

Wi-Fi Direct 환경에서 Fast Connection을 위한 효과적인 Device Discovery 기법 연구

이 재 호*

Study of Efficient Device Discovery Method for Fast Connection in Wi-Fi Direct

Jaeho Lee*

요 약

현재 Wi-Fi Alliance에서 발표한 Wi-Fi Peer-to-Peer Technical Specification (v1.4, 2014) 기술은 Wi-Fi Direct 접속을 위하여 개발되었으며, 최근 출시되는 대부분의 스마트폰과 TV, 모니터, 셋톱박스, 게임콘솔 등의 장치에서 상용화되고 있다. 하지만, 위 기술 표준에서 정의되는 초기 접속 절차는 5~10 초의 시간이 소모되며, 이는 해당 기술의 성능과 더불어 사용의 편의성 측면에서도 문제가 될 수 있다. 이러한 문제는 현재 표준 기술의 Scan 절차와 Find 절차로 구성된 초기 Discovery 절차의 비효율성으로 인하여 발생되며, 본 고는 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 Wi-Fi Direct 절차를 구성하는 Scan 및 Find 절차를 재구성하여 Discovery 소요 시간을 단축시키고 접속 환경에 대한 효율을 향상시켰으며, 객관적 검증을 위하여 성능분석과 실험을 진행하였다.

Key Words : Wi-Fi Direct, Wi-Fi P2P, Device Discovery, Home Network, Fast Connection

ABSTRACT

Wi-Fi Direct standard technology has been widely deployed on the recently manufactured products such as smart phone, smart monitor, TV, set-top box, and gaming console, and it was published from Wi-Fi Alliance with the name of Wi-Fi Peer-to-Peer Technical Specifications (v1.4, 2014) for direct connection on the wireless communication environment. However, the connection process of this standard needs 5 to 10 seconds so it can lead to user's inconvenience as well as long delay for connection. From the focus of that this problem was derived from long discovery process composed of Scan and Find, as a result, the proposed scheme on this paper modified and adapted Scan and Find processes with reassembling steps of them for reducing the connection delay. In addition, the analysis and experiments were progressed for the evaluations of the proposed scheme.

I. 서 론

Wi-Fi Direct 기술은 홈 네트워크를 포함하여 일상적인 환경에서의 단순하고 간단한 일대일 Wi-Fi 접속을 제공하기 위하여 Wi-Fi Alliance^[1]에서 초기 2009년에 발표된 표준 기술 (Wi-Fi Peer-to-Peer Technical

Specification)이며, 최근까지 기능 개선을 위하여 개발되었다 (v1.4, 2014)^[2]. 이 환경에서는 각 기기가 직접적으로 접속 및 정보를 교환하기 때문에 무선랜 AP(Access Point)가 존재하지 않는 환경을 고려하고 있으며, 따라서 각 사용자는 동일 지역 내의 AP 유무와 관계없이 Wi-Fi Direct 기술을 사용할 수 있다.

* First Author : Seowon Univ., izeho@seowon.ac.kr, 정희원
논문번호 : KICS2016-04-058, Received April 15, 2016; Revised May 26, 2016; Accepted June 9, 2016

이러한 Wi-Fi Direct 기술은 사용자 기기의 간편한 접속 기능을 제공하고 기존 Wi-Fi와 동일한 H/W 장치를 그대로 활용하기 때문에 적용 제품의 추가적인 통신 칩셋이 탑재되지 않아도 S/W 관점의 프로토콜 지원으로 적용이 가능하며, 따라서 기존 Legacy 장치와의 호환성 문제 역시 S/W update 절차로 해결할 수 있기에 범용성과 확장성이 높은 표준 기술이다.

최근 Bluetooth 기술 및 Bluetooth LE (Low Energy)^[3] 기술이 비약적으로 보급되고 있으며, 저전력 MAC 프로토콜과 Ad hoc 환경에서의 매쉬 네트워크를 위한 Routing 기술 등으로 구성되는 센서네트워크 기술^[4-7] 또한 홈 네트워크 시장에서 활용범위를 확장시키고 있다. 하지만, Bluetooth 기술은 주로 무선 헤드셋이나 무선 스피커 등을 통한 원격 음악 감상 등의 Audio Streaming 서비스에 중점적으로 보급되어 있으며, Bluetooth LE 및 센서네트워크 기술은 낮은 통신 속도와 짧은 송신 거리 때문에 높은 에너지 효율에도 불구하고 사용 환경에 대한 제약이 존재한다.

반면, Wi-Fi 기술은 Wi-Fi Direct 표준 개발을 기반으로 스마트폰과 스마트TV, 스마트폰과 TV, 모니터와 게임콘솔, Laptop PC와 프린터 등의 직접 접속 환경에서, 주로 2nd Screen이나 Screen Sharing, 파일 전송 등과 같은 대용량 데이터 전송이 가능하다는 측면에서 Bluetooth 등의 저전력 통신 기술과 차별적이며, 사용자 환경 측면에서도 높은 확장성을 지니고 있다. 또한 기존 Wi-Fi 기술의 높은 보급력으로 인하여, 기존 Wi-Fi 적용 제품을 그대로 활용할 수 있다는 장점을 지닌다.

Wi-Fi 기술은 IEEE P802 TG11^[8] 그룹에서 정의한 PHY (Physical Layer) 및 MAC (Medium Access Control) 표준 기술을 기반으로 구성되며, 그 상위 표준 기술은 Wi-Fi Alliance 에서 정의한다. 즉, 802.11a, b, g, n, ac 등의 IEEE 802.11 표준 기술을 기반으로 Wi-Fi Alliance 에서는 WPA (Wi-Fi CERTIFIED Protected Access[®])^[9] 및 보다 편리한 보안 접속을 위한 WPS (Wi-Fi CERTIFIED Protectes SetupTM)^[10] 등의 상위 계층 표준 기술들을 발표해왔다. 또한 스마트폰과 TV 제품의 Screen Sharing 기능을 위하여 발표된 Wi-Fi Display (Wi-Fi CERTIFIED MiracastTM)^[11] 기술은 최근 출시되는 스마트 제품군에 활발히 적용되어 기술 보급력의 우위를 나타내었는데, 이 기술은 기존 Wi-Fi 기술과 달리 무선랜 AP (Access Point)가 없는 환경에서 기기간 직접 접속을 허용하는 Wi-Fi Direct 기술을 기반으로 개발되었으며, 최근 Wi-Fi Display v2.0 표준 기술을 개발중에

있다.

이와 같이 Wi-Fi Direct 표준 기술은 Wi-Fi Display를 포함하여 Wi-Fi Docking, WFDS (Wi-Fi Direct Service) 등 다양한 응용 기술에 활용되는 기반 표준 기술로서 자리 잡고 있으며, 향후 홈 네트워크는 물론 IoT (Internet of Things) 시장에서 높은 파급력을 지닐 것으로 예상되고 있다. 또한 최근에는 Wi-Fi Direct 자체 성능에 대한 검토^[13]와 Bluetooth LE 기술을 활용한 Wi-Fi Direct 성능 개선 방안^[14]에 대한 연구도 진행되고 있다.

그러나 현재의 Wi-Fi Direct 표준 기술은 두 장치간 연결을 설정하는데 소요되는 시간이 큰 것이 단점이다. Wi-Fi Direct 표준 기술에서의 연결 절차는, 두 장치가 향후 데이터 송수신을 위하여 사용될 Channel 환경 정보를 수집하는 Scan 절차와, 각 장치가 1, 6, 11의 3개 Channel로 구성되는 Social Channel 에서의 상호 Discovery를 수행하는 Find 절차로 구성된다. 이때 두 장치는 Scan 절차를 위하여 소요되는 불가피한 수행 시간과 Find 절차의 상호 탐색에 발생하는 확률적 시간 요소가 존재하기 때문에 Bluetooth 기술 대비 다소 높은 connection 시간이 나타나며, 일반적으로 5~10초 정도의 지연 시간이 발생한다.

초기 Wi-Fi Direct 기술을 탑재하는 스마트 기기들은 이러한 문제로 인하여 발생하는 사용자 편의 측면의 단점을 지녔으며, 이 문제를 해결하기 위하여 제품 기술 개발에 많은 연구를 진행하였다. 물론 초기 Wi-Fi Direct 탑재 제품과 비교할 때 최근 출시되는 제품들은 Wi-Fi Direct connection 시간을 상당히 단축시키는 결과를 나타내었지만, 이는 대부분 동일 제조사 제품들의 Connection에 대한 개선이며, 모든 제품들에 대한 표준화된 개선 방안은 아직까지 Wi-Fi Alliance에서 발표되지 않았다.

따라서 본 고에서는 기존 Wi-Fi Direct 표준 기술의 connection 절차에서 발생하는 지연 시간을 단축시키기 위하여 기존 표준 기술의 Scan 절차와 Find 절차를 개선하고자 한다.

II. Wi-Fi Direct Connection 절차

Wi-Fi Direct 기술은 기존 Wi-Fi 기술과 달리 AP가 없는 환경에서 두 기기간 직접 접속을 허용하는 통신 방식으로써, Screen Sharing이나 파일 전송 등과 같이 일시적인 일대일 통신 요구 환경에 on-demand 방식으로 사용된다. 따라서 기존의 Wi-Fi AP 기기가 담당하던 Coordinator 역할을 Wi-Fi Direct를 사용하

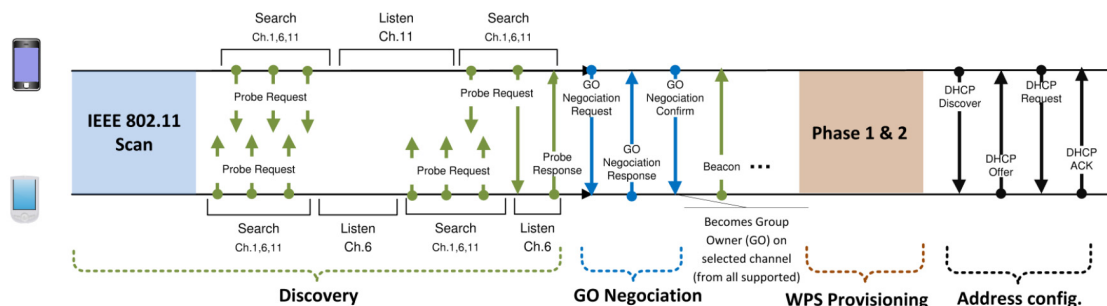


그림 1. Wi-Fi Direct Connection 에서의 P2P 형성 절차^[12]
 Fig. 1. P2P Formation Process of Wi-Fi Direct Connection^[12]

는 두 장치 중 하나의 장치가 수행해야 한다.

기존의 Wi-Fi 기술에서는 AP 장치가 2.4GHz 또는 5GHz 대역에서 고정된 Channel을 선택하고, 선택된 Channel을 지속적으로 사용한다. 따라서 Station 장치는 자신이 지원하는 주파수 대역 내의 모든 Channel을 대상으로 AP 장치를 탐색하고, 사용자로부터 선택된 AP 장치가 존재하는 Channel로 진입하여 해당 AP 장치와 접속 절차를 수행한다. 즉, 기존 Infrastructure 환경을 구성하는 Wi-Fi 장치는 고정 Channel을 사용하는 AP 장치와 모든 Channel을 탐색하고 선택된 Channel로 Connection 절차를 시도하는 Station 장치로 구성된다. 하지만 Wi-Fi Direct 통신 환경에서는 고정된 Channel을 사용하는 AP장치가 존재하지 않으며, 각 장치는 Wi-Fi Direct 접속 시도 시점에서 지원 가능한 주파수 대역의 모든 Channel을 대상으로 상태를 탐색하는 Scan 절차를 수행한다.

그림 1과 같이, Wi-Fi Direct Connection을 수행하는 두 장치는 Discovery, GO Negotiation, WPS Provisioning 등의 절차를 순차적으로 수행한다. 첫 번째 단계인 Discovery 절차는 각 장치가 Wi-Fi Direct 데이터 송수신을 위해 사용할 각 Channel의 상태를 파악하고 각 장치가 서로를 인지하기 위한 단계이며, 두 번째로 수행되는 GO Negotiation 절차는 AP가 없는 환경에서 Coordinator 역할을 수행할 장치인 GO (Group Owner)를 결정하는 단계이다. WPS Provisioning 단계는 기존 WPS 기술을 활용하여 두 장치의 보안 설정과 보안 모델에서의 역할 등을 수행하는 단계로써, 경우에 따라 대상 장치가 지원하는 서비스 종류를 탐색하는 Service Discovery 단계를 Optional 기능으로써 수행할 수 있다.

Wi-Fi Direct 절차는 이와 같은 단계를 수행한 후 결정된 GO 장치가 수행하는 AP 역할에 따라 IEEE 802.11 표준 기반의 기존 Wi-Fi 기술을 그대로 준수

하여 데이터 송수신을 수행할 수 있도록 기술적 호환성 제공을 목표로 설계되었다. 하지만, 두 장치가 상호 탐색을 위하여 수행하는 Discovery 단계는, 두 장치가 각각 수행하는 Channel Scan 절차와 상호 장치 탐색을 위한 Find 단계로 인하여 높은 지연 시간이 소요되는 단점을 지니고 있다.

그림 2는 Wi-Fi Direct Connection 절차에서 가장 높은 지연시간을 발생시키는 Discovery 과정을 도식화하였으며, 그림에서 나타낸 바와 같이 Discovery 과정은 Scan 절차와 Find 절차로 구성된다. 먼저 Scan 절차에서는 각 장치가 자신이 지원하는 2.4GHz와 5GHz 주파수 대역의 모든 Channel에 대하여 Probe Request 메시지를 Broadcast 형태로 전송하고 이에

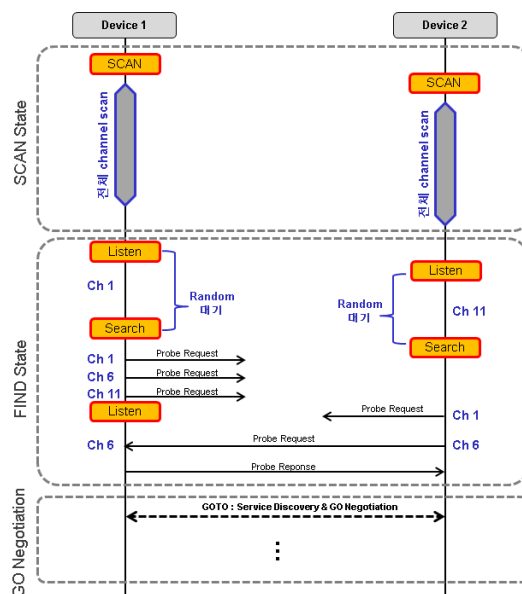


그림 2. Wi-Fi Direct 접속 절차의 Discovery 과정
 Fig. 2. Discovery Process for Wi-Fi Direct

따른 Probe Response 메시지를 Channel별로 수집하는데, 이는 각 Channel별로 존재하는 Wi-Fi AP의 수를 파악하여 향후 Wi-Fi Direct 데이터 송수신을 위한 최적의 Channel을 선택하기 위하여 수행한다. 따라서 두 주파수대역의 모든 Channel에 대하여 Probe Response 메시지를 수집하기 위한 지연 시간이 필수적으로 요구된다.

한편, Find 절차는 2.4GHz 대역의 1, 6, 11번 Channel로 구성되는 Social Channel을 기반으로 Listen 단계와 Search 단계를 반복적으로 수행하는 절차이며, 이 구간에서의 각 장치는 상호 존재를 파악할 때 까지 위 두 단계를 반복한다. 먼저, Listen 단계는 하나의 장치가 다른 대상 장치로부터 Probe Request 메시지를 수신하기 위하여 대기하는 구간으로써, 이때 Listen을 수행하는 장치는 Social Channel 중 하나의 Channel을 고정하고 Random 시간 동안 대기한다. 만약 이 구간에서 대상 장치로부터 Probe Request 메시지를 수신하지 못할 경우 이 장치는 Listen 단계를 종료하고 Search 단계로 진입한다.

Search 단계는 Listen 단계와 대응되는 구간으로써, 장치탐색을 위하여 Social Channel을 대상으로 Probe Request 메시지를 Broadcast 형태로 송신하며, 만약 어떠한 Probe Response 메시지도 수신하지 못할 경우 이 장치는 또 다시 Listen 단계로 진입하고 상호 탐색을 성공할 때 까지 이 두 단계를 반복 수행한다. 또한 Wi-Fi Direct 표준 기술에서는 두 장치가 Listen과 Search를 동시에 동일한 절차를 수행하여 상호 탐색이 불가능할 경우를 대비하기 위하여 Listen 단계를 수행하는 기간을 Random으로 정의하였다.

Find 단계에서 서로의 존재를 파악한 두 장치는 GO Negotiation 단계를 통하여 두 장치 중 Coordinator 역할을 수행할 장치를 선택하는 단계를 수행하며, 선택된 GO 장치는 기존 Wi-Fi 기술에서의 AP 역할을 수행하고 또 다른 장치는 Station 역할을 수행함으로써, 기존 IEEE 802.11 표준 기술 기반의 Infrastructure 방식의 Wi-Fi 통신 방식을 그대로 준수하여 데이터 송수신을 수행한다.

III. Fast Connection을 위한 Discovery 방안

이러한 Wi-Fi Direct 그룹 형성 과정에서 나타나는 바와 같이, 현재까지 발표된 Wi-Fi Direct 표준 기술에서는 두 장치가 중복적으로 수행하는 Scan 절차와 상호 탐색에 대한 확실적 대기 시간이 존재하는 Find 절차로 구성된 Discovery 과정으로 인하여 비교적 높

은 지연 시간이 발생될 수 있으며, 따라서 본 고에서는 Scan 절차와 Find 절차를 각각 개선하는 방안을 제시하고자 한다.

3.1 GO 기반의 Scan State 과정

기존 Wi-Fi P2P Specification 표준 기술에서는, Wi-Fi Direct에 참여하는 두 장치가 2.4GHz 및 5GHz 주파수 대역에서 각각 자신이 지원하는 전체 Channel을 대상으로 Channel 상태 정보를 파악하기 위한 Scan 절차를 진행한다. 이 절차는 모든 Channel을 대상으로 Probe Request 메시지를 Broadcast 방식으로 송신하고 이에 대한 모든 장치의 Probe Response를 수신하기 때문에 일시적인 트래픽 증가와 함께 지연 시간을 발생시킨다. 하지만 Scan 절차는 어떠한 장치가 수행하더라도 결과가 동일할 가능성이 매우 높으며, 두 장치가 모두 수행할 필요는 없다.

또한, 일반적인 환경에서 Wi-Fi Direct 접속을 시도하는 두 장치는 동시에 기능을 수행하지 않는다. 즉, 그림 2에서 장치 1의 Scan 절차가 완료된 후 일정 시간이 지난 후에 장치 2의 Wi-Fi Direct 기능이 설정되어 장치 2의 Scan 절차가 또 다시 수행되는 경우가 사용자 Use-Case 측면에서 발생할 수 있다. 이 경우 장치 1은 자신의 Scan 절차가 완료되었지만 장치 2의 Scan 절차의 전체 또는 부분 시간 동안 대기해야 하는 문제가 발생할 수 있다.

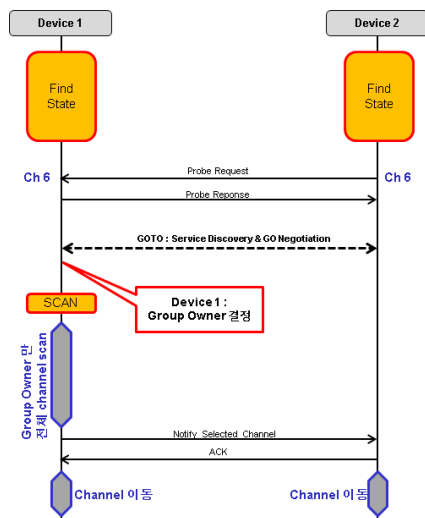


그림 3. 제안하는 GO 기반의 Scan 동작 절차
Fig. 3. GO-based Scan Process

3.2 동적 Listen/Search 단계를 통한 Find 절차
기존 Wi-Fi Direct 표준 기술에서는 1, 6, 11번

Channel로 구성된 Social Channel을 대상으로 대상 장치가 현재 위치한 Channel을 탐색하기 위하여 Probe Request를 송신한 후, 이에 대한 Probe Response를 수신하기 위한 Search 단계를 수행한다. 또한, Search 단계 후에 Social Channel 중 고정된 Channel을 선택하여 대상 장치로부터 Probe Request를 수신하기 위하여 Random 시간 동안 대기하는 Listen 단계를 수행한다. Wi-Fi Direct에서는 Search와 Listen 단계를 교차적으로 수행하며, 대상 장치를 찾을 때 까지 반복 수행한다.

이러한 방식은 상대 장치와 동일 Channel에서 만나기 위한 기회를 확률에 의존한다. 하지만, 동일 공간 내에 Wi-Fi Direct 연결을 요구하는 장치의 수는 비교적 작을 확률이 매우 높기 때문에 이러한 방식은 비효율적이다. 따라서 본 제안 방식은 아래와 같은 두 가지 방식을 혼합 적용하여 그림 4와 같이 대상 장치 탐색 효율과 탐색 시간을 줄이는 효과를 기대한다.

먼저 Social Channel의 수를 2개의 Channel로 줄인다. 이 환경에서는 Connection을 시도하는 모든 장치가 대상 장치로부터 탐색을 허용하기 위하여 임의의 Channel을 Listen Channel로 선정하여 대기해야 하는데, 이때 대기하는 Channel의 상태가 매우 Busy할 경우 Wi-Fi Direct 접속에 장애가 발생할 수 있다. Wi-Fi Direct 표준 기술에서는 이러한 문제를 보완하기 위하여 각 장치가 초기에 위치하는 Channel에 대하여 3개의 Social Channel로써 정의하고 있다.

하지만, 일반적인 Wi-Fi Direct 접속 환경에서의 Listen Channel은 단지 Probe Request 및 Probe

Response 메시지 교환만 이루어진다. 이 메시지의 크기는 일반적으로 매우 작으며, 보편적으로 2~3회 반복 수행하기 때문에 메시지 손실 가능성이 상대적으로 낮다. 또한 이러한 방식은 Find 절차에서 상호 장치 탐색을 성공하는 확률을 낮추기 때문에 효율성이 높다고 볼 수 없다. 따라서 본 제안 방식에서는 Listen Channel을 두 개로 운영하는 형태를 제시한다.

두 번째로 본 고는 각 Channel에 머무르는 시간을 비대칭적으로 할당하는 ACA (Asymmetric Channel Allocation) 방식을 제안한다. 기존 Wi-Fi Direct 표준 기술에서는 Find 절차에서 대상 장치를 탐색하는 시간이 다소 높게 나타나는데, 이는 두 장치가 모두 Listen 단계를 수행하거나 또는 모두 Search 단계를 수행함으로써 발생하는 영향이다. 이를 해결하기 위해서는 비교적 짧은 간격으로 Search 단계를 수행하고 Listen 단계에 대기하는 방식으로써 상호 탐색 성공 확률을 높일 수 있는데, 기존 방식과 같이 모든 Social Channel을 대상으로 수회 반복하는 방안은 이러한 확률이 높다고 볼 수 없다.

본 고에서 제안하는 ACA 방안에서는 하나의 장치가 자신의 Listen Channel을 Social Channel에서 임의로 선택한 후 기존의 Search 단계와는 달리 자신이 대기하는 채널에 대하여 즉각적으로 Probe Request 메시지를 송신하고 비교적 짧은 시간 동안 Random 시간만큼 대기하는 Wait 단계를 수행한다. 또한 이와 같은 절차를 Random 횟수 k 만큼 반복하고 자신의 Listen Channel을 변경한 뒤 동일 절차를 수행한다. 이러한 방식은 특정 Channel에 머무르는 시간을 길게 할당함으로써 대상 장치를 찾을 확률을 높일 수 있으며, 두 장치가 동일 Channel에 존재할 확률을 높이기 위하여 위에서 나타난 Random k 값을 적용한다. 이러한 형태로 Search 단계에서 소모되는 Probe Response 대기 시간을 Wait 단계 대기 시간으로 편입시킴으로써 불필요한 대기 시간을 감소시킬 수 있다.

또한 본 제안 방식은 기존의 Search 단계와 Listen 단계로 구분된 Find 절차를 하나로 통합하고 각 장치의 Listen Channel을 고정 방식에서 유동 방식으로 교체함으로써, 무선 환경 상태가 열악한 Listen Channel을 선택할 경우 발생할 수 있는 상호 탐색 실패 확률을 감소시킬 수 있다. 본 방식은 각 장치가 특정 channel에서 Listen만을 위하여 대기하고 Search 수행만을 위하여 존재하는 형태를 제거하고, 기존 표준 기술 대비 상대적으로 짧은 Interval의 Probe Request 수행 및 Probe Response 수신 확률을 높일 수 있기 때문에 기존 표준 기술의 문제점을 개선할 수 있다.

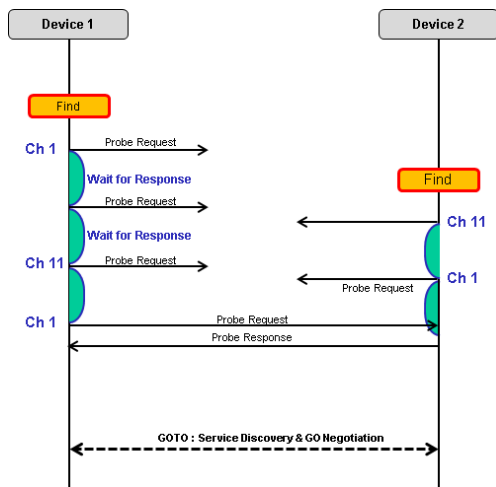


그림 4. 제안하는 동적 Listen 및 Search 동작 절차
Fig. 4. Dynamic Listen and Search Process

그림 5는 본 제안 방식을 적용하여 Wi-Fi Direct Connection 절차를 수행한 후, 스마트폰 화면을 TV를 통하여 공유하기 위한 Wi-Fi Display (Miracast) 기술 적용 사례를 나타내었다. 이 방식은 기존의 스마트폰과 TV의 Screen Sharing 기능을 사용하는 환경에서 짧은 시간 내에 Connection을 제공할 수 있으며, 따라서 기존 Screen Sharing 사용자 환경에서 가장 큰 불편함이었던 접속시간 문제를 개선할 수 있다.

본 방식은 Phone과 TV의 연결 외에도, 어떠한 형태의 사용 환경이라도 Wi-Fi Direct 기술을 통한 상호 연결을 수행하는 경우에는 항상 적용 가능하며, Wi-Fi Docking 등 Miracast 외의 응용 프로토콜을 사용하더라도 동일한 형태로 동작된다. 또한 그림 6은 3대 이상의 장치에 대한 Wi-Fi Direct 그룹 형성 절차에 대

하여 본 고에서 제안하는 방식을 적용한 초기 접속 절차를 도식화하였다.

IV. 성능 평가

제안 방식은 기존 Wi-Fi Direct 표준 기술에서 발생될 수 있는 Connection 지연 시간을 단축시키고 이에 따라 향상된 사용자 환경을 제공하고자 제안되었다. 본 장에서는 제안 방식의 성능 개선에 대한 정량적 분석을 위해 기존 Wi-Fi Direct 표준 기술의 Connection 지연 시간을 기술하고 제안 방식과 비교 분석 하였다.

기존 표준 기술의 Connection 지연 시간은 앞 장에서 기술한 바와 같이 Find 절차 내의 Search 단계와 Listen 단계에서 대부분 발생된다. 우선 Listen 단계와 Search 단계의 시간적 구간을 D_L 및 D_S 로 정의하고 각 단계를 반복하는 수를 k 로 정의할 때, 기존 Wi-Fi Direct 표준 기술에서 발생하는 Find 절차의 총 지연 시간은 다음과 같다.

$$L_{WFD} = k(D_L + D_S) \quad (1)$$

하지만 두 장치가 상호 Search 및 Listen 구간을 동시에 같은 구간을 반복할 경우 두 장치는 원천적으로 상호 탐색을 성공시킬 수 없다. 따라서 표준 기술에서는 이러한 문제를 방지하기 위하여 D_L 구간을 Random 길이만큼 설정하도록 정의하고 있으며, 이와 같은 Random 길이를 R 로 정의하고, 단일 D_L 구간이 단위시간 τ 로 구성된다고 가정할 경우 D_L 구간은 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$D_L = \{\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_R\} \quad (2)$$

따라서 임의의 장치가 τ 구간에서 상대 장치와 만날 확률을 p 로 정의할 때 두 장치가 최초로 상호 탐색에 성공할 확률 P 는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} P_{(\tau_1)} &= p \\ P_{(\tau_2)} &= (1-p)p \\ P_{(\tau_3)} &= (1-p)(1-p)p \\ P_{(\tau_n)} &= (1-p)^{n-1}p \quad \text{where } (n \leq R) \end{aligned} \quad (3)$$

이때, 만약 두 장치가 임의의 n 번째 τ 구간에서 상호 탐색을 성공할 경우 이에 대한 Listen 단계의 지연

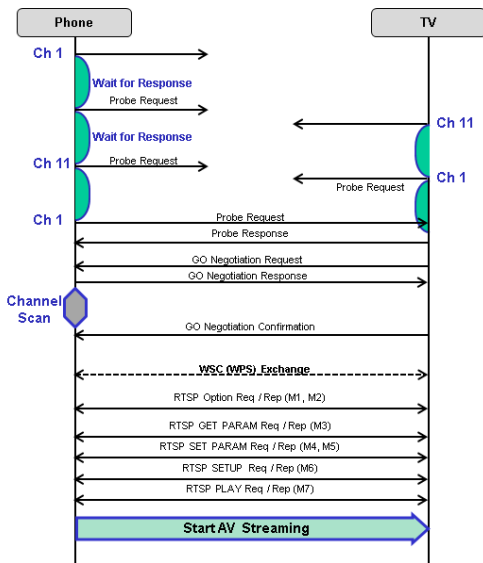


그림 5. ACA방식을 적용한 Wi-Fi Display 수행 절차
Fig. 5. Process of Wi-Fi Display with ACA

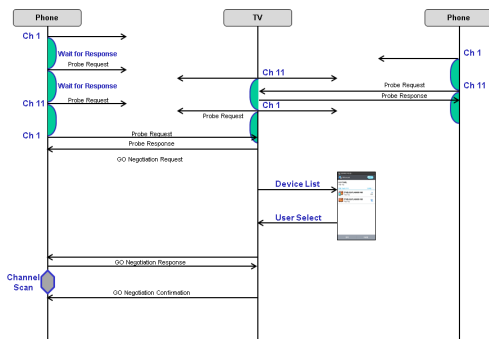


그림 6. 3대 이상의 장치에 대한 ACA 동작 절차
Fig. 6. Process of ACA for 3 Devices.

시간 L_{Listen} 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 L_{Listen} &= \tau_1 P_{(\tau_1)} + (\tau_1 + \tau_2) P_{(\tau_1)} + \dots \\
 &\quad + (\tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_n) P_{(\tau_n)} \\
 &= \sum_{k=1}^n \left(P_{(\tau_k)} \sum_{k=1}^n \tau_k \right) \\
 &= \frac{\tau n p (n+1)}{2} \sum_{k=1}^n (1-p)^{k-1}
 \end{aligned} \tag{4}$$

두 장치가 Wi-Fi Direct 표준 기술의 Find 절차에서 상호 탐색에 성공하기 위해서는, 하나의 장치가 Listen 구간에 존재할 경우 대상 장치는 반드시 Search 구간에 존재해야 한다. 따라서 Social Channel을 구성하는 채널 수를 C_S 로 정의할 때, 식 (3)의 확률 p 는 아래와 같다.

$$p = \frac{D_L D_S}{(D_L + D_S)^2 C_S} \tag{5}$$

반면, Search 단계에 존재하는 장치는 대상 장치가 Listen 단계에 존재할 것을 기대하며 Probe Request 메시지를 송신한 후 Probe Response 메시지 수신을 위하여 일정 시간 대기하며, 이 동작을 D_S 구간동안 수회 반복한다. 따라서 Search 단계의 지연 시간은 Probe 메시지 교환 횟수인 γ 및 Propagation Delay 상수인 T_{PD} 와 함께 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_{Search} = \gamma (T_{PReq} + T_{PRsp} + 2T_{PD}) \tag{6}$$

이와 같이 Search 및 Listen 구간은 Find 절차 내에서 대상 장치 탐색을 성공적으로 완료할 때 까지 반복적으로 수행되는데, 만약 두 장치가 W 번째 Listen 구간에서 대상 장치 탐색을 성공할 경우, Wi-Fi Direct 표준 기술의 Find 절차에 대한 전체 지연 시간 L_{WFD} 는 다음과 같이 기술될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 L_{WFD} &= L_{Listen} W + L_{Search} (W-1) \\
 &= \frac{\tau W D_L D_S R (R+1)}{2 C_S (D_L + D_S)^2} \sum_{n=1}^R \left(1 - \frac{D_L D_S}{C_S (D_L + D_S)^2} \right)^{n-1} \\
 &\quad + \gamma (W-1) (T_{PReq} + T_{PRsp} + 2T_{PD})
 \end{aligned} \tag{7}$$

Wi-Fi Direct Connection 지연 시간은 주어진 D_L 구간과 D_S 구간에 대한 비율에 따라 성능이 다르게 도출될 수 있지만 Connection을 시도하는 두 장치가 서

로 동일 구간에 존재할 확률이 의존적이며, 이러한 확률은 D_L 구간의 Random 값에 의하여 크게 달라질 수 있다.

본 실험은 IEEE 802.11n을 대상으로 NS-2 (Network Simulator 2)를 통하여 진행되었다. Wi-Fi Direct 표준 기술에 필요한 Listen 채널의 초기 값은 장치별로 Random 설정 하였으며, 상태 장치로부터 Probe Request 수신을 위하여 대기하는 시간은 각 단계마다 τ 의 배수 형태로 Random 지정하고, 이때 τ 값은 50 μ sec로 지정하였다. 또한 실험의 객관적 성능을 검증하기 위하여 802.11n에서 사용되는 Channel Bonding 기능을 배제하고, Wi-Fi Direct 표준에서 정의되는 바와 같이 Social Channel 사용을 위하여 2.4GHz 대역에서만 실험을 진행하였다. 이러한 실험 환경을 통하여 본 고에서는 제안하는 방식의 성능 결과를 측정하고 그림 7-9에 나타내었다.

그림 7은 D_L 구간을 결정하는 최대 Random 값의 크기에 따라 Wi-Fi Direct Connection 지연 시간을 나타내었으며, 이 실험은 D_L 구간 Random 값의 최대 크기를 나타내는 변수 R 을 변경시키면서 측정되었다. 이 결과에서 R 값이 30보다 작을 경우와 클 경우 모두 지연시간이 단축되었으며, R 값의 변화에 따라 W 값이 영향을 받기 때문에 필요 이상으로 R 이 크거나 작을 경우 지연시간이 증가한다는 결과가 관찰되었다.

한편, ACA 기법의 경우 Find 절차의 Search 단계와 Listen 단계를 통합시켰으며, Social Channel 수를 줄이고 Probe Request 송신을 Wait 구간마다 1회 수행하도록 변경하였기 때문에, 지연시간은 기존 Wi-Fi Direct와 달리 Wait 구간을 반복하는 m 과 함께 아래와 같이 나타낼 수 있다.

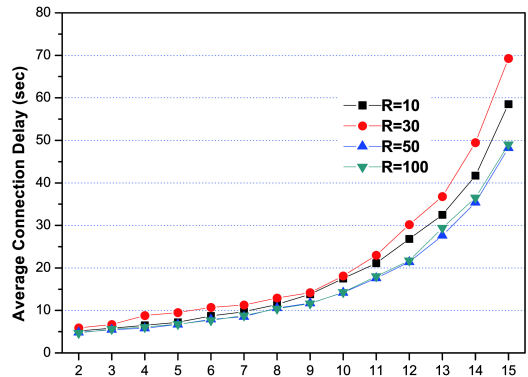


그림 7. D_L Random 길이에 따른 접속 지연시간.
Fig. 7. Connection Latency with Random Value in D_L Period.

$$L_{ACA} = m(D_{prob} + D_{wait}) \quad (8)$$

여기서 Wait 구간마다 수행되는 Probe Request 송신은 1회만 수행되며, Probe Response 수신 구간은 별도의 시간 할당 없이 Wait 구간에서 수행되기 때문에 D_{prob} 는 아래와 같이 정의될 수 있다.

$$D_{prob} = T_{PReq} \quad (9)$$

또한 D_{wait} 는 식 (4)에서의 L_{Listen} 과 유사한 형태로 구성될 수 있지만, ACA 기법에서는 D_{wait} 구간을 상대적으로 짧게 수행하고 비교적 빈번하게 수행하는 방안을 제시하였으며 Search 구간이 별도로 존재하지 않기 때문에, 대상 장치 탐색에 성공할 확률은 아래와 같다.

$$p^* = \frac{D_{wait}D_{prob}}{C_S(D_{wait} + D_{prob})^2} \quad (10)$$

여기서 Probe Request 및 Response 절차는 Wait 구간마다 단 한번만 수행되고 또한 Probe Request 송신 시에 상대 장치는 반드시 Wait 구간에 존재하기 때문에, ACA 방식에서의 Find 절차에 대한 지연시간은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$L_{ACA} = \frac{\tau WR(R+1)}{2C_S} \sum_{n=1}^R \left(1 - \frac{1}{C_S}\right)^{n-1} + (W-1)T_{PReq} \quad (11)$$

그림 8과 9는 위와 같은 결과를 바탕으로 기존 Wi-Fi Direct 및 제안 방식인 ACA 기법을 비교 실험

하여 나타내었으며, 두 가지 실험 모두 Wi-Fi Direct Connection을 시도하는 장치의 수를 증가시키며 기존 표준 기술과 제안 방식을 비교하였다. 또한 이 실험에서는 모든 장치가 동일한 하나의 장치에 대하여 Connection을 시도하는 환경을 구성하였다. 이는 서로 다른 장치들이 각각 개별 접속을 진행할 경우 Wi-Fi Direct 특성상 주어진 Social Channel에 대한 Channel Utilization이 다소 낮으며 따라서 서로 미치는 영향이 낮기 때문에, 동일 시간에 Wi-Fi Direct Connection이 집중되는 혼잡 환경을 구축하기 위하여 구성된 실험 환경이다.

먼저, 그림 8은 위와 같은 환경에서 Wi-Fi Direct Connection을 수행하는 장치 수의 증가에 따른 Connection 지연시간을 나타내었다. 이 결과는 모든 장치가 단일 장치에 성공적으로 Connection 절차를 완료할 때 까지를 측정된 결과이며, 실험의 객관성을 위하여 10회 반복 실험 후 평균 측정값을 나타내었다. 또한 본 실험을 토대로 제안하는 ACA 방식이 기존 표준 기술 대비 낮은 Connection 지연 시간을 나타냈으며, 특히 ACA 방식의 경우 기존 Wi-Fi Direct 표준 기술과 달리 변수 R 에 대한 의존성이 낮다는 결과가 관측되었다. 이러한 결과는 ACA 방식의 Find 절차를 단일 Wait 구간으로 통합하고, 각 Wait 구간마다 단 한번의 Probe Request를 수행하며 C_S 역시 작게 설정되었기 때문에 나타난 성능 개선임을 알 수 있다.

그림 9는 그림 8과 동일 실험에서 발생된 트래픽의 크기를 측정하여 나타내었다. 이 환경에서는 Wi-Fi Direct의 Connection 절차만 수행하였으며, 이후에 발생하는 응용 계층의 사용자 데이터는 제외시켰다. 즉, 이 실험 환경에서 발생하는 트래픽은 Channel Scan 및 Find 절차를 위하여 Broadcast 형태로 전송되는

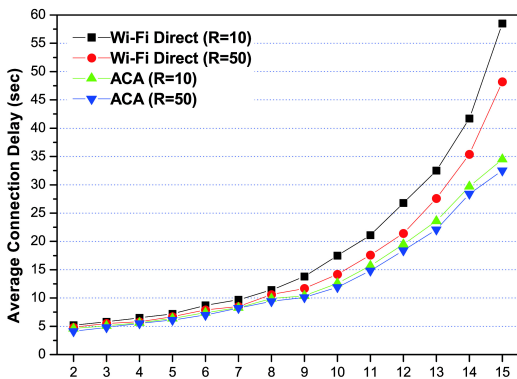


그림 8. 장치 수의 증가에 따른 접속 지연시간.
Fig. 8. Latency with Number of Devices.

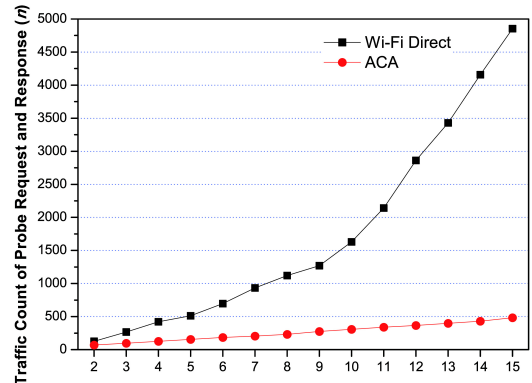


그림 9. 장치 수의 증가에 따른 접속 트래픽 크기.
Fig. 9. Traffic with Number of Devices.

Probe Request 메시지와 Unicast 형태로 전송되는 Probe Response 메시지로 구성되며, 장치 수가 증가할수록 Probe Request에 대응되는 Probe Response 메시지 수는 크게 증가된다.

이 실험 결과로부터 제안하는 ACA 방식에서 발생하는 트래픽 크기가 기존 표준 기술보다 크게 감소되었음을 알 수 있다. 제안 ACA 방식은 기존 Channel Scan 절차를 GO 장치만 수행하며, Find 절차 역시 단일 Wait 구간마다 단일 Probe Request 메시지만 송신되고, 별도의 Search 절차를 위한 서로 다른 Channel에서의 대기 확률을 크게 감소시킴으로써 나타난 결과임이 예측된다.

V. 결론

본 고에서는 기존 Wi-Fi Direct 표준 기술의 Connection 절차에서 발생할 수 있는 높은 지연시간 문제를 해결하기 위하여 새로운 기법을 제안하였으며, 이에 대한 분석과 실험을 통한 검증을 제시하였다. 제안 방식은 기존 Channel Scan 절차를 GO 장치에 한정시키고 Find 절차의 상호 탐색 성공 확률을 높이기 위한 효율적인 Connection 절차를 수행함으로써, Phone-to-Phone, Phone-to-Display 등과 같은 Wi-Fi Direct 환경의 실질적인 Connection 시간을 단축시키고 전체 트래픽 크기를 감소시켰다. 이러한 방식을 Wi-Fi Direct 기술에 적용하면 사용자 편의성을 크게 높일 수 있기 때문에 이 방식을 빨리 상용화하는 것이 필요하다고 생각한다.

References

[1] <http://www.wi-fi.org>
 [2] Wi-Fi Peer-to-Peer (P2P) Technical Specification v1.4, Wi-Fi Alliance, 2014.
 [3] Bluetooth Core Specification 4.2, Bluetooth SIG, Dec. 2014.
 [4] J. Lee, "A new routing scheme to reduce traffic in large scale mobile ad-hoc networks through selective on-demand method," *Wirel. Netw.*, vol. 20, no. 5, pp. 1067-1083, 2014.
 [5] M. Buettner, G. V. Yee, E. Anderson, and R. Han, "X-MAC: A short preamble MAC protocol for duty-cycled wireless sensor networks," in *Proc. SENSYS 2006*, pp. 307-320, 2006.

[6] I. Akyildiz, et al., "A survey on sensor networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, Aug. 2002.
 [7] J. Lee, "A traffic-aware energy efficient scheme for WSN employing an adaptable wakeup period," *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 71, no. 3, pp. 1879-1914, Aug. 2013.
 [8] <http://www.ieee802.org/11>
 [9] *Enhanced Security Implementation Based on IEEE P802.11i standard*, Wi-Fi Alliance, 2004.
 [10] *Wi-Fi Simple Configuration Technical Specification v2.0.2*, Wi-Fi Alliance, 2011
 [11] *Wi-Fi Display Technical Specification*, Wi-Fi Alliance, 2012.
 [12] D. Camps-Mur, A. Garcia-Saavedra, and P. Serrano, "Device-to-device communications with Wi-Fi Direct: overview and experimentation," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 20, no. 3, pp. 96-104, 2013.
 [13] H. Joh and I. Ryoo, "A hybrid Wi-Fi P2P with bluetooth low energy for optimizing smart device's communication property," *Peer-to-Peer Netw. Appl.*, vol. 8, no. 4, pp. 567-577, 2015.

이재호 (Jaeho Lee)



2005년 : 고려대학교 전자컴퓨터공학과 석사
 2008년~2013년 : 고려대학교 전기전자전파공학과 박사
 2011년~2013년 : 서원대학교 겸임교수
 2013년~2015년 : LG전자 차세대표준연구소 선임연구원
 2013년~현재 : 서원대학교 정보통신공학과 조교수
 <관심분야> WPAN, 센서네트워크, MANET, MAC, WBAN, Bluetooth, Wi-Fi, ITS, Localization