

---

# Bluetooth Low Energy에서의 전송 효율적 멀티 홉 전송 전략

변형호, 오영준, 김종권\*

\*서울대학교 컴퓨터공학부

## Energy-efficient Multi-hop Communication Strategy in Bluetooth Low Energy

Hyungho Byun, Youngjune Oh, Chong-kwon Kim

\*Seoul National University

E-mail : {NotoriousH2, Youngjune, ckim} @ popeye.snu.ac.kr

### 요 약

저전력 블루투스 통신의 가장 큰 한계점은 데이터 전송이 두 노드 사이의 싱글 홉 통신에서만 이루어질 수 있다는 것이다. 본 연구에서는 스타 토폴로지를 고려하여 설계된 블루투스 통신의 한계를 보완하기 위해, 안정적인 멀티홉 데이터 전송을 보장하는 방법을 제안하였다. 싱글 홉 형태의 통신이 연속적으로 맺고 끊어져야 하는 멀티홉 환경에서의 안정성을 보장하기 위해, 본 연구에서는 GATT 계층에 정보를 저장하고 이를 동적으로 전달하는 방식을 시도하였다. 여러 노드들에 대한 통신 안정성을 보장하기 위해 전체 과정을 4개의 State로 나누어 해당 과정에서 전송 프로세스의 주요 과정을 수행할 수 있도록 하였다. 또한 각 State에 대한 체류 시간 및 이동 루틴을 설정하여 강건한 통신 체제를 설정하였고, 성능을 실제 실험을 통해 평가하였다. 실제 실험 환경을 통해 해당 방법이 3개 이상의 노드로 이루어진 네트워크에서 각각 높은 품질의 패킷 전송률을 보여주는 것을 확인하였다.

### ABSTRACT

One of the fundamental limits of Bluetooth Low Energy(BLE) is that the data transmission is available via singlehop connection. In this research, we suggested the stable multihop transmission method to overcome this limitation. In multihop connection situation, multiple singlehop connection should be made and disconnected dynamically. Therefore, we stored the data within the GATT layer and tried to send it dynamically. We divided whole process as 4 states, and let each nodes transfers around each states to make data connection safely. Also, we set the transfer policy between each states during the transmission to make a robust system. From the experiment in real-time environment, we proved that our method showed high rate of packet delivery in a multihop network, which consists of more than 3 nodes.

### 키워드

사물 인터넷(IoT), 블루투스, BLE, 네트워크

## 1. 서 론

Bluetooth Low Energy(BLE)는 무선 센서 네트워크에서 보편적으로 사용할 수 있는 저전력 근거리 통신의 대표적인 예 중 하나이다. BLE는 Bluetooth 4.0 표준에서 제안된 기술로, 근거리에서의 통신이 주를 이루는 Bluetooth 통신을 기존

의 통신에 비해 적은 전력 소모로 동작하게 한 통신 방식이다. 기존의 Bluetooth 통신은 근거리 네트워크에서 Zigbee에 비해 전력 소모가 크다는 단점이 존재하였으나 이와 같은 문제점이 BLE에서 해결되면서[1,2], 무선 센서 네트워크뿐만이 아닌 사물 인터넷(Internet of Things:IoT) 통신 전반에 걸친 핵심 기술로 그 중요성이 대두되고 있다.

2.4Ghz ISM 주파수 대역에서 동작하는 BLE의 통신 가능 범위는 약 10m로, 저용량의 데이터 송수신이 가능하다. 또한 별도의 배터리 교환 없이 기존의 통신 방식에 비해 더 오래 사용할 수 있어 사물 인터넷에 매우 적합하다고 할 수 있다. 그러나, BLE 기술을 무선 센서 네트워크 전반에 이용하는 것은 다소 제약이 존재하는 실정인데, 가장 큰 이유는 BLE 통신이 원활하게 동작할 수 있는 토폴로지가 제한적이기 때문이다.

본 논문에서는 GATT 프로필을 활용하여 각 센서 노드가 수집한 데이터를 저장하고, 이를 여러 홉에 거쳐 전달할 수 있도록 하는 멀티 홉 전송 방식을 제안하고, 이를 바탕으로 실제 네트워크를 구성하여 실제 실험을 진행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 BLE 통신의 기본 구조 및 통신 방식에 대해 설명하고, 3장에서는 본 연구에서 제안하는 GATT 프로필 기반 데이터 전송 기법에 대해 서술한다. 이후 4장에서 실제 환경에서의 네트워크 통신 실험을 통한 평가 및 그 결과에 대해 기술한다. 마지막으로 5장에서 결론과 추가 연구 방향에 대해 고찰하였다.

## II. 기존 BLE 통신 기술

BLE 통신의 토폴로지를 제한하는 가장 큰 이유는 통신 방식을 들 수 있다. BLE에서의 데이터 전송은 Flooding과 Connection-based 방식이 존재하는데, Flooding의 경우 매우 작은 크기의 데이터만을 주고 받을 수 있어 복잡한 네트워크에서의 데이터 통신에는 적합하지 않으며, 수십 바이트 단위의 데이터 전송이 가능한 Connection-based 방식은 싱글 홉에 국한되어 있어 데이터가 여러 개의 센서 노드를 거쳐 전달되는 릴레이 방식과 같은 복잡한 네트워크에 적합하지 않기 때문이다. BLE에서 연결을 맺은 두 노드는 Slave와 Master의 서로 다른 두 역할을 하게 되는데, Master가 Slave로부터 데이터를 수신하게 된다. 따라서 자유로운 데이터 전송을 위해서는 노드들 간의 Slave/Master 역할 전환이 역동적으로 이루어져야 한다.

BLE 프로토콜의 특성상, 연결의 수립은 다음과 같은 과정을 거쳐 이루어진다. 우선, 한 노드가 Advertise 방식을 통해 주변 노드에게 자신의 정보를 송신하면, 이를 수신하고 있던 노드들이 해당 노드의 정보를 얻게 되어 연결을 요청할 수 있게 된다. 이 때 노드들의 역할을 각각 Advertiser와 Observer라고 부를 수 있다. Advertiser의 Signal 전송 주기는 사용자가 쉽게 변경할 수 있으며, 마찬가지로 Observer의 Scan 주기도 변경할 수 있다. Observer가 Advertiser의 패킷을 받고 나서, 연결을 수립하기 위해서는 Scan Request를 보내야 한다. 이 때 이를 수신한 Advertiser는 Scan Response를 Observer에게 보내

연결 수립을 시작하게 된다.

위 과정을 성공적으로 수행하려면, 제일 우선적으로 보증되어야 하는 것은 Advertiser의 패킷 전송 과정과 Observer의 Scan 과정이 같은 채널에서 동시에 일어나는 것이다. 블루투스 통신은 2.4Ghz대의 통신 대역을 총 40개의 채널로 나누어 통신을 수행하는데, BLE는 Advertise와 Scan을 수행할 때 37,38,39 총 3개의 채널만을 사용하게 된다. Advertiser는 3개의 채널을 모두 사용할 수 있는데 Observer의 경우는 한 번에 한 개의 채널만을 Scan할 수 있다는 특징이 있다. 이에 따라 Observer가 Scan하는 채널과 Advertiser가 패킷을 전송하는 채널이 맞아야만 연결이 이루어질 수 있는데, 본 연구에서는 Advertiser가 사용하는 채널을 37,38,39 전체로 놓고, Observer와 Advertiser의 Interval을 조정하여 이웃 노드를 완전하게 탐색할 수 있도록 하였다.

또한, Observer는 여러 개의 Advertising 패킷이 수신될 경우 어떤 노드의 패킷에 대해 반응하여 Scan Response를 보낼 것인지 결정하여야 한다. 실제 환경에서는 스마트 캠퍼스 네트워크를 구성할 노드들 뿐만 아니라 스마트폰과 차량을 비롯한 다양한 기기의 신호가 동시에 잡힐 수 있으므로 이를 파악하여야 하는데, 본 연구에서는 각 센서 노드가 자신이 연결을 수립해야 하는 노드의 주소를 모두 알고 있다고 가정하였고, 이를 바탕으로 Advertiser들의 패킷 중 적절한 패킷을 판별하여 연결 수립에 필요한 요청을 보낼 수 있도록 했다.

## III. GATT 프로필 기반 멀티 홉 전송 전략

본 연구에서 사용하는 연결 방식의 데이터 전송 기법의 장점은 Advertise를 통해 데이터를 전송하는 Flooding 기법에 비해 더 많은 양의 데이터를 주고받을 수 있다는 것이다. 그러나 이 경우 한 개의 노드는 한 개의 노드로만 정보를 송신할 수 있기 때문에 복잡한 네트워크 환경에서 BLE 연결은 동적으로 수립과 종료의 진행되어야 한다. 2.1.1에서 기술한 내용의 Parameter 설정을 바탕으로, 연결 수립에 성공한 두 노드 중 Advertiser 역할을 했던 노드를 Slave/Peripheral, Observer 역할을 했던 노드를 Master/Central이라고 부른다.

연결 방식을 사용하는 멀티 홉 전송에서, 가장 중요한 것은 Master/Slave, 또는 Central/Peripheral의 역할에 역동적인 전환이 일어나는 것이다. BLE 통신 상에서 Slave는 연결을 수립한 이후에는 Advertising을 수행할 수 없기 때문에 새로운 노드의 Slave 역할을 수행하기 위해서는 기존 연결을 끊어야 한다는 특징이 있고, Master는 여러 개의 Slave로부터 정보를 받을 수 있기 때문에 여러 개의 노드가 관여하는 통신 경로의 경우 노드들 간의 역할

분배 및 변환이 정밀하게 이루어져야 한다. 데이터 분석을 수행할 서버와 연결된 게이트웨이로 데이터를 전송하기 위해, 각 센서 노드들은 이웃 센서 노드들과의 상호작용을 통해 원거리 통신을 수행하게 된다. 센서 노드가 Scan과 Advertise를 동시에 수행할 수 없고, 각 행동을 전환하는 일은 Hardware와 연관된 작업이 필요하기 때문에 시간 소모가 전혀 없이 두 행동을 전환하는 것은 현실적으로 불가능하다.

따라서 Slave였던 노드가 Master 역할을 수행해야 할 때, 혹은 Master였던 노드가 Slave 역할을 수행해야 할 때에 어느 정도의 시간이 걸리는지를 인지하고 이를 바탕으로 역할이 전환된 후에도 다음 연결을 수립하는 데에 무리가 없도록 하였다.

연결 기반의 BLE 통신은 많은 양의 데이터를 동시에 보낼 수 있으나 연결을 끊고 새로운 연결을 맺는 데에 오버헤드가 발생한다는 단점이 있다. Advertising 방법을 통해 보낼 수 있는 데이터의 양은 패킷 당 31바이트 정도로, 31바이트 이상의 정보를 한꺼번에 교환해야 할 때에 연결 수립이 필요하다. 본 연구에서는 RSSI 데이터 수집 정보를 전송하게 되는데, RSSI 정보 한 개는 4바이트 내에 저장할 수 있다. 따라서 전달할 수 있는 전송 용량과 동적 역할 변경에 따른 오버헤드의 영향을 고려하여, 단일 홉 간의 전송은 0.5초 간격으로 이루어지도록 하였다.

Connection 기반 통신과 Flooding 기반 통신의 가장 큰 차이점은 데이터 통신에 사용하는 패킷의 종류가 달라진다는 것이다. Connection을 맺기 전에는 Advertising Packet을 사용하지만, 연결이 수립된 후에는 Data Packet을 사용하여 통신하게 된다. 이 때 두 노드 사이의 데이터 교환을 수행할 Layer를 선택해야 하는데, 본 연구에서는 Generic Attribute Profile(GATT)를 이용하여 데이터 패킷을 교환하고 이를 처리할 수 있도록 하였다. [그림 1]은 BLE의 기본적 통신 프로토콜 구조를 나타낸다.

연결이 수립될 때 Advertising을 하고 있었던 노드는 Peripheral 역할을 수행하게 되고, 이 신호를 Scan 하여 연결을 수립한 노드는 Central 역할을 수행하는데, Central 노드가 Request를 보내면 Peripheral 노드가 Response를 통해 데이터를 보내는 형식이 된다. GATT 프로파일 상에서 데이터는 [그림 2]과 같은 형태를 통해 구성되는데, 프로파일 내부에 여러 개의 Service가 존재할 수 있고, 각각의 Service는 여러 개의 Characteristic을 저장할 수 있다. 이 Characteristic들에 저장된 데이터가 노드 간의 통신을 통해 전달된다.

본 연구에서는 RSSI 측정 데이터를 저장할 수 있는 Service를 각각의 Raspberry Pi 기기에 생성하고, Slave가 연결 수립 이후 자신의

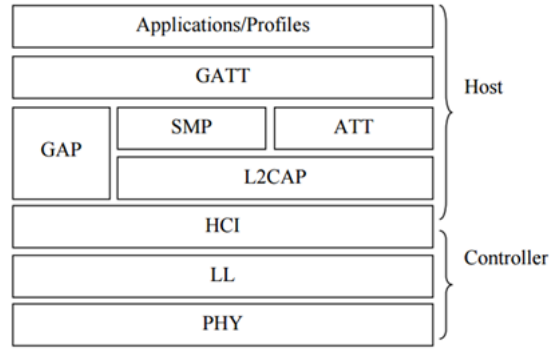


그림 1 . BLE의 통신 계층 프로토콜 구조

Service와 각 Characteristic에 대한 정보를 송신함으로써 데이터 전송을 구현하였다.

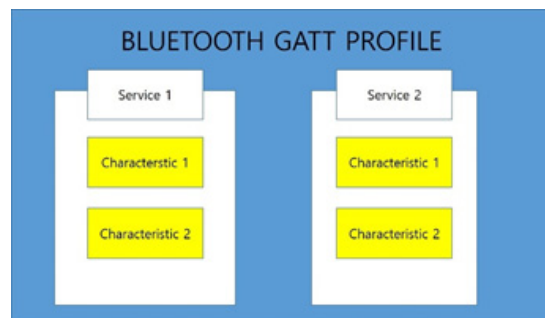


그림 2. GATT Profile 구조

#### IV. 성능 평가

본 연구에서는 4개의 Raspberry Pi 3 Node를 사용하여 일렬로 된 형태의 토폴로지를 구성하여 데이터 통신을 평가하였다. Advertising과 Scanning을 실제 환경에서 500ms의 전송 간격을 두고 10분간 수행하도록 한 결과, 99.9%의 Date 전송률로 무리 없이 동작함을 확인하였다. 500ms보다 짧은 전송 간격의 경우, 한 전송 경로 상에서의 원활한 역할 전환이 이루어지지 못해 서로 연결되지 못하는 문제가 간헐적으로 나타났다.

#### V. 결론

본 연구에서는 싱글 홉에 국한된 기존 BLE 통신을 멀티 홉 형태로 확장시키는 방법에 대해 고찰하였고, GATT 프로파일을 이용하여 데이터를 역동적으로 전달하는 기법을 제안하고, 실제 환경에서의 실험을 통해 적용 가능성을 어느 정도 확인하였다. 본 연구의 경우 500ms 이하의 전송 간격에 대해서는 효과적인 결과를 도출하지 못했는데, 이는 일차적으로 하드웨어의 영향을 들 수 있는

나, 추가적인 연구를 통해 더 짧은 전송 간격에서 원활한 전송을 가능하게 하는 방법에 대해 알아보는 것은 연구적으로 가치가 있을 것이다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

이 연구를 위해 연구장비를 지원하고 공간을 제공한 서울대-삼성전자 스마트 캠퍼스 연구단에 감사 드립니다.

### 참고문헌

[1] Dementyev, Artem, et al. "Power consumption analysis of Bluetooth Low Energy, ZigBee and ANT sensor nodes in a cyclic sleep scenario." *Wireless Symposium (IWS), 2013 IEEE International*. IEEE, 2013.

[2] Siekkinen, Matti, et al. "How low energy is bluetooth low energy? comparative measurements with zigbee/802.15. 4." *Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW), 2012 IEEE*. IEEE, 2012.