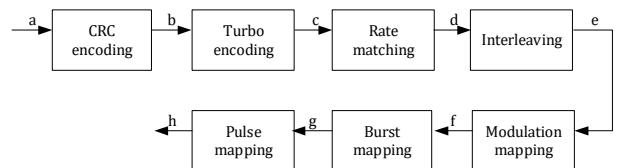


그림 2. 공유 통신의 변조 절차도

공유 통신의 변조 구조는 그림 2 와 같다. CRC, 터보 부호화, 레이트 매칭, 인터리빙, 변조 매핑, 버스트 매핑, 월스 매핑으로 이루어진다. 각 단계별 심볼 수는 a, b, c d, e, f, g, h 차례로 792, 816, 2460, 2432, 2432, 1216, 1288, 1344×12 이다. 최종 DQPSK 슬롯 구성은 아래와 같다.

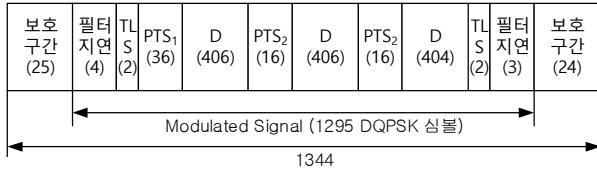


그림 3. 공유 통신의 2ms 슬롯 구성도(g 심볼 기준)

여기서, PTS 는 pilot training sequence 이고, 보호구간은 앞 뒤로 각각 25, 24 심볼이 있다. 구체적인 변조 과정은 앞서 언급한 TTA 표준에 나타나 있다.

변조 심볼 g 의 심볼 시간은 $1/672000$ 초, 즉 $1.488 \mu\text{s}$ 이다.

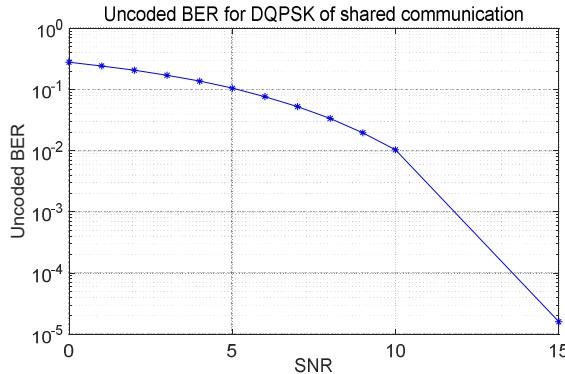


그림 4. 공유 통신 DQPSK 의 uncoded BER

그림 4 는 변조 심볼 레벨에서의 uncoded BER(UER)이다. 공유 통신의 타겟 UER은 12.5%로 이경우, FER은 0.1% 이하가 된다. 약 4.5 dB의 SNR에서 이것을 만족시킬 수 있다.

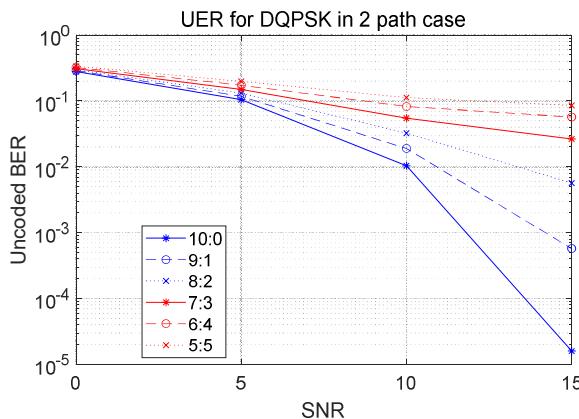


그림 5. 멀티 패스가 있는 경우의 공유통신 UER

그러나, 멀티 패스가 있는 경우에는 성능이 나빠진다. 그림 5는 반 심볼 뒤에 멀티 패스가 존재하는 경우의 성능을 보여준다. 10:0 은 멀티 패스가 없는 것을 뜻하고,

9:1 은 첫째 패스와 둘째 패스의 파워 비가 9:1 임을 뜻한다.

공유 통신의 타겟 12.5%를 고려하면, 5:5 패스 비율에서, 약 9.5dB 가 이를 만족한다. 이는 단일 패스에 비해서 약 5dB 더 성능이 하락한 것이다.

III. 공유 통신의 통신 거리 및 송신 파워

공유 통신은 드론간 통신은 물론 드론과 착륙장간의 통신 및 장애물 정보 방송 등에 광범위하게 사용될 수 있다. 소형 드론은 대부분 150m 이하 저고도에서 운영되는데, 문제는 이 소형 드론들은 레이더에 거의 잡히지 않는다는 점이다. 공유 통신은 이 소형 드론이 자신의 정보를 대략 5km 까지 방송하고, 충돌 회피를 위한 정보를 다른 드론과 교환할 수 있는 것을 목표로 한다.

현재, 드론을 위한 주파수가 5.03GHz 대역에 할당되었고, 공유 통신의 99% 점유 대역폭은 약 1MHz 이므로, 아래 식에서 5km 의 자유공간 손실은 약 120.5dB 가 된다.

$$L_{fs} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi \cdot 1000 \text{ km}}{299.8 \text{ fMHz}} \right)$$

$$No = kT \text{ [watt/Hz]}, k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ [J/K]}$$

또, 실온 290K에서 1MHz 대역에 존재하는 노이즈 파워 No 는 약 -114dBm 이다.

멀티 패스가 없는 이상적인 경우의 필요 SNR은 4.5dB 이고, 멀티 패스와 비율이 5:5 인 경우의 필요 SNR은 9.5dB 이다. 이것을 만족시키기 위한 수신 파워는 -109.5 dBm 과 -104.5 dBm 이 된다.

여기서, 자유 공간 손실이 약 120.5 dB 이므로 요구 송신 파워는 11dBm 과 16 dBm 이 된다. 우리의 경험상, 실질적인 하드웨어를 구현할 때의 노이즈 피겨를 약 6dB 정도로 정한다면, 실제 필요한 송신 파워는 17dBm 과 22dBm 이 된다.

IV. 결론

저고도 드론이 자기 위치를 방송하는 것은 미국 연방 항공국에서도 의무사항으로 2020년 초에 지정되었다. 한국도 곧 이를 따를 것으로 예상된다. 본 공유 통신은 5GHz 대역에서 약 22dBm의 낮은 송신 파워로 약 5km를 커버할 수 있다. 특히, 충돌 위험이 있는 드론들과 헬리콥터 및 유인기들이 저고도에서 5km의 거리에서 서로를 인지하고 필요시 충돌 회피를 위한 경로 협상을 할 수 있어 그 안정성 확보에 큰 도움이 될 것으로 평가할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

이 연구는 2020년도 산업통상자원부 및 산업기술평가 관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 ('20006885', 저고도 드론 네트워크 기반 상호 충돌 회피 센서 국제표준 개발)