

# 블루투스 저전력 통신을 이용한 와이파이 다이렉트 Cross-Layer 방안 연구

조항기\*, 유인태\*\*

## 요약

스마트폰의 보급이 이루어지면서, 무선 통신에 대한 다양한 요구가 증가되고 있다. 주변 장치들과의 쉽고 빠른 통신을 위해 다양한 무선 기술들이 등장하고 있다. 속도 측면에서 우위를 보이고 있는 와이파이 기술과 저전력 ZigBee, 그리고 블루투스 기술과 같은 네트워크 기술들이 많이 사용되고 있다. 본 논문에서는 와이파이 다이렉트 기술과 블루투스 4.0에서 새롭게 선보인 블루투스 저전력 에너지 기술에 대한 장점을 접목하여, 두 가지의 무선 통신 기술을 cross-layer 디자인 방법에 대한 제안을 한다.

## A Study Cross-Layer Design for WiFi Direct with Bluetooth Low Energy

Hang-ki Joh\*, In-tae Ryou\*\*

## ABSTRACT

Popularity of smart phones is performed, various needs for wireless communication has been increasing. Various radio technologies for communication easy and quick with peripherals have appeared. The ZigBee shows lower power consumption and WiFi technology shows advantage in terms of speed, network technologies such as Bluetooth technology has been widely used. In this paper, by combining low power consumption of Bluetooth that was unveiled new in Bluetooth4.0 and WiFi Direct technology, the benefits of energy technology, we propose cross-layer design method and wireless communication technology of two.

Key Words : Bluetooth Low Energy, WiFi Direct, Cross-Layer Design

---

\* 경희대학교 컴퓨터공학과 (✉ hkjoh@khu.ac.kr)

\*\* 경희대학교 컴퓨터공학과

· 제1저자(First Author) : 조항기 · 교신저자(Correspondent Author) : 유인태

· 접수일(2013년 12월 2일), 수정일(1차 : 2013년 12월 10일), 게재확정일(2013년 12월 12일)

## 1. 서 론

최근 유선 환경에서 무선환경으로 네트워크 트렌드의 변화가 일어났다. 장치간의 데이터 전송을 위해 높은 대역폭을 제공하기 위해 다양한 무선 통신 기술이 개발되고 있다. 이러한 기술 중 장치간의 통신을 위해 두 개의 주요한 기술은 와이파이 다이렉트 기술과 블루투스 3.0+ High Speed(HS) 기술이다.

와이파이 다이렉트 기술은 블루투스 3.0+ HS 기술에 대항하기 위한 기술이다. 와이파이 다이렉트는 와이파이 얼라이언스 기기 간 접속을 지원하는 Access Point(AP)를 거치지 않고 와이파이를 탑재한 기기 간 직접적으로 통신하는 방식이다.

블루투스 4.0은 블루투스 저전력 통신 기술[1]과 블루투스 3.0+ HS의 속도와 같은 24Mbps를 지원하는 기술로 나누어져 있다. 블루투스 저전력 통신은 낮은 저전력 기술로 데이터의 전송속도는 느리지만 센서 네트워크나 또는 코인셀(coin cell)로 운용되는 다양한 휴대용 기기를 위해 설계되었다.

본 논문에서는 블루투스 저전력 통신 기술과 와이파이 다이렉트 기술의 장점을 활용 cross-layer 설계를 수행하였다[2]. 관련연구에서는 블루투스 저전력 통신과 와이파이 다이렉트의 장점 및 단점에 대하여 살펴본다. 제안 사항에서는 블루투스의 저전력 통신에서의 연결 과정을 통하여 장치간의 연결을 확립하고, 와이파이 다이렉트 기술을 이용하여 데이터를 전송하는 방법에 대하여 제안하였다. 시뮬레이션 파트에서는 제안한 사항에 대한 OPNET 16.5에서 수행한 시뮬레이션에 대한 내용과 시뮬레이션을 수행하여 얻은 결과를 나타내었다.

## II. 관련 연구

### 2.1 블루투스 저전력 통신

표 1. 기존 블루투스 기술과 블루투스 저전력 통신  
Table 1. Legacy Bluetooth vs Bluetooth Low Energy

기술 사양	기존 블루투스	블루투스 저전력 통신
주파수	2.4GHz	2.4GHz
거리/범위	10m	10m
전송속도	1-3Mbps	1Mbps
보안	56/128-bit and application layer user defined	128-bit AES with Counter Mode CBC-MAC and application layer user defined
Robustness	Adaptive fast frequency hopping, FEC, fast ACK	Adaptive frequency hopping, Lazy Acknowledgement, 24-bit CRC, 32-bit Message Integrity Check
Latency	Typically 100ms	6ms
비연결 상태 데이터 전송 시간	100 ms	3 ms
음성 지원	Yes	No
네트워크 토폴로지	Scatternet	Star-bus
전력 소모	< 30mA	< 15mA (max 15mA, coin cell)
서비스 검색	Yes	Yes
프로파일 컨셉 지원	Yes	Yes

<표 1>은 기존 블루투스 통신기술과 블루투스 저전력 통신을 비교한 것이다[1]. 블루투스 저전력 통신 기술은 장치의 전력 소비 감소를 위해 기존의 블루투스 기술보다 낮은 데이터 전송률을 가진다.

블루투스 저전력 통신 기술은 대칭성, 고정된 검색, 그리고 연결 모드에 대한 취약성으로 인해, 다양한 결합형태에 대한 수용능력을 나타내기 위한 상세한 프로파일 역할이 필요하다. 프로파일은 두 디바이스간 같은 프로파일을 지원할 때, 다른 디바이스와 통신하기 위한 매우 중요한 부분을 차지한다. 이들 프로파일은 다음과 같은 브로드캐스터, 옵저버, 페리퍼럴 그리고 센트럴의 4가지 형태의 디바이스에서 각각의 역할을 수행한다. 각 프로파일에 대한 설명은 다음과 같다.

○ 브로드캐스터(Broadcaster) - 브로드캐스트 역할

을 수행하는 디바이스로 단지 전송 역할만을 수행하고 다른 디바이스에 애드버타이징 브로드 캐스트를 한다.

○ 옵저버(Observer) - 옵저버 프로파일을 지원하는 디바이스로 수신 기능만이 존재하고 디바이스 브로드 캐스팅 애드버타이징으로부터 애드버타이징을 받기 위해 대기모드로 존재한다.

○ 페리퍼럴(Peripheral) - 페리퍼럴 프로파일을 지원하는 디바이스로 전송과 수신 모두의 기능을 수행한다. 이 디바이스는 브로드캐스팅 애드버타이징먼트를 지원하고 슬레이브처럼 다른 디바이스에 연결된다.

○ 센트럴(Central) - 센트럴 프로파일을 지원하는 디바이스로 송신과 수신 모두의 기능을 필요로 한다. 브로드캐스트 애드버타이징먼트를 위해 대기 상태로 존재해야하며 초기 연결시 마스터로서의 역할을 수행한다.

블루투스 저전력 통신 기술의 전력에 대한 비교는 다음 <표 2>와 같다.

표 2 블루투스 저전력 통신 전력 소모  
Table 2. Bluetooth Low Energy Power Consumption

	통신간격				
	20ms	100ms	500ms	1sec	10sec
브로드캐스터	3+주	3+주	1+주	1.5+년	3.5+년
옵저버	8+시간	1+달	1+주	2+주	~4달
페리퍼럴	~1달	3+달	1+년	1.5+년	3.5+년
센트럴	~2주	~2달	9+달	1+년	3+년

## 2.2 와이파이 다이렉트

기존의 와이파이 망에서는 AP를 통하여 접속한 후 인터넷 망에 접속하는 방법이 일반적인 와이파이 탑재 장치의 사용방법이다. 장치간 직접 연결을 통한 데이터 통신 방법은 블루투스와 같은 무선 통신 기술을 탑재한 휴대폰과 노트북과 같은 기기에 탑재되어 일부 사용자에 의해 사용되었지만, 블루투스의 특성상 낮은 전송속

도와 실제 데이터 전송 가능 거리의 제약이 존재하였다. 특히 대용량의 데이터 전송이나 주변에 많은 활성화된 블루투스 장치가 존재할 경우 간섭으로 인한 체감 성능상에서 기술적 한계가 존재하였다.

와이파이 다이렉트 기술은 기존 와이파이 표준 규격의 대부분의 기능을 유지하면서, 장치 간 직접통신을 지원하기 위한 부분이 추가되었다. 하드웨어 및 물리적인 특성에 대한 변경없이 소프트웨어의 업그레이드만으로 와이파이 다이렉트에 대한 지원이 가능하다.

와이파이 다이렉트 기술에서 애플리케이션에서 상위 서비스를 사용하기 위해서 IP를 할당하게 되는데, 기존 인프라스트럭처 망에서 AP의 역할을 담당하는 장치가 존재한다. 이를 P2P GO(Group Owner)라고 칭한다. P2P GO에 연결된 장치는 P2P 클라이언트이다. P2P 클라이언트는 P2P GO에 연결되었을 시 IP(Internet Address)를 할당 받아 상위 애플리케이션 서비스를 지원한다.

P2P GO와 P2P 클라이언트의 연결이 이루어지는 동작 수행을 위해 P2P 규격은 크게 다음과 같은 3개의 기능을 포함하고 있다[9].

○ 발견(Discovery) - 장치 발견(Device Discovery), 서비스 발견(Service Discovery), 그룹 형성(Group Formation), P2P 초대(P2P Invitation)

○ 그룹 운영(Group Operation) - P2P 그룹의 형성과 종료, P2P 그룹으로의 연결, P2P 그룹 내의 통신, P2P 클라이언트 발견을 위한 서비스, 지속적 P2P 그룹의 동작

○ 전력 관리(Power Management) - P2P 장치 전력 관리 방법과 절전 모드 시점에 신호 처리 방법

와이파이 다이렉트 장치는 MAC(Medium Access Control) 주소를 사용하여 인터페이스 주소를 할당하여 사용한다. 이때 P2P GO의 인터페이스 주소는 BSSID(BSS Identifier)인데 이는 실질적으로 P2P GO의 MAC 주소이다[4].

### III. 제안 사항

본 연구에서는 블루투스 저전력 통신의 장치간의 연결 기능과 와이파이 다이렉트의 빠른 데이터 전송 속도를 이용한 cross-layer 방안을 제안한다. <그림 1>은 제안하는 cross-layer 시스템의 아키텍처이다.

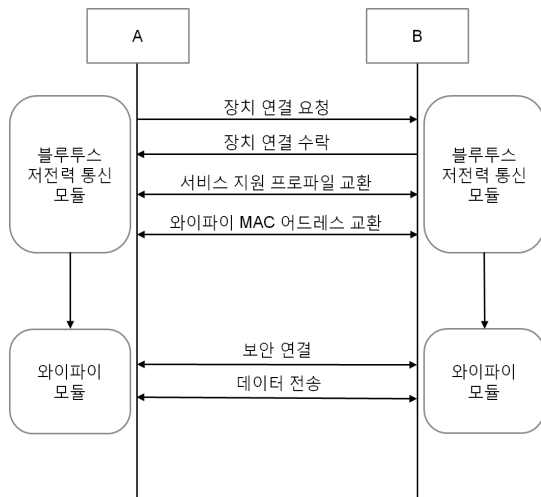


그림 1. 제안하는 cross-layer 시스템 아키텍처  
Fig. 1. Proposed Cross-Layer System Architecture

A 노드와 B 노드는 블루투스 저전력 통신 모듈과 와이파이 모듈을 모두 포함한다. 각 노드의 블루투스 저전력 통신 모듈은 항상 장치를 찾는 디스커버리 모드로 동작되며, 주변에 장치를 발견하면 이에 대한 연결을 수행한다. 연결의 수행은 블루투스 저전력 통신의 기법을 따른다. 장치에 대한 연결이 완료되면 BSSID 통신을 위해 블루투스 저전력 통신을 통하여 서로의 와이파이 MAC 주소를 교환한다. 와이파이 MAC 주소의 교환이 이루어지면, 블루투스 저전력 통신 모듈은 각 장치의 와이파이 모듈의 전원 유무를 확인한다. 전원이 꺼져있다면, 블루투스 모듈은 장치의 와이파이 모듈의 전원을 ON 시키고, 상대 장치의 와이파이 주소를 전달하여, 연결을 확립한다.

와이파이 모듈은 전달받은 상대방의 MAC 주소를 이용하여, 와이파이 다이렉트에서 규정하고 있는 WPA(WiFi Protected Access)<sup>2</sup>를 포함한 최소한 802.11g에 대한 WPA 인증 또는 WPS(WiFi Protected Setup)을 이용하여 보안 연결을 수행한다. 보안 연결이 이루어진 후 와이파이 모듈을 이용하여 데이터 전송을 수행한다.

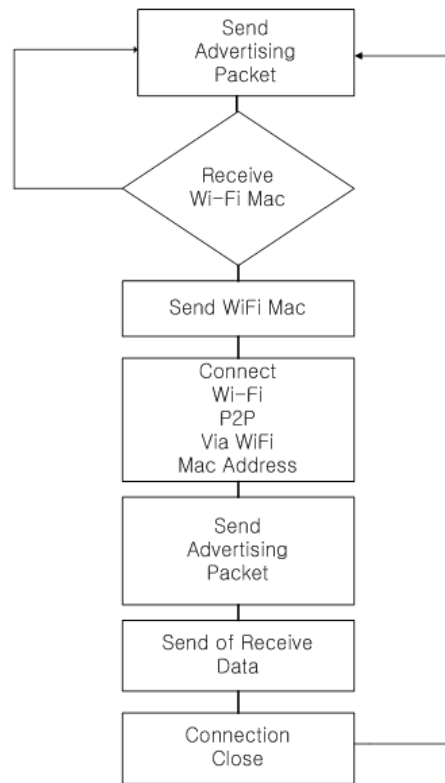


그림 2. 제안하는 모델의 순서도  
Fig. 2. Proposed Model Flow Chart

<그림 2>는 제안하는 모델의 동작 순서를 도식화하여 나타낸 순서도이다. 블루투스 모듈은 항상 어드버타이징 패킷을 전송한다. 어드버타이징 패킷을 수신한 상대 노드로부터 서비스 프로파일을 서로 교환한 이 후 와이파이의 MAC 주소를 수신하면 자신의 와이파이 맥을

상대 노드로 전송한다. 그림 1과 같이 블루투스의 연결을 확립하고, 이후 데이터 전송은 와이파이를 통하여 수행한다.

#### IV. 시뮬레이션

본 연구의 시뮬레이션 환경은 다음과 같다.

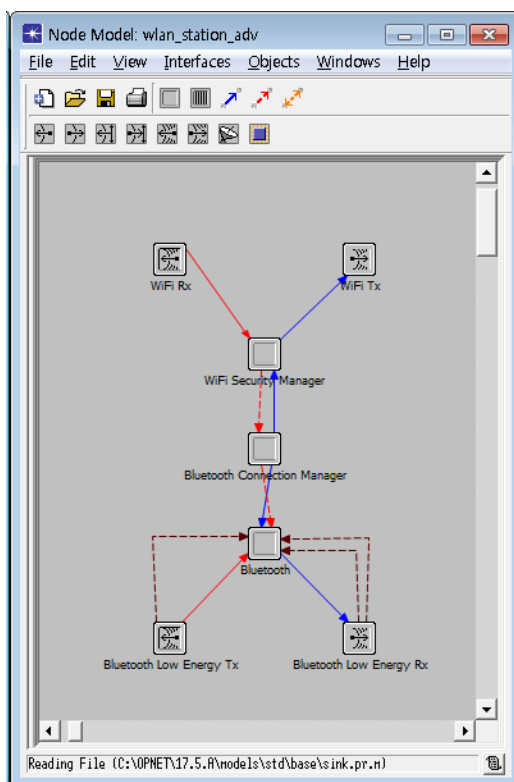


그림 3. 제안하는 cross-layer 디자인  
Fig. 3. Proposed Cross-Layer Design

OPNET 16.5를 이용하였으며, 수정된 모듈은 <그림 3>과 같다. <그림 3>는 블루투스 저전력 통신을 이용한 장치간의 연결을 위한 수정된 모듈이다. 블루투스 저전력 통신을 이용한 장치간 연결이 확립되면, 와이파이 전원을 켜고, Bluetooth Connection Manager 모듈

을 통하여 와이파이 MAC 주소를 와이파이 모듈에 전달한다. 와이파이 모듈은 보안 연결을 수행한 후, 해당 MAC 주소를 이용하여 BSSID 통신을 수행한다.

<그림 4>는 제안한 알고리즘과 블루투스 3.0+ HS 모듈 와이파이 다이렉트 모듈의 성능 비교 그래프이다.

그래프에서 볼 수 있듯이 와이파이 다이렉트와 제안한 알고리즘의 최종 전송 속도는 비슷하지만, 초기의 연결 시간에 대한 차이로 인하여, 제안한 알고리즘의 성능이 월등히 좋은 것을 알 수 있다. 와이파이 다이렉트의 경우 초기 연결 시간 지연에 대한 영향을 받는다. 블루투스의 경우 초기 전송은 빠르지만, 블루투스의 낮은 데이터 전송률로 인하여, 전송률이 다른 알고리즘에 비하여 빠르지 않은 것을 알 수 있다.

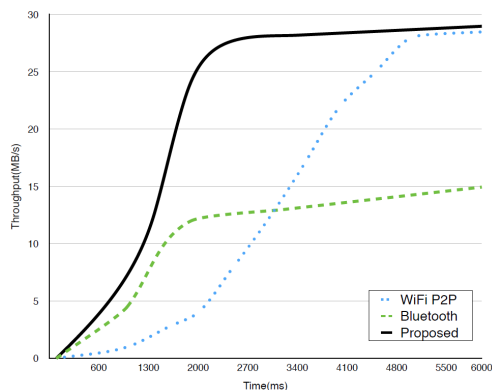


그림 4. 데이터 전송률  
Fig. 4. Data Throughput

<그림 5>는 데이터의 크기별 전송시간을 나타낸 그래프이다. 시뮬레이션은 100KB, 1MB, 10MB, 100MB의 데이터 크기로 나누어 진행하였다. 블루투스의 전송시간은 상대적으로 데이터 전송속도에 대한 차이로 현격히 느린 것을 볼 수 있다. 데이터가 크기가 작은 경우, 블루투스의 빠른 연결 시간으로 오히려 와이파이 보다 전송시간이 짧은 것을 볼 수 있다. 제안하는 모델은 이러한 블루투스의 짧은 연결시간과 와이파이의 빠른 데

이더 전송속도에 대한 이점으로 다른 통신 방식보다 우수하다는 것을 그래프를 통하여 알 수 있다.

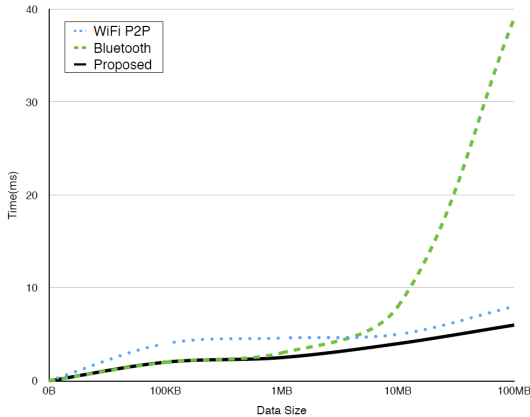


그림 5. 데이터 크기별 전송시간  
Fig. 5. Data Transmission Time for Data Size

## V. 결론

본 연구에서는 블루투스 저전력 통신의 빠른 장치 간의 연결과 와이파이 다이렉트의 빠른 데이터 전송 속도를 활용한 cross-layer 디자인 방안을 제시하고, 이에 대한 시뮬레이션 결과를 살펴보았다. 스마트폰을 이용한 대용량 파일의 전송에 대한 요구가 늘어나면서, 빠른 연결속도와 빠른 전송 속도를 동시에 만족하는 기술이 필요하다. 무선 데이터의 전송에 있어 보안에 대한 부분이 큰 화두가 되고 있다. 제한한 알고리즘에서 블루투스의 연결을 진행하는데 있어 와이파이 MAC 주소를 이용한다. 와이파이 MAC 주소를 전송하는데 블루투스를 이용한 측면은 보안에서의 큰 문제를 일으킬 수 있다[10]. 앞으로, 본 연구에 대한 연구를 발전시키는데 있어 보안 요소를 추가하는 것이 필요하다.

## 참고문헌

- [1] Bluetooth SIG (Hrsg.): *Specification of the Bluetooth System: Covered. Core Package version: 4.0*, Jun, 2010.
- [2] Xia Li, P. Baltus, and D. Milosevic, "An EFOM for cross-layer optimization towards low-power and high-performance wireless networks," *Circuits and Systems (ISCAS), Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on*, pp.2263-2266, 2010
- [3] Chao Ma, Jianhua He and Hsiao-Hwa Chen, "Uncoordinated coexisting IEEE 802.15.4 networks for machine to machine communications", *Peer-to-Peer Networking and Applications*, July 2012.
- [4] Wei Ye, J. Heidemann and D. Estrin,, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," *INFOCOM 2002. Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, vol. 3, pp. 1567-1576. 2002
- [5] P. Ekler, H. Charaf, "Analyzing the Concept of Involving Low End Devices in a Cooperative Network," *Communications Workshops, 2008. ICC Workshops '08. IEEE International Conference on*, pp.102-106.
- [6] Christian Hübsch, Oliver P. Waldhorst, and Mario Hock, "Distributed WiFi detection and integration in dense urban mobile Peer-to-Peer networks," *Peer-to-Peer Networking and Applications*, vol. 5, Issue 4, pp. 323-339, Dec. 2012
- [7] Jia Liu, Canfeng Chen and Yan Ma, "Modeling Neighbor Discovery in Bluetooth Low Energy Networks," *IEEE COMMUNICATIONS LETTERS*, VOL 16, NO. 9, pp. 1439-1441, Sep. 2012
- [8] Jia Liu, Canfeng Chen, Yan Ma, "Modeling and Performance Analysis of Device Discovery in Bluetooth Low Energy Networks," *Globecom 2012- Communication QoS, Reliability and Modelling Symposium*, pp. 1538-1543, 2012
- [9] Michael Starsinic, "System Architecture Challenges in the Home M2M Network," *Applications and Technology Conference (LISAT), 2010 Long Island Systems*, pp. 1-7, 2010
- [10] Dunning, J.P., "Taming the Blue Beast: A Survey of Bluetooth Based Threats," *Security & Privacy, IEEE*, vol.8,

Issue 2, pp.20-27, 2010.

## 감사의 글

“본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음”(NIPA-2013-H0301-13-1006)

“본 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임”(2012-0001313)

## 저자소개



조항기(Hangki Joh)

2006년 경희대학교 대학원 컴퓨터공학과(공학석사)  
2008년~현재 지식대학교 컴퓨터공학과 박사과정

2004년~2005년 삼성전자 연구원

2006년~2009년 ㈜아이컨택트 연구원

2008년~현재 지식대학교 컴퓨터공학과 박사과정

※ 관심분야 : UMA(Unlicence Medium Access), IPTV, 네트워크 모니터링, Cross-layer design



유인태(Intae Ryoo)

1987년 연세대학교 전자공학과 학사  
1989년 연세대학교 전자공학과 석사  
1994년 연세대학교 전자공학과 박사  
1997년 동경대학교 컴퓨터공학과 박사

1997년~1999년 삼성전자 선임연구원

1999년~현재 경희대학교 컴퓨터공학과 교수

※ 관심분야 : 인터넷 기술/IPTV, 네트워크 QoS/QoE, 트래픽 관리, 무선 통신, 네트워크 보안