

무선전력전송시스템 제어 기술 비교 연구+

장동원* · 조인귀*

*한국전자통신연구원

A Study on Comparison of Control Methods in Wireless Power Transfer Systems

Dong-won Jang* · In-Kwee Cho*

*Electronics and Telecommunications Research Institute

E-mail : dwjang@etri.re.kr

요 약

본고에서는 블루투스 프로토콜을 이용해서 무선전력전송을 제어하는 시스템에 대해서 기술하였다. 블루투스는 근거리에서 데이터, 음성 신호 등 송수신하기 위해 많은 분야에서 다양하게 응용되어 왔다. 그러나 최근에는 전송 데이터량이 적은 센서 제어 신호를 저전력으로 처리할 수 있는 기존 블루투스 프로토콜보다 단순한 구조의 블루투스 저에너지 프로토콜이 표준화되어 의료, 가전 등 생활과 밀착된 응용에 많이 사용되고 있다. 또한 무선전력 전송시스템에서도 제어를 위해 표준으로 채택되었다. 본고에서는 특히 블루투스 저에너지 프로토콜을 이용해서 무선전력전송시스템을 제어하는 기술에 대해서 분석하고 기술하였다.

ABSTRACT

This paper presented about the system for controlling a wireless power transmission using bluetooth protocol. Bluetooth protocol has been applied in many fields that communicate with data and audio signal in short range. Recently, however, Bluetooth low energy(BLE) more simple than the existing protocol is standardized and is widely used in medical applications and consumer electronics that handle small amount of sensor data and transmit by the low power control signal. It has also been adopted as the standard for the control in the wireless power transfer system. In this paper, We analysed and described the bluetooth low energy protocol techniques for controlling the wireless power transfer system.

키워드

블루투스, 무선전력전송, bluetooth, BLE, bluetooth smart

I. 서 론

무선전력전송(WPT) 기술은 현재 휴대폰, 전기 자동차, 생체 삽입 의료장비 등 여러 산업분야의 전원 충전에 사용되고 있으며, 효율을 높이기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 공간 자유도를 높이기 위한 전원 충전 송수신기 간 거리가 증가시키거나 충전 중 수신기의 부하저항 변동에 의해 효율이 감소하므로 안정적으로 효율을 유지시키기 위한 방안 연구가 필요하다. 기술 및 용도에 따라서 여러 방식의 무선전력전송 시스템을 선택할 수 있으므로 이에 따라 제어 방식도 in-band방식과 out-of-band 방식으로 분류되며 채택된 무선전력전송 시스템에 따라서 선택된다. 본고에서는 국제적인 사실상(de facto) 표준으로 채택된 WPC(Wireless Power Consortium)와 PMA(Power Matters Alliance)의 in-band 제어 방

식과 A4WP(Alliance for Wireless Power) 표준에서 out-of-band 제어 방식에 대한 표준(프로토콜)을 분석해서 기술하였다.

II. 본 론

무선전력전송은 전기에너지를 전파의 형태로 공간상에 전달하는 기술로 자기장의 유도 원리를 이용하여 송신기(충전기)에서 수신기(단말기)로 전력에너지를 전달하는 일명 ‘무선충전기술’로도 불린다. 무선전력전송 기술은 자기장의 유도 원리를 이용하여 전력에너지를 전달하는 기술로 ①자기유도 방식, ②자기공명 방식이 주로 사용되고 있다. 자기유도방식은 1~2차 코일 간 유도방식을 이용하며, 자기공명방식은 송·수신 코일 간 공명 현상을 이용한다. 전송효율 측면에서 유선전송(약 95%)에 비해 무선전송(40~70%)의 효율이 떨어지는 단점이 있으나, 충전이 매우 편리하다는 장점이 있다. 자기유도방식은 전력전송거리가 수mm 이내의 패드형이며 효율이 70%인 반면, 자기공명방

+ 본 연구는 미래창조과학부와 ETRI가 지원한 2015년 ICT R&D 프로그램으로 수행되었음

식의 경우 전송거리가 수십cm 내외로 효율은 40~60% 정도이다. 자기유도방식은 WPC, PMA 표준에서 사용되며 제어는 in-band 방식이고 사용 주파수는 110~205kHz(WPC)와 205~300kHz (PMA)이다. 자기공명방식은 A4WP 표준에서 사용되며 out-of-band 제어 방식으로 전송 주파수는 6.78 MHz, 제어 주파수는 2.4 GHz ISM대역을 각각 사용한다.

1. In-band 시스템[1][2]

이러한 표준에는 시스템 제어에 대한 수신 대상 탐색, 정보교환, 전력전송 등의 과정을 기술하고 있다. 특히 시스템 제어 과정, 시스템 제어 과정을 송신기의 관점에서 구체적인 설명, 패킷에 대한 정보와 패킷 처리 타이밍에 대해 상세히 설명하고 있다. 또한 기기간의 통신 인터페이스에 대해 기술하고 있다.

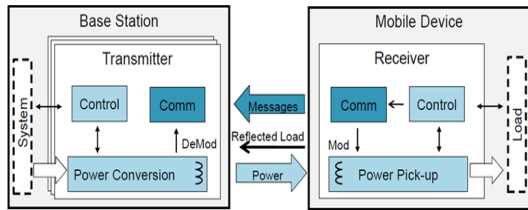


그림 1. In-band 제어 무선전력전송 시스템

무선전력전송의 시스템 제어 방식과 통신 인터페이스에 대해 기술하고 있다. 시스템 제어는 수신 대상 탐색, 정보교환, 전력전송 등의 과정으로 이루어진다. 시스템제어 측면에서 전력 송신기로부터 전력 수신기로의 전력 전달은 Selection, ping, identification & configuration, power transfer 네 과정으로 구성된다.

1) Selection : 1번 과정은 송신기가 수신 대상을 찾는 과정이다. 송신기는 전력 전송 대상 물체를 구별하고 대상이 구별되면 수신 대상을 전력 충전기로 이동시킨다. 만약 처음에 송신기가 이러한 과정에 필요한 정보가 충분치 않으면 송신기는 반복적으로 ping과 identification & configuration 과정을 반복한다. 그리고 관련 정보를 모은 후에는 selection 과정으로 돌아간다. 송신기가 전력 전송을 할 대상을 찾으면 송신기는 ping 과정으로 넘어간다. 그리고 최종적으로는 power transfer 과정으로 진행된다. 반면에 송신기가 수신기를 찾지 못하거나 전력 전송을 유지하지 못한다면 stand-by 모드에 들어간다.

2) Ping : 2번 과정에서 송신기는 디지털 핑을 송신하여 수신기로부터의 응답을 받는다. 송신기가 수신기로부터 응답을 받을 시 핑의 전력 레벨을 유지한 상태로 연장하게 된다. 핑이 유지되면 identification & configuration 과정으로 넘어간다. 핑이 연장되지 않으면 다시 1번 과정으로 돌아간다.

3) Identification & configuration : 3번 과정에서 송신기는 선택된 수신기로부터 전력 전송에 필요한 정보를 수집한다. 예를 들어 이 정보에는 수신기 측

에서 요구하는 전송기의 출력 전력 값 등이 있으며 power transfer 과정에서 필요한 파라미터들의 제한치 등이 포함된다. Power transfer 단계로 넘어가기 전에 송신기는 다른 수신기를 찾기 위해 디지털 핑을 끊고 다시 selection 과정으로 넘어간다.

4) Power transfer : 4번 과정에서 송신기는 3번 과정에서 수신기로부터 받은 컨트롤 데이터를 기준으로 primary cell의 전류 값을 조절하면서 수신기로 전력을 보낸다. 송신기는 이 과정에서 전력 전송 관련 파라미터를 체크하는데 파라미터 제한 값이 초과되면 전력 전송을 중단하고 selection 과정으로 돌아간다. 최종적으로 수신기로부터 전력 전송 중단 요청 정보(예를 들어 완충 시)를 받으면 송신기는 전송을 중단하고 selection 과정으로 돌아간다. 혹은 전력 전송 규격을 수정하기 위해 3번 과정으로 돌아간다.

2. Out-of-band 시스템[3]

A4WP 표준(v1.3)은 WPT 시스템에서 단일 전력 송신 유닛(PTU)로부터 한 개 이상의 전력 수신 유닛(PRU)로 전력을 전송하기 위한 프로토콜이 기술되어 있다. 전력 전송 주파수는 6.78MHz이고 8개의 기기까지 송신기와 수신기의 위치 및 전력 레벨에 따라서 단일 PTU로부터 전력을 공급받을 수 있다. A4WP 시스템에서 블루투스 저에너지(BLE) 링크는 전력 레벨의 제어, 타당한 부하의 식별, 비호환 기기의 방지를 위해 의도되었다. PTU는 여러 독자적인 PRU들을 위해 확장될 수 있다. PTU는 공진기와 매칭 유닛, 전력 변환 유닛, 신호와 제어 유닛 3개의 메인 기능 유닛으로 구성된다. PRU도 PTU와 같이 3개의 메인 기능 유닛으로 구성된다. WPT 통신망을 위한 제어 및 통신 프로토콜은 양방향과 반이중 구조로 설계되며 효율 최적화, 과전압 보호, 저전압 회피, 악성 물체 검출을 피드백 제공과 함께 PTU로 PRU 특성을 신호 보내도록 사용한다. WPT 통신망은 PTU가 마스터이고 PRU가 슬레이브인 스타 토폴로지이다. PTU와 PRU는 서로에게 기기 적합을 식별하고 전력 협상 정보를 교환하기 위해 양방향 통신을 수행한다.

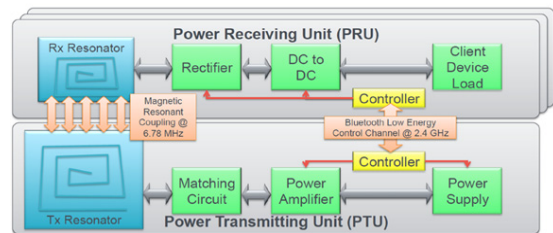


그림 2. Out-of-band 제어 무선전력전송 시스템

또한 고레벨 요구사항을 제공하고, 기기 등급화를 식별할 수 있다. 전력 전송 요구사항(고정 6.78MHz 운용 주파수, 공진기 요구사항, 부하 파라미터를 포함)을 제공할 수 있으며 PTU와 PRU 전력 제어 및 신호 요구사항을 제공한다. 이 표준에서는 승인된 PTU 공진기 설계를 식별하고 PTU로서 허용을 위한 시험을 위한 표본 PRU를 포함하고 있다.

3. Bluetooth Low Energy 프로토콜[4][5][6]

A4WP 표준과 BLE를 통합하면 소비자는 충전 표면과 접촉할 때 보다 빠르게 충전을 시작할 수 있다. 소비자가 다중 기기를 동시에 충전할 때 한 기기가 우선적으로 충전을 할 수 있는 향상된 전력 제어 기능을 제공한다. 또한 개발자들은 이러한 스마트 무선 충전기기 제어를 활용한 새로운 종류의 응용(이동 지불, 서비스에 기초한 위치 제공 등)을 만들어낼 수 있다. 자기공명 무선전력전송 기술과 BLE 기술의 결합은 한 개의 충전 시스템이 동시에 여러 개의 기기에 충전하면서 식탁이나 책상 그리고 자동차 내부에서 공간적인 자유도를 높이고 무선 헤드셋에서 스마트폰, 태블릿, 노트북 등으로 끊임없는 충전 방법을 해결할 수 있도록 한다. 또한 BLE 통신을 다른 통신망과 용이하게 접속해서 다양한 통신망 서비스를 제공받을 수 있다.

BLE(Bluetooth Low Energy) 모듈을 이용한 다양한 애플과 장치를 만들기 위해서는 먼저 BLE의 구조와 개념, 규격에 대해서 이해할 필요가 있다. BLE는 Bluetooth Smart로도 불리며 기존 bluetooth의 경량화 버전을 목표로 블루투스 4.0 표준의 일부로 발표되었다. Classic bluetooth와 겹치는 부분이 존재하지만 BLE는 완전히 다른 표준으로 블루투스 표준화 그룹인 Bluetooth SIG에 의해서 개발되기 전까지 Nokia의 사내 프로젝트(Wibree)로 시작하였다. BLE 지원 플랫폼은 iOS5+, Android 4.3+, Apple OS X 10.6+, Windows 8, GNU/Linux Vanilla BlueZ 4.93+ 등이 있다.

GAP(Generic Access Profile)은 블루투스에서 게시(advertising)와 접속(connection)을 제어한다. GAP은 특정 기기가 다른 기기들에게 어떻게 보여질 것인가와 어떻게 두 장치를 접속할 것인가를 결정한다. GAP은 기기들이 맡을 수 있는 다양한 역할들에 대해 정의한다. 그 중 가장 핵심은 Central 기기와 Peripheral 기기이다. Peripheral 기기는 주로 작고 저전력으로 동작하며 제한된 리소스를 가진 기기이며 보다 리소스가 풍부한 Central 기기에 연결되어 동작하도록 설계된 기기이다. Bluetooth SIG 응용 중에서 Heart Rate Monitor(심박측정기), BLE 근접센서 태그 등이 이러한 응용들이다. 일반적으로 Peripheral 기기를 센서로 표현한다. Central 기기는 폰이나 태블릿과 같이 충분한 전원과 메모리 등의 리소스를 갖춘 기기이다. Central 기기는 일반적으로 스마트폰에서 구현되므로 폰으로 표현한다.

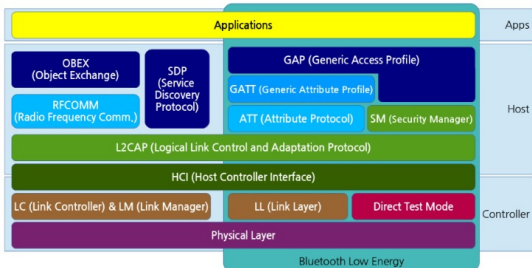


그림 3. Bluetooth Low Energy 프로토콜 스택

1) Advertising and Scan Response Data

GAP을 이용해서 게시(Advertising)를 할 때

Advertising Data Payload와 Scan Response Payload를 포함할 수 있다. 두 가지는 서로 구분되며 31바이트까지 데이터를 포함할 수 있다. 하지만 Advertising Data Payload가 필수인데 반해 Scan Response Payload는 선택적이다. Advertising Data Payload는 Central 기기가 인식할 수 있도록 peripheral 기기(센서)에서 계속 송출되는 데이터이다. Scan Response Payload는 central 기기에서 기기 이름과 같이 추가적인 정보를 요구하기 위해 정의된 것으로 선택적으로 구현된다.

2) Advertising Process

Advertising 과정은 먼저 센서가 특정한 게시 주기(advertising interval)를 가지며 이 주기마다 advertising packet을 전송한다. 주기가 길어질수록 전력소모는 줄지만 Central 기기에서의 응답이 느려진다. 만약 수신 기기(central 기기)에서 Scan Response Data에 관심이 있다면 추가로 요청할 수 있고 peripheral이 이러한 요청에 데이터와 함께 응답한다.

3) Broadcasting, Beacon

Peripheral 기기는 31바이트 정도의 작은 데이터를 실어서 게시(advertising)를 하기 때문에 적은 비용으로 주변의 central 기기에 자신의 존재를 알릴 수 있다. BLE에서는 이것을 Broadcasting 이라고 부른다. 그리고 advertising 역할만을 하는 Peripheral 기기가 바로 비컨(Beacon)이다. 애플의 iBeacon은 advertising packet의 custom payload 내용을 특정한 형식으로 작성하도록 정의하고 있다. 일단 Central, Peripheral 두 기기가 연결되면 advertising은 종료되어 외부 장치에서 scan되지 않는다. 이때 GATT 서비스와 특성(characteristic)을 사용하여 양방향으로 통신하게 된다. GATT(Generic Attribute Profile)는 두 BLE 기기간에 Service, Characteristic을 이용해서 데이터를 주고 받는 방법을 정의한 것이며 Attribute Protocol (ATT)의 최상위 구현체가 GATT이며 GATT/ATT로 참조되기도 한다. 각각의 속성(Attribute)은 UUID (Universally Unique Identifier)를 가지며 128비트로 구성된다. ATT에 의해 부여된 속성은 특성(characteristic)과 서비스(Service)를 결정한다. 하나의 특성(characteristic)은 하나의 값과 n개의 디스크립터를 포함한다. 디스크립터는 특성의 값을 기술한다. 하나의 서비스는 특성들의 집합으로 예를 들면 “Heart Rate Monitor”라고 불리는 서비스를 가지고 있다면 그 서비스는 “heart rate measurement” 같은 특성을 포함한다. BLE에서 역할에 따른 구분은 아래와 같다.

1) Central / Peripheral

BLE로 연결하기 위한 서로의 역할을 구분한 것이다. Central은 scan, 게시(advertisement) 검색을 담당한다. 그리고 Peripheral은 게시(advertisement)를 만든다. 예를 들어 폰과 센서 기기가 있다면 폰이 주변의 센서를 스캔하는 역할을 할 것이므로 central이 된다. 반대로 센서 장치는 peripheral이 된다. 중요한 점은 peripheral은 오직 하나의 central 장치에만 연결될 수 있다. Peripheral이 central에 연결되면 게시(advertising)를 중단하기 때문이다. 따라서 다른 central장치는 peripheral의 연결이

해제될 때까지 찾을 수 없다.

2) GATT server(slave) / GATT client(master)

BLE 장치가 연결된 이후 어떻게 서로 통신하는지에 대해 정의한다. 일반적으로 peripheral 기기(센서)가 GATT server 역할을 하며 ATT lookup data, service, characteristic에 대한 정의를 가지고 있다. GATT client (폰, 태블릿 등)에서는 GATT server로 데이터 요청을 보낸다. 모든 동작(transaction)은 GATT client에서 시작되어 GATT server로부터 응답을 받게 된다. 두 장치가 연결될 때 peripheral(센서)은 연결 간격(connection interval)을 전달한다. Central(폰)은 이 시간만큼 간격을 두고 새로운 데이터가 있는지 재접속을 시도할 수 있다. 하지만 이것은 선택 사항이다.

BLE에서 사용하는 GATT 기반 동작 구조는 프로파일(Profile), 서비스(Service), 특성(Characteristic)에 기초한다. 이것들은 수직 구조를 가진다.

1) 프로파일(Profile)

프로파일은 BLE peripheral(센서 기기)에 실제로 존재하는 것은 아니다. 이것은 Bluetooth SIG(블루투스 표준 개발그룹) 혹은 peripheral(센서) 설계자에 의해서 만들어진, 미리 정의된 서비스의 묶음이다. Heart Rate Profile (HRP)을 예로 들면 이 프로파일은 Heart Rate Service(필수)와 Device Information Service(선택)를 결합한 것이다. 이 두 서비스를 묶어서 Heart Rate Profile 이라고 정의했으며 논리적인 구분이라고 보면 된다.

2) 서비스(Service)

서비스는 데이터를 논리적인 단위로 나누는 역할을 하며 특성(characteristic)이라 불리는 데이터 단위를 하나 이상 포함하고 있다. 각 서비스는 UUID라 불리는 16bit(for officially adopted BLEServices) 혹은 128bit(for custom services)로 분류된다. 이 중 Heart Rate Service를 확인해보면 16-bit UUID - 0x180D를 사용함을 알 수 있다. 그리고 이 서비스는 3개의 특성(Heart Rate Measurement, Body Sensor Location, Heart Rate Control Point)을 가지고 있고 이 중 Heart Rate Measurement 만 필수임을 알 수 있다.

3) 특성(Characteristic)

GATT 기반 동작구조에서 가장 하위 단위는 특성이다. 특성은 단 하나의 데이터만을 포함하고 있다. 가속도 센서처럼 X, Y, Z 축 값이 한 쌍을 이루는 경우 일련된 값의 나열(배열)도 하나의 데이터로 간주한다. 서비스와 유사하게 특성도 16-bit 또는 128-bit UUID를 가지고 있고 표준 특성 리스트를 제공한다. 또는 목적에 맞게 특성을 정의할 수도 있다. 예를 들어 Heart Rate Measurement 특성은 Heart Rate Service의 필수 특성으로 UUID - 0x2A37 을 사용한다. 이 특성은 데이터의 첫 8bit 중 첫 1bit 가 Heart Rate Measurement(HRM) 데이터 타입을 표시한다. 데이터 타입이 0일 경우 이어지는 HRM 데이터는 UINT8 타입이고 1일 경우는 UINT16이다. 이와

같이 BLE에서 특성은 peripheral(센서 기기)와 데이터를 주고 받는데 핵심 역할을 한다. 특성은 또한 Central(폰) 장치에서 peripheral(센서 기기)로 데이터를 전송할 때도 사용된다. 간략하게 실제 폰에서의 동작과정을 요약하면 Central(폰) 기기는 아래와 같은 순서를 거쳐 데이터를 받아 처리한다. 먼저 폰은 주변의 BLE 장치를 스캔한다.

III. 결 론

표준을 기반으로 한 통신 기기는 프로토콜에 대한 적합성 및 기기간의 상호운용성이 보장되어 신뢰성을 높이고 저렴한 비용으로 원하는 제어를 가능하게 한다. 프로토콜 구현은 C나 C++과 같은 언어로 코딩되어야 하며 이 프로그램은 컴파일되어 제어모듈의 CPU에 로딩된다. 본고에서는 자기공명방식을 사용해서 공간 자유도가 높은 무선전력전송시스템에서 이용하는 out-of-band 제어 시스템 방식을 기술하였다. 송수신 데이터가 비교적 적고 가까운 거리에서 사용하므로 소모 전력이 매우 적은 Bluetooth Low Energy 프로토콜을 사용한다. 이는 이미 A4WP에서 채택되었으며 Bluetooth SIG와 공동으로 다른 통신망과의 접속 등 보다 향상된 기능을 개발할 것으로 예상하고 있다. 무선전력전송에 대한 요구가 웨어러블 응용과 같이 공간적으로 자유도가 높은 기술을 원하고 있으므로 out-of-band 제어 방식의 채택은 필수적이다.

참고문헌

[1] WPC, System Description-Wireless Power Transfer-Volume I: Low Power-Part 1: Interface Definition, Version 1.1.2, Jun. 2013.
 [2] PMA, S-0003-0 v2.00, PMA Inductive Wireless Power and Charging Transmitter Specification - System Release 1, 24 Apr. 2014.
 [3] A4WP, A4WP-S-0001 v1.3, A4WP Wireless Power Transfer System Baseline System Specification (BSS), Nov. 05. 2014.
 [4] Bluetooth Core Specification v4.0 with CSA4, 30 Jun. 2010.
 [5] Robin Heydon, Bluetooth Low Energy-The Developer's Handbook, 2013.
 [6] <https://learn.adafruit.com/introduction-to-bluetooth-low-energy/introduction>