

Wi-Fi Direct 통신 기술 및 응용

홍종우, 변성호, 박승일, 박천우, 최성현
서울대학교

요약

Wi-Fi Direct는 Wi-Fi Alliance에서 인증한 Wi-Fi 기반 기술로 AP (Access Point)나 라우터 같은 인프라장비 없이 단말 간에 직접 통신을 하는 프로토콜 방식을 의미한다. Wi-Fi Direct는 현재 스마트폰 뿐만 아니라 TV, 노트북, 프린터, 카메라와 같은 다양한 기기 등에 탑재되어 단말 간 직접 통신을 통하여 콘텐츠 및 서비스를 사용할 수 있는 기술이다. 본고에서 Wi-Fi Direct 기술을 동작 단계별로 구체적으로 살펴보고 새롭게 정의된 전력 절감 기술에 대해서도 살펴본다. 또한 Wi-Fi Direct 기반 응용 서비스를 알아본다.

I. 서론

Wi-Fi (Wireless Fidelity)는 비면허대역 근거리 무선 통신 기술로서 2000년대 초반 인터넷 활성화와 함께 노트북을 중심으로 사용이 많이 확대되어 왔다. Wi-Fi 기술은 AP (Access Point)와 같은 인프라를 포함하여 무선랜 또는 WLAN (Wireless Local Area Network)이라고도 불린다. 최근 몇 년 간에는 Wi-Fi 지원하는 스마트폰과 태블릿 기기의 급격한 보급으로 고용량, 고화질 멀티미디어 통신이 활성화되면서 모바일 데이터 트래픽이 매년 급격히 증가하고 있다. 이로 인해 네트워크의 과부하가 심해지고 있으며 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 최근 네트워크 인프라를 거치지 않고 단말기간에 직접 트래픽을 주고 받는 단말 간 직접 통신이 부각되고 있다 [1].

Wi-Fi Direct는 WFA (Wi-Fi Alliance)에서 인증하는 Wi-Fi 기반 기술로 AP 같은 인프라 장비 없이 단말 간에 직접 통신을 하는 프로토콜 방식을 의미하며 2010년 10월에 표준이 완성되었다 [2]. Wi-Fi Direct의 정확한 표준 명칭은 Wi-Fi Peer-to-Peer (P2P) 이다. 본고에서는 표준에서 언급된 Wi-Fi P2P 대신 널리 알려진 Wi-Fi Direct라는 명칭으로 부른다. Wi-Fi

Direct 외에도 단말 간의 직접 통신은 802.11z 표준에서 정의한 TDLS (Tunneled Direct Link Setup) 기술이 있다. 그러나 TDLS의 경우 단말들이 같은 AP에 연결(association)된 상태에서 AP를 통해 TDLS 발견(discovery) 및 셋업(setup) 과정을 진행하고 단말 간 직접 통신을 한다는 점이 Wi-Fi Direct 기술처럼 AP와 같은 인프라가 없는 단말 간 통신과는 구별된다. Wi-Fi Direct 그룹을 구성하기 위해서는 단말들 중에서 기존 AP역할을 담당하는 장치가 존재 하는데 이를 GO (Group Owner)라고 한다. 아래 <그림 1>은 GO를 기반으로 한 Wi-Fi Direct 통신의 구조를 나타낸 그림이다. <그림 1>에서와 같이 한 개의 GO와 한 개 이상의 client 단말들로 구성된다.

최근 Wi-Fi Direct 기술을 지원하는 스마트폰 보급의 확대로 사용자들은 다양한 기기간의 직접 통신 서비스를 구성 할 수 있다. 예를 들어 카메라에서 휴대폰으로 바로 사진을 전송하거나 노트북의 내용을 빔 프로젝터를 통해 유선케이블 없이 바로 볼 수 있다. 또한 스마트폰에서 원하는 내용을 선택해서 프린터로 바로 출력하는 서비스도 가능하다.

본고의 내용 구성은 다음과 같다. II 절에서는 Wi-Fi Direct 동작 과정에 대해서 구체적으로 살펴보고 III 절에서는 Wi-Fi Direct 기술의 전력 절감 모드에 대해서 언급한다. IV 절에서

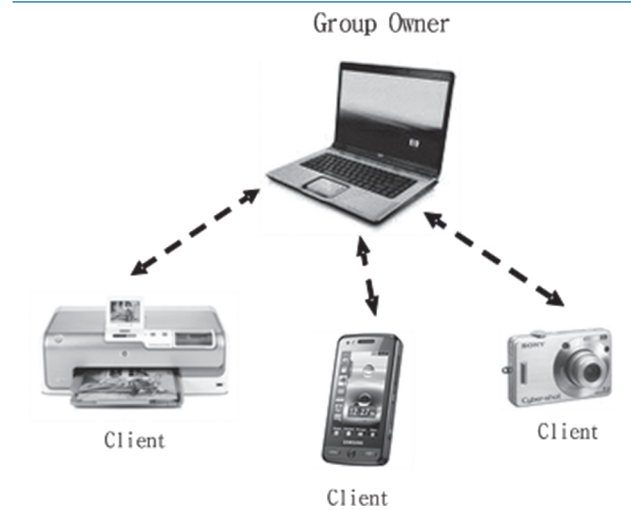


그림 1. Wi-Fi Direct 그룹의 구조

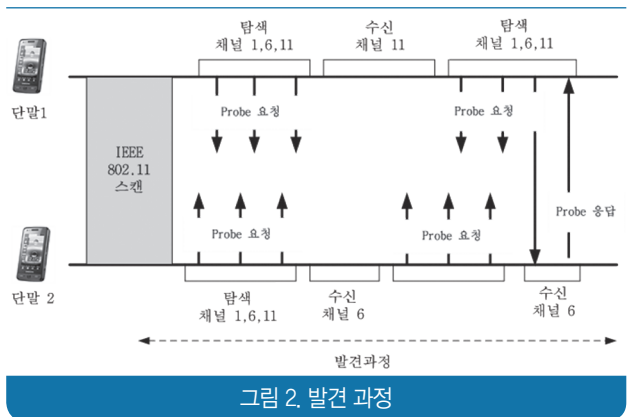
는 Wi-Fi Direct의 응용 분야를 소개하고, V 절에서 결론을 맺는다.

II. Wi-Fi Direct 동작 과정

Wi-Fi Direct 통신의 동작 과정은 크게 3가지로 구분된다. 첫째로 서로 단말을 찾는 발견 과정, 그리고 발견된 단말들을 기반으로 GO를 형성하는 GO 형성 과정이 있다. 마지막으로 GO 동작 과정은 GO가 기존 AP와 같이 비콘을 보내고 IP (Internet Protocol) 할당을 통해 통신을 가능하게 한다 [3].

1. 발견 과정

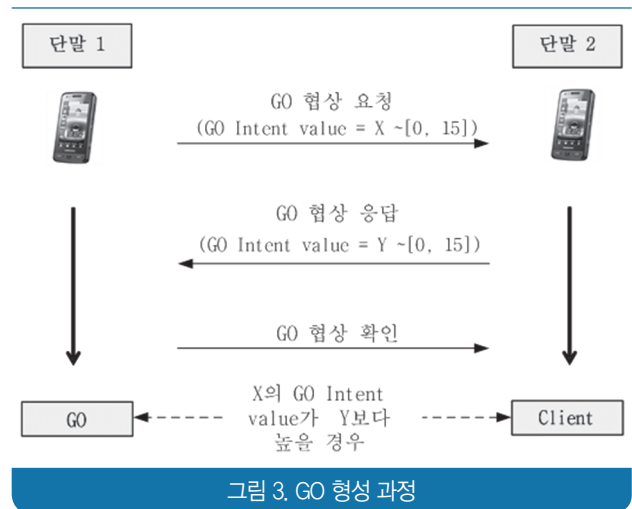
Wi-Fi Direct의 발견 과정을 위해 기존 Wi-Fi 단말들과 같이 active 또는 passive하게 스캔 한다. 일정 시간 스캔 후에 Wi-Fi Direct 단말 발견 과정으로 진입하게 된다. 단말 발견 과정은 크게 탐색(search) 과정과 수신(listen) 과정으로 구성된다. 단말을 발견 하기 위해 탐색 과정과 수신 과정을 번갈아 반복해서 진행한다. 단말 간의 빠른 탐색을 위해서 2.4 GHz 대역에서 소셜 채널(social channel)인 채널 1, 6, 11번을 사용하여 탐색을 실시한다. 수신 과정에서는 3개의 소셜 채널 중 한 개의 채널을 선택하여 수신 과정 동안 수신하게 된다. 아래 <그림 2>는 두 단말들의 발견 과정을 나타낸 그림이다. 단말 2의 경우 채널 6번을 선택하여 수신하는 과정에서 단말 1로부터 6번 채널을 통해 probe 요청을 받았으므로 6번 채널에 대한 응답을 보내서 서로 단말을 발견하게 된다.



2. GO 형성 과정

발견 과정이 완료되면 서로 단말 간의 존재가 확인 되었으므로 이를 기반으로 GO 형성과정으로 진입하게 된다. GO 협상

(negotiation) 과정은 아래 <그림 3>과 같이 요청(request), 응답(response) 및 확인(confirmation) 절차로 3단계의 응답 확인 방식(handshake)으로 진행된다. 상기의 단계를 통해 발견된 단말들은 먼저 요청과 응답을 통해 0에서 15사이에서 임의로 결정된 GO Intent value를 공유하고, 높은 값을 가지는 단말을 GO로 선출한다. 만약 두 단말의 GO Intent value가 같다면, GO 협상 요청 프레임(frame) 내에 정의된 Tie breaker 비트(0 또는 1)을 통해 GO가 결정되는데, Tie breaker 비트 값은 Intent value와 마찬가지로 임의로 결정되며 그 값이 1인 단말이 GO가 된다. GO Intent value는 어떤 단말이나 장비에 고정된 값으로 존재하는 것이 아니라 상위계층 서비스에 의해 조정 가능하다 [4]. 또한 GO 협상 과정에서 각 단말들은 원하는 동작 채널 정보를 서로 교환하며, 이러한 과정을 통해서 GO와 client에서 모두 지원 가능한 채널 중에서 동작 채널이 결정된다. 한 개의 Wi-Fi Direct 그룹에는 반드시 1개의 GO만이 존재한다.



3. GO 동작 과정

GO 형성과정을 통해 단말 간에 GO가 결정 되면 GO (단말 1)는 아래의 <그림 4>와 같이 비콘 전송 및 보안관련 WPS (Wi-Fi Protected Setup) 설정하고 IP 할당을 한다. 즉 단말 1은 Wi-Fi Direct 그룹 내에 연결되어 있는 client 단말들에게 WPS를 설정하고 DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) 메시지 교환을 통해 IP를 할당한다. GO와 단말 간에 통신 과정은 기존 AP와 단말 간의 통신인 802.11 기반의 Wi-Fi 통신 방식과 같다. GO 형성을 기반으로 Wi-Fi Direct 그룹이 형성되면 추가적으로 client 단말들은 GO에 연결 될 수 있으며, 연결되는client 단말들은 GO를 AP로 간주하게 된다. 이러한 client 단말의 경우 두 가지로 분류 되는데, Wi-Fi Direct

프로토콜을 지원하는 단말과 지원하지 않는 레거시(legacy) 단말로 구분된다. 레거시 단말들의 경우 Wi-Fi Direct 프로토콜을 지원하지 않으므로 Wi-Fi Direct 그룹에서 GO가 아닌 client 단말로만 동작하게 된다.

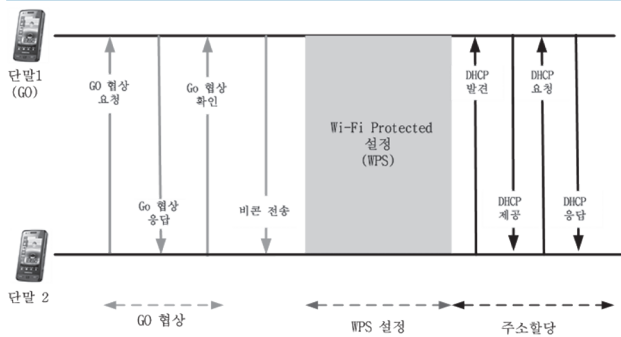


그림 4. GO 동작 과정

4. 서비스 발견 과정

Wi-Fi Direct 표준에서는 기기간의 원활한 직접 통신을 위해서 802.11u 표준을 적용하여 단말들 각각이 서로간에 지원하는 서비스를 발견하는 과정을 정의하고 있다. 802.11u 표준은 네트워크 서비스를 찾는 과정을 GAS (Generic Advertisement Service) 프로토콜을 기반으로 정의한다 [5]. GAS는 쿼리(query)와 응답(response)형식 기반 메시지로 구성되는데, 이를 통해 AP와 단말 사이에서 서로간에 연결 되지 않은 상태(pre-association) 또는 인증이 되지 않은(unauthenticated) 상태에서도, 네트워크에서 제공 가능한 서비스 정보와 관련된 시스템 정보를 상위 레이어(layer) 프로토콜을 통해 단말에게 제공한다. 응답과 요청의 GAS 메시지를 주고 받기 위해서는 ANQP (Access Network Query Protocol)이 필요한데, AP와 STA는 ANQP를 기반으로 GAS를 이용해 정보를 교환한다. GAS를 위한 Advertisement 프로토콜은 비콘 프레임(frame) 내 46번째 정보로 정의되어 있다. 아래 <그림 5>는 GAS protocol의 간단한 동작 과정을 보여준다. 왼쪽의 요청 스

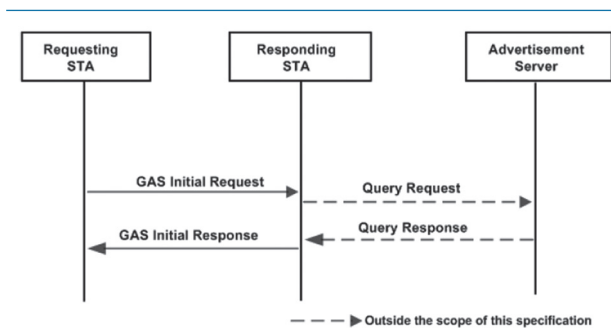


그림 5. GAS 메시지 동작 과정

테이션(request STA)이 GAS 요청 메시지를 보내면 응답 스테이션(Responding STA)이 필요에 따라 Advertisement 서버로 쿼리를 요청하고 받아서, GAS 응답 메시지에 실어서 요청 스테이션에서 보내게 된다. 표준에서는 Advertisement 서버로 요청하고 응답 받는 과정을 정의하지 않고 있다 [5].

5. Concurrent 동작

Wi-Fi Direct에서는 동시(concurrent) 동작에 대해서 정의하고 있는데 <그림 6>과 같이 하나의 단말이 Wi-Fi Direct 그룹에서는 GO 또는 Client로 동작하고 동시에 WLAN 인프라 네트워크에서는 스테이션으로 AP와 동작하는 것이 가능하도록 정의하고 있다. 이 경우에 Wi-Fi Direct 그룹과 WLAN 인프라 네트워크는 같은 주파수뿐만 아니라 다른 주파수에서도 단말들이 동작 할 수 있도록 표준에서 정의하고 있다. 또한 단말이 한 개 이상의 Wi-Fi Direct 그룹에서 동시에 동작 하는 과정에 대해서는 표준에서 정의하지 않고 있다 [2].

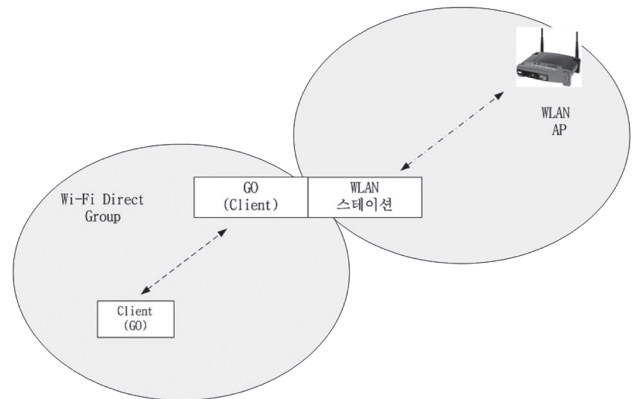


그림 6. Concurrent 동작의 예

Ⅲ. 전력 절감 모드

Wi-Fi Direct에서는 기존의 802.11에서 정의된 client 단말의 전력 절감 기술 외에 새롭게 GO를 위한 전력 절감 모드가 정의되어 있다. 본 절에서는 Wi-Fi Direct에서 새롭게 정의된 GO를 위한 전력 절감 기술에 대해서 알아본다. 전력 절감 방식은 크게 Opportunistic 방식과 Notice of Absence (NoA) 방식으로 나눌 수 있다.

1. Opportunistic 전력 절감

Opportunistic 전력 절감 방식은 <그림 7>과 같이 동작한

다. GO는 적합한 CTWindow (Client Traffic Window)를 설정하고 비콘 프레임에 통해 단말들에게 전송하게 된다. 정해진 CTWindow 시간 동안 active client 단말 들이 없을 경우에 다음 비콘 전송까지 sleep 모드로 동작하여 전력을 절감하게 된다. 이 경우 GO는 연결된 모든 client 단말 들이 전력 절감 모드로 진입할 경우에만 sleep 모드로 변경해서 전력을 절감하게 된다. 만약 비콘 전송 후에 CTWindow 시간 동안 하나의 client 단말이라도 전송을 할 경우에는 GO가 client 단말의 데이터 송수신을 지원해야 하기 때문에 sleep 모드가 아닌 active 상태를 유지하게 된다 CTWindow 시간은 GO의 주기적인 비콘 전송을 위해서 항상 비콘 전송 주기보다는 짧게 설정되어야 한다.

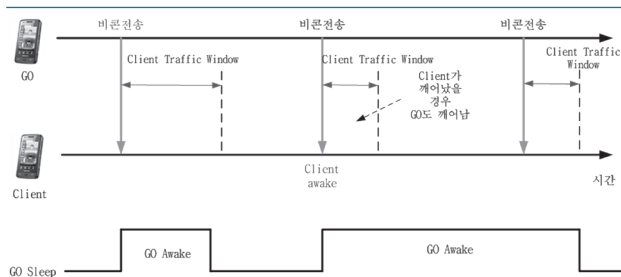


그림 7. Opportunistic 전력 절감 방식

2. Notice of Absence (NoA) 전력 절감

Notice of Absence (NoA) 방식은 <그림 8>과 같이 GO가 스스로 absence 시간을 스케줄링 하여 동작한다. GO는 absence 시작시간, 지속시간, 간격 및 횟수 등의 정보를 주기적으로 발송되는 비콘 프레임에 포함시키고 GO는 예정된 시간만큼 전력 절감을 하게 된다. Client 단말은 비콘을 통해 NoA 정보를 습득하게 된다. 이 때, absence 스케줄링은 단말의 성능 저하를 고려하여 적절히 결정되어야 하며, 특히 Wi-Fi Direct 프로토콜을 지원하지 않는 레거시 단말의 경우, NoA 정보를 습득하지 못해 성능 저하가 있다. 구체적으로, Wi-Fi Direct에서 GO는 AP의 역할을 수행하지만, 전력 절감모드를 사용한 absence 상태인 경우, 레거시 단말의 상향 링크 데이터 전송을 수신하지 못한다. 한편, 동시(concurrent) 동작의 GO는 연결된 Wi-Fi

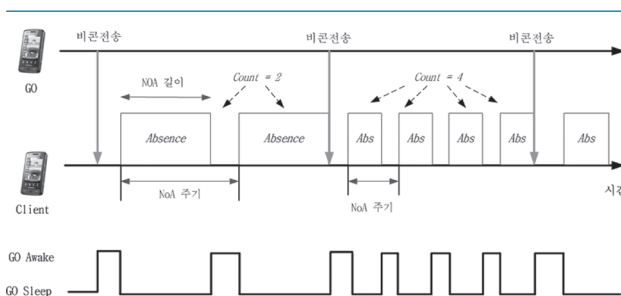


그림 8. NoA 전력 절감 방식

Direct 그룹 또는 인프라 모드에서의 동시 동작을 위해 NoA를 사용할 수 있다. 즉, GO가 동시에 속한 그룹과 인프라 네트워크가 다른 채널에서 동작하는 경우, GO는 absence를 이용하여 정해진 시간 동안 다른 채널에서 동작할 수 있는 것이다.

IV. Wi-Fi Direct 응용

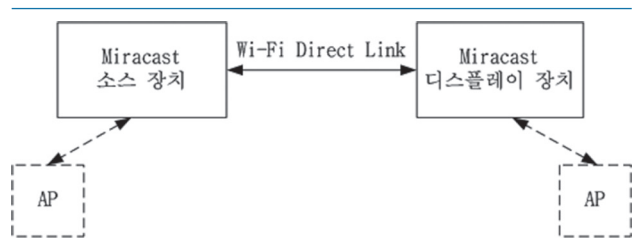
지금까지 Wi-Fi Direct에서 기술에 대해서 살펴보았다. IV절에서는 이러한 Wi-Fi Direct 기술들이 실제 응용 예를 살펴본다.

1. S-Beam

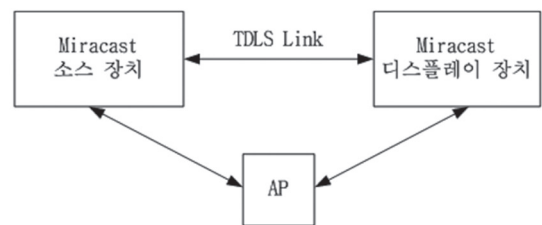
S빔(S-Beam)은 삼성전자와 아레스찬(ARESCHAN)이 공동으로 개발한 기술로 삼성전자의 일부 스마트폰에 탑재되는 근거리 무선통신 기술이다. 통신방법은 NFC (Near Field Communication)를 이용하여 연결시키고, Wi-Fi Direct를 통하여 데이터를 공유하는 기술이다. 즉 S-Beam은 NFC의 빠른 탐색 및 보안 기술을 활용하고 Wi-Fi Direct의 고속 전송기술을 활용해서 근거리에서 단말들 간에 빠른 속도로 그림, 음악, 파일 등을 송수신 할 수 있다.

2. Miracast

최근 Wi-Fi Alliance는 Wi-Fi Direct 기반의 새로운 무선 디스플레이 표준 Miracast (표준명 Wi-Fi Display)를 발표하였다 [6]. Miracast는 Wi-Fi Direct 또는 TDLS를 통한 기기간의 효



(a) Wi-Fi Direct를 이용한 Link Setup



(b) TDLS를 이용한 Link Setup

그림 9. Miracast 연결 토폴로지

울적인 연결로, 그래픽, 텍스트, 오디오 및 동영상의 실시간 스트리밍과 미러링을 지원한다. 소스 정보를 가진 스마트폰, 태블릿 등의 모바일 장치는 Miracast를 통해 디스플레이 장치와 Wi-Fi Direct 직접 연결을 구성하므로 추가적인 Wi-Fi 인프라를 구축할 필요가 없으며, Wi-Fi Alliance로부터 인증 받은 장치는 모두 지원 가능하므로, 제조사와 관계 없이 뛰어난 상호 운용성을 갖추고 있다. <그림 9>는 Wi-Fi Direct와 TDLS를 통한 소스 장치와 디스플레이 장치의 연결 토폴로지를 나타낸다.

Miracast가 지원하는 동영상의 해상도는 최소 640x480 부터 최대 1920x1080 까지로, 프레임 전송률을 30 fps (frames per second) 부터 60 fps 까지 지원하여 고화질 HD (High-definition)를 보장한다. 동영상 인코딩은 ITU-T H.264 Advanced Video Coding (AVC)를 사용하며, 오디오는 2 channels Linear Pulse-Code Modulation (LPCM) 16 bits, 48 kHz 샘플링을 기본으로 지원한다 [7]. 모든 소스 장치는 동영상 및 오디오가 결합된 콘텐츠를 동시에 지원해야 하며, 디스플레이 장치는 동영상만 지원할 수도 있다. <그림 10>은 Miracast의 스트리밍 동작 과정을 보여준다.

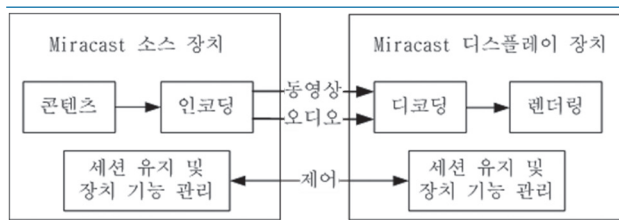


그림 10. 스트리밍 동작 과정

Miracast는 기본적인 Wi-Fi MAC과 PHY를 이용하여 세션을 관리하고 장치의 기능을 운영한다. 소스 장치와 디스플레이 장치간의 연결 설정에 앞서 서로간의 존재 유무를 탐색하고, 서비스 역량(service capability)을 확인한다. 그 후, 로컬 정책이나 사용자의 입력사항에 따라 소스 장치와 디스플레이 장치를 결정하고 Wi-Fi Direct 또는 TDLS를 통해 연결 설정을 진행하여 WPA2 단일 홉 링크를 구성한다 [8]. 링크 구성이 완료되면, 소스 장치를 서버로 하여 TCP 연결을 진행하고, Real-Time Streaming Protocol (RTSP)를 기반으로 하는 제어 포트를 이용해 장치간 세션을 생성 및 관리하는데, RTPS 규약 스택(protocol stack)을 통해, 소스 장치와 디스플레이 장치는 세션이 유지되는 동안 필요한 동영상 및 오디오 정보, 서비스 역량 등을 교환할 수 있다 [9]. RTP 스트리밍을 시작하기 앞서, 만일 소스 장치가 보호를 필요로 하는 콘텐츠를 스트리밍 해야 하는 경우, 소스 장치는 선택적으로 HDCP (High-bandwidth Digital Content Protection) 2.0을 기반으로 세션키를 생성하고 이를 디스플레이 장치와 공유하므로써 콘텐츠를 보호한다 [10].

상기의 과정을 통한 세션 구성이 완료되면 소스 장치는 동영상 및 오디오 스트리밍을 시작하고, 스트리밍이 진행되는 동안, 무선 채널의 상황 또는 전력 소비 등을 바탕으로 RTSP를 통한 서비스 역량의 재교환 없이 콘텐츠의 인코딩 속도를 제어할 수 있다. 대표적으로, H.264 표준에 명시되어 있는 압축률 변경 및 매크로 블록 스키핑을 이용하거나 비디오 프레임 스키핑 이용하는 것 등이 있다. 한편, 만일 사용자나 장치의 요청에 따라 실제 디스플레이 프레임 속도 또는 디스플레이 해상도 등의 변경이 필요한 경우, RTSP를 이용하여 제어 채널을 통해 콘텐츠의 인코딩 속도를 제어한다. 마지막으로, 전송이 완료 되거나, 사용자 또는 장치의 요청이 있는 경우, 소스 장치 또는 디스플레이 장치 중 하나가 세션을 종료한다.

Miracast는 모든 Wi-Fi Alliance 인증 프로그램에 상호 운용성을 지원하여 레거시 장치와 역호환성을 유지한다. 인증 대상 장치로는 HD TV와 모니터, 셋톱박스, 프로젝터 및 기타 Wi-Fi 전자제품은 물론 스마트폰이나 태블릿 PC 등의 모바일 장치 등이 있고, 인증을 위해서는 Wi-Fi CERTIFIED 802.11n, Wi-Fi Direct, Wi-Fi Protected Setup (WPS)의 인증을 반드시 갖추어야 한다. 또한 IEEE 802.1X 제어 액세스, 보안 EAP-기반 사용자 인증 및 OTA 트래픽의 암호화 연결을 제공하는 Wi-Fi Protected Access 2 (WPA2), 관리 액션 프레임의 보호를 목적으로 하는 WPA2 with Protected Management Frame (PMF), Quality-of-Service (QoS) 지원을 위한 Wi-Fi Multimedia (WMM) 및 모바일 장치의 전력소비를 최소화 하는 WMM-Power Save (WMM-PS)의 인증이 추가적으로 요구된다 [11]. 더불어, 인증 프로그램의 하나로 무선 액세스 포인트에 연결되어 있는 장치간 직접 통신을 지원하는 Wi-Fi TDLS가 선택적으로 요구된다.

3. 업계현황

Miracast는 Intel, 삼성전자, nVIDIA, Sony 등 관련 제조사의 폭넓은 호응을 받고 있으나, 무선 디스플레이 기술을 가진 제조사들이 이미 저마다 표준을 확보하고 시장에 개입하여 통일성을 이루는데 일시적인 어려움을 겪고 있다. 대표적인 기존 무선 디스플레이 표준인 Intel Wi-Di는 3.5 버전 이상에서 Miracast를 지원하며, 삼성전자는 Miracast를 기반으로 Allshare Cast를 시장에 출시하였다. 한편, Microsoft의 Mira와 Apple의 AirPlay는 현재 Miracast를 지원하지 않는다. 기타 Miracast를 지원하지 않는 칩셋의 경우에도 Wi-Fi Direct 또는 TDLS를 지원하는 경우, 소프트웨어 업그레이드를 통해 Miracast를 지원할 수 있다. Wi-Fi가 탑재되지 않은 기존 장치도, HDMI

(High Definition Multimedia Interface) 또는 USB (Universal Serial Bus) 등의 렌더링 인터페이스를 포함하는 Miracast Dongle (dongle)을 사용하여 Miracast를 지원할 수 있다.

V. 결론

본고에서 Wi-Fi Direct 기술의 구체적인 동작 절차와 응용에 대해서 살펴보았다. 단말 간의 통신은 차세대 통신의 요소 기술 중 하나로 사용자들에게 다양한 서비스를 제공하고 네트워크의 부하를 줄이는 기술 중의 하나로 부각되고 있다. 이러한 단말 간의 통신 기술 중 Wi-Fi Direct는 완성된 표준을 기반으로 다양한 서비스로 상용화 중이다. 이러한 상용화를 통해 Wi-Fi Direct 기술에 대한 관심이 지속적으로 증대되고 있는 만큼 앞으로도 다양한 서비스와 편의성을 기반으로 많은 사용자들이 이용하도록 추가적인 기술 개발이 되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 홍중우, 성선익, 박승일, 박천우, 김준영, 최성현, 이광복, "D2D 통신 기술 및 표준화 동향," 전자공학회지, 2013년 4월.
- [2] Wi-Fi Alliance, Peer-to-Peer (P2P) Technical, Specification Version 1.1, Oct. 2011.
- [3] D. Camps Mur, A. Garcia and P. Serrano, "Device to device communications with Wi-Fi Direct: overview and experimentation," to appear in IEEE Wireless Communications Magazine, 2013.
- [4] 마진석, 이재호, "Wi-Fi P2P 기술분석," 전자통신동향분석, 2010년 10월.
- [5] IEEE 802.11u-2007, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 9: Interworking with External Networks, 2007.
- [6] Wi-Fi Alliance, Wi-Fi Display Technical Specification, Version 1.0.02a, Mar. 2013.
- [7] ISO/IEC 14496-10:2003, "Coding of Audiovisual Objects—Part 10: Advanced Video Coding," 2003, and ITU-T Recommendation H.264, Advanced video coding for generic audiovisual services.

- [8] IEEE 802.11i-2004- Amendment 6: Medium Access Control (MAC) Security Enhancements, Jul. 2004.
- [9] The Real-time Publish-Subscribe (RTPS) Wire Protocol DDS Interoperability Wire Protocol Specification, Version 2.1, Jan. 2009.
- [10] HDCP v1.3 specification, Digital Content Protection, May, 2008.
- [11] Wi-Fi Alliance, Wi-Fi CERTIFIED Multimedia, <http://www.wi-fi.org/knowledge-center/articles/wi-fi-multimedia%E2%84%A2-wmm%C2%AE>.

약 력



홍종우

2005년 경희대학교 전파공학과 공학사
2007년 한양대학교 전자공학과 공학석사
2007년~2009년 삼성전자 통신연구소
2009년~2011년 삼성전자 네트워크사업부
2011년~현재 서울대학교 전기·컴퓨터공학부
박사과정
관심분야: D2D 통신, 차세대 셀룰러 통신, CoMP



변성호

2011년 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 공학사
2013년 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 석사
2013년~현재 서울대학교 뉴미디어 통신 공동
연구소 연구원
관심분야: D2D 통신, 차세대 셀룰러 통신,
WLAN 기술



박승일

2011년 포항공과대학교 전자전기공학과 공학사
2011년~현재 서울대학교 전기·컴퓨터공학부
석사과정
관심분야: D2D 통신, 차세대 셀룰러 통신, 펌토셀



박천우

2011년 Xidian University, School of
Telecommunications Engineering,
공학사
2011년~현재 서울대학교 전기·컴퓨터공학부
석사과정
관심분야: D2D 통신, 차세대 셀룰러 통신,
WLAN기술



최성현

1992년 KAIST 전기전자공학과 공학사
1994년 KAIST 전기전자공학과 공학석사
1999년 미시간대학교 대학원 전기컴퓨터공학 박사
1999년~2002년 미국필립스 연구소 연구원
2002년~현재 서울대학교 전기정보공학부 교수
2007년 제2회 미국전기전자학회,
대한전자공학회 IT젊은공학자상
2008년 제11회 젊은 과학자상.
관심분야: 4G/5G Wireless, WLAN