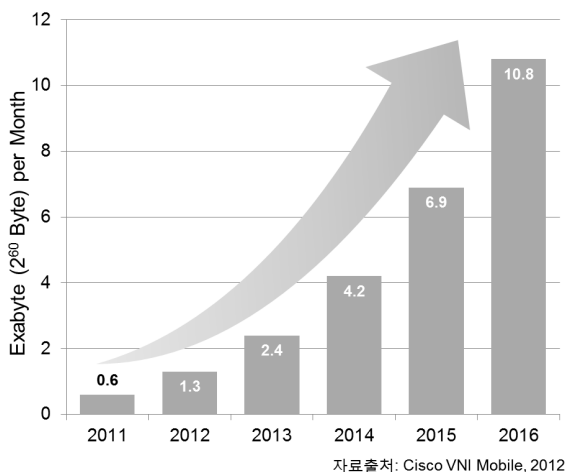


# 차세대 통신 시스템을 위한 D2D 통신: 기술 동향

강진환·장민·김상호 (성균관대학교)

## I. 서론

최근 스마트폰과 태블릿 PC가 보급되고 고용량 멀티미디어 통신이 활성화되면서 모바일 트래픽이 급격하게 증가하고 있다. <그림 1>은 CISCO 사가 전망한 향후 5년간의 모바일 트래픽의 증가 추세로, 이에 따르면 해마다 약 2배 정도의 트래픽 증가가 예상된다. 이러한 모바일 트래픽의 대부분은 기지국을 통해 전송되고 있기 때문에 통신 서비스 사업자들은 당장 심각한 망 부하 문제에 직면해 있다. 이에 통신 사업자들은 증가하는 트래픽을 처리하기 위해 망 설비를 증가하고, 모바일 WIMAX, LTE (long-term evolution)와 같이 많은 양의 트래픽을 효율적으로 처리할 수 있는 차세대 이동통신 표준을 서둘러 상용화해왔다. 하지만 앞으로 더욱 급증하게 될 트래픽의 양을 감당하기 위해서는 또 다른 해결책이 필요한 시점이다.



<그림 1> 향후 5년간 모바일 트래픽의 증가 추이 전망

기기 간 직접(device-to-device: D2D) 통신은 기지국과 같은 기반 시설을 이용하지 않고 인접한 노드 사이에 트래픽을 직접 전달하는 분산형 통신 기술이다. D2D 통신 환경에서 휴대 단말 등 각 노드는 스스로 물리적으로 인접한 다른 단말을 찾고, 통신 세션을 설정한 뒤 트래픽을 전송한다. 이처럼 D2D 통신은 기지국으로 집중되는 트래픽을 분산시켜 트래픽 과부하 문제를 해결할 수 있기 때문에 4G 이후의 차세대 이동통신 기술의 요소 기술로써 각광을 받고 있다. 이러한 이유로 3GPP나 IEEE 등의 표준 단체는 LTE-advanced나 Wi-Fi에 기반하여 D2D 통신 표준 제정을 추진하고 있으며, Qualcomm 등에서도 독자적인 D2D 통신 기술을 개발하고 있다.

D2D 통신은 이동통신 시스템의 성능을 높이는데 기여할 뿐만 아니라 새로운 통신 서비스를 창출할 것으로도 기대된다. 가령 상업적인 서비스로, 상점의 주인은 서버를 통해 가게 안에 있는 손님의 휴대 단말을 탐색하여 맞춤형 세일 정보 등을 전달할 수 있으며, 손님은 쉽게 물건의 위치를 확인할 수 있고 줄을 서지 않고도 서버와 통신하여 쉽게 결재를 진행할 수 있다. 또한 인접성 기반의 소셜 네트워크 서비스나 네트워크 게임 등의 서비스를 지원할 수 있다. D2D 링크를 릴레이로 활용하여 음영지역 단말의 연결성 문제를 해결할 수도 있다. 이처럼 D2D 기술은 다양한 분야에서 새로운 서비스를 제공해 줄 것으로 예상된다.

사실 적외선 통신 ZigBee, RFID (radio frequency identification)와 이에 기반한 NFC (near field communications) 등의 기기 간 통신 기술은 이미 널리 사용되고 있다. 하지만 이 기술들은 굉장히 제한적인 거리(1m 내외) 내에서 특수한 목적의 통신만을 지원하기 때문에 엄밀하게는 기지국의 트래픽을 분산시키는 D2D 통신 기술로 분류하기 어렵다. 이에 본고에서

는 비교적 넓은 범위(10m 이상)에서 범용 데이터 트래픽 통신을 지원하는 기술에 대해서 다루고자 한다.

본고의 이후 내용은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 D2D 기술로 개발된 Bluetooth, Wi-Fi Direct, FlashLinQ 기술에 대해서 알아본다. 이 기술들 중에서 가장 발전된 형태인 FlashLinQ 기술의 자세한 동작에 대해서 III장에서 살펴본다. IV장에서는 D2D 통신 기술의 표준화 동향에 대해 다룬다.

## II. 기존 D2D 기술

### 1. Bluetooth

Bluetooth는 개인 근거리 무선 통신 산업 표준으로, 휴대폰, 랩탑, 태블릿, PC 주변장치 등의 소형 휴대기기 사이를 연결하는 유선 케이블을 대체하는 무선 환경을 조성하는 것을 목적으로 하여 개발되었다<sup>[1]</sup>. 현재는 2009년에 제정된 Bluetooth 3.0 이 널리 사용되고 있으며, 최근 출시되는 대부분의 휴대기기에 탑재되어 있다.

Bluetooth는 비인가 ISM 밴드(industrial, scientific, and medical band)의 2.4GHz 대역을 이용한다. 현재 사용되고 있는 Bluetooth 3.0의 경우 기술 규격 상 최대 100m 떨어진 노드 사이에 최대 24Mbps의 데이터 통신을 지원하지만, 실제 전송속도와 유효 전송범위는 이에 크게 미치지 못한다. 소비 전력은 데이터 통신 시 15mW에서 20mW 사이로 비교적 낮으며, 2010년부터 제정되고 있는 Bluetooth 4.0 에서는 2mW 정도로 훨씬 더 낮은 소비전력으로 통신이 가능하다. 이러한 특징 때문에 Bluetooth는 헤드셋, 키보드 등 주변기기 연결과 같은 근거리, 장시간, 저속 통신 서비스에 주로 사용되고 있으며, 고용량 멀티미디어 통신 서비스에는 적합하지 않은 것으로 평가되고 있다.

### 2. Wi-Fi Direct

IEEE 802.11 Wi-Fi에 기반한 Wi-Fi Direct는 AP (access point) 또는 라우터와 같은 별도의 장비 없이 최대 8대까지 단말 사이의 직접적인 통신을 지원한다<sup>[2,3]</sup>. Wi-Fi와 동일하게 비인가(unlicensed) 대역인 2.4GHz와 5GHz를 통한 동작을 지원하며, Bluetooth에 비해 빠른 전송속도(최대 600Mbps), 넓은 커버리지(최대 100m)를 지원하기 때문에 고용량의 멀티미디어 서비스를 포함한 모든 범용 데이터 트래픽 통신에 적합하다. 또한 IEEE 802.11n 칩셋을 탑재하고 있는 모든 기기에서 간단한 소프트웨어 업그레이드만으로도 Wi-Fi Direct 기술을 사용할 수 있어서 빠르게 보급될 것으로 예상

된다.

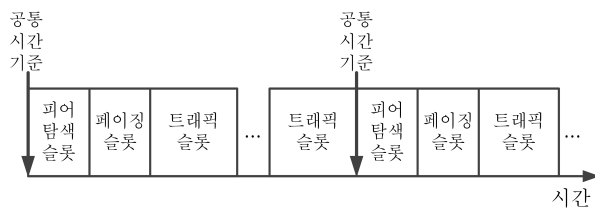
하지만 Wi-Fi Direct의 경우 대부분의 기술이 IEEE 802.11n에 기반하고 있기 때문에 일부 특성이 D2D 서비스에 적합하지 않은 측면이 있다. 일례로 Wi-Fi Direct가 수행하는 장치 탐색(device discovery) 과정은 인프라 AP의 스캔 방식과 거의 동일인데, 이러한 동작은 소비전력 등에서 많은 제약을 갖는 휴대 단말이 수행하기에는 다소 부적절한 측면이 있다. 또한 Wi-Fi Direct가 지원하는 실제 통신 범위가 100m 이내로 짧다는 점에서 기지국의 트래픽 양을 덜어줄 수 있는 D2D 기술로 사용되기는 어렵다.

### 3. FlashLinQ

FlashLinQ는 Qualcomm 사의 독자적인 D2D 기술로 기존의 D2D 통신 기술의 한계를 극복하고 새로운 서비스를 제공하기 위해 개발되었다<sup>[4,5]</sup>. Qualcomm 사는 2011년 2월 개최된 MWC (mobile world congress)에서 1km 범위 내에서 D2D 통신이 가능한 무선통신 기술인 FlashLinQ를 시연하였다. Bluetooth나 Wi-Fi Direct와 달리 통신 사업자에게 할당된 인가 주파수(licensed spectrum) 대역을 사용하며, 훨씬 더 넓은 커버리지(coverage)를 지원한다. 특히 단일-톤(single-tone) OFDMA (orthogonal frequency division multiple access) 신호 생성을 통해 1km 떨어진 노드 사이의 통신을 지원한다. 또한 기존의 D2D 기술과 달리 탐색 범위 내에서 수 천대에 달하는 많은 노드들을 탐색하고 통신할 수 있다. 이러한 FlashLinQ의 주요 요구사항과 기술적인 특징은 5G 이동통신 기술을 위한 D2D 예도 반영될 것이라고 예상된다. 이에 3절에서는 FlashLinQ를 D2D 기술의 예로 들어 상세하게 살펴보도록 한다.

## III. FlashLinQ 기술 소개

Qualcomm 사의 FlashLinQ는 피어 탐색, 페이징, 스케줄링 및 데이터 전송 등의 주요 과정을 통해 기기 간 직접 통신을 수행한다. <그림 2>는 FlashLinQ의 반복적인 통신 타이밍(timing) 구조를 나타낸다. Qualcomm 사의 특허<sup>[6]</sup>에는 타이밍 구조에 대한 다양한 실시 예가 명시되어 있는데, 공통적으로 피어 탐색 슬롯(slot)과 페이징 슬롯은 비교적 긴 주기로 반복된다. 그리고 스케줄링 및 데이터 전송 동작이 이뤄지는 트래픽 슬롯은 페이징 슬롯의 주기시간 동안 여러 번 반복된다. 본 절에서는 <그림 2>의 각 슬롯에서 수행되는 주요 D2D 통신 과정의 동작방식과 특징에 대해서 살펴보도록 한다.



〈그림 2〉 FlashLinQ의 반복적인 통신 타이밍 구조 [6]

## 1. 피어 탐색(Peer discovery)

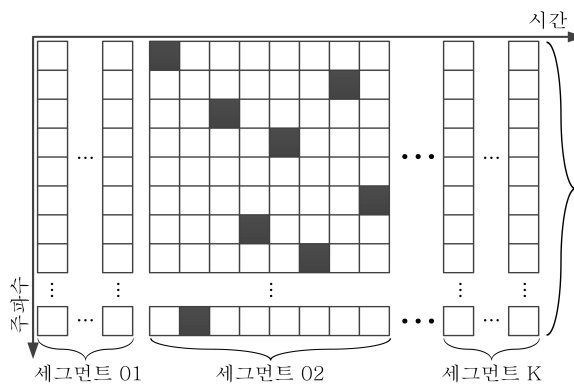
피어 탐색은 D2D 통신을 원하는 노드가 통신 가능한 거리의 노드를 찾아내고 식별하는 과정으로, D2D 통신을 위해 필요한 기본적인 절차이다. 일반적인 피어 탐색 과정은 다음과 같이 이루어진다. 먼저 각 노드는 자신의 네트워크 주소 혹은 이를 대체할 수 있는 특정 정보를 방송(broadcast)하여 자신의 존재를 주변 노드에 알린다. 동시에 각 노드는 방송된 신호들을 복호하여 주변 노드의 네트워크 주소 혹은 이에 준하는 정보를 식별한다. 모든 노드는 이러한 과정을 주기적으로 수행하여 통신 가능한 피어들의 목록을 갱신한다.

FlashLinQ의 피어 탐색 기술은 IEEE 802.11 등의 피어 탐색 기술보다 더 넓은 탐색 범위, 더 많은 동시 탐색 가능한 노드의 수, 더 높은 에너지 효율을 목표로 한다. 이를 위한 FlashLinQ 피어 탐색의 특징은 OFDMA 기술과 단일-톤 신호 생성으로 요약할 수 있다. 본 절에서는 단일-톤 신호 생성 방식을 이용하는 FlashLinQ의 노드 탐색 절차를 비교적 상세하게 소개하고자 한다 [7].

### 가. 단일-톤 신호 생성

FlashLinQ의 피어 탐색 절차는 기본적으로 모든 노드의 동기화가 이루어진 환경에서 진행된다. D2D 통신을 하고자 하는 노드는 GPS (global positioning system), 기지국 등으로부터 동기화를 위한 타이밍 신호를 수신한다. 이를 통해 모든 노드는 정확하게 같은 시점으로부터 동일한 시간동안 피어 탐색을 위한 신호를 방송하고 다른 노드의 탐색 신호를 청취한다. 피어 탐색을 위해 할당된 시간을 탐색 구간(discovery interval)이라고 정의하며, 이는 전체 시간의 일부로서 작은 오버헤드를 유발한다.

정의된 탐색 구간동안의 탐색 절차는 반이중(half-duplex) 방식으로 수행된다. 피어 탐색 구간은 〈그림 3〉과 같이 시간상에서 K개의 세그먼트로 나뉜다. 각 노드는 K개의 세그먼트 중 하나의 세그먼트를 선택하여 자신의 네트워크 주소의 전부 혹은 일부를 실어 방송하며, 남은 K-1개의 세그먼트 동안에는 탐색 신호를 청취하여 다른 노드들을 식별한다. 각 노드가 세그먼트를 선택하는 방법에는 여러 가지가



〈그림 3〉 피어 탐색 과정의 단일-톤 심볼 매핑 [6]

있을 수 있지만, 대표적으로 최소 에너지 규칙이 적용된다. 즉, 노드는 전체 세그먼트 중에서 가장 낮은 에너지를 갖는 세그먼트를 선택한다. 이러한 방법을 이용하면 점진적으로는 같은 세그먼트를 선택하는 두 노드의 거리를 최대화시킬 수 있다.

각 노드는 선택한 세그먼트에 단일-톤 방식으로 네트워크 주소를 매핑(mapping)한다. 먼저 한 세그먼트에 담길 네트워크 주소의 전부 혹은 일부 비트로부터 패리티 비트를 계산하여 부호어(codeword)를 완성한다. FlashLinQ의 한 실시예에 따르면, 32비트의 메시지 비트와 13비트의 패리티 비트로 구성된 45비트 길이의 부호어가 한 세그먼트에 실려서 전송된다. 이 부호어 비트들은 〈그림 3〉과 같이 각 심볼 당 하나의 톤으로 매핑된다. M개의 톤을 갖는 하나의 OFDM 심볼은  $\log_2 M$ 의 비트를 전송할 수 있다. 〈그림 3〉처럼 하나의 OFDM 심볼이 64개의 톤으로 구성되어 있다면, 이 심볼은 최대 6개의 비트를 표현할 수 있다. FlashLinQ의 단일-톤 신호 생성 방식은 이 6비트를 톤의 위치로써 표현한다. 예를 들어, 각 심볼의 첫 번째 톤에 신호를 실으면 이는  $(000000)_2$ 을 표현하고, 두 번째 톤에 실으면  $(000001)_2$ 을 나타내는 것과 같은 방식으로 부호어 비트를 톤으로 매핑한다. 이를 통해서 45비트의 부호어는 8개의 단일-톤으로 매핑된다.

이와 같은 단일-톤 방식의 신호 생성은 크게 두 가지 장점을 갖는다. 첫째, 탐색 신호의 도달 거리가 증가하여 탐색 범위가 넓어진다. 단일-톤 신호 방식은 작은 자유도(degree of freedom)에 전송 에너지를 집중시킴으로써 SNR (signal-to-noise ratio)을 향상시킨다. 가령 64개의 톤을 갖는 OFDMA의 경우, 최대 64배 (18dB)의 에너지 이득을 달성할 수 있다. 둘째, OFDM(A)의 고질적인 문제점인 PAPR (peak-to-average power ratio) 특성이 개선된다. 단일-톤 신호 생성 시 생성된 OFDM 신호는 하나의 정현파 성분만이 값을 가지기 때문에 PAPR이 대폭 감소한다. 이와 같이 단일-톤 신호 생성 방법은 탐색 범위를 넓히고 탐색 용량을 증가시키는 핵심 기술이다.

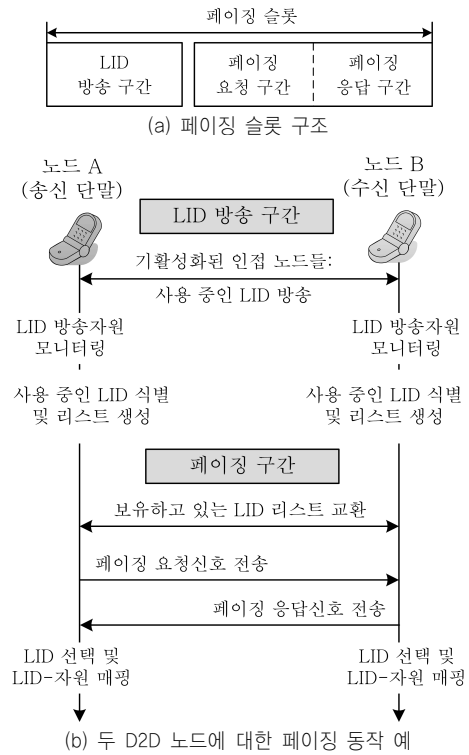
### 나. 신호 복원 및 피어 식별

남은 K-1 세그먼트에 해당하는 시간동안 각 노드는 해당 세그먼트에 담긴 신호를 분석하여 피어를 식별한다. 한 세그먼트에 둘 이상 노드들의 신호가 중첩되어 들어올 수 있으므로, FlashLinQ에서는 다음과 같은 복호 방법을 사용한다. 먼저, 해당 세그먼트의 각 심볼에서 가장 높은 에너지를 갖는 톤들을 연결(concatenation) 한다. 연결된 심볼을 비트로 변환하여 부호어를 얻은 뒤, 부호어에 포함된 패리티 비트를 이용하여 패리티 검사를 수행한다. 노드는 검사를 통과한 부호어의 메시지 비트로부터 피어의 네트워크 주소를 식별하며, 검사에 실패할 경우에는 해당 부호어를 폐기한다. 이러한 과정은 두 번째로 높은 에너지를 갖는 톤, 세 번째로 높은 에너지를 갖는 톤 등의 순으로 계속 진행될 수 있으며, 이를 통해 하나의 세그먼트로부터 다수의 피어를 식별할 수 있다.

FlashLinQ의 피어 식별 과정에서 발생 가능한 문제는 톤 사이의 에너지가 역전될 수 있다는 것이다. 특히 주파수 선택적(frequency selective) 페이징 채널을 통과한 OFDM 신호는 톤들 사이의 에너지가 크게 요동치므로 수신된 톤 사이의 에너지 순서가 뒤바뀔 수 있다. 이를 위해 FlashLinQ의 피어 식별 과정은 각 심볼에 대해 최고 에너지를 갖는 두 개의 (혹은 보다 많은 수) 톤들을 선택하여 다수의 잠재적인 부호어를 생성한다. 가령 <그림 3>과 같이 한 세그먼트에 존재하는 심볼의 수가 8개인 경우, 각 심볼에서 최고 에너지를 갖는 두 개의 톤들을 선택하여 모든 가능한 조합을 생성하면  $2^8$ 개의 잠재적인 부호어를 얻어낼 수 있다. 이 부호어에 대해 패리티 검사를 한다면, 복호 복잡도는 증가하지만 톤들 사이의 에너지 역전 문제에 대처할 수 있다.

## 2. 페이징(Paging)

위에서 설명한 피어 탐색 과정을 통해 D2D 통신을 원하는 노드는 자신의 로컬(local) 인접 영역에 있는 피어들을 식별하고, 그 결과 인접한 피어들에 대한 리스트를 산출하였다. 이어지는 페이징 슬롯에서는 리스트 상의 피어들 중에서 자신과 트래픽 데이터(traffic data)를 전송하기 원하는 노드와 D2D 통신 세션을 개설하기 위한 과정을 수행한다. 일반적인 페이징 과정을 살펴보면, D2D 통신을 원하는 노드는 주변 노드들의 페이징 신호 모니터링, 페이징 신호 방송 등을 통해 노드 간에 페이징 정보를 교환하고 링크를 생성한다. 페이징된 모든 D2D 링크들은 다른 링크들과 자신을 구분 짓기 위해 LID (link identification)를 생성하는데, LID는 송신전력 제어, 링크 스케줄링 등의 링크 관리 과정을 효율적으로 수행하는데 도움을 줄 수 있다<sup>[6]</sup>.



<그림 4> 페이징 슬롯 구조 및 동작 예<sup>[8]</sup>

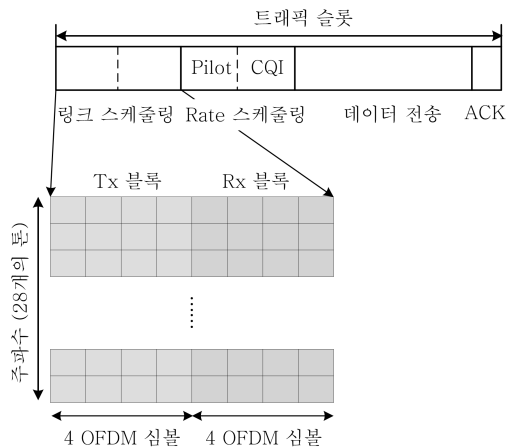
Qualcomm 사는 LID 유형을 크게 세 가지로 구분하였고, 각 유형에 따라 각기 다른 페이징 동작 방식을 정리하였다<sup>[8~10]</sup>. 본 절에서는 직교형(orthogonal)<sup>[8]</sup>, 비직교형(non-orthogonal)<sup>[9]</sup>, 혼합형(hybrid)<sup>[10]</sup> 등의 세 가지 유형 중에서 직교형 LID 기반의 페이징 과정을 간단하게 소개한다.

직교형 LID 방식에서는 <그림 4>-(a)와 같이 페이징 슬롯은 LID 방송 구간과 페이징 요청(request)/응답(response) 구간으로 나뉜다. 먼저, LID 방송 구간에서는 이미 활성화되어 있는 D2D 링크들이 자신의 LID를 인접 노드들에게 알린다. 새로이 D2D 통신 세션을 개설하기 원하는 노드들은 LID 방송 자원을 모니터링(monitoring)하여 현재 사용 중인 LID들을 식별하고 이에 대한 리스트를 생성한다.

페이징 구간에서는 트래픽 데이터를 송수신하기 원하는 두 노드가 생성된 LID 리스트를 교환한다. LID 리스트 교환 과정은 노드마다 다른 수신 전파상황으로 인해 각자 보유한 LID 리스트가 상이할 수 있으므로 LID 리스트를 동기화하기 위해 필요하다. 이와 같은 기활성화된 LID의 방송과 식별된 LID 리스트 교환 과정은 직교형 LID 방식의 특징적인 동작 단계로써 인접한 모든 D2D 링크들이 서로 충돌 없이 각자 고유한 LID를 선택할 수 있게 해준다. <그림 4>-(b)에서는 위의 두 동작을 간단하게 나타내고 있다. 비직교형 LID 방식에서는 LID 방송과 리스트 교환 과정을 수행하지 않고 D2D 통신을 원하는 송신 노드가 의사랜덤(pseudo-random) 방식으로 LID를 생성하고, 수신 노드의 동의를 구한다.

### 3. 스케줄링(Scheduling) 및 데이터 전송

D2D 통신 세션이 개설된 D2D 링크는 <그림 5>와 같이 링크 스케줄링, rate 스케줄링, 데이터 전송, ACK (acknowledgement) 전송 등의 과정을 통해 기지국의 도움 없이 기기 간에 직접 통신을 수행한다<sup>[4]</sup>. <그림 5>는 논리적인 트랙픽 슬롯 구조를 나타낸 것으로 트랙픽 슬롯은 피어 탐색과 페이징 과정보다 짧은 주기를 가지고 반복적으로 수행된다.



<그림 5> 트랙픽 슬롯 구조<sup>[4]</sup>

#### 가. 링크 스케줄링

링크 스케줄링은 각 D2D 링크의 현재 트래픽 및 채널상태에 기반하여 주어진 시간 슬롯에 어느 링크가 통신을 수행할 것인지를 결정하는 과정이다. 링크 스케줄링 과정을 통해 D2D 네트워크는 링크 간의 간섭을 최소화하고 동일한 자원을 효율적으로 재사용할 수 있다. FlashLinQ 기술은 각 링크의 품질을 보장하면서 자원 재사용률을 제고시키기 위한 방안으로 단일-톤 OFDM 채널을 이용하는 아날로그 전송 요청/응답 신호 방식과 SIR (signal-to-interference ratio) 기반의 분산형(distributed) 스케줄링 운용방식을 제안하였다<sup>[4]</sup>.

##### ■ 단일-톤 신호 생성

링크 스케줄링을 위한 신호 구조에 대해 먼저 살펴보면, <그림 5>와 같이 링크 스케줄링을 위한 자원으로 Tx 블록과 Rx 블록이 할당된다. 각 블록은 4개의 OFDM 심볼과 28개의 주파수 톤으로 구성되어 있다. Tx-Rx 블록 쌍(pair)은 하나 이상 존재할 수 있는데, 하나의 트랙픽 슬롯에서 많은 Tx-Rx 블록 쌍을 사용하면 보다 정확한 링크 스케줄링 결과를 도출할 수 있다. 하지만 Tx-Rx 블록 한 쌍이 차지하는 오버헤드가 대략 18%이므로 무리한 반복적인 사용은 전체적인 시스템 운용에 큰 부담이 될 수 있다<sup>[5]</sup>.

D2D 링크의 송신 노드는 이러한 Tx 블록을 통해 아날로그

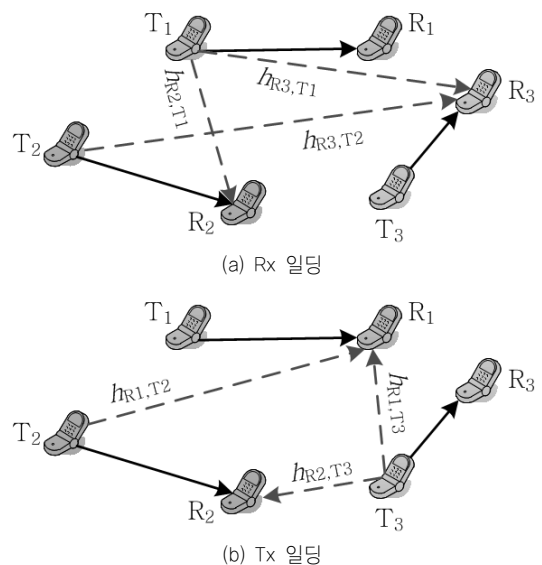
전송요청 신호를 방송한다. 이 때 각 링크의 LID는 <그림 5>의 112개 톤 중에서 특정 위치의 단일-톤에 매핑되며, 각 송신 노드는 해당 단일-톤에서 전송요청 신호를 전송한다. 그리고 톤의 위치는 우선순위(priority)를 나타내는데, 좌상단(우하단)의 톤이 높은(낮은) 우선순위에 해당한다. 예를 들어, 우선순위가 1번과 32번인 D2D 링크는 각각 Tx 블록의 1번 OFDM 심볼의 1번 주파수 톤과 2번 OFDM 심볼의 4번 주파수 톤을 이용하여 전송요청 신호를 전송한다.

D2D 링크의 각 수신 노드는 Tx 블록의 신호들을 청취하고, 이들을 기반으로 D2D 통신가능 여부를 판단하여 Rx 블록의 동일한 톤 위치에 전송응답 신호를 전송한다. 이러한 단일-톤 OFDM 신호 생성방식을 적용하면 모든 D2D 링크들은 서로 간섭을 주지 않으며 링크 스케줄링을 위한 제어 신호를 송수신할 수 있다.

##### ■ SIR 기반의 분산형 운용

D2D 통신 세션을 개설하는 링크들은 페이징 과정에서 LID를 생성하는 동시에 우선순위를 할당받는다. 가장 높은 우선순위의 링크는 항상 트래픽 데이터를 전송하고, 낮은 우선순위의 링크들은 자신보다 높은 우선순위의 링크들과 자신 사이의 간섭 관계를 분석하여 데이터 전송 여부를 결정한다. 여기서 우선순위는 매 시간 슬롯마다 랜덤(random)하게 할당되므로 D2D 링크 사이의 공정성(fairness)을 유지할 수 있다. 그리고 우선순위는 랜덤하게 각 노드에서 분산적으로 생성되지만, 모든 노드가 LID의 함수로 동일한 규칙에 따라 생성하므로 우선순위의 충돌을 피할 수 있다.

예를 들어, <그림 6>과 같이 근접 거리에 존재하는 세 D2D



<그림 6> 세 D2D 링크에 대한 링크 스케줄링 예  
( $T_i / R_i$  :  $i$ 번째 우선순위 링크의 송신/수신 노드)

링크는 1~3번의 우선순위를 할당받는다. 각 송신 노드는 단일-톤 OFDM 신호 생성방식에 따라 Tx 블록의 1~3번 톤을 각각 이용하여 전송요청 신호를 전송한다. 전송요청 신호는 실제로 트래픽 데이터를 전송할 때와 동일한 전력( $P_i$ ,  $i = 1, 2, 3$ )으로 송신되는 아날로그 신호로써 direct power 신호라고 한다.

다음 단계로 D2D 링크의 각 수신 노드는 Tx 블록의 direct power 신호를 청취하여 SIR 값을 계산하고, 계산된 값을 임의의 문턱(threshold) 값과 비교하여 Rx 일딩(yielding) 여부를 결정한다. 예를 들어, 3번 수신 노드는 자신보다 높은 우선순위의 링크로부터의 간섭을 파악하기 위해 Tx 블록의 1, 2번 톤으로부터 수신되는 아날로그 신호의 전력을 측정하여 아래와 같이 SIR 값을 구한다.

$$\frac{|h_{R3, T3}|^2 P_3}{\sum_{j=1}^2 |h_{R3, Tj}|^2 P_j} > \gamma_{Rx}$$

여기서  $h_{Ri, Tj}$ 는  $i$ 번째 송신 노드와  $j$ 번째 수신 노드 사이의 채널 이득이다. 계산된 SIR 값이 문턱 값  $\gamma_{Rx}$ 보다 큰 경우에 3번 수신 노드는 1, 2번의 D2D 링크들로부터 오는 간섭이 허용 가능하다고 판단하여 전송응답 신호를 전송한다. 하지만 위의 조건을 만족시키지 못하는 경우에는 응답하지 않으며, 이는 현재 트래픽 슬롯에서 자신은 데이터를 전송할 수 없으므로 다른 링크에게 통신 권한을 양보한다는 것을 의미한다. 위와 같이 수신 노드가 SIR 값을 측정/비교하고, 전송응답 신호 전송여부를 결정하는 과정을 Rx 일딩이라 한다.

Rx 일딩과 유사하게 송신 노드는 Rx 블록을 통해 수신한 전송응답 신호를 이용하여 Tx 일딩을 수행한다. Rx 일딩에서는 자신의 수신 노드가 높은 우선순위의 링크들로부터 간섭을 받더라도 최소한의 SIR을 보장하면서 데이터를 수신할 수 있는지 여부를 판단하였다. 반면, Tx 일딩에서는 송신 노드 자신에 의한 간섭 영향이 존재하여도 높은 우선순위의 링크들의 통신이 안정적으로 보장될 수 있는지 여부를 파악한다.

Rx 일딩 조건을 만족한 모든 수신 노드들은 전송응답 신호를 Tx 블록의 해당 톤을 통해 수신된 direct power 신호 전력에 반비례하는 전력( $\tilde{P}_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ))으로 전송한다. 이러한 아날로그 전송응답 신호를 inverse power 신호라고 한다. 예를 들어, 우선순위가  $i$ 번인 수신 노드는 Rx 블록의  $i$ 번째 톤을 이용하여 아래와 같은 전력으로 신호를 송신한다.

$$\tilde{P}_i = \frac{K}{|h_{Ri, Ti}|^2 P_i}$$

여기서  $K$ 는 양의 실수 값을 갖는 시스템 상수이다. 예를 들어, <그림 6>에서 1, 2번 수신 노드가 모두 전송응답 신호를 전송한다면, 3번 송신 노드는 1, 2번 톤을 통해 전력이 각각  $|h_{T3, R1}|^2 \tilde{P}_1$ 과  $|h_{T3, R2}|^2 \tilde{P}_2$ 인 신호를 수신한다. 그리고 이로부터 3번 송신 노드는 자신의 간섭 영향으로 인해 1, 2번 D2D 링크들의 수신 노드가 얻을 수 있는 SIR 값을 추정한다.

$$SIR_i = \frac{1}{|h_{T3, Ri}|^2 P_i} \times \frac{K}{P_3} = \frac{|h_{Ri, Ti}|^2 P_i}{|h_{T3, Ri}|^2 P_3} > \gamma_{Tx}$$

여기서 D2D 통신 네트워크는 TDD (time division duplex) 시스템이라 가정하고,  $h_{T3, Ri}$ 와  $h_{Ri, T3}$ 의 두 채널 이득은 동일하다. 3번 송신 노드는 위와 같이 계산된 SIR 값을 문턱 값  $\gamma_{Tx}$ 과 비교하고, 모든  $SIR$  ( $i = 1, 2$ ) 값에 대해서 위의 조건을 만족하는 경우 트래픽 슬롯의 데이터 전송 구간에서 데이터를 전송할 수 있다.

위에서 설명한 SIR 기반의 분산형 링크 스케줄링은 D2D 링크 간의 간섭을 효율적으로 제어하고 동시에 자원 재사용률을 증대시키는 장점을 갖는다. 하지만, FlashLinQ 기술이 통신 사업자로부터 할당된 인가 주파수 대역을 사용하며 시간 동기화가 완벽히 이뤄진 시스템을 고려하고 있기 때문에 이중의 무선통신 시스템이나 비조정(uncoordinated)된 신호에 의한 간섭은 효율적으로 제어하지 못하는 한계점을 갖는다. 따라서 비인가 대역에서의 D2D 통신 운용, 다중경로 페이딩 채널에 의한 동기화 오류 등의 다양한 실제적인 통신 환경을 고려하여 D2D 링크 간의 간섭뿐만 아니라 외부의 다른 간섭도 제어할 수 있는 스케줄링 기술 개발이 필요하다.

## 나. Rate 스케줄링

Rx/Tx 일딩 조건을 만족하여 트래픽 데이터를 전송하도록 스케줄링된 링크의 모든 송신 노드는 채널 부호율과 변조(modulation) 방식을 결정한다. 각 송신 노드는 광대역(wide-band) 파일럿(pilot) 신호를 전송하고, 각 수신 노드는 이에 응답하여 CQI (channel quality indicator) 정보를 전송한다. 각 링크는 해당 슬롯에서 스케줄링된 링크들의 실질적인 간섭만을 고려하여 신호-간섭 관계를 파악하므로 링크 스케줄링 과정에서보다 정확한 SIR 값을 측정할 수 있다. 이에 따라 현재 채널상태에 적합한 부호율과 변조 방식을 선택 가능하다.

## 다. 데이터 전송

데이터 전송은 D2D 통신에 할당된 전대역(full-band)을

이용하여 수행된다. 링크 스케줄링 과정을 통하여 서로 다른 D2D 링크 간에 최소한의 간섭을 미칠 수 있도록 보장되었기 때문에 전대역 데이터 전송이 가능하며, 이에 따라 전체 네트워크 용량이 향상될 수 있다.

#### 라. Acknowledgement 전송

데이터 통신을 수행한 D2D 링크의 각 수신 노드는 데이터 패킷을 성공적으로 수신하게 되면 자신과 링크되어 있는 송신 노드에 ACK 신호를 전송한다. ACK 신호는 이를 위한 전용(dedicated) 시간 슬롯에서 LID에 기반하여 할당된 직교 주파수 자원을 이용하여 전송되기 때문에 다른 ACK 신호들과 충돌하지 않는다.

### IV. D2D 통신 기술의 표준화 동향

D2D 통신 기술은 기지국이나 AP 등 기존의 인프라에 의존하지 않고 휴대 단말 상호 간에 직접 통신을 가능하게 하므로 기존 무선통신 망의 부하 절감, 통신 커버리지 향상, 저전력 통신 등의 다양한 이점을 갖는다. 이러한 이점으로 인해 D2D 통신에 대한 관심이 최근 급속도로 증가하고 있으며, 국제 표준화 기구인 3GPP LTE와 IEEE에서도 2011년부터 D2D 통신 기술과 관련된 표준화를 진행하고 있다<sup>[11,12]</sup>.

Qualcomm 사는 앞선 절에서 소개한 FlashLinQ 기술을 기반으로 2011년 8월에 개최된 3GPP LTE SA (service aspects) WG1 (working group 1)의 55차 회의에서 근접성-인지(proximity-aware) 응용 서비스를 제공하기 위한 LTE 아키텍처로 LTE Direct를 스테디 아이টে็ม으로 제안하였다<sup>[13,14]</sup>. Alcatel Lucent, China Telecom, Nokia, Motorola Solutions 등의 국제적인 여러 무선통신 기업들이 LTE Direct 제안을 지원하였고, 그 결과 스테디 아이টে็ม으로 채택되어 근접성 기반의 서비스에 대한 타당성 연구(feasibility study on proximity-based services: FS\_ProSe)를 SA\_WG1의 56차 회의부터 진행해 오고 있다. 하지만, 아직까지는 D2D 통신에 대한 요구사항 및 서비스 측면의 use case에 대해서만 논의되고 있는 실정이다.

3GPP에서는 현재 D2D 통신과 유사한 형태의 MTC (machine type communications) 기술에 대한 연구도 선행적으로 활발히 진행되고 있다<sup>[1,13]</sup>. 2005년부터 2007년까지 M2M (machine to machine)을 위한 타당성 연구를 시작으로 2009년 말부터 MTC라는 이름으로 본격적인 표준화 작업을 진행해 오고 있다. 최근 release 10에서의 NIMTC (network improvement for MTC) 연구를 위한 표준화 회의를 마무리하

Key features in IEEE 802.15 PAC	
Infrastructureless architecture	
Fully distributed coordination	
Peer-to-peer communications	
Autonomous associations	
Peer discovery	Signaling rate $\approx$ 100kbps
	No. of devices > 100
Data transmission	Data rate $\approx$ 10Mbps
	Localization $\approx$ 10m
	Group comm.: n to m
Operating band	Unlicensed band
	Lightly-licensed band

〈그림 7〉 IEEE 802.15 PAC 표준의 주요 기술적 특징

고 release 11을 대상으로 SIMTC (system improvement for MTC) 진행을 계획하고 있다<sup>[15]</sup>.

한편, 다른 국제 표준화 기구인 IEEE에서도 D2D 통신 서비스를 정의하기 위한 표준화 작업을 진행 중이다. 2011년 9월 IEEE 802.15 PSC (personal service communication) 스테디 그룹 회의에서 참여 기업들은 PAC (peer aware communication)라는 새로운 스테디 그룹을 구성하기로 동의한다. 이와 함께 D2D 통신 기술과 관련된 응용 기기, use case, 시장 전망, 비즈니스 모형 등에 대한 발표를 공모하고 PAC 표준의 범위 및 주요 이슈들을 논의하였다. PAC 표준에서 고려하고 있는 D2D 통신의 주요 기술적 특징은 〈그림 7〉과 같다. 인프라 구조가 없는 아키텍처, 분산형 운용/조정, 탐색/전송 과정의 요구사항 등의 주요 특징들은 FlashLinQ가 달성하고자 하는 기술적, 성능적 목표와 거의 일치한다<sup>[4,5]</sup>.

2011년 11월에 기존에 진행해오던 PSC 스테디 그룹을 폐기하고 새롭게 출범한 SG5 (study group 5)는 2012년 3월 정식 Task 그룹으로 출범할 예정이다. 현재 PAC 표준화 작업에는 전 세계에서 Intel, Sony 등을 포함한 18개 업체가 참여하고 있으며 국내에서는 한국전자통신연구원(ETRI)과 삼성전자, LG전자가 참여 중이다.

### V. 맺음말

본고에서는 기지국이나 AP 등의 중계 없이 인접한 기기 간에 직접 통신할 수 있는 D2D 통신 기술에 대해서 살펴보았다. 특히, 최근 Qualcomm 사가 제안한 FlashLinQ 기술을 기존의 근거리 무선통신 기술들과 비교하고, 피어 탐색, 페이징,

스케줄링 등의 과정에서 FlashLinQ 만의 특징적인 동작방식에 대하여 소개하였다. FlashLinQ 기술 개발을 위해 고려되었던 기능과 요구사항 등은 5G 이동통신 기술을 위한 D2D 무선통신 시스템에서도 고려될 것으로 예상된다.

기존 이동통신 망의 효율성 증대, 근접성-인지 서비스 제공, 저전력 고속 통신 등의 다양한 이점 때문에 D2D 통신에 대한 관심은 현재 지속적으로 증대되고 있다. 이에 따라 D2D 시장은 향후 몇 년간 고속 성장을 거듭하여 세계적으로 큰 시장으로 성장할 것으로 예상된다. 우리나라가 IT 강국으로서의 면모를 계속 이어가기 위해서는 Qualcomm 사의 FlashLinQ 기술에 대항할 수 있는 D2D 통신 기술 개발 및 지적재산권 선점이 요구되며, 동시에 LTE Direct, PAC 등과 같은 표준화 작업에 대한 우리나라 업체들의 적극적인 참여 및 지원이 필요하다.

### 참고문헌

- [1] 박영준, 박애순, 강숙양, 김이강, 류승완, "모바일 데이터 수용을 위한 LTE-Advanced에서의 네트워크 용량 증대 기술개발 동향," 한국전자통신연구원, 전자통신 동향분석, 제 27권, 제 1호, pp.122-135, 2012년 2월.
- [2] Wi-Fi Alliance, "Wi-Fi certified Wi-Fi Direct™," white paper, Oct., 2010.
- [3] 마진석, 이재호, "Wi-Fi P2P 기술 분석," 전자통신동향 분석, 제 26권, 제 5호, pp.74-82, 2011년 10월.
- [4] X. Wu, *et al.*, "FlashLinQ: a synchronous distributed scheduler for peer-to-peer ad hoc networks," in *Proc. IEEE Allerton Conf.*, Illinois, USA, Sep. 29-Oct. 1, 2010, pp.514-521.
- [5] X. Wu, "FlashLinQ: A clean slate design for ad hoc networks," presentation slide by Qualcomm, May, 2010.
- [6] R. Laroia, *et al.*, "Methods and apparatus related to peer discovery and/or paging in peer to peer wireless communications", US Patent App. Pub., US 2009/0013081 A1.
- [7] X. Wu, *et al.*, "Coding methods of communicating identifiers in peer discovery in a peer-to-peer network," US Patent App. Pub., US2009/0016249 A1.
- [8] R. Laroia, *et al.*, "Apparatus and methods of generating and maintaining orthogonal connection identification (CIDs) for wireless networks", US Patent App. Pub., US 2009/0017801 A1.
- [9] R. Laroia, *et al.*, "Apparatus and methods of generating and maintaining non-orthogonal connection identification (CIDs) for wireless peer-to-peer networks", US Patent App. Pub., US 2009/0016315 A1.

- [10] X. Wu, *et al.*, "Apparatus and methods of generating and maintaining hybrid connection identification (CIDs) for peer-to-peer wireless networks", US Patent App. Pub., US 2009/0019168 A1.
- [11] 3GPP LTE, <http://www.3gpp.org/SA1- Services>
- [12] IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee, <http://www.ieee802.org/15/>
- [13] S1-112016, "3GPP study item discussion on LTE-Direct device-to-device discovery and communication," Aug., 2011.
- [14] S1-112017, "Study on LTE Direct," Aug., 2011.
- [15] 김동규, 김형중, 홍대식, "3GPP M2M 통신을 위한 기술 및 발전 방향," 한국통신학회, 한국통신학회지(정보와통신), 제 28권 제 9호, pp.21-28, 2011년 8월.



강진환

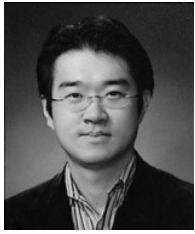
2008년 상균관대학교 전자전기공학과 학사.  
2010년 상균관대학교 IT융합학과 석사.  
2010년~현재 상균관대학교 IT융합학과 박사 과정.  
<관심분야> 다중 안테나 시스템, 협력 통신



장민

2009년 상균관대학교 전자전기공학과 학사.  
2011년 상균관대학교 IT융합학과 석사.  
2011년~현재 상균관대학교 IT융합학과 박사 과정.  
<관심분야> 오류정정부호, 정보이론, 부호이론





김 상 호

.....

1998년 서울대학교 전기공학부 학사.  
2000년 서울대학교 전기공학부 석사.  
2004년 서울대학교 전자·컴퓨터공학부 박사.  
2004년 3월~2006년 7월 삼성전자 책임연구원.  
2006년 8월~2007년 8월 박사후 연구원(USC).  
2007년 9월~2011년 9월 성균관대학교 정보통신공학부  
조교수.  
2011년 10월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 부교수.  
(관심분야) C-오류정정부호, 다중 안테나 시스템, 시퀀스,  
협력 통신