

야생동물 위치추적 단말기를 위한 에너지 효율적 LoRa MAC 프로토콜 설계

어성보, 양진모, 박세웅

서울대학교 전기정보공학부 뉴미디어통신연구소

sbeo@netlab.snu.ac.kr, jmyang@netlab.snu.ac.kr, sbahk@snu.ac.kr

Energy-efficient LoRa MAC protocol design for wild animal tracker

Sungbo Eo, Jinmo Yang, Saewoong Bahk

Department of Electrical and Computer Engineering, INMC, Seoul National University

요약

야생동물 위치추적 시스템에서 단말기와 중계기 간 LoRa 통신을 위해 에너지 효율적인 MAC 프로토콜을 제안한다.

I. 서론

생태계 관리를 목적으로 외래생물 모니터링을 진행할 때, 대상종을 지속적으로 관찰하면서 그 생태특성을 면밀히 분석할 필요가 있다. 개체별 위치나 서식지의 파악을 위해 때로는 야생동물을 포획하여 위치추적 단말기를 부착한 후 방사하여 위치정보를 수집하기도 한다. 이때 위치정보 수집방법의 경우 높은 정확도의 데이터를 안정적으로 얻을 수 있는 GNSS를 선택하는 것이 일반적이지만, 이 정보를 클라우드 서버로 보내는 방법에는 여러 가지 방법이 있을 수 있다.

시중에도 야생동물 위치추적을 위한 상용 제품 솔루션이 존재하는데, [1] 데이터 송신을 위해 3G 이동통신이나 BLE 무선통신 방식을 사용하는 것으로 알려져 있다. 이러한 방식은 이동통신망이 충분히 구축되어 있거나 단일 게이트웨이로 커버할 수 있는 규모의 지역인 경우에 유효하다. 그러나 야생동물 서식지가 매우 넓고 인적이 드물어 이동통신 기지국이 전 지역을 커버하지 못 하는 경우에는 문제가 될 수 있다.

이에 대한 해결책으로서 해당 지역에 저전력 장거리 무선통신 기술인 LoRa 중계기를 설치하는 방안이 있다. 다중홉 LoRa 사설망을 구축함으로써 적은 수의 중계기로 커버리지를 넓히는 효과를 극대화하는 것이 가능하다. [2]

지역에 퍼져있는 저전력 무선센서로부터 데이터를 수집하는 사물인터넷(IoT) 어플리케이션에 적합하다. LoRa의 데이터 전송률은 비교적 낮은 편이지만, 그 특유의 변조방식으로 인해 낮은 SNR에서도 성공적으로 복조가 가능하고, 덕분에 장거리에서도 안정적으로 통신이 가능하다. 커버리지가 넓기 때문에 하나의 게이트웨이에 다수의 단말이 직접 연결되는 성형 토폴로지를 이루어 사용하는 경우가 일반적이지만, 네트워크를 구성하기에 따라 다중홉 망형 토폴로지를 구성하는 것도 가능하다. 한편, LoRa의 통신적 특성에 큰 영향을 미치는 파라미터로 SF(Spreading Factor)가 있다. SF가 커질수록 데이터 전송률이 감소하는 대신 통신의 안정성이 높아지고, SF가 낮아질수록 수신거리가 짧아지지만 패킷의 전송시간은 늘어난다.

본 논문에서는 LoRa 기반 야생동물 위치추적 시스템에서 단말기와 중계기 간의 통신에 대해 다루고자 한다. 야생동물에 부착된 단말기의 특성을 고려하여 에너지 효율적인 MAC 프로토콜을 설계하고, 시스템 구현 시 고려해야 할 점에 대해 논의한다.

II. 본론

단말기는 1시간 등의 주기마다 깨어나 GNSS로 위치정보를 수집한 후 중계기로 정보를 송신하고 다시 수면 상태에 빠지는 것을 반복한다. 또한 단말기는 배터리로 작동하며 추가 충전을 기대하기 어렵고, OTA로 펌웨어 업데이트를 하는 것도 사실상 불가능하다.

이런 조건 하에서 단말기의 에너지 소모를 최대한 줄이려면, 특정 중계기와 연결을 맺는 것은 제어 패킷을 지속적으로 송수신해야 하기 때문에 적합하지 않다. 대신 단말기는 브로드캐스트를 하고, 중계기 중 하나가 이를 수신하여 서버로 전달하는 방향을 선택하였다.

또한 송수신 시간을 줄이기 위해서는 비동기보다는 동기 MAC이 더 적합하다. 이는 랑데뷰 시간을 서로 정확히 맞추기 어렵다는 단점이 존재하지만, 양측 모두 GNSS 수신기를 통해 절대시간과 동기화가 가능하다고 가정하면 이 또한 어렵지 않은 일이 된다.

야생동물이 무리를 지어 이동함에 따라 단말기가 특정 지역에 몰려있을 수 있고, 특정 시간에 모든 단말기가 동시에 송신을 시도한다면 중계기가 정상적으로 패킷을 수신하지 못하게 된다. 이러한 경우에 대비해 각 단말기마다 고유한 ID를 부여하고, hash(ID) 값에 따라 송신 시간을 결정하도록 한다면 이러한 경쟁 문제를 최소화할 수 있다. 예를 들어 hash(ID) :=

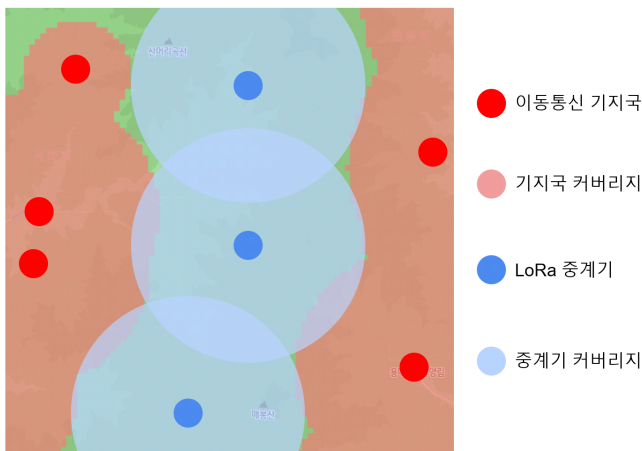


그림 1. LoRa 중계기를 설치하여 단말기 커버리지 확장

LoRa는 저전력 광역통신망(LPWAN)에 특화된 무선통신 기술로, 넓은

ID mod 60이라고 한다면, hash(ID)=37인 단말기는 매 시간 37분마다 송신하게 하여 주변의 단말기와 송신시간을 다르게 하는 것이 가능하다.

한편 단말기가 송신한 패킷을 여러 중계기가 수신하는 상황도 가능하다. 만약 단말기가 송신하기만 하고 ACK을 받지 않는다면 아무런 문제가 없지만, 신뢰성 있는 통신을 위해 중계기가 정확히 수신했을 때 단말기에 ACK을 보내고, 단말기가 ACK을 받았을 때만 해당 데이터를 메모리에서 삭제하는 방식을 선택하였다. 이 경우 중계기의 ACK 간에 충돌이 생길 수 있다. 만약 ACK 송신 시각을 잘 조율할 수 있다면 포획 효과(capture effect)에 기반한 CTX(concurrent transmission)를 활용할 수도 있지만,[3] 제대로 작동하지 않을 때에 대비해 경쟁 해소 방안에 대한 고려는 필요하다.

이를 위해 제안하는 패킷 교환 방법은 다음과 같다. 먼저 단말기는 주변 중계기에 SF 요청 패킷을 SF12로 보낸다. 중계기는 이를 듣고 RSSI와 SNR을 고려하여 적절한 SF를 계산한 후[4] SF 응답 패킷을 SF12로 보낸다. 만약 단말기가 SF 응답을 정상적으로 수신했다면 해당 SF로 데이터 패킷을 송신하고, 만약 충돌로 인해 단말기가 SF 응답을 정확히 수신하지 못했다면 SF12로 데이터 패킷을 송신한다. 중계기는 먼저 자신이 지정한 SF로 수신을 시도하고, 실패하면 SF12로 수신을 재시도한다.

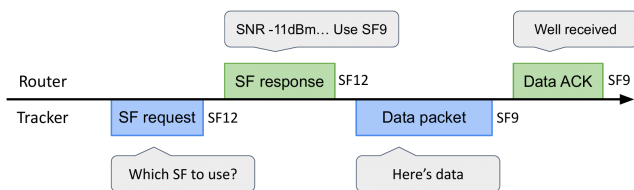


그림 2. 단말기와 중계기 간 MAC 프로토콜

처음에 SF 요청/응답을 수행하는 이유는, 단말기와 중계기 간의 통신에 가급적 낮은 SF를 사용함으로써 에너지를 절약하고자 함이고, 한편으로는 이 과정에서 중계기 간 경쟁 해소를 하기 위함이다. SF 응답은 패킷 길이가 짧기 때문에 충돌로 인한 손실도 비교적 적다.

SF12의 경우 데이터 전송률이 매우 낮기 때문에 패킷 전송 시간이 길어지는데, 예를 들어 127바이트 패킷을 보내는 데 4.8초 가량이 소요된다.[5] 따라서 전체 슬롯 길이는 10초 정도로 두는 것이 안전한 것이다.

한편 중계기는 단말기로부터 패킷을 수신할 시간도 필요하지만 이 패킷을 서버로 올려보낼 시간도 필요하고, 따라서 중계기 간 통신 시간과 단말기 통신 시간을 분리할 필요가 있다. 중계기 망은 802.15.4 TSCH 기반으로 작동하는데, 스케줄러로 Orchestra[6]나 ALICE[7]를 사용하면 규칙에 따라 용도별 슬롯 관리가 용이하다. TSCH 슬롯 시작 시간이 정각에 일치하도록 조정하고, 단말기와 중계기 간 통신 슬롯을 최우선순위로 지정하여 규칙을 추가하면 된다.

ASN	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TSCH EB									
RPL control									
Inter-relay									
Tracker-relay									
Scheduled cell									

그림 3. TSCH 슬롯 용도별 스케줄링

III. 결론

본 논문에서는 야생동물 위치추적 단말기와 중계기 간 LoRa 통신을 에너지 효율적으로 하기 위한 MAC 프로토콜을 제안하였다. 단말기의 특성과 요구사항을 고려하여 시스템을 설계하고, 단말기와 중계기가 여러 개 있는 상황에서 경쟁을 최소화함으로써 불필요한 충돌을 방지하고, 데이터 송신에 사용할 SF를 미리 협상하는 단계를 거쳐 패킷 전송시간과 불필요한 에너지 소모를 줄인다.

ACKNOWLEDGMENT

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 생물다양성 위협 외래생물 관리 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다. (2021002280002)

This work was supported by Korea Environment Industry & Technology Institute(KEITI) through Exotic Invasive Species Management Program, funded by Korea Ministry of Environment(MOE) (2021002280002)

참 고 문 헌

- [1] "DEBUT LEGO - Druid Technology," <https://druid.tech/product-intro/product-series/lego/>
- [2] J. G. Panicker, M. Azman and R. Kashyap, "A LoRa Wireless Mesh Network for Wide-Area Animal Tracking," 2019 IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT), Coimbatore, India, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICECCT.2019.8868958.
- [3] C. -H. Liao, G. Zhu, D. Kuwabara, M. Suzuki and H. Morikawa, "Multi-Hop LoRa Networks Enabled by Concurrent Transmission," in IEEE Access, vol. 5, pp. 21430-21446, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2755858.
- [4] SX1272/73 - 860 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver Rev. 4, 2019.
- [5] "LoRa Air-Time Calculator," <https://iftnt.github.io/lora-air-time/index.html>
- [6] Simon Duquenois, Beshr Al Nahas, Olaf Landsiedel, and Thomas Watteyne. 2015. Orchestra: Robust Mesh Networks Through Autonomously Scheduled TSCH. In Proceedings of the 13th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys '15). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 337 - 350. <https://doi.org/10.1145/2809695.2809714>
- [7] S. Kim, H. -S. Kim and C. Kim, "ALICE: Autonomous Link-based Cell Scheduling for TSCH," 2019 18th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN), Montreal, QC, Canada, 2019, pp. 121-132, doi: 10.1145/3302506.3310394.