

Bluetooth LE 핸드오버를 활용한 Wi-Fi Display 기반의 스크린 미러링 에너지 효율 개선 방안

이 재 호*

On the Enhanced Energy Efficiency of Wi-Fi Display-Based Screen Mirroring by Bluetooth LE Handover

Jaeho Lee*

요 약

휴대용 스마트 기기의 발달과 함께 소형 기기의 스크린을 TV 등의 대형 기기로 확장시키는 스크린 미러링 기술이 최근 출시되는 대부분의 디스플레이 제품에 적용되고 있으며, Wi-Fi Display로 대표되는 표준 기술의 활용도 역시 가정 및 사무실 환경을 대상으로 높아지고 있다. 하지만 Wi-Fi Display 기술은 세부적으로 무선 일대일 접속 및 데이터 전송을 위한 Wi-Fi Direct 기술을 기반으로 하고 있기에 사용되지 않는 환경에서의 대기 전력 또한 효율적이지 않다. 본 고에서는 이러한 Wi-Fi Display의 제한된 전력 효율과 접속 지연시간 향상을 위해 Bluetooth Low Energy를 Always-on 통신 인터페이스로 활용하여 대기 전력을 높이기 위한 방안을 연구하고, 사용자 요구가 발생하는 시점에서만 Wi-Fi 통신 모듈을 활성화하기 위한 Bluetooth Low Energy 기반의 핸드오버 기술을 고안하였다.

Key Words : Bluetooth LE, Wi-Fi Direct, Wi-Fi Display, Handover, Connection Delay

ABSTRACT

Screen mirroring technology expands small screen of handheld device into the wide screen device such as TV, and it has been widely employed on the most of display products with growing of smart handheld devices, in recent years. Wi-Fi Display, which is representative standard technology of screen mirroring, has also been used with the consideration of home and office environment. However, because Wi-Fi Display is technically based on Wi-Fi Direct for the peer-to-peer connection and transmission, the idle energy efficiency becomes worse when the screen mirroring is not used. To address this limitation and to reduce connection delay, this paper designed an idea of Always-on approach with Bluetooth Low Energy and a method of its handover process to activate Wi-Fi interface when only on-demand cases.

I. 서 론

휴대폰, 태블릿, TV 등 스마트 기기들의 다양화와 함께 최근 출시되는 대부분의 스마트 제품들은 인프

라 기반의 네트워크 기능과 함께 기기 간 일대일 직접 연결을 통한 다양한 서비스를 제공하고 있다. 기기 간 직접 연결은 초창기 대부분 이미지나 오디오, 문서 등의 파일 전송 서비스가 대부분이었지만, 점차적으로

* First Author : (ORCID:0000-0003-0455-9939)Seowon University, Department of Information and Communications Engineering, izeho@seowon.ac.kr, 정회원
논문번호 : 201806-B-129-RN, Received May 25, 2018; Revised August 2, 2018; Accepted August 2, 2018

프린터 직접 연결, 기기 간 데이터 동기화, 기기 화면 동기화, 스마트 기기와 주변 장치들의 무선 연결 등의 형태로 발전되었다. 이러한 서비스 중 대부분의 모바일 장치가 지닌 단점인 소형화된 화면의 사용성 제약을 탈피하기 위한 스크린 미러링 서비스가 몇 해 전부터 활발히 활용되었으며, 이러한 이유로 최근 출시되는 TV나 모니터 등의 대형 화면 스마트 제품들은 휴대폰이나 테블릿 등의 화면을 대형 화면으로 확장시킬 수 있는 스크린 미러링 기능들을 탑재하고 있다.

소형 화면의 스크린을 대형 화면에 투시하는 스크린 미러링은 Digital Living Network Alliance (DLNA)^[1]를 포함하여 다양한 기술들이 활용되고 있지만, 휴대폰 화면을 TV로 투시하는 보편적인 단순한 사용 예시에서는 현재까지 Wi-Fi Display^[2] 표준이 가장 널리 보급되어 있다. 이 표준 기술은 Wi-Fi Direct^[3,4] 기반의 데이터링크 계층 기술을 활용하고 있으며, 상위 표준 항목으로써 디스플레이 관점의 파라미터 교환을 정의하고 있다.

한편, 최근 대부분의 스마트 기기들은 Wi-Fi, Bluetooth^[5], NFC 등 다수의 무선 통신 인터페이스를 탑재하고 있으며, 이러한 다수의 인터페이스는 모두 대상 장치에서 요청될 접속 또는 페어링 단계를 수신하기 위하여 Wakeup 상태를 유지하고 있다. 하지만 다수의 인터페이스가 항상 수신 대기하는 상태는 종합적인 에너지 소모를 크게 증가시킬 수 있으며, 이는 모바일 기기들의 성능 요소 중 매우 중요한 에너지 효율 성능을 크게 악화시키는 요인이 된다.

일반적으로 홈 네트워크 환경에서 Wi-Fi Display 기술을 통한 스크린 미러링 기능은 사용자가 빈번하게 사용할 수 있는 매우 중요한 기능이지만, 이를 위하여 Wi-Fi 통신 인터페이스가 항상 Wi-Fi Direct 접속을 위하여 수신 대기를 해야 하거나 또는 사용자가 직접 Wi-Fi Direct 기능을 활성화시켜야 하는 UX 측면의 단점이 존재한다.

Wi-Fi 기술은 Bluetooth나 Zigbee^[6] 등과 달리 비교적 고속의 데이터를 200미터 내외에 전송하기 위한 규격으로써 전력 소모량이 많은 편이며, Wi-Fi Direct 역시 Wi-Fi 기술의 물리 및 데이터링크 계층의 통신 규격을 동일하게 준수하기 때문에 사용하지 않는 환경에서의 대기전력이 높다^[7]. 즉, 많은 양의 데이터를 전송해야 하는 Wi-Fi Display 서비스는 Wi-Fi Direct 기반의 무선 고속 전송이 요구되지만, 높은 대기전력을 낭비해야 하는 단점을 지닌다. 물론, 스크린 미러링 기능을 사용할 시점에서만 Wi-Fi Direct를 수행하는 방법도 존재하지만, 사용 요구 시점마다 두 장치의

Wi-Fi 인터페이스를 활성화시키고 접속을 위해 설정해야 하는 환경은 UX 관점의 사용성이 높다고 볼 수 없다.

위와 같은 문제를 해결하기 위하여 본 고에서는 대기전력이 매우 낮은 Bluetooth Low Energy (LE) 인터페이스를 각 장치에서 항상 활성화상태로 유지하는 Always-on 인터페이스로 설정하고, 기존의 Wi-Fi Direct 접속 절차를 Bluetooth LE를 통하여 대신 수행하기 위한 접속 방안을 제안하며, 이때 Bluetooth LE로부터 Wi-Fi Display를 통한 스크린 미러링 기능 수행을 위한 핸드오버 기술을 기존의 표준 규격을 준수하는 범위 내에서 제안한다.

II. 현행 기술 분석

Wi-Fi Display 기술은 네트워크 계층부터 응용 계층에 대응되는 기술로서 주로 스크린 미러링을 위한 세부 파라미터인 동영상 인코딩 및 재생 정보와 Real-time Transport Protocol (RTP) 세션 등의 데이터를 교환하며, 데이터링크 계층 이하는 Wi-Fi Direct 표준을 기반 통신 기술로써 채택하고 있다. 즉, 그림 1과 같이, 일반적인 스크린 미러링 환경에서는 물리/논리적 접속과 IP 기반 통신을 위한 초기 Wi-Fi 접속 절차에 대하여 Wi-Fi Direct 기술을 따르며, 접속 후에 스크린 정보를 동영상 데이터로 변환하여 전달하는 절차는 Wi-Fi Display 표준을 따른다.

하지만 이러한 절차는 Wi-Fi Direct에서 문제될 수 있는 접속 지연 요소가 존재한다. Wi-Fi Direct 초기 접속 절차는 두 장치가 Access Point(AP) 관여 없이 일대일 접속을 위하여 여러 단계의 절차를 수행한다. 그림 2와 같이 두 장치는 초기 접속 이전에 2.4GHz

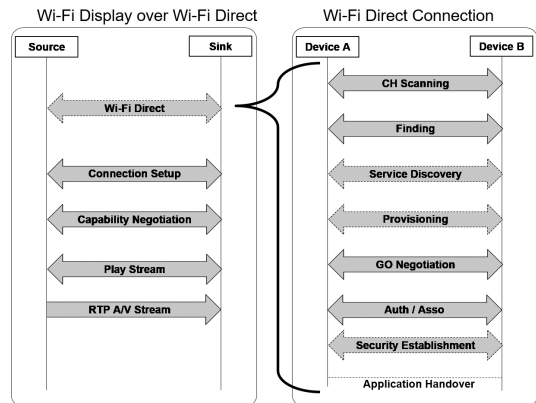


Fig. 1. Overall Connection Process of Wi-Fi Display.

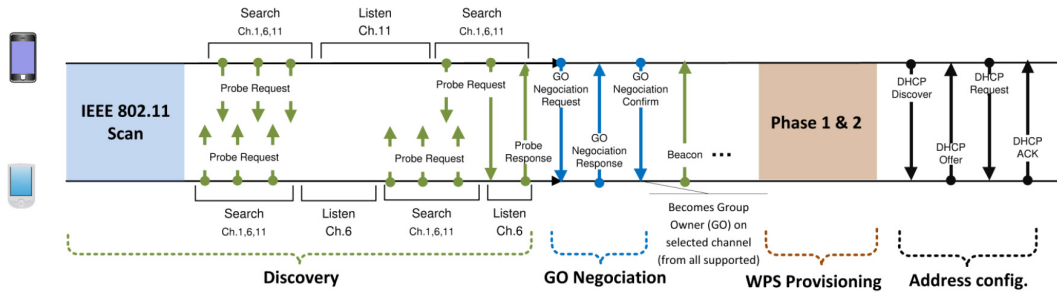


Fig. 2. P2P Formation Process of Wi-Fi Direct Connection [4].

및 5GHz Industrial Scientific and Medical equipment (ISM) 대역의 전체 채널을 대상으로 Probe Request 메시지 방송을 통해 유효 채널을 탐색하기 위한 Scan 단계를 수행한다. 이때 유효 채널은 수신된 각 채널당 Probe Response 메시지의 수를 기반으로 Idle 채널을 선택하며, 선택된 채널은 향후 Wi-Fi Direct 접속 절차를 마친 후 운영 채널로써 활용한다.

Scan 단계 이후의 두 장치는 1, 6, 11번 채널을 대상으로 Listen 상태와 Search 상태를 번갈아가며 변경하는 Find 단계를 수행하며, Listen 상태에서는 해당 채널에서의 Probe Request 수신을 대기하고 Search 상태에서는 대상 장치의 Listen 채널을 탐색하기 위하여 Probe Request 메시지를 송신한다. Listen 및 Search 상태의 반복 동작으로 구성되는 Find 단계는 두 장치가 대상 장치를 탐색할 때 까지 반복 수행한다.

Find 단계에서 대상 장치 탐색을 완료한 두 장치는, IEEE 802.11 표준기술 기반의 접속 절차를 수행하는데, 이때 두 장치간의 Coordinator 및 Station 역할을 설정하기 위하여 Group Owner(GO) Negotiation 단계를 수행한다. 이 단계에서는 두 장치의 상호 역할을 선정하기 위하여 각 장치가 생성한 Intent 값을 간단히 비교함으로써 GO를 결정하며, 이때 Intent 값이 동일할 경우 난수로 발생하는 Tie Breaker 값을 기반으로 GO를 결정한다.

GO Negotiation 단계가 완료된 후, GO로 선택된 장치는 IEEE 802.11 접속 절차에 따라 Coordinator 역할을 수행하기 위하여 Beacon 메시지를 송신하며, GO로 설정되지 않은 장치는 Station 역할을 수행하기 위하여 Probe Request 메시지를 송신하고 Beacon에 대한 응답을 진행한다.

이러한 단계적 절차는 Wi-Fi Direct 표준 기술이 초기 장치 탐색 절차만 추가하고 기존의 IEEE 802.11^[8]에서 정의된 물리계층과 데이터링크 계층 기술을 그대로 적용하기 위하여 발생된 배경이며, 기존

Wi-Fi 기술에 대한 하위호환을 유지하기 위한 노력으로 해석될 수 있다.

하지만 이러한 단계적 절차는 [9]와 같이 일대일 접속 환경에서 단지 눈앞의 대상 장치와 신속하게 연결해야 하는 사용자 관점의 요구를 충분히 만족시킬 수 없다. 즉, 일대일 접속 환경에서는 복잡한 절차 없이 간단하고 신속하게 접속할 수 있는 기술이 필요하고, 대상 장치로부터 언제 접속 요구가 발생할지 모르는 환경에서의 대기 상태 에너지 효율을 위한 방안이 필요하다.

그림 3에서 나타낸 바와 같이 실험에 의해 측정된 실제 Wi-Fi Direct 기반의 Wi-Fi Display 접속 환경은 비교적 높은 지연시간을 나타내었으며, 이러한 문제 개선을 위하여 일대일 접속 환경에서 불필요한 요소를 대체할 수 있는 방안이 요구된다. 본 고에서는 위와 같은 문제 해결을 위하여 Wi-Fi Direct 접속 절차를 Bluetooth LE 기술로 대체하고 이에 필요한 신규 절차를 제안한다.

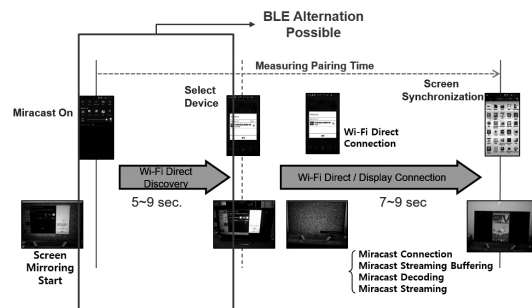


Fig. 3. Result of Connection Time using Wi-Fi Display based on Wi-Fi Direct by Experiment.

III. 제안하는 Bluetooth LE 핸드오버 방식

스마트폰과 태블릿 PC 등의 이동형 기기들은 대부

분 배터리 기반으로 운영되기에 에너지 자원에 대한 효율이 중요하며, 이들 대부분은 Wi-Fi와 Bluetooth 기술을 기본적인 통신 인터페이스로 채택하고 있다. 이 중 Wi-Fi 인터페이스는 본 고에서 중점을 두고 있는 Wi-Fi Display 표준 기술을 통한 스크린 미러링 기능을 위하여 필수적으로 요구되는 인터페이스로써, 데이터 전달 속도와 송신 거리 측면에서 이동형 단말 장치의 스크린 영상정보를 전달하는데 적합하다.

하지만 Wi-Fi 인터페이스가 보유하는 고유 기술적 특성으로 인하여 Bluetooth 인터페이스에 비해 수신 대기전력 소모가 상대적으로 크며, 접속을 위한 연결 지연시간 역시 크다는 단점이 존재한다. 본 고는 이러한 문제를 해결하기 위하여, Wi-Fi 인터페이스의 대기 전력 에너지 효율을 높이고 접속 지연시간을 줄이기 위하여 고안되었다. 즉, 수신 대기전력 소모가 작은 Bluetooth LE 인터페이스를 Always-on 인터페이스로 지정하고, Wi-Fi Display 사용 요구가 발생할 경우에만 Bluetooth LE를 통해 Wi-Fi 인터페이스를 활성화하는 방안을 본 고에서 제시한다.

3.1 Always-on Bluetooth LE 운영 모델 제안

본 절에서는 Bluetooth LE와 Wi-Fi의 두 가지 인터페이스를 함께 사용하는 환경에서, 에너지 효율을 극대화하기 위한 방안을 그림 4와 같이 제시한다.

그림 5와 같이, 우선 두 인터페이스 중 에너지 효율이 높은 Bluetooth LE를 Always-on 인터페이스로 지정한 후, 평상시 Bluetooth LE만을 활성화시키고 Wi-Fi 인터페이스는 비활성화 (Sleep 또는 Stanby) 상태를 유지시킨다. 이후, 사용자에게 의하여 Wi-Fi 접속 요구(Wi-Fi Display를 위한 Wi-Fi Direct 접속 등)가 발생할 경우, 그림 5와 같이 두 장치는 서로가 지원하는 서비스 목록을 교환한 후, 사용자로부터 요구되는 서비스의 지원 여부를 확인한다.

예를 들어 휴대 장치와 대형 TV를 대상으로 Wi-Fi

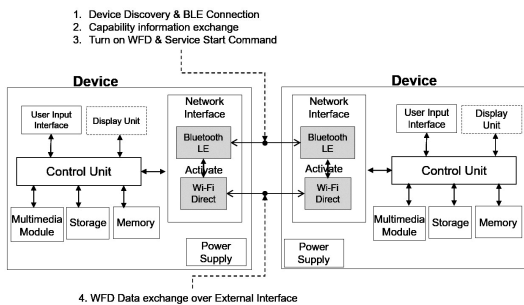


Fig. 4. Concept of BLE Always-on Model.

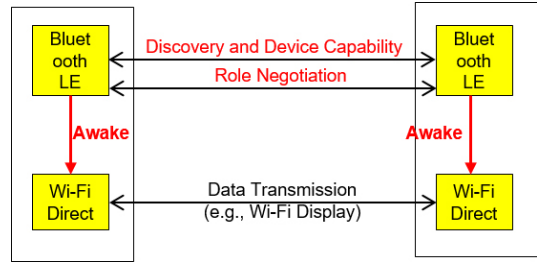


Fig. 5. Concept of BLE Handover to Wi-Fi Direct for the Service of Wi-Fi Display.

Direct를 통한 Wi-Fi Display 기능을 사용자가 필요로 하는 경우, 사용자는 우선 Bluetooth LE를 통하여 상대 장치의 Wi-Fi Direct 및 Wi-Fi Display 지원 여부를 탐색한다. 그 후, 두 장치가 위 요구기능을 지원하는 경우, 휴대 장치와 TV는 각각 Bluetooth LE를 통해 비활성화 되어 있는 Wi-Fi 인터페이스를 활성화시킨 다음, Wi-Fi Association 절차를 거쳐 최종적으로 Wi-Fi Display 기능을 수행한다.

또한, 사용자가 Wi-Fi Display 기능을 종료할 경우, 두 장치는 Wi-Fi 필요 요구가 종료됨을 인지하고 Wi-Fi 인터페이스를 다시 비활성화 시킨 후 Bluetooth LE 만을 Always-on 인터페이스로 동작시킨다. 이 두 장치는 사용자가 또 다른 Wi-Fi 인터페이스 사용을 요구할 때 까지 오직 Bluetooth LE만을 활성화시켜 그림 6과 같이 전반적인 에너지 효율을 높인다. 본 고에서 제안하는 기법은 여러 가지 복합 인터페이스를 지원하는 장치에 대해서도 확장시킬 수 있으며, 이와 같은 환경에서 각 장치의 유휴 에너지 소모량을 줄이기 위해 idle listening을 줄이는 데 목표를 둔다.

그림 7은 본 절에서 제시하는 Always-on 인터페이스 모델을 운영하기 위하여 Wi-Fi Direct 접속 절차를 간소화하고 결과적으로 접속 시간을 줄이기 위한 방안을 나타내었다. 일반적으로 Wi-Fi Direct의 가장 높은 사용 빈도를 나타내는 사용 환경이 Wi-Fi Display 분야이기에 본 고에서 Wi-Fi Display를 사용 예로 정의하지만, Always-on 인터페이스 모델은 Wi-Fi Display를 포함한 모든 Wi-Fi Direct 기반 서비스에

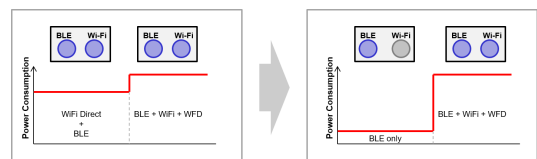


Fig. 6. Method of Energy Conservation using Always-on Model with Bluetooth LE.

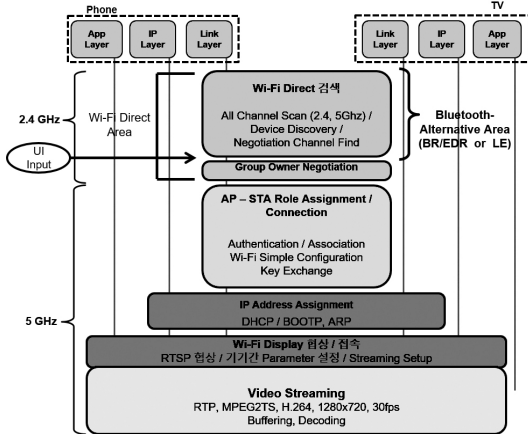


Fig. 7. Alternate Method of Wi-Fi Direct Handover using Bluetooth LE.

적용될 수 있다.

Wi-Fi Direct에서는 2.4GHz 대역에서 1번과 6번 및 11번 채널로 구성되는 3개의 Social 채널을 운영하며, 모든 장치는 이중 하나의 채널을 결정하여 해당 Social 채널에서 대상 장치로부터의 Probe Request 요청을 수신하기 위하여 대기한다. 하지만 모든 장치는 대상 장치가 어느 Social 채널에서 수신을 대기하고 있는지 알지 못하기 때문에 Listen 채널에서의 대기과 각 Social 채널로의 Hopping을 동시에 진행하는데, 이때 대상 장치를 찾는 Find 절차가 Wi-Fi Direct 접속 과정에서 가장 많은 시간을 소모한다.

따라서 본 절에서 제시하는 모델에서는, 두 장치가 각각 Bluetooth LE를 Always-on 인터페이스로 활용하고 Wi-Fi Direct 연결이 필요할 경우에만 Bluetooth LE를 활용하여 각 장치의 Listen 채널 등의 정보를 교환하는 방식을 제시한다. 이러한 방법으로 실제 Wi-Fi Direct 접속 절차에서는 대상 장치의 Listen 채널을 찾는 Find 단계를 간소화하여, Bluetooth LE를 통한 Wi-Fi Direct 접속 시간을 간소화 한다.

3.2 제안하는 Bluetooth LE를 통한 Wi-Fi Direct 핸드오버 절차

Bluetooth LE를 통한 Wi-Fi Direct 핸드오버 기능을 수행하는 방법은 Bluetooth LE의 접속 유무에 따라 비접속 방식과 접속 방식으로 구분될 수 있다. 먼저, 비접속 방식에서는 Bluetooth LE를 통한 필요 데이터 교환 과정 내에서 핸드오버를 위한 모든 데이터 교환을 Advertising 채널에서 수행하는 방식이다. 두 장치는 Bluetooth LE 접속을 통한 Bluetooth LE에서 정의하는 데이터 채널 진입이 불필요하며, 오직

Advertising과 Scanning 등의 Advertising 채널에서만 동작한다. 또한 필요에 따라 새로운 패킷 유형을 Advertising 채널에 정의할 필요도 있다.

접속 방식은 두 장치가 Advertising 채널에서의 접속 요청을 통하여 데이터 채널로 진입한 후, Generic Attributes (GATT) 형태의 Bluetooth Profile 수준에서 데이터를 교환하는 방식이다. 이 방식은 모든 데이터 교환을 Profile 수준으로 교환할 수도 있고, 일부 Advertising 채널에서의 데이터 교환 후 Profile 수준에서 데이터 교환을 수행하는 병행 형태로 운영될 수도 있다. 이러한 접속 방식은 데이터 교환이 자유롭기 때문에 기술적으로 특별한 고려가 불필요하기에, 본 고에서는 현존하는 Bluetooth LE 표준 기술을 기반으로 오직 비접속 핸드오버 방식에 필요한 요소들을 정의하는데 중점을 둔다.

그림 8은 비접속 방식을 활용하여 Bluetooth LE에서 Wi-Fi Direct 핸드오버를 수행하기 위해 필요한 정보를 교환하는 형태를 나타내었다. 이 환경에서 두 장치는 Advertising 패킷을 교환하여 상호 지원 가능한 외부 인터페이스의 존재 유무와 On/Off 상태, 사용 가능 여부 등을 파악할 수 있다. 또한 Scanning 단계를 이용하여 특정 장치에 대한 세부 정보를 파악하고, 마지막으로 Wi-Fi Direct 등의 선택된 인터페이스로 핸드오버를 진행하는 형태를 나타낸다. 이러한 비접속 방식의 핸드오버는 Find 단계와 More Data 단계 및 핸드오버 단계로 구분하여 정의할 수 있다.

먼저 비접속 방식의 Find 단계에서는, 모든 장치가 자신이 지원하는 외부 통신 인터페이스들의 목록

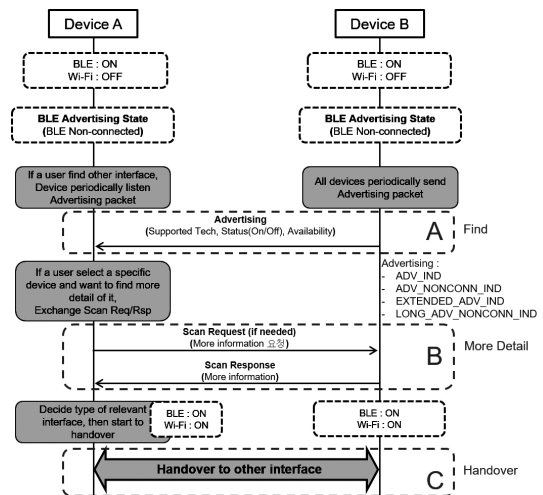


Fig. 8. Concept of Connectionless Handover Process for Wi-Fi Direct using Bluetooth LE.

(Supported Tech)과 함께, 각 인터페이스들의 On/Off 상태, 사용 가능 유무 상태, 공유 가능 여부 등의 정보를 주위 장치들에게 알리기 위한 Advertising을 수행한다. 이 단계에서는, 모든 장치들이 자신에게 요청될 수 있는 핸드오버 동작을 제공하기 위하여 위와 같은 정보를 송신하며, 이때 각 장치의 에너지 효율에 대한 고려가 다를 수 있기 때문에 Advertising Interval은 장치마다 다를 수 있다.

이러한 정보는 모든 장치들이 주기적으로 Advertising을 해야 하기 때문에 에너지 소모의 요인이 될 수 있으므로, 본 고에서는 비트마스킹 형태의 정보 제공을 제안하며, 해당 비트마스킹의 이름을 D_Flag로 정의하고, 각 D_Flag의 용도를 정의하기 위하여 D_Type 값을 그림 9와 같이 제안한다.

D_Type과 D_Flag는 나타내고 싶은 정보의 양에 따라 여러 개의 집합으로 구성될 수 있고, 그 크기는 ADV_IND를 사용할 경우 최대 31byte로 제한되지만, 만약 Advertising을 EXTENDED_ADV_IND 등의 Long Advertising 패킷을 사용할 경우 그 크기의 제한은 대폭 증가될 수 있다. 하지만, 비트마스킹 특성 상 큰 정보의 공간은 불필요하며, 추가적으로 요구되는 정보는 그림 10과 같이 More Data 단계에서 획득할 수 있다.

그림 10은 본 고에서 제안하는 핸드오버 절차 중 비접속 방식의 두 번째 단계인 More Data 절차를 설명한다. More Data 단계는 Find 단계에서 수집된 주위 장치들의 정보를 토대로 특정 장치의 상세 정보가 요구될 경우에 수행되는데, 그 목적으로는 핸드오버를

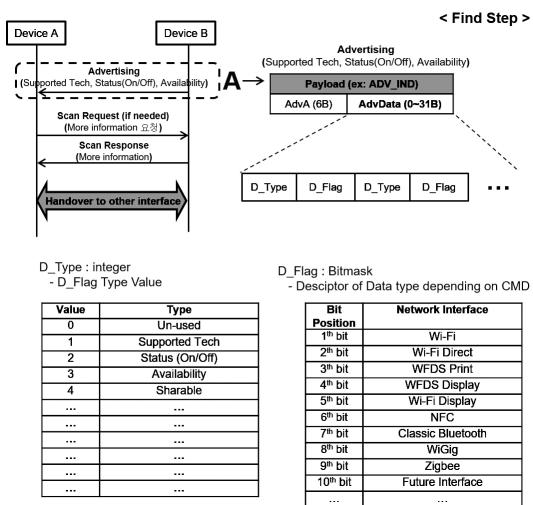


Fig. 9. Find Step of Proposed Handover Process Employing Bitmask Approach.

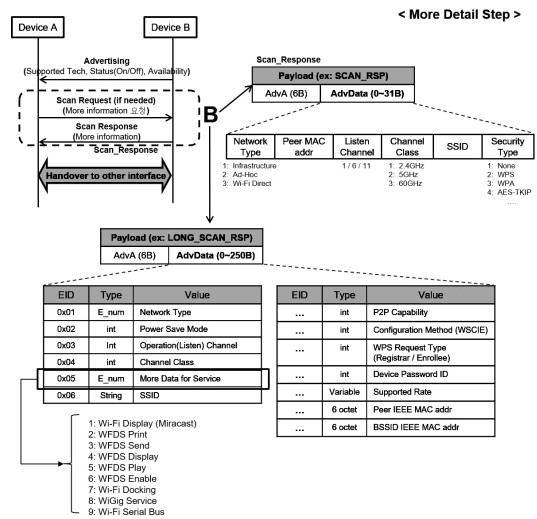


Fig. 10. More Data Step of Proposed Handover Process.

위해 필요할 수도 있으며 또한 단지 상세정보 요청 자체에 목적을 둘 수도 있다.

우선 More Data 단계에서는 Advertising 채널에서의 Scanning 절차 수행을 통해 진행되는데, 이때 SCAN_REQ 메시지는 표준 규격상 페이로드를 포함할 수 없기 때문에 SCAN_RSP 메시지를 활용한다. SCAN_RSP 메시지는 세부적으로 짧은 데이터를 포함할 수 있는 SCAN_RSP 메시지와 Bluetooth 4.2 규격부터 지원하는 LONG_SCAN_RSP로 구분된다. 본 제안에서는 SCAN_RSP 메시지를 사용할 경우 크기 제약으로 인하여 그림 10의 상단에 나타낸 바와 같이 Wi-Fi 절차에 필요한 필수 요구 데이터만으로 제안한다. 또한 Bluetooth 4.2 이상의 규격을 사용하는 경우에 대하여 LONG_SCAN_RSP 메시지 사용을 고려하며, 이 경우에 교환 가능한 정보를 그림 10의 하단과 같이 나타낸다.

그림 11은 비접속 형태의 3번째 단계인 핸드오버 절차를 나타낸다. 본 절차에서는 두 장치가 데이터 채널로 진입하지 않고 Advertising 채널 내에서만 모든 기능을 수행해야 하는데, 이때 상대 기기의 Wi-Fi 인터페이스가 비활성 상태일 경우 대상 인터페이스를 활성 상태로 변경시키는 과정이 요구된다. Wi-Fi 활성화가 요구될 경우, 기존의 Bluetooth LE의 Advertising 메시지에서는 대응되는 Advertising PDU가 없기 때문에 새로운 Advertising PDU를 정의할 필요가 있으며, 본 제안에서는 이를 DOT_REQ와 DOT_RSP로 정의하였다.

DOT_REQ는 단순히 Wi-Fi 인터페이스를 활성화

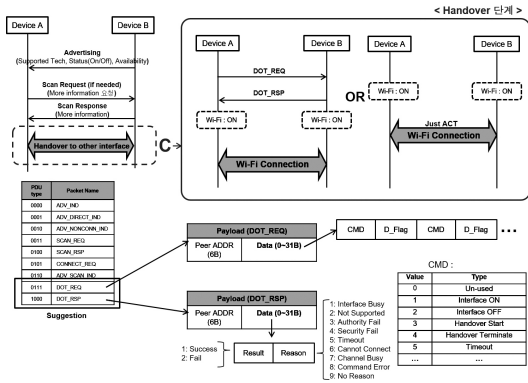


Fig. 11. Handover Step of Proposed Process.

시키는 방법 외에도 여러 가지 용도로 활용될 수 있으며, 대상 명령의 종류와 함께 대상 인터페이스 지칭을 효율적으로 나타낼 수 있는 비트마스크 형태의 데이터를 그림 11의 하단과 같이 제안한다. 또한 DOT_RSP는 DOT_REQ의 결과를 알려야 하기 때문에, 명령 수행 결과와 실패시의 이유를 함께 전달한다.

이와 같이 Find, More Data, 핸드오버로 구성되는 3단계 절차를 수행한 두 기기는 서로 Wi-Fi 운영 채널과 대상 장치의 주소 등 기존 Wi-Fi Direct 접속을 위해 요구되는 모든 정보를 Bluetooth LE를 통해 교환한 상태이기 때문에, 기존 Wi-Fi Direct 절차 중 가장 많은 시간이 소모되는 Scan 단계와 Search 및 Listen으로 구성되는 Find 단계를 생략할 수 있다. 따

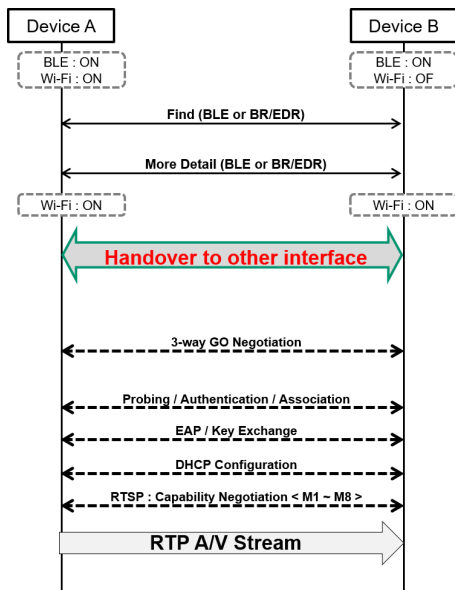


Fig. 12. Overall Handover Process with Proposed 3-Steps.

라서 두 장치는 그림 12와 같이 Bluetooth LE의 3단계 절차를 수행한 후 Wi-Fi Direct의 GO Negotiation 절차부터 접속과정을 수행하기에 보다 빠른 Wi-Fi Display 초기 접속을 제공할 수 있다.

IV. 성능 평가

본 고에서 제안하는 방식은 Wi-Fi Display 표준 기술을 활용하여 스크린 미러링 서비스를 제공하는 환경에서, Wi-Fi Display 기반 규격인 Wi-Fi Direct 표준 기술의 Idle Listening 에너지 소모를 줄이고 접속 지연 시간을 줄이기 위하여 Bluetooth LE를 활용한 Always-on 인터페이스 모델을 적용하고, 이에 요구되는 핸드오버 기술을 설계하였다. 따라서 Bluetooth LE를 통한 Wi-Fi 핸드오버를 수행할 경우 얻을 수 있는 접속 지연시간 단축과 에너지 절감에 대한 실험이 요구되며, 이에 대한 결과를 그림 13 및 그림 14에 나타내었다.

본 실험에서는 공통적으로 Wi-Fi Display를 활용한 스크린 미러링 시나리오를 가정하고 있으며, 사용 채널은 각 통신 인터페이스의 동일 무선 환경 제공을 위하여 Wi-Fi Direct 및 Bluetooth LE 모두 2.4GHz 대역만을 대상으로 사용하였다. Wi-Fi 인터페이스는 IEEE 802.11n 기준을 적용하되, Bluetooth LE와 동일한 실험 환경을 적용하기 위해 5GHz 대역을 제외하였으며, 채널 Bonding 기능을 적용하지 않은 상태에서 54Mbps Tx Rate를 적용하였다. 또한 송신 파워는 100mW 환경을 적용하되, 운영 채널은 2.4GHz 대역에서 Wi-Fi Direct의 Scan 과정을 통하여 선정하는 채널을 그대로 적용하였다.

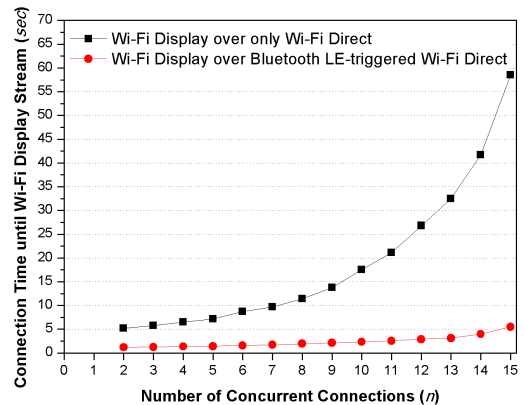


Fig. 13. Experiment Results of Connection Delay Time until Wi-Fi Display Starts to Play on Screen.

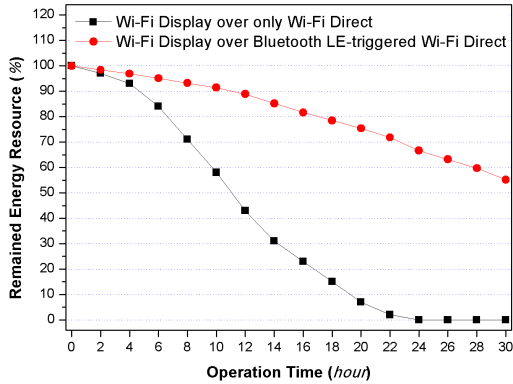


Fig. 14. Experiment Results for Remained Energy Resources on Each Peer Device.

한편 Bluetooth LE의 경우 2.4GHz만을 사용하기 때문에 채널에 대한 환경적 제어는 없으며 Frequency Hopping 역시 Bluetooth LE에서 선정된 Hopping Sequence를 그대로 사용하였다. 본 실험에서 선택한 Bluetooth Core 표준은 2016년 12월에 발표된 Bluetooth 5.0으로 적용하였으며, 다만 legacy 장치와의 하위 호환성 문제로 인하여 보편적인 1Mbps Tx Rate를 적용하였다. 본 실험에서의 장치 간 연결 거리는 기존 Wi-Fi Direct와 제안하는 방식인 Bluetooth LE 기반 Always-on 모델 모두 10미터로 공통 적용하였다.

그림 13은 Wi-Fi Display 서비스를 활용하는 환경에서 단일 장치에 대하여 다수의 장치를 동시 접속 시킬 경우에 발생하는 지연 시간을 측정할 결과이다. 이 환경에서는 동시접속을 요청하는 장치가 각각 기존 Wi-Fi Direct 접속을 시도하는 실험과 함께 본 고에서 제안하는 Bluetooth LE 기반의 Always-on 모델을 적용하여 Wi-Fi Display 접속을 시도하는 실험을 각각 진행하여 이에 대한 비교 결과를 도출하였다.

본 환경에서는 접속을 시도하는 모든 장치에 대하여 기존 Wi-Fi Direct 및 Bluetooth LE 기반의 Always-on 모두 공통적으로 Wi-Fi Display의 Streaming이 시작될 때 까지만 측정하였으며, 이후 해당 장치는 모든 접속을 종료하고 Bluetooth LE의 페어링 정보 등을 제거한 후 처음부터 다시 접속하는 형태를 반복 수행하는 방식으로 실험을 진행하였다.

그림 13의 결과와 같이 제안 방식은 기존 Wi-Fi Direct 기반의 Wi-Fi Display 서비스에 비하여 낮은 접속 지연 시간을 보였으며, 이는 데이터링크 계층에서 Bluetooth LE의 평균 접속 지연 시간이 20ms 수준임을 감안할 때 예측 가능한 결과로 유추된다. 또한

동시 접속 장치의 수가 증가할 경우 기존 Wi-Fi Direct 접속 환경에서는 데이터링크 계층의 Wi-Fi Direct 기술이 표준에서 정의된 Concurrent Operation 기능을 수행하기 때문에 점차적으로 접속 지연시간이 증가한 것으로 예측되는 반면, 제안 방식에서는 동시 접속 수 증가에 따라 전체 지연 시간 증가 폭이 크지 않는 결과를 도출하였다.

그림 14는 그림 13의 실험환경과 동일한 조건에서 운영 시간에 따른 각 장치의 에너지 잔량을 측정할 결과이다. 다만 본 실험에서는 접속을 시도하는 장치의 수를 10대로 고정하고 각각 기존 Wi-Fi Direct 및 본 제안 기법에 대한 비교 결과를 도출하였다. 본 결과에서 나타난 바와 같이 기존 Wi-Fi Direct 기반의 Wi-Fi Display 동작 환경에서는 Wi-Fi Direct 접속 과정 내의 대상 장치 탐색을 위하여 수행하는 Find 절차에서 짧지 않은 Idle Listening 현상으로 인하여 에너지 소모량이 높다. 반면 제안하는 Bluetooth LE를 활용한 Wi-Fi Direct 핸드오버 기법을 사용하는 환경에서는 기존 Wi-Fi Direct 접속 과정의 Scan 및 Find 절차를 생략할 수 있기 때문에 에너지 효율이 기존 대비 향상되었음을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 고에서는 스마트홈 등의 근거리 통신 환경에서 Bluetooth LE를 Always-on 인터페이스로 설정하고 접속 요구 발생에 따라 Wi-Fi Direct 핸드오버 절차를 수행하는 기법을 제안하였으며, 이를 활용하여 Wi-Fi 인터페이스를 Sleep 상태로 유지함으로써 전반적인 에너지 효율을 향상시켰다. 또한 Bluetooth LE를 통하여 On-demand 형태로 Wi-Fi Display 기능을 수행함으로써 접속에 따른 지연 시간을 감소시키고 높은 편의성을 제공하였다. 본 연구는 Wi-Fi Display 이외에도 다양한 고속 통신 서비스에 적용 가능하기에 사물인터넷 환경과 더불어 확장 연구를 지속할 예정이다.

References

- [1] Digital living network alliance, *DLNA Home Networked Device Interoperability Guidelines*, Oct. 2006.
- [2] *Wi-Fi Display Technical Specification*, Wi-Fi Alliance, 2012.
- [3] *Wi-Fi Peer-to-Peer (P2P) Technical Specification v1.4*, Wi-Fi Alliance, 2014.

- [4] D. Camps-Mur, Andres Garcia-Saavedra, and Pablo Serrano, "Device-to-device communications with Wi-Fi Direct: overview and experimentation," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 20, no. 3, pp. 96-104, Jun. 2013.
- [5] *Bluetooth Core Specification 5.0*, Bluetooth SIG, Dec. 2016.
- [6] *Zigbee Specification*, Zigbee Alliance Inc., Sept. 2012.
- [7] H. Joh and I. Ryoo, "A hybrid Wi-Fi P2P with bluetooth low energy for optimizing smart device's communication property," *Peer-to-Peer Networking and Applications 8.4*, 567-577, 2015.
- [8] *Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer Specifications*, IEEE Std 802.11, 2012.
- [9] J. Lee, "Study of efficient device discovery method for fast connection in Wi-Fi direct," *J. KICS*, vol. 41, no. 6, Jun. 2016.

이 재 호 (Jaeho Lee)



2005년 : 고려대학교 전자컴퓨터공학과 석사

2008년~2013년 : 고려대학교 전기전자전파공학과 박사

2011년~2013년 : 서원대학교 겸임교수

2013년~2015년 : LG전자 차세대표준연구소 선임연구원

2015년~현재 : 서원대학교 정보통신공학과 조교수
<관심분야> WPAN, 센서네트워크, MANET, MAC, WBAN, Bluetooth, Wi-Fi, ITS, Localization