

BLE기반의 IPv6를 이용한 심 박동 측정 시스템 개발

오영준^O 박영준 최성수

한동대학교 전산전자공학부

oyj0594@gmail.com, her0gyu@naver.com, 21100715@handong.edu

Heart-rate monitoring system with IPv6 over BLE

Young June Oh^O Young June Park Sung Soo Choi

School of Computer Science and Electrical Engineering, Handong Global University

요 약

사물인터넷에 대한 관심이 커져감에 따라서 제한된 자원 환경을 고려한 프로토콜들의 중요성이 커져가고 있으며, 인터넷을 통하여 직접 센서들에 접속하도록 하기 위하여 충분한 주소공간을 지닌 IPv6의 사용을 피할 수 없게 되고 있다. 이에 따라 블루투스 프로토콜에서도 4.0 버전부터 저전력을 지원하는 BLE(Bluetooth Low Energy)가 제안되었으며, 4.2 버전에서는 IPSP (Internet Protocol Support Profile) 기능이 추가되어 IPv6를 지원할 수 있게 되었다. 본 논문에서는 BLE 기반의 IPv6를 이용하여 심 박동 센서의 값을 모니터링하는 시스템을 구현한 결과와, 프락시를 이용한 IPv4 인터넷 망에서 측정값을 모니터링하는 심 박동 측정 시스템 개발 결과를 기술한다.

1. 서론

현재 네트워크 환경에 대한 관심은 사물 및 웨어러블 디바이스로 모아지고 있다. 사물인터넷을 구성하는 요소 중, 원격에 위치한 노드는 일반적으로 배터리를 이용하여 장시간 동작하여야 하기 때문에 하드웨어도 가능한 적은 자원을 사용하도록 구성하여야 하며, 통신 프로토콜도 저전력으로 동작하여야 한다.

원격 노드를 게이트웨이나 프락시없이 인터넷을 통하여 직접 접속하기 위해서는 네트워크 계층에서 IP 프로토콜을 사용하여야 한다. 그리고 현재 IANA에서 보유하고 있는 IPv4 주소는 이미 고갈되었으며, 사물인터넷을 통하여 연결될 디바이스의 수를 고려할 때, 사물인터넷에서 IPv6의 사용을 피할 수는 없다. 네트워크 계층에서 IP 프로토콜을 사용하지 않고 있는 Zigbee 프로토콜에서도 IP의 사용을 검토하기 시작하였고, 블루투스 프로토콜에서도 2014년에 BLE 4.2 표준에서 IPSP(Internet Protocol Service Profile)가 추가되어 IPv6를 사용할 수 있도록 하고 있다. [1]

심 박동을 모니터링 하기 위하여 사용할 수 있는 무선통신 프로토콜로는 WiFi, Zigbee, 블루투스 및 IEEE 802.15.4+6LoWPAN 등이 있다. 이들 중에서 WiFi는 저전력이 요구되는 환경에서는 적합하지 않으며, Zigbee는 현재 IP 프로토콜의 사용에 대한 표준화가 완료되지 않았다. IEEE 802.15.4+6LoWPAN과 블루투스는 앞에서 언급한 저전력 및 IP 프로토콜 기반 프로토콜이다. IEEE 802.15.4+6LoWPAN 기반 네트워크에서는 메쉬 통신망의 구성이 가능하나, BLE 기반 통신망에서는 단지 스타 토폴로지 통신망 구축 만이 가능하다. 또한 ISM 대역을 사용하는 무선통신 방식에서는 사용 채널이 겹칠 수 있기 때문에 이를 고려한 통신 방식이 중요하다. IEEE 802.15.4에서도 확산 스펙트럼 방식을 사용하고 있지만, 특히 사용 대역이 WiFi와 겹칠 경우 통신의 신뢰도가 급격히 낮아지게 된다. 이에 따라 최근에 IEEE 802.15.4e TSCH 방식이 표준화되었지만 TSCH 방식의 관리에 대한 표준화가 아직 완료되지 않았다. BLE에서는 주파수 호핑 방식에 의해서

사용 채널을 변경하는 방식을 채택하고 있기 때문에 통신의 신뢰도가 높다. 이와 같은 이유로 인하여 심 박동 모니터링 시스템에 BLE 통신 방식을 선택하였다.

본 논문에서는 심 박동 센서로부터 센서 값을 읽기 위하여 BLE (BLE 4.2 IPSP) + 6LoWPAN (RFC 7668) + IPv6 + UDP + CoAP 프로토콜을 이용한다. CoAP은 저전력 통신을 위하여 IETF에서 표준화한 응용계층 프로토콜이며, RFC 7668은 IPv6 프로토콜에서의 헤더의 크기를 압축하여 효율적으로 BLE를 이용하여 통신하기 위한 적응 계층 프로토콜이다. 이와 같은 방식으로 프로토콜을 구축하였을 때, 인터넷 망을 통하여 저전력으로 직접 센서 값을 읽을 수 있게 된다. IPv6가 활성화 되지 않은 오늘날의 네트워크 환경에서, 내부 네트워크에서는 IPv6 주소로 통신을 하는 동시에 IPv4 기반의 인터넷 망에서도 접속이 가능하도록 하기 위해서, IPv4에서의 HTTP 프로토콜과 IPv6의 CoAP 프로토콜 간의 변환을 수행하는 프락시도 시스템에 포함한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 본 시스템에서 사용하고 있는 프로토콜 중에서 BLE 4.2 IPSP와 IPv6 over BLE (RFC7668)에 대해 설명하며, 3장에서 개발한 심 박동 모니터링 시스템의 구성에 대해 설명하고, 4장에서 시스템의 패킷에 대해 분석하며, 5장에서 결론을 맺는다.

2. BLE 4.2

새로 표준화된 BLE 4.2 에서는 기존 BLE 표준에 세 가지 옵션 기능을 추가하였다. LE 패킷의 데이터 길이를 10배 가량 늘려서 결과적으로 전송 속도를 2.5배 정도 향상 시킬 수 있는 LE Data Length Extension 기능, BLE 보안을 더 강화시킨 LE Privacy 1.2 기능과 BLE 기기에서 IPv6 사용을 지원하는 IPSP 기능이 있다.[2] 본 논문에서는 BLE 4.2 옵션 기능 중에서 IPSP 기능을 사용하고 있기 때문에 이에 대하여 기술한다.

2.1 IPSP

기존의 블루투스 프로토콜에서는 통신(Advertising과 Connection)을 담당하는 GAP(Generic Access Profile)와 데이터 모델링을 담당하는 GATT(Generic Attribute Profile)가 주요한 요소이며, 표준에 정의 되어 있지 않은 서비스에 대해서는 새로운 GATT 프로파일을 정의해야만 통신이 가능했다.[3] 하지만 IPSP 1.0의 추가를 기점으로 별도의 프로파일 정의 없이 IPv6 프로토콜을 이용하여 인터넷을 통해 직접 BLE 장치에 접속할 수 있게 되었다. 따라서 BLE 장치는 외부에서 볼 때 하나의 인터넷에 접속된 노드로 간주할 수 있게 되었다. IPSP는 크게 BR(Border Router)이 주변의 IPSP를 지원하는 장치를 발견할 수 있게 해주는 IPSS(Internet Protocol Support Service)와 IPv6 패킷의 전달을 가능하게 해주는 역할로 구분된다. IEEE 802.15.4에서 IPv6 패킷의 전달을 지원하기 위하여 6LoWPAN 적응 계층이 필요한 것과 동일한 이유로, BLE 2계층에서도 IPv6를 지원하기 위해서 적응 계층이 요구된다. 이를 위하여 RFC7668 (IPv6 over BLE)가 제정되었다. 일단 IP프로토콜이 지원되면 상위 계층에서 IoT 응용에 많이 사용되는 CoAP, MQTT 등과 같은 프로토콜을 사용하여 응용 서비스를 구현할 수 있게 된다.

2.2 IPv6 over BLE (RFC 7668)

RFC7668에서는 BLE에서 헤더의 크기가 큰 IPv6 패킷을 효율적으로 전송하도록 하기 위하여 헤더 압축 기법, ND(Neighbor Discovery), IPv6 SLAAC(stateless address auto-configuration) 등 6LoWPAN에서 사용한 기술을 차용하였다. 하지만 BLE는 IEEE 802.15.4와 달리 스타 토폴로지만을 지원하며, BR의 IP 라우팅을 통해 노드들 간의 통신 및 인터넷과의 통신이 이루어진다. 그림 1에 인터넷에 연결된 BLE 서브 네트워크 구성 예가 나타나 있다.



그림 1 BLE 네트워크

또한 BLE에서 L2CAP 계층의 MTU는 헤더를 포함하여 27바이트가 최적의 크기이다. 하지만 IPv6 패킷의 최소 MTU는 1280바이트를 요구하고 있기 때문에 fragmentation과 reassembly 기능이 필요하다. 이 기능은 IEEE802.15.4 기반의 IPv6 네트워크에서는 6LoWPAN 계층에서 지원하였지만 BLE 4.2에서는 L2CAP 계층에서 지원한다. [4]

3. 시스템 구성

본 논문에서 구현한 시스템은 그림 2에 나타난 바와 같이, 크게 센서 노드, BR, 클라이언트로 구성된다. 센서 노드는 PAH8001EI-2G 기반의 심 박동센서와 노르딕사의 nRF 51 DK로 구성되어 있다. BR은 오픈소스 하드웨어인 라즈베리 파이와 블루투스 4.0 동글을 이용하여 구현하였으며, 이는 라우터 기능과 프락시 기능을 수행한다.



그림 2 시스템 구성도

3.1 센서 노드

센서 노드에서는 nRF 51 DK 보드와 PAH8001EI-2G 심 박동 센서를 아두이노 쉴드를 통하여 연결하였으며, I2C 통신 방식을 이용하여 심 박동 센서 값을 읽는다. nRF 51 DK는 nRF51422 SoC를 포함하고 있는 개발 보드이며, nRF51422은 2.4GHz BLE 트랜시버 모듈과 ARM Cortex-M0 CPU를 포함하고 있다. 특히 내부에 256kB 플래시 메모리와 32kB RAM을 지니고 있어서 IoT에서 요구되는 프로토콜을 구현할 수 있다. nRF51 계열 프로세서를 위한 노르딕 사의 IoT 프로토콜 스택 구조가 그림 3에 나타나 있다.

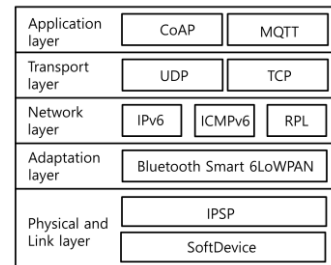


그림 3 nRF 51 IoT SDK의 프로토콜 스택.

구현 시에 응용 계층 프로토콜로는 현재 IETF 표준인 CoAP (Constrained Application Protocol)을 사용하였다.

센서 데이터의 처리는 계층 4에서 TCP를 사용하는 MQTT보다 UDP를 사용하는 CoAP에서 더 적은 자원을 요구하며 심 박동 측정에서는 Pub/Sub 모델 기반인 MQTT보다는 단순한 CoAP이 적당한 것으로 판단하였다. CoAP의 CON GET 패킷을 수신하면, I2C 통신 방식을 이용하여 센서로부터 값을 읽은 다음, CoAP의 ACK 패킷 페이로드에 측정값을 실어 응답하도록 구성하였다.

[표 1]에 twi_master_transfer API를 이용하여 센서 값을 읽는 코드 예가 나타나 있으며, [표 2]에 coap_message_payload_set API를 이용하여 페이로드에 측정 값을 실는 코드 예가 나타나 있다. [5]

표 1 센서의 심 박 데이터를 CoAP 서버에서 I2C 로 읽어 들이는 코드 [5]

```

uint8_t heart_rate;
twi_master_transfer(0xA0,0x01,(uint8_t*)&heart_rate,1,true);
coap_content_type_t ct_to_use;
err_code = coap_message_ct_match_select(&ct_to_use, p_request, p_resource);
if (err_code != NRF_SUCCESS)
{
    p_response->header.code = COAP_CODE_415_UNSUPPORTED_CONTENT_FORMAT;
    p_response->header.type = COAP_TYPE_RST;
}
  
```

표 2 읽어 들인 심 박 데이터를 CoAP 응답 메시지의 payload에 실는 코드 [5]

```
char *response_str1;
static char response_str[2];
memset(response_str, "0", sizeof(response_str));
sprintf(response_str, "%d", heart_rate);
response_str1 = response_str;
err_code = coap_message_payload_set(p_response, response_str1, strlen(response_str1));
```

3.2 프락시를 추가한 BR

BLE는 스타 토폴로지만을 지원하기 때문에 같은 서브넷 내의 노드들과 통신 하거나 외부 인터넷 망과 데이터를 주고 받기 위해서는 BR을 거쳐야 한다. BR의 하드웨어 구성은 라즈베리 파이와 라즈베리 파이의 USB 포트에 연결한 BLE 4.0을 지원하는 dongle로 되어 있다. BR의 주요 소프트웨어로 BLE에 대해서 6LoWPAN 스택을 지원하는 bluetooth_6lowpan 커널 모듈을 설치하여야 하는데, Bluetooth_6lowpan 커널 모듈은 커널 버전 3.17 이후부터 리눅스에서 지원하고 있다. 다음으로 IPv6에서 라우터 광고(advertisement) 기능을 담당하는 radvd 데몬을 설치하여야 한다. 라우터 광고 기능 중 하나는 64비트 네트워크 주소 부분을 BLE 노드로 전해주는 SLAAC에 의하여 글로벌 IPv6 주소가 자동으로 BLE 노드에서 생성되게 하는 것이다. 또한 외부의 IPv4로부터의 요청을 IPv6의 BLE 노드에게 전달하고 반대로 BLE 노드에서의 응답을 IPv4 네트워크의 클라이언트에게 전달하기 위하여 BR에 프락시를 설치하였는데, 프락시 서버로는 크로스 프로토콜 프락시를 구현하는 Californium CoAP의 cf-proxy를 활용하였다. 이 프락시는 외부의 HTTP기반의 GET 요청을 CoAP기반의 CON GET 메시지로 변환시키고, 응답 메시지를 역변환시키는 기능을 수행한다.

4. 분석

아래의 그림 4은 BLE연결이 완료된 시점 이후에 BR에서 패킷을 캡처한 결과이다.

Source	Destination	Protocol	Info
203.252.121.229	203.252.121.246	HTTP	GET /proxy/coap://[2001:db8:0:0:27c:beff:feb5:19c8]:5683/sensor/heart_rate HTTP/1.1
203.252.121.246	203.252.121.229	TCP	8080->54168 [ACK] Seq=3492955062 Ack=1590974145 Win=33536 Len=0
2001:db8::21a:7dff:fed2:2001:db8::27c:beff:feb5:19c8	2001:db8::21a:7dff:fed2:2001:db8::27c:beff:feb5:19c8	CoAP	CON, MID:43218, GET, TKN:fc, /sensor/heart_rate
2001:db8::27c:beff:feb5:19c8	2001:db8::21a:7dff:fed2:2001:db8::27c:beff:feb5:19c8	CoAP	ACK, MID:43218, 2.05 Content, TKN:fc (text/plain)
203.252.121.246	203.252.121.229	TCP	[TCP segment of a reassembled PDU]
203.252.121.246	203.252.121.229	HTTP	HTTP/1.1 200 OK (application/octet-stream)
203.252.121.229	203.252.121.246	TCP	54168->8080 [ACK] Seq=1590974145 Ack=3492955292 Win=261120 Len=0
203.252.121.229	203.252.121.246	TCP	54168->8080 [ACK] Seq=1590974145 Ack=3492955294 Win=261120 Len=0
203.252.121.229	203.252.121.246	HTTP	GET /proxy/coap://[2001:db8:0:0:27c:beff:feb5:19c8]:5683/sensor/heart_rate HTTP/1.1
203.252.121.246	203.252.121.229	TCP	8080->54168 [ACK] Seq=3492955294 Ack=1590974477 Win=34560 Len=0
2001:db8::21a:7dff:fed2:2001:db8::27c:beff:feb5:19c8	2001:db8::21a:7dff:fed2:2001:db8::27c:beff:feb5:19c8	CoAP	CON, MID:43219, GET, TKN:1c b6 6d, /sensor/heart_rate
2001:db8::27c:beff:feb5:19c8	2001:db8::21a:7dff:fed2:2001:db8::27c:beff:feb5:19c8	CoAP	ACK, MID:43219, 2.05 Content, TKN:1c b6 6d (text/plain)

BLE연결이 완료된 이후부터는 클라이언트는 라우터로 HTTP 기반의 GET 요청을 보낼 수 있다. 라우터는 HTTP 메시지를 CoAP 기반의 CON GET 메시지로 변환하여 서버로 전달하며, 노드로부터 받은 CoAP기반의 ACK 메시지(심박 측정 값 포함)를 HTTP기반의 응답 메시지로 바꾸어 클라이언트로 전해준다.

5. 결론

본 논문에서는 BLE 4.2 기반의 IPv6와 CoAP을 이용한 심박동 모니터링 시스템을 구현한 예와 결과를 기술하였다. BLE 4.2의 IPSP를 이용하여 IPv6 주소를 지닌 BLE 노드가 인터넷에 직접 연결되도록 했다. 또한 현 IPv4 인터넷 환경에서 시스템이 동작할 수 있도록 BR 기능을 수행하는 라즈베리 파이에 프락시를 구동하여, IPv4 인터넷에서 요청하는 클라이언트가 인터넷을 통하여 직접 BLE 노드에 접근할 수 있도록 하였다. 본 논문에서는 CoAP과 IPv6 over BLE 기반의 사물 인터넷 환경에서 심 박 데이터 모니터링 시스템의 적용 가능성을 확인했다. 향후 사물 간의 통신과 더불어 보안 및 가용성 등 여러 비기능적 요소들에 대해서 테스트 및 연구를 통해서 보다 안정된 BLE 기반의 사물인터넷 시스템을 구현하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] Internet WG(2014, Dec 16)Internet Protocol Support Profile(1sted.)Available:https://www.bluetooth.com/specifications/adopted-specifications(downloaded 2016, Jan. 30)
- [2] Bluetooth SIG(2014) Bluetooth-Quic-Ref-Guide Available:https://www.bluetooth.com/specifications/adopted-specifications(downloaded 2016, Jan. 30)
- [3] Getting Started with Bluetooth Low Energy",1st Ed, pp. 35-51 ,O'Really Media,1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, 2014
- [4] J. Nieminen,,T. Savolainen,M. Isomaki,B. Patil,Z. Shelby and C. Gomez "IPv6 over BLUETOOTH(R) Low Energy", IETF Requests for Comments 7668, 2015
- [5] nRF51 IoT SDK v0.9.0 Available:http://infocenter.nordicsemi.com/index.jsp(2016, Feb. 2)

그림 4 와이어샤크로 캡처한 패킷