

드론 간 Ad hoc 네트워크를 위한 Sub-GHz 대역의 원거리 통신모듈 구현

이 재 호*

Long Range Communication Module Implementation in Sub-GHz Band for Inter-Drone Ad hoc Networks

Jaeho Lee*

요 약

현재까지 다양한 드론 제품들이 출시되어 보급화 되고 있지만 대부분 Wi-Fi 통신 방식을 활용한 멀티미디어 정보 전송을 수행하고 있다. 이러한 통신 환경은 원거리 데이터 전송에 제약이 따르며, 배터리로 동작되는 드론 환경을 고려할 때 에너지 효율에 대한 해결이 필요하다. 또한 해상이나 산악 지역 등에서는 원거리 데이터 전송이 요구될 수 있으며, LTE 등의 이동통신망을 사용할 경우 운영 비용에 대한 효율성 역시 고려되어야 한다. 본 논문에서는 원거리 데이터 전송이 요구되는 환경에서 Sub-GHz 대역의 저전력 원거리 통신을 제공하기 위하여 구현된 통신 모듈을 기술한다. 본 개발 결과물은 TI CC1310 칩셋을 활용하여 제작되었으며, 기존에 제안된 MAC 프로토콜을 S/W 형태로 구현하여 탑재하였다. 또한, 본 논문에서는 드론의 군집 비행을 가정하고 드론 간 Ad hoc 네트워크 구성을 지원하기 위하여 기존에 제안된 TA-DZR 라우팅 알고리즘을 구현하였으며, 결과물의 성능은 실내 및 실외 테스트 환경에서 실험을 통하여 검증하였다.

Key Words : Low Power, Long Range, Sub GHz, Drone, Implementation.

ABSTRACT

Recently, meanwhile the various types of drone products have been launched and deployed, most of them have performed transmitting the multimedia data by exploiting Wi-Fi communication interface. The given environment of communications has a limitation at the viewpoint of transmission range, and the energy efficiency of the transmission should be addressed with consideration of that drones are operated by only battery. Moreover, a method of long range communication should be required on the sea or mountainous area, meanwhile, the operation cost should be considered when exploiting cellular networks such as LTE. In this paper, the implemented communication module which is designed for providing the functional method of long range and low power transmission in Sub-GHz band would be introduced. The prototype module is developed with the commercial transceiver of CC1310 manufactured by TI, and the previously proposed MAC protocol is also implemented in software level. In addition, the routing algorithm is also implemented by employing the previous TA-DZR algorithm for providing inter-drone ad hoc network organization with the assumption of drone swarm flight. All results are validated through the indoor and the outdoor test environment.

* First Author : (ORCID:0000-0003-0455-9939)Seowon University, Department of Information and Communications Engineering, izeho@seowon.ac.kr, 정희원

논문번호 : 201807-208-D-RN, Received July 22, 2018; Revised September 14, 2018; Accepted September 17, 2018

I. 서 론

최근 출시되어 상용화 되고 있는 다양한 드론 제품들은 화재 현장에 대한 모니터링과 인명 구조 및 재해/재난 예방을 위한 사진 답사 등 직접적인 인력 투입이 불가능하거나 어려운 지역에 활용되고 있으며, 개인 취미 용도까지 시장 영역을 확대시키고 있다. 이러한 제품들은 대부분 이미지 또는 영상 정보를 현장에서 획득한 후 베이스 스테이션으로 무선 통신을 통하여 정보를 전달하는 운영 시나리오를 따른다.

최근 다양한 매체에서 홍보되고 있는 드론 제품들의 활용 사례에서 볼 수 있듯이, 드론은 보편적으로 근거리 통신 환경에서 운영되고 있다. 물론 일부 운영 환경에서는 원거리 데이터 전달을 위하여 LTE 및 LoRaWAN^[1] 등의 이동통신 인프라를 활용하는 사례도 있지만, 이 경우 네트워크 사용에 대한 과금 문제가 발생되어 운영비용 측면에서 광범위한 보급이 제한적이다.

하지만, 해상에서의 선박 안전 상태 및 선박 내 화재 모니터링이나 깊은 산악 지역에서의 산불 감시 등의 드론 활용 환경에서는 보편적으로 200미터 이내의 짧은 데이터 전송거리만을 제공하는 기존 Wi-Fi 통신은 제약이 따르며, 운영비용 측면을 고려할 때 이동통신 인프라 활용 역시 적합한 솔루션은 아닐 수 있다. 또한 원거리 해상이나 깊은 산악 등의 지역에서는 이동통신 인프라 역시 부재한 환경일 가능성이 높다.

이와 같은 환경적 문제를 해결하기 위해서는 드론 내에 탑재된 통신 모듈의 원거리 기능 제공이 필요하며, 직접 통신을 수행하기 어려운 원거리 환경에서 다수의 드론을 투입하여 군집비행 형태로 넓은 지역을 관찰하는 환경일 경우, 드론 간 Ad hoc 네트워크 기능이 추가적으로 요구될 수 있다.

본 논문에서는 이와 같은 환경적 제약을 해결하기 위하여, 원거리 광범위 지역을 관찰하는 드론 군집 비행을 가정하고 이에 필요한 요소 기능을 기존 상용화된 통신 칩셋과 기존에 제안된 MAC 프로토콜 및 라우팅 알고리즘을 활용하여 통신모듈을 구현하였다.

그림 1은 본 논문에서 고려하는 드론 운영 환경을 나타낸다. 이 환경에서의 모든 드론은 군집 비행을 수행하며, 각자 Ad hoc 형태로 자신의 데이터를 상황 관제 센터까지 포워딩하여 전달한다. 이 경우 드론에 탑재된 통신 모듈은 저전력 운영을 지원하며, 인근 채널 간섭률과 데이터 전달 거리 등을 고려하여 Sub GHz 대역을 사용한다. 또한 드론 간 직접 데이터 전달 거리는 1km 이상을 가정한다.

위와 같은 운영 환경에서 데이터 전달의 효율적인 기능 수행을 위하여 H/W 개발, MAC 프로토콜 개발, 그리고 Ad hoc 형태의 메쉬 라우팅 개발을 본 연구의 최종 목표로 설정하며, 각 항목별 세부 요구 기능들을

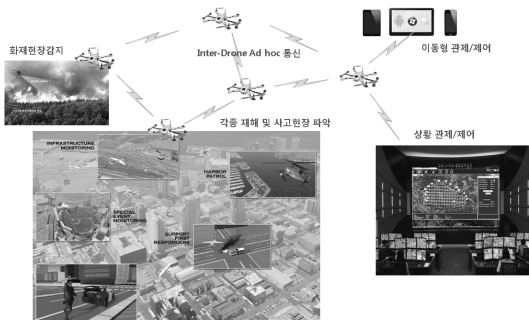


그림 1. 드론 간 통신 시스템 응용 시나리오
Fig. 1. Application Scenario for the Inter-Drone Communication System.

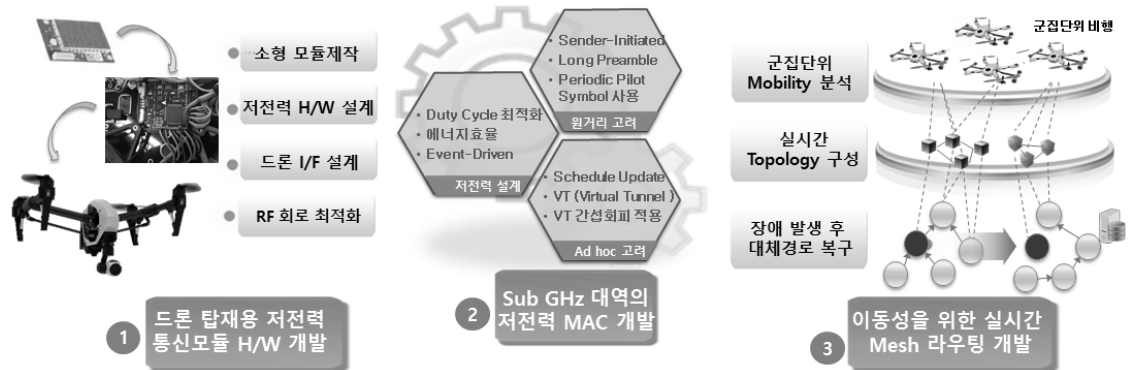


그림 2. 드론 간 통신 모듈 시스템 요구사항.
Fig. 2. System Requirement for Inter-Drone Communication Module.

그림 2에 나타내었다.

II. 구현 통신모듈

2.1 통신모듈 H/W 개발

본 논문에서 소개할 통신 모듈은 TI사에서 출시한 CC1310^[2] 칩셋을 적용하여 그림 3과 같이 제작하였다. CC1310은 Sub-GHz 대역에서 가시거리가 확보될 경우 최대 20km까지 전송할 수 있으며, 도심 환경에서 1km 전송을 지원한다. 다만 외부 간섭과 번복조 방식, Tx Rate, 에러 교정 방식, 안테나 설계 방식 등의 파라미터 설정 및 제작 요소와 함께 주위 환경에 따라 크게 달라질 수 있다. 또한 Tx Rate는 625bps부터 최대 4Mbps 까지 송신할 수 있다.

본 개발에서는 그림 4와 같이 소형 드론 탑재를 위하여 안테나를 PCB 패턴을 활용하여 설계하였으며, 그림 5와 같이 드론에서 사용하는 배터리를 공유하기 위한 전압 변경 및 정전압 레귤레이터 부분을 포함하여, MAC 프로토콜 및 라우팅 알고리즘을 탑재하기 위한 Host MCU 부분으로 구성하였다. 그림 3는 대상 통신 모듈의 기능별 구조를 나타내었으며, 최종 개발된 Sub-GHz 통신 모듈의 완성된 프로토타입 결과물

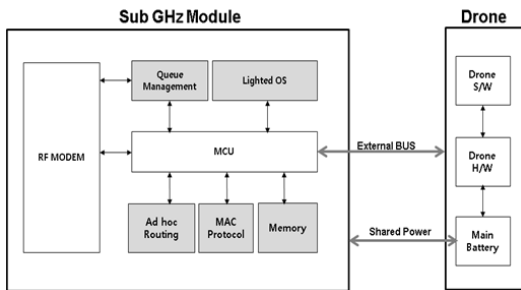


그림 3. 구현된 통신 모듈의 H/W 구조도.
Fig. 3. H/W functional structure for the implemented Communication Module.

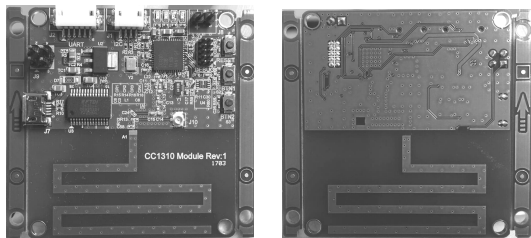


그림 4. 구현된 Sub-GHz 통신 모듈 사진.
Fig. 4. Picture of Practically Implemented Sub-GHz Communication Module.



그림 5. 테스트 드론에 탑재된 구현 통신 모듈 설치 모습.
Fig. 5. Installation of the Implemented Communication Module into the Test Drone.

은 그림 4와 같다.

2.2 CRI-MAC 적용을 통한 MAC 구현

본 절에서는 개발 프로토타입 통신 모듈에 적용한 MAC 프로토콜에 대하여 기술한다. 적용된 프로토콜은 CRI-MAC^[3] 기법을 적용하였으며 이에 대한 전반적인 프로토콜 흐름은 그림 6과 같다.

우선 CRI-MAC은 기존 RI-MAC^[4]을 기반으로 설계된 수신자 주도 (Receiver-Initiated) 방식의 저전력 프로토콜로써, 송신자 입장에서는 자신이 송신할 데이터가 존재하지 않을 경우 주기적인 Wakeup 이나 정해진 스케줄에 의존적으로 컨트롤 프레임을 전송하지 않는다. 반면 수신자 입장에서는 자신에게 전달될 데이터의 유무를 판단하기 위하여 주기적으로 Wakeup 하며, 이때 수신자 주도의 Beacon 신호를 Broadcast 형태로 전송한다.

이와 같은 수신자 주도 방식은 기본적으로 모든 노드가 동기를 맞추지 않는 비동기식 프로토콜로써, 송신자 입장에서 데이터 전송 이벤트가 존재하지 않을 경우 어떠한 프레임 송신이나 Wakeup 동작 전이도 없기 때문에 에너지 효율 측면에서 우수하다. 만약 송신자에게 데이터 전송 이벤트가 발생할 경우, 이 장치는 이벤트 직후 Wakeup 한 후 대상 수신자가 전송하는 Beacon 신호를 기다리며, Beacon이 수신될 경우

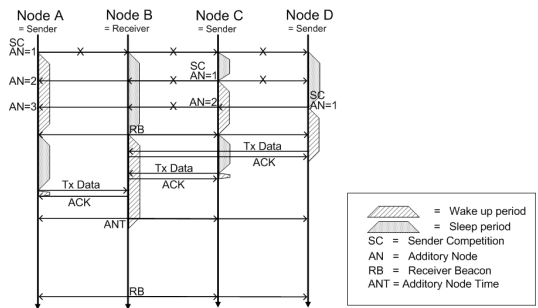


그림 6. CRI-MAC 에서의 송신자 전송 우선순위 절차.
Fig. 6. The Process of transmission priority of sender in CRI-MAC [3].

에만 데이터를 대상 수신자에게 전송한다.

반면 수신자 입장에서서는 주기적으로 Beacon 신호를 전송하며, 자신에게 전달되는 데이터량을 추측하여 주기적인 Beacon 전송 주기를 결정할 수 있다. 만약 데이터 수신이 활발할 경우 Beacon 전송 주기를 짧게 설정하여 데이터 전송 지연 시간을 줄일 수 있으며, 데이터 수신 이벤트의 발생 확률이 낮을 경우 Beacon 전송 주기를 크게 설정하여 트래픽이 낮은 환경에서 에너지 효율을 높일 수 있다.

하지만 만약 수신 장치가 자신의 Beacon 전송 주기를 필요 이상으로 크게 설정할 경우, 다수의 송신자가 자신의 Beacon을 기다리는 상태가 발생할 수 있다. 이 경우 다수의 송신자로부터 동시 전송에 대한 충돌이 발생할 수 있으며, RI-MAC에서는 이를 Random Back-off 절차를 통해 해결하였다.

본 개발에서 적용된 CRI-MAC은 위와 같은 다수의 송신자가 발생할 경우 효율이 낮은 Random Back-off 방식을 개선하기 위하여 그림 7과 같이 제안되었으며, 다수 송신자인 노드 C와 D에 의하여 충돌이 발생되었음을 인지한 수신자 노드 B는 2차적인 과정으로 각 송신자별로 할당된 time slot을 활용하여 다수의 송신 노드들에게 우선순위를 부여한다. 이러한 형태로 CRI-MAC은 기존의 RI-MAC을 개선하여 충돌 문제를 해결하였다.

본 개발에서 고려하는 원거리 통신의 경우, 다수의 송신 장치가 서로 멀리 위치할 확률이 매우 높아질 수 있다. 즉, 각 장치의 통신 거리가 1km라고 가정하고 노드 A, B, 및 C가 1km 간격으로 직선상에 위치할 경우, 노드 A는 노드 C와 서로 2km 거리를 지니기 때문에 A와 C는 서로 통신할 수 없는 거리에 위치하며, 따라서 Hidden Station Problem에 의하여 기존 RI-MAC과 같이 CSMA 기반의 Random Back-off 동작을 수행할 수 없다. 이는 Wi-Fi 등의 근거리 환경에서는 발생할 확률이 낮지만, 원거리 통신 환경에서는 매우 높은 확률로 발생할 수 있다. 이러한 이유로 인

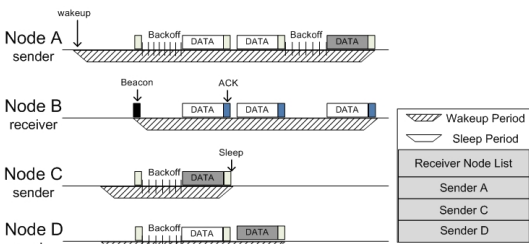


그림 7. RC-MAC의 운영 방법.
Fig. 7. Operating method of RC-MAC [3].

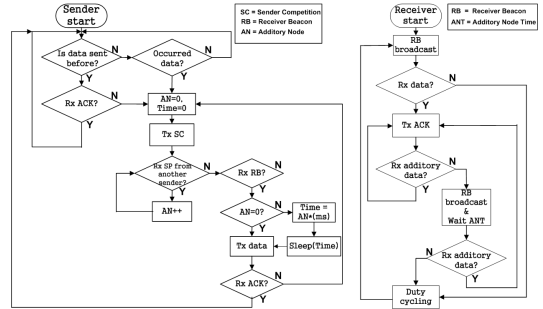


그림 8. CRI-MAC에서의 제안된 송신 및 수신 데이터 메커니즘.
Fig. 8. Proposed mechanism for Tx and Rx of data in CRI-MAC [3].

하여 충돌을 인지할 수 있는 유일한 장치는 수신 노드인 B가 될 수 있으며, 원거리 통신 환경에서는 CRI-MAC을 적용하여 개발하는 방향이 타당하기 때문에, 본 논문에서는 CRI-MAC을 적용하여 통신 프로토타입 개발을 진행하였다. 그림 8은 CRI-MAC의 송신자와 수신자 입장에서의 데이터 처리 방법을 나타내었다.

2.3 TA-DZR 기반의 Ad hoc 라우팅 구현

본 논문에서는 드론 군집 비행을 고려하고 있으며, 따라서 드론 간 Ad hoc 형태의 데이터 전달을 위한 라우팅 알고리즘이 필요하다. 라우팅 알고리즘은 크게 Proactive 방식과 Reactive 방식이 존재하며, 각각 트래픽 발생 빈도와 이동성에 따라 장점과 단점을 지닌다. 하지만 드론 군집 비행 환경에서는 이동성으로 인하여 Proactive 방식을 적용하기 어렵고, Reactive 방식의 경우 데이터 전송 이벤트마다 전체 네트워크에 대한 Flooding이 발생되기 때문에, 본 논문에서는 하이브리드 방식의 라우팅을 적용하였다.

하이브리드 방식의 라우팅 중 대표적인 방식은 Zone 영역을 구분하는 Zone Routing Protocol (ZRP)^[5] 알고리즘이다. 이 방식은 트래픽이 최초 발생된 소스 장치를 기준으로 목적지 장치가 특정 hop 이내에 존재하는지 Time To Live (TTL) 값을 측정 한 후, TTL값이 이미 정해진 값 대비 작을 경우 Proactive 방식을 수행하며 반대의 경우에는 Reactive 방식을 수행한다.

하지만 보편적인 드론 군집 비행 환경을 가정할 때, 트래픽은 TTL로 정의되는 원심형 범위로 설정하기 보다는 데이터 전달 경로에 의존적인 Proactive Zone을 설정하는 방안이 더 효과적이다. 이러한 이유로 본 개발에서는 TA-DZR^[6] 기반의 하이브리드 Ad hoc 라

우팅 알고리즘을 그림 9와 같이 적용하였다.

그림 10는 데이터 전달 이벤트가 진행된 이후 Proactive Zone을 생성하는 TA-DZR 방식을 나타낸다. 먼저 첫 번째 데이터가 전달되는 시점에서는 Proactive 영역을 설정하는 Zone이 없기 때문에, AODV^[7] 등의 전통적인 Reactive 방식을 통하여 데이터를 전달한다. 하지만 일반적인 경우 특정 드론에서 발생하는 데이터가 단발성일 확률은 크지 않기 때문에, 동일한 목적지를 대상으로 계속적인 데이터 전달 이벤트가 발생할 수 있다.

따라서 TA-DZR 방식에서는 첫 번째로 발생한 데이터의 전달 과정이 종료된 이후 전달되는 패킷에 따라 Proactive Zone을 생성시키며, 이후 가까운 시간 내에 발생하는 데이터는 생성된 Zone을 대상으로 데이터 전송 효율을 위하여 Proactive 방식으로 전달이 진행된다. 이때 생성된 Zone은 영구적이 아닌 이벤트적인 영역으로써, 특정 시간 동안 영역 내에 더 이상 데이터 전달이 발생되지 않을 경우 생성된 Zone을 제거한다. 또한, 아무리 짧은 시간으로 Zone 유효시간을 설정하더라도 중계 역할을 수행하는 드론이 이동할 경우 효과적인 라우팅을 수행할 수 없는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 완화시키기 위하여, TA-DZR에서는 Zone 생성 시점에서 주어진 데이터 전달 경로를 포함하여 특정 홉 이상의 영역으로 Zone을 확장시킨다.

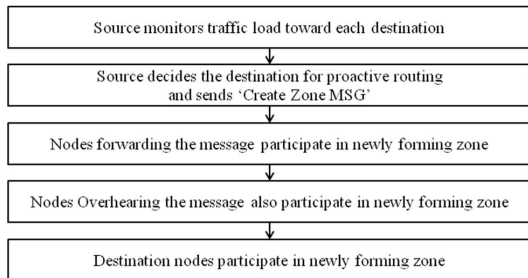


그림 9. TA-DZR에서의 Proactive Zone 결정 절차.
Fig. 9. Proactive Zone Decision Process in TA-DZR [6].

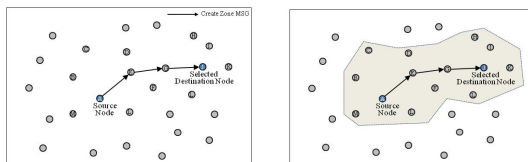


그림 10. 트래픽 패턴에 따른 TA-DZR Zone 구성 방법.
Fig. 10. Zone Formation Method according to the traffic pattern in TA-DZR [6].

III. 성능 평가

본 장에서는 구현된 통신 모듈에 대한 실험 결과를 분석한다. 실험은 홉 당 지연 시간을 측정하기 위한 실내 실험과 전송 거리 실험을 위해 제작된 테스트용 드론을 활용한 실외 실험으로 구분하여 진행되었다.

우선 홉 당 전송거리 실험은 5개의 통신 모듈을 일직선상에 나열하고 라우팅 테이블을 임의로 수정하여 1번 노드에서 5번 노드까지 순서대로 전달하도록 구현하였으며, 1번 노드의 데이터 송신 부분과 5번 노드의 수신 부분에 각각 high 신호를 나타낼 수 있는 물리적 핀을 생성하고, 이를 구현된 MAC 프로토콜에서 GPIO를 통해 제어하였다. 그림 11과 같이 1번 노드에서 5번 노드까지의 전송 지연 시간은 약 430msec 값

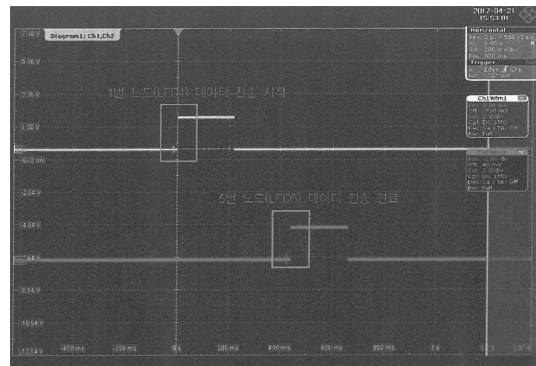


그림 11. 구현된 통신 모듈의 홉당 송신 지연 결과
Fig. 11. Result of Transmission Delay in the Implemented Communication Module between Neighbor Hops.

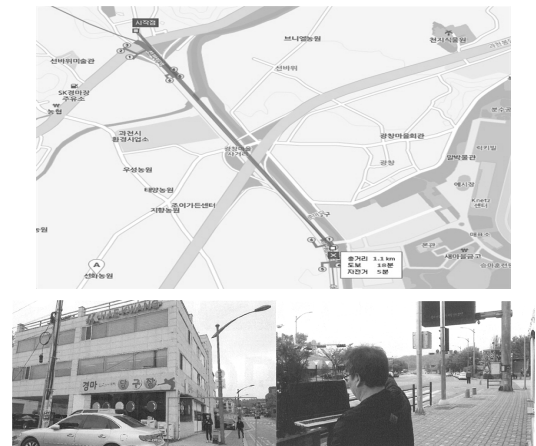


그림 12. 실외 원거리(1km) 테스트를 위한 실험 환경.
Fig. 12. Experiment Environment for Outdoor Long Distance (1km) Test.

이 측정되었으며, 이를 단일 홉 기준으로 산정하면 약 108msec 정도로 측정되었다.

이후 진행된 실의 실험은 그림 5에서 나타낸 테스트용 드론을 활용하여 진행 되었으며, 단일 홉 환경에서 원거리 통신 실험을 위하여 그림 12와 같은 지역에서 약 1.1km 간격을 두고 진행하였다. 본 실험은 개발된 통신 모듈의 PCB 패턴으로 제작된 무지향성 안테나를 활용하여 원거리 통신 환경에서 데이터 전송 성공률을 측정하기 위하여 진행되었으며, 그림 13과 같이 TI에서 제공한 실험 툴을 활용하였다. 진행된 실험 결과로써 개발된 프로토타입 통신 모듈은 원거리 저전력 환경에서 99.4%의 전송 성공률을 보였으며, 이는 -90 dBm 정도의 매우 낮은 RSSI 환경에서 데이터 전달의 강인성을 나타낸다.

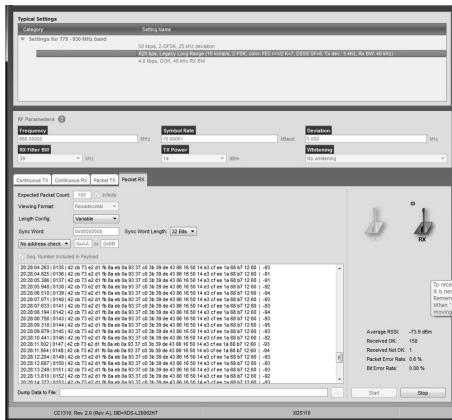


그림 13. 단일 홉 내의 원거리(1km) 실험 결과.
Fig. 13. Result of Long Distance (1km) Experiment within Single Hop.

IV. 결 론

본 논문에서 소개한 Sub-GHz 통신 모듈은 통신 인프라가 열악한 환경에서 별도의 과금 없이 원거리 통신을 제공할 수 있다는 장점을 지니며, 이는 해상이나 산악 지역에서 광범위한 탐색을 위해 운영되는 드론 기기의 군집 비행 환경을 고려하여 직접 개발되었다. 본 개발에서 구현된 프로토타입은 실제 실험을 통하여 -90 dBm의 낮은 RSSI 환경에서 전송 성공률 99.4%의 높은 신뢰성을 검증하였으며, 향후 소형화가 가능하기에 드론 제품의 핵심 부품으로써 가치를 가질 수 있다. 향후 군집 비행에 요구되는 군집 자율 비행과 드론 집단 지성 등의 개발을 추진하여 연구의 결과를 높일 계획이다.

References

- [1] F. Adelantado, et al., "Understanding the limits of LoRaWAN," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 55, no. 9, pp. 34-40, Sept. 2017.
- [2] CC1310 data sheet, *Texas Instruments Incorporated*, <http://www.ti.com/>
- [3] J. Lee and J. Lee, "Receiver-initiated contentionless MAC protocol for Sub-GHz LPWAN," *J. KICS*, vol. 42, no. 7, pp. 1360-1369, Jul. 2017.
- [4] Y. Sun, O. Gurewitz, and B. D. Johnson, "RI-MAC: A receiver-initiated asynchronous duty cycle MAC protocol for dynamic traffic loads in wireless sensor networks," in *Proc. ACM SENSYS 2008*, pp. 1-14, Nov. 2008.
- [5] E. M. Royer and C.-K. Toh, "Review of current routing protocols for ad hoc mobile wireless networks," *IEEE Pers. Commun.*, vol. 6, no. 2, pp. 46-55, Apr. 1999.
- [6] J.-H. Lee, "A new routing scheme to reduce traffic in large scale mobile ad-hoc networks through selective on-demand method," *Wireless Netw.*, vol. 20, no. 5, pp. 1067-1083, 2014.
- [7] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc on-demand distance vector routing," in *Proc. IEEE WMCSA '99*, pp. 90-100, Feb. 1999.

이 재 호 (Jaeho Lee)



2005년 : 고려대학교 전자컴퓨터 공학과 석사
2008년~2013년 : 고려대학교 전기전자공학과의 박사
2013년~2015년 : LG전자 차세대표준연구소 선임연구원
2015년~현재 : 서원대학교 정보통신공학과 조교수

<관심분야> WPAN, 센서네트워크, MANET, MAC, WBAN, Bluetooth, Wi-Fi, ITS, Localization