

# Drone간 Ad hoc통신 시스템을 위한 Sub-GHz 저전력 원거리 MAC Protocol 연구

이준범\*, 민진기\*, 서효승\*, 송동혁\*, 김현정\*, 손봉기\*\*, 이재호\*,\*\*\*

\*서원대학교 정보통신공학과

\*\*서원대학교 컴퓨터공학과

\*\*\*e-mail: izeho@seowon.ac.kr

## Low Power and Long Range MAC Protocol for Inter-Drone communications based Sub-GHz Band

Joon beom Lee\*, Jin gi Min\*, Hyo-seung Seo\*, Dong hyuk Song\*,

Hyeon jung Kim\*, Bong-ki Son\*\*, Jaeho Lee\*

\*Dept. of Information and Communications Engineering, Seowon University

\*\*Dept. of Computer Engineering, Seowon University

### 요 약

본 논문에서는 Sub-GHz band module을 Drone에 탑재하여 Drone과 전원공유로 Node(Drone)간 Low power and Long range Ad-hoc communication을 할 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 또한 이동성이 있는 Node(Drone)의 Low power and Long range communication을 위해서 Drone에 적합한 Asynchronous MAC (medium access control) protocol을 비교분석하여 적용하였다. 본 고에서는 무선 센서 네트워크의 응용 범위가 확대되면서 고정된 인프라 없이 Drone간에 실시간 정보를 통신 할 수 있게 하고 사람의 이동이 어렵고 위험한 재난지역, 방사선노출지역 또는 우천시 유인기와 사람의 접근이 불가능한 지역을 Drone이 대신 이동하여 인명피해를 줄이고 안전하게 필요한 데이터를 수집하여 상황관제실로 전송하는 서비스를 제공하고자 한다.

### 1. 서론

최근 Drone에 대한 관심이 급증하고 IT산업에서 다양한 응용 분야로 Drone의 연구가 활발히 진행되면서 Drone의 활용가능성이 높아지고 있다. 하지만 현재까지 개발된 대부분의 Drone 상용 제품은 주로 Wi-Fi, LTE 방식을 적용하고 있어 전력소모 문제를 개선하지 못하고 있다. 따라서 Sub-1GHz Band를 사용하여 저전력 원거리를 목표로 통신 인프라가 구축되지 않은 지역에서 Inter-Drone Ad-hoc Network로 수십km 범위의 통신 거리를 확보할 수 있는 방안이 필요하다.

IEEE 802.11ah 표준 Sub-GHz Band에서 동작하는 CC1310 Wireless communication module을 Drone에 탑재 하여 Drone간 1Km 이상의 서비스 범위를 지원할 수 있게 하였다. 고정된 인프라가 없는 환경에 다수의 Drone이 투입되어 수십km의 광범위한 거리를 Drone간 1Km거리를 유지하며 최소한의 전력소모로 이동 Ad-hoc network를 구축할 수 있다. Drone을 이용한 이동 Ad hoc network는 백본 호스트나 다른 이동 호스트로의 연결을 제공하기 위한 고정된 제어 장치를 갖지 않으며 이동 호스트만으로 구성된 독자

적이고 부분적인 시스템을 가능하게 한다. 이와 같은 방식으로 인하여 임시 구성용 망이나 재해, 재난 지역, 전장, 사람의 접근이 불가능한 지역 등의 기반 시설이 갖추어져 있지 않은 환경에 적합하다[1]. Ad hoc network의 특징으로는 신속하게 전개될 수 있고 통신망 노드의 이동성 및 트래픽의 전달 상황에 스스로 조직 가능한 네트워크 구조이다.

Ad hoc network를 구축한다면 모든 Node(Drone)는 제한된 배터리 용량과 이동성을 가지고 있고 동적으로 서로 연결 되며, 각 Node는 목적지 Node에 대한 경로를 설정하고 유지하는 라우터의 기능을 수행한다. 전력을 소모하는 통신모듈이 Drone의 배터리를 공유하면서 Drone간 통신에 있어서 배터리를 얼마나 효과적으로 절약하고 효율적으로 관리하느냐가 중요한 문제가 된다.

### 2. Drone간 Ad hoc 통신 시스템

본 논문의 Drone간 Communication system연구는 Sub-GHz Band에서 동작하는 CC1310 Wireless Microcontroller를 Drone에 탑재하고 Drone간 1Km 거리를 유지하여 통신할 수 있게 하였다. CC1310과

Drone은 하나의 배터리로 전원을 공유하고 이동성 있는 Drone과 전원을 공유하는 환경을 고려해 각 Node(Drone)에 수신 노드 주도 비동기식 MAC Protocol인 CS-MAC을 적용하여 기존의 비동기식 MAC Protocol인 RI-MAC과 RC-MAC에서 제시한 기법들의 단점과 배터리 문제를 보완하였다.

본 장에서는 Sub-GHz Band에서 동작하는 CC1310의 효율성과 CC1310을 탑재한 자체 제작 Drone에 대해 설명하고 본 연구에 적용된 수신 노드 주도 비동기식 MAC Protocol의 비교분석과 CS-MAC에 대해 설명하고 고정된 인프라 없는 환경에서 Ad-hoc Communication을 구축할 수 있는 시스템을 서술한다.

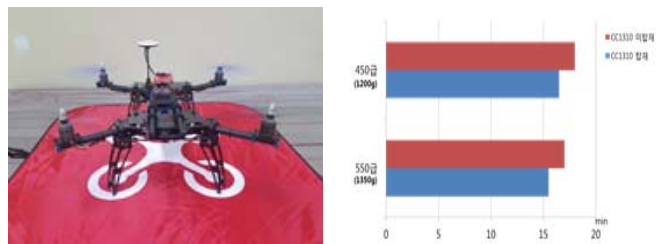
### 2.1. Sub-GHz의 효율성과 Drone H/W 설계

현재까지 개발된 대부분의 Drone 상용 제품은 주로 Wi-Fi, LTE, 위성통신 방식을 적용하고 있지만 모두 전력소모, 거리문제를 개선하지 못하고 있다. Sub-GHz는 ISM대역에서 동작하는 LPWAN 기술로 868-868.6MHz(Europe), 950-958MHz(Japan), 917-923.5MHz(Korea), 902-928 MHz(USA)에서 동작하는 기술이다. 따라서 Sub-GHz 대역을 이용하여 Drone 간 수십Km 범위의 원거리 통신 거리를 확보하고, 저전력으로 Drone과 전원공유가 가능하여 Efficiency 측면에서 매우 좋다.

Sub-GHz에서 동작하는 기술은 LoRaWAN, SigFox등이 있다. LoRaWAN, SigFox 두 기술모두 10 km이상의 통신이 가능하고 800-900Mhz ISM대역을 사용하는 것은 동일하나 LoRaWAN의 경우 전송방식은 주파수 편이 변조(FSK)방식으로 300bps-5kbps의 전송속도로 우수한 장점을 가진다. 그러나 LoRaWAN은 star of stars topology만 가능 하고 Node의 중간마다 기지국이 있어야 한다는 단점이 있다. 따라서 산악, 해양, 정글, 방사선지역 등 Drone을 이용한 Ad-hoc통신에는 적합하지 않다. Sigfox는 진폭처리 변조(ASK) 방식을 적용하였고 최대 100bps의 속도를 가진다. 또한 UNB(Ultra Narrow Band)의 통신기술을 이용하기 때문에 다른 기술보다 비교적 저전력으로 신호를 보낸다. 하지만 UNB는 좁은 대역폭으로 인해 대부분 단방향 통신을 하기 때문에 양방향 통신 즉, Ad-hoc 통신에는 적용될 수 없다. 따라서 본 연구에서는 고정된 기지국과 인프라 없는 환경에서 Ad hoc 통신을 구현할 수 있도록 제안하고자 한다.

CC1310을 탑재한 Drone은 Pixhawk FC(Flight Controller)를 사용해 550급으로 그림 1과 같이 제작

하였다. Drone의 특성상 강한 바람에 큰 영향을 받으므로 바람의 영향을 최소한으로 줄일 수 있는 크기와 GPS, Sonar sensor 등을 탑재하여 정밀한 위치 보정을 할 수 있도록 제작하였다. CC1310의 전원은 그림 1과 같이 Regulator를 이용해 Drone의 메인 배터리에서 5V를 공유해 작동시키고 1분에 한번씩 연속적으로 데이터 패킷을 보내어 Drone의 Runtime을 측정하였다. 순수한 Drone의 경우 Runtime은 그림 1과 같이 18분이고 CC1310을 탑재하여 1분에 한번씩 데이터패킷을 보낸 Drone의 경우 최대 Runtime은 16.5분으로 매우 좋은 측정결과를 볼 수 있다.



(그림 1) CC1310을 탑재한 Drone과 전원을 공유한 Drone의 Runtime 비교

### 2.2. 이동성 있는 Node에 적용된 MAC Protocol

무선 센서 네트워크는 어떠한 특정한 데이터를 수집하는 기능을 갖춘 무선 센서 노드를 배치함으로써 형성된다. 무선 센서 노드 특성상 동작에 필요한 에너지를 한정적인 배터리에 의존할 수밖에 없는데 각각의 노드가 보유한 에너지를 최소한으로 소비하여 동작가능 시간을 가능한 오래 지속시키는 것이 무엇보다 중요하다. 이러한 에너지 소모를 최소화 하기 위해 동기식 MAC, 비동기식 MAC 프로토콜에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

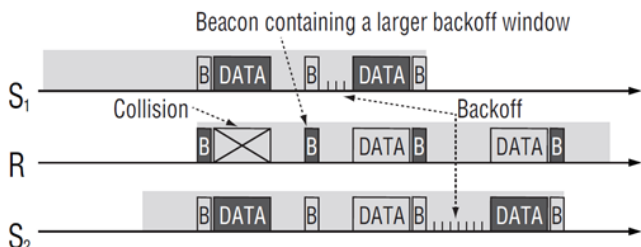
본 연구의 경우 Drone은 이동성 있는 Node로 동기를 맞추기 어렵고 한정적인 에너지와 최소한의 배터리를 이용하여 동작해야하기 때문에 각각의 노드가 자신만의 독립적인 스케줄을 가지고 동작하는 비동기식 MAC 프로토콜이 적합하다.

비동기식 MAC 프로토콜의 경우 주변 노드들과 통신을 하기 위해 동기를 맞춰야 하는데 크게 Sender-Initiated 방식과 Receiver-Initiated 방식으로 구분할 수 있다. Sender-Initiated 방식은 송신자가 보낼 데이터 패킷이 있을시 프리앰블(Preamble)이라는 비콘을 수신자가 수신하고 응답할 때까지 반복적으로 전송하여 동기를 맞추고, Receiver-Initiated 방식은 데이터 발생 시 송신자가 Wake-up 상태로 대기 하고 있다가 수신자가 보내는 Beacon 메시지를

통해 동기를 맞춘다.[2]

수신 노드 주도식 MAC 프로토콜은 대표적으로 RI-MAC, RC-MAC, CS-MAC이 있다. 앞서 서술한 바와 같이 수신 노드 주도식은 송신 노드 주도식 MAC 프로토콜에서 요구되는 긴 프리앰블 전송이 필요치 않다는 장점을 가진다. 또한 프리앰블 전송이 없어지고 매체를 점유하는 시간이 줄어들어 송신 노드가 데이터 패킷을 전송할 수 있는 기회가 많아지기 때문에 송신 노드 주도식 프로토콜에서 문제되었던 처리량이나 전송 지연 문제등을 상대적으로 줄일 수 있다.

RI-MAC은 가장 잘 알려진 수신 노드 주도식 MAC 프로토콜로 랜덤 백오프를 이용한 충돌해결 기법을 사용한다. RI-MAC의 동작방식은 그림2와 같이 보낼 데이터 패킷이 있는 송신 노드는 깨어난 뒤 리스닝 상태에서 수신 노드가 깨어나 비콘을 브로드캐스트하기를 기다리고 수신 노드가 자신이 깨어났음을 알리는 비콘을 브로드캐스트하고 그 비콘을 송신 노드가 수신하면, 송신 노드는 데이터 패킷을 즉시 송신한다. 만약 그림 2와 같이 둘 이상의 송신 노드가 프레임을 동시에 전송하여 수신 노드에서 충돌이 발생하면, 수신 노드는 일정시간을 기다린 후 충돌알림 비콘을 브로드캐스트한다. 충돌알림 비콘을 수신한 송신노드들은 자신이 보낸 데이터 패킷이 충돌했음을 인지하고 랜덤 백오프를 통해 충돌을 해결한다. 하지만 RI-MAC의 경우 충돌을 사전에 예방하거나 회피하는 방법이 아니라는 단점이 있다.



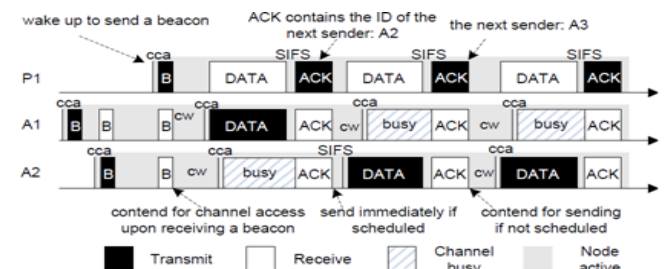
(그림 2) RI-MAC 동작방식과 충돌 해결 기법[3]

RC-MAC은 RI-MAC과 다르게 데이터를 보내기 전 충돌을 회피한다는 점에서 다르다. RC-MAC에서는 출동 없이 데이터를 전송하기 위해 수신 노드가 근처에 위치한 이웃 노드들의 리스트를 유지하고 리스트의 순서대로 송신노드의 순번이 정해진다.

동작방식은 그림 3와 같이 전송할 데이터 패킷을 가진 송신노드 A1과 A2는 깨어난 뒤 수신노드가 비콘을 브로드캐스트할 때 까지 기다린다. 수신노드 P1이 비콘을 브로드캐스트하면 송신노드 A1과 A2는

수신노드의 비콘을 감지하고 바로 랜덤 백오프를 진행하여 송신 순서를 결정하게 된다. 랜덤 백오프를 제일 먼저 끝낸 A1은 데이터를 수신 노드에게 전송하게 되고 A2는 랜덤 백오프를 마치지 못한 상태에서 A1의 패킷을 오버히어링하게 된다. 오버히어링을 하게 된 A2는 랜덤 백오프를 중단하고 수신 노드가 스케줄링 해줄 때 까지 기다린다. A1의 데이터 전송을 마친 후 수신노드는 어떤 송신 노드의 패킷을 받을지에 대한 여부는 그림 3와 같이 수신 노드가 유지하고 있는 이웃 노드 리스트로 스케줄링을 하게 된다.

수신 노드의 리스트에는 A1 노드 다음 A2 노드 순번이기 때문에 데이터 수신을 마치고 ACK에 A2의 ID를 실어 브로드캐스트하고 A2 노드의 순서임을 알려준다. 만약 그림 3와 다르게 A1, A2, A3의 송신 노드가 있다고 가정하고 A2가 랜덤 백오프를 제일 먼저 끝내어 첫 번째의 순서를 얻게 되었다면 그다음 전송순서는 A3가 될 것이다. 하지만 A3는 전송할 데이터가 없고 랜덤 백오프를 참여하지 않았으므로 A1과 A2는 ACK를 오버히어링 할 때마다 랜덤 백오프를 진행하여 다시 A2가 데이터를 보내게 된다.



(그림 3) RC-MAC 동작방식과 충돌 회피 기법[4]

RC-MAC은 모든 노드들이 항상 리스트를 유지하고 최신화 하기 때문에 전력소비가 크다. 또한 한 개의 송신노드만 데이터를 보낸다 하더라도 랜덤 백오프를 진행하고 데이터를 보내기 때문에 그만큼 배터리가 소모되기 때문에 충돌을 미연에 방지한다 하더라도 저전력 센서 네트워크 측면에서는 큰 단점으로 작용할 수 있다.

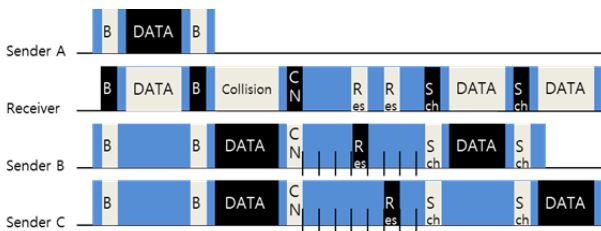
본 고에서 적용한 CS-MAC은 RI-MAC과 RC-MAC의 단점을 보완한 충돌회피 기법이다. CS-MAC의 송신 노드간의 전송 순서 결정은 보낼 데이터가 있는 송신 노드는 깨어난뒤, 수신 노드로부터 비콘을 수신할 때까지 리스닝 상태에서 기다린다는 점은 기존 기법과 동일하다. 하지만 RC-MAC과 같이 랜덤 백오프를 진행하여 순서를 정하는 것과는 달리 수신 노드가 비콘을 브로드캐스트하기 전까지 송신 노드

들은 그림 4와 같이 수신 노드의 주소를 포함하는 SW(Sender Wake-up) 비콘을 브로드캐스트 한다.

Sender A의 경우 가장 먼저 일어나 SW비콘을 브로드캐스트하고 리스닝 상태에서 대기한다. 그 후 Sender C, Sender B의 순서로 일어나 SW의 비콘을 브로드캐스트하면 Sender A는 Sender C와 Sender B의 비콘을 오버히어링하게 되고 Sender C는 Sender B의 SW비콘만을 오버히어링하게 될 것이다. 따라서 어떠한 SW 비콘도 오버히어링하지 않은 Sender B의 전송 순서는 수신한 SW 비콘수인 0에 1을 더한 1번이 될 것이고 Sender A의 경우는 수신한 SW 비콘수 2에 1을 더한 3번이 될 것이다. 이러한 방식으로 전송순서는 Sender B, C, A의 순서로 데이터를 전송하게 된다.



(그림 4) CS-MAC Protocol의 동작방식



(그림 5) CS-MAC의 충돌 회피 기법

만약 그림 5와 같이 일부 송신 노드가 서로 중복되는 전송 순서를 가지게 된다면 수신 노드에서 충돌을 일으킬 것이다. 수신 노드는 이를 알리기 위한 CN(Collision Notification)비콘을 브로드캐스트한다. 백오프 윈도우 사이즈를 포함하는 CN비콘을 수신한 송신노드들은 랜덤 백오프를 수행하여 수신 노드에게 Res(Reservation)비콘을 전송한다. 송신 노드들에게서 Res 비콘을 수신한 수신 노드는 어떠한 노드가 충돌을 일으켰는지 알 수 있어 해당 송신 노드에게만 스케줄링해줄 수 있다. 여기서 수신 노드는 수신 노드는 Res 비콘을 일찍 보낸 순서대로 패킷 전송을 스케줄링 한다.[5]

따라서 본 연구에 적용된 CS-MAC은 RI-MAC과 RC-MAC과 비교했을 때 SW비콘을 브로드캐스트하여 충돌을 사전에 회피하고 사전 랜덤백오프로 인한

패킷전송지연시간을 현저히 줄였다. 또한 충돌이 일어났을 때 Res 비콘과 랜덤백오프를 이용하여 충돌 해결을 보완하였다. 그러므로 한정적인 배터리 환경에서 저전력으로 동작해야 Runtime이 늘어나는 Drone의 특성을 고려해 CS-MAC을 적용하여 비교적 많은 충돌을 회피할 수 있고 배터리소모 또한 최소한으로 줄였다.

### 3. 결론

본 논문에서는 Sub-GHz Band에서 동작하는 CC1310을 Drone에 탑재하여 Drone간 저전력 원거리 Ad-hoc Network를 구축할 수 있는 방법을 제안하였다. 하지만 Drone Ad-hoc 환경에서는 한정적인 배터리로 동작하는 Drone의 비행시간 때문에 큰 제약이 따른다. 따라서 전력을 최소한으로 줄일 수 있는 비동기식 CS-MAC을 적용하여 배터리 문제를 완화하였다. 그러나 현재 상용화된 배터리 용량으로는 최대 Runtime으로 비행할 수 있는 시간은 20분 내외로 제약이 있어 배터리에 대한 연구는 근래에도 계속 되고 있다. 또한 다수의 Drone 충돌을 위한 회피시스템, 군집비행, Routing Protocol을 향후 연구할 계획이다.

### Acknowledgement

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2016년도 산학연협력 기술개발사업(No. C0396518)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

### 참고문헌

[1] 장우석 (2006). "Ad Hoc 네트워크에서 이웃노드 정보를 이용한 전체 노드맵 구현." 한국컴퓨터정보학회 논문지, 11(6), 221-226.  
 [2] 공준익, 정환중, 백종길, 문예은, 김경호, 이성로 (2015). "무선 센서 네트워크에서 주변 노드들과 협력을 통해 에너지 효율을 향상 시키는 비동기식 MAC 프로토콜." 한국통신학회 학술대회논문집, 281-282.  
 [3] Y. Sun, O. Gurewitz, D. Johnson (2008). "RI-MAC: A Receiver-Initiated Asynchronous Duty Cycle MAC Protocol for Dynamic Traffic Loads in Wireless Sensor Networks" in Proc. the 6th ACM conference on Embedded network sensor systems (Sensys 2008)  
 [4] P. Huang, C. Wang, L. Xiao, and H. Chen (2010) "Medium Access Control Protocol for Wireless Sensor Networks," International Workshop on Quality of Service (IWQoS 2010)  
 [5] 임경식, 고석주, 김동균 (2012). "무선 센서 네트워크를 위한 충돌인식 자가 스케줄링 비동기식 MAC 프로토콜"