

LTE-Advanced 네트워크에서 D2D 통신 기술 동향



양 모 찬
숭실대학교



임 이 랑
숭실대학교



오 선 애
숭실대학교



김 현 민
숭실대학교



신 오 순
숭실대학교

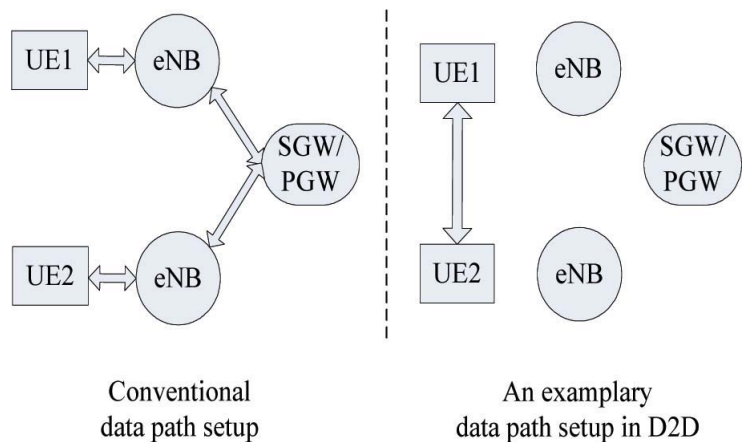


신 요 안
숭실대학교

I. 서론

단말간 직접통신 또는 D2D (Device-to-Device) 통신은 기지국 또는 AP (Access Point) 도움 없이 일반적으로 단말기와 같은 장치들을 이용해서 직접적으로 통신을 하는 기술을 의미한다. D2D 통신은 셀룰러 통신에서 단말들 사이의 물리적 근접성을 기반으로 운영되며, 네트워크의 자원 효율성 증대, 단말기 소비 전력 감소, 셀룰러 통신 영역 확대 등의 측면에서 많은 장점을 가지고 있다^[1]. 기본적으로 D2D와 기존 셀룰러 통신 방식의 차이는 다음 <그림 1>과 같이 도식화할 수 있다.

<그림 1>에서 전통적인 셀룰러 통신 방식의 경우 eNB (enhanced NodeB)와 SGW (Serving GateWay)/PGW (Packet data network Gate Way)를 경유하여 서로 다른 UE (User Equipment)가 통신하는 반면, D2D 통신 방식의 경우는 셀룰러 네트워크 도움 없이 P2P



<그림 1> 전통적인 셀룰러 통신 방식과 D2D 통신 방식^[1]



(Peer-to-Peer) 형태로 직접적으로 통신을 한다^[2].

D2D 통신 기능은 현재까지 GSM (Global System for Mobile Communications), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), 3GPP LTE (3rd Generation Partnership Project Long Term Evolution)와 같은 이동통신 표준에 포함되지 않았다. 이와 같은 이유는 D2D가 현재 시장 분석에 따르면 부분적으로 지역적인 통신 서비스 수익을 감소시킬 수 있다고 인식되었기 때문이다. 최근에 무선 사업자들의 D2D 기능에 대한 시각은 모바일 시장에서의 새로운 추세에 의해 변화하고 있다. 특히, 스마트폰에서 무선 사업자가 위치 인식 및 작업 상태를 기반으로 상황인지 어플리케이션을 제공할 수 있게 되면서 D2D에 대한 인식의 전환이 이루어졌다. Wi-Fi Direct 또는 Bluetooth와 같은 전통적인 D2D 기술들은 상황인지 어플리케이션을 제공하기에는 다소 부적합한 면이 있다. 현재 50억명 이상의 셀룰러 사용자들에게 Wi-Fi Direct 또는 Bluetooth를 통해 D2D 기능을 제공할 수 있지만, 사용자 측면에서 불편함을 느낄 수 있는 부분들이 다수 존재한다. 또한, 기존의 2.4 GHz 대역은 비면허 대역으로 사용이 자유로운 반면 간섭이 통제되지 않으며, D2D 기술 요건을 충족시키기에는 적절하지 않은 점들이 존재한다. 따라서 D2D 기능을 요구하는 다양한 시장을 충족시키기 위해서는 무선사업자들과 판매회사들이 셀룰러 네트워크에서 D2D 기능을 도입하고 점진적으로 강화할 필요가 있다.

현재 D2D와 관련된 연구들이 활발히 진행되고 있으며, 본고에서는 D2D 통신 기술 개발 동향을 단말 탐색, 데이터 통신 절차, 자원할당 및 전력제어 측면에서 순차적으로 접근하고자 한다. 본문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 지금까지 소개된 D2D 단말 탐색 기술에 대해 소개한다. III장에서는 LTE 프로토콜에 적합한 D2D 데이터 전송 절차에 대해 설명한다. IV장과 V장에서는 셀룰러 기반 네트워크에서 D2D 자원할당과 전력제어 연구를 각각 소개한다. 마지막으로 VI장에서는 결론을 맺는다.

II. 단말 탐색 기술

단말 탐색 (Device Discovery) 단계는 D2D 통신을 위해 선행되어야 하는 절차로서 D2D 통신을 하고자 하는 단말이 정보를 주고받고자 하는 주변 단말을 탐지 및 식별하는 과정을 의미한다. D2D 통신의 효율을 높이기 위해서는 짧은 시간에 적은 량의 무선자원 및 인프라 망을 사용하여 단말 탐색을 수행하는 것이 필수적이다.

기존의 D2D 시스템을 살펴보면, Bluetooth에서 주변 장치를 찾기 위한 Inquiry Process^[2], Wi-Fi Direct의 Device Discovery^[3] 기술 등이 대표적인 단말 탐색 기술에 해당된다. Bluetooth의 Inquiry Process에서는 IAC (Inquiry Access Code)를 이용하여 주변 단말을 검색하고 주파수 도약 시퀀스를 동기화한다. Wi-Fi Direct의 Device Discovery는 AP 탐색 시와 유사한 스캔 방식을 이용하며 구현되며 탐색된 단말을 선택적으로 연결할 수 있다. 이러한 단말 탐색 기법은 비면허 대역을 사용하는 시스템의 특성상 인프라 네트워크의 제어 없이 단말들이 독립적으로 수행하는 특징을 갖는다.

LTE-Advanced와 같은 셀룰러 시스템에서 D2D 통신을 하기 위한 단말 탐색 과정은 Bluetooth나 Wi-Fi Direct와 마찬가지로 분산적으로 수행할 수도 있지만, 기지국의 적절한 개입을 통해 단말들을 효과적으로 제어함으로써 탐색 효율을 높일 수 있을 것으로 기대된다. 또한 기지국을 통해서 통신을 하는 셀룰러 단말에 미치는 간섭을 최소화해야 하는 제약 조건을 갖고 있다. 셀룰러 시스템에서 현재까지 제안된 대표적인 단말 탐색 기술은 Qualcomm사의 FlashLinQ에서 제안된 단말 탐색 기술^[4-6]과 Nokia사에서 제안한 셀룰러 인프라 기반의 단말 탐색 기술^[7-9]이 있다. 2.1절과 2.2절에서는 각각 FlashLinQ와 셀룰러 인프라 기반의 단말 탐색 기술에 대해 살펴본다.

2.1. FlashLinQ 단말 탐색 기술

Qualcomm사에서는 셀룰러 주파수 대역에서 운용할

수 있는 FlashLinQ라는 독자적인 D2D 통신 기술을 제안하고 2011년 2월 MWC (Mobile Wireless Congress)에서 시연하였다. Qualcomm사는 FlashLinQ 기술을 바탕으로 향후 LTE-Advanced에서 전개될 D2D 통신 기술 표준화 우위를 선점하려고 노력하고 있다. FlashLinQ의 단말 탐색 기술은 반경 1km 이내의 단말 탐색이 가능하여 기존의 Bluetooth 나 Wi-Fi Direct에 비교하여 훨씬 넓은 범위의 D2D 통신을 지원한다. 또한 주변 수천 개의 단말을 동시에 탐색할 수 있는 장점을 갖는다.

FlashLinQ 단말 탐색 기술은 단일톤 (Single-Tone) OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기반의 동기화된 단말 탐색 기술로 요약될 수 있다. 모든 단말은 GPS (Global Positioning System) 등 외부의 참조 신호 (Reference Signal)를 통해 먼저 동기화 되어야만 한다. 동기화된 시간을 기준으로 단말 들은 탐색 구간 (Discovery Interval)이라 불리는 공통의 시간에 주기적으로 단말 탐색을 위한 신호를 방송 및 청취하여 단말 탐색 절차를 수행한다. 각 탐색 구간은 복수 개의 세그먼트 (Segment)로 구성되며 각 단말은 그 중 하나의 세그먼트를 골라 자신의 네트워크 주소를 실어서 탐색 신호를 방송한다. 나머지 세그먼트 구간에서는 다른 단말들이 보내는 신호를 청취하여 D2D 통신을 원하는 주변 단말을 식별한다.

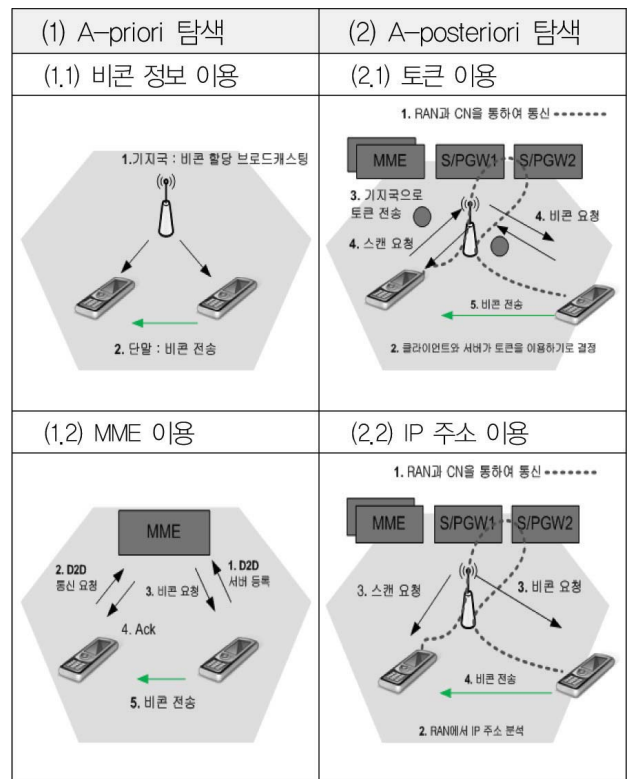
각 단말은 선택된 세그먼트에 네트워크 주소를 매핑 (Mapping)하여 탐색 신호를 구성하는데, 이를 OFDMA의 단일톤에 매핑하는 방식을 이용한다. 이진 데이터로 표현되는 단말의 네트워크 주소에 패리티 (Parity) 비트를 붙여 부호어 (Codeword)를 생성하고 이를 OFDMA 톤의 위치로 매핑하여 전송한다. 따라서 탐색 신호를 전송하는 톤의 위치가 OFDMA 심벌마다 변하는 일종의 주파수 도약 (Frequency Hopping) 신호가 생성되며 도약 시퀀스는 단말의 네트워크 주소에 의해 결정된다. 단일톤 OFDMA 전송을 함으로써 단말은 매 세그먼트에 송신 전력을 하나의 톤에 집중시킬 수 있고, 또한 PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) 감소에 따른 송신전력 증가로 인해 탐색 범위를

확장할 수 있다^[6].

탐색 구간 중에서 신호를 전송하는 세그먼트를 제외한 나머지 세그먼트 구간에서 각 단말은 다른 단말의 신호를 청취하여 주변 단말의 네트워크 주소를 식별한다. 주변에서 다수 개의 단말이 D2D 통신을 하고자 하는 경우 수신 신호에는 여러 단말로부터의 탐색 신호가 중첩되어 있을 수 있다. 이를 해결하기 위해서 OFDMA 심벌마다 각 톤에 수신되는 신호의 에너지를 추정하여 이를 에너지 크기순으로 정렬하고 그 순서에 따라 순차적으로 부호어를 추출한다. 이러한 방법을 통해 단말은 중첩되어 수신되는 주변 단말의 네트워크 주소를 동시에 식별하는 것이 가능하다.

2.2. 셀룰러 인프라 기반 단말 탐색 기술

Nokia사가 제안한 셀룰러 인프라 기반 단말 탐색 기술은 탐색 대상이 되는 단말의 범위에 따라 A-priori 탐색과 A-posteriori 탐색 기술로 분류할 수 있다^[7-9].



〈그림 2〉 셀룰러 인프라 기반 단말 탐색 기술의 분류^[7]

A-priori 단말 탐색 기술이란 FlashLinQ와 마찬가지로 D2D 통신을 하고자 하는 주변 모든 단말에 대해서 탐색을 수행하는 기술을 의미한다. 반면, A-posteriori 단말 탐색 기술은 이미 상호 간에 세션이 존재하는 단말로 탐색 대상을 한정하는 단말 탐색 기술이다.

Nokia사에서 제안한 A-priori 단말 탐색 기술은 <그림 2>와 같이 두 가지 방법으로 나눌 수 있다. 한 가지 방법은 단말이 비컨(Beacon) 신호를 통해 자신의 정보를 주변 단말들에게 방송하는 방법이다. 단말은 자신의 비컨 신호 전송을 위한 자원을 기지국으로부터 할당받는다. 또한 단말은 다른 단말의 비컨 신호에 대한 정보를 기지국으로부터 수집하여 다른 단말이 보내는 비컨 신호로부터 해당 단말을 식별할 수 있다. 또 다른 A-priori 단말 탐색 방법은 MME(Mobility Management Entity)와 같은 코어 네트워크 요소를 D2D 관리자로 이용하는 방법이다. 먼저 D2D 통신을 원하는 단말들은 MME에 자신의 정보를 등록한다. 특정 단말이 MME에 D2D 통신을 요청하면 MME는 이미 등록된 단말들의 정보를 바탕으로 요청한 단말과 D2D 통신이 가능한 단말의 존재 여부를 확인하고 해당 단말에 비컨을 전송하도록 요청한다. 그 다음은 앞서 설명한 방법과 마찬가지로 비컨을 전송하고 수신함으로써 단말 탐색이 수행된다. MME를 이용한 방법은 기지국이 비컨을 할당하는 방법에 비해 네트워크 부하가 커지는 반면 보다 많은 정보가 사전에 단말에게 제공되기 때문에 탐색을 위한 단말의 부하는 감소하게 된다.

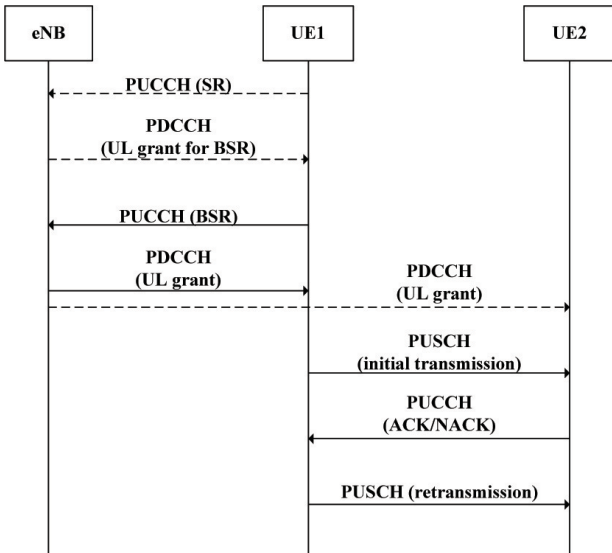
A-posteriori 단말 탐색 기술은 동일한 셀 내에서 이미 세션이 존재하는 단말간 D2D 통신에만 적용 가능하다. 셀룰러 망을 통해 이미 세션이 형성되어 있기 때문에 단말 탐색 과정은 해당 단말이 동일한 셀 내에 있는지 확인하는 과정이라고 할 수 있다. D2D 통신을 하고자 하는 단말이 동일 셀 내에 존재하는지 여부에 대한 판단은 <그림 2>와 같이 토큰(Token) 또는 IP 주소를 이용할 수 있다. 토큰을 이용한 방법의 경우 D2D 통신을 하고자 하는 단말이 셀 고유의 토큰을 서로 교환하고 기지국은 이 토큰을 식별함으로써 두 단말이 동일 셀에 속해 있는지 판단할 수 있다. 두 단말이

동일 셀에 속해 있다고 판단되면 한 단말에 비컨을 전송할 것을 요청한다. 해당 단말은 비컨을 전송하고 또 다른 단말이 이를 성공적으로 수신하면 D2D 통신이 가능한 것으로 판단한다. IP 주소를 이용한 방법은 셀 고유의 토큰 대신에 단말의 IP 주소로부터 D2D 단말이 동일한 기지국에 속해 있는지 판단하는 방법이다.

A-priori 탐색 기술은 세션 존재 여부에 관계없이 모든 단말을 탐색할 수 있다는 장점이 있지만 탐색을 위한 오버헤드가 크고, A-posteriori 단말 탐색 기술은 이미 세션이 존재하는 단말을 낮은 오버헤드로 고속 탐색할 수 있는 장점이 있지만 탐색 대상이 동일 셀 내의 단말로 한정된다. 이러한 이유로 두 기술은 상황에 따라 상호 보완적으로 사용될 수 있을 것으로 생각된다. FlashLinQ의 단말 탐색 기술과 비교하면 셀룰러 인프라를 이용한 방법은 보다 효율적으로 단말 탐색을 할 수 있지만, 전반적으로 네트워크 부하를 가중시킬 수 있고 또한 기존 셀룰러 링크와 간섭 문제를 유발할 수 있다. 반면, FlashLinQ 단말 탐색의 경우는 단말들이 주기적으로 탐색할 수 있는 탐색 구간이 필요하고 단말의 부담이 상대적으로 크다. 따라서 셀룰러 시스템에서 D2D 통신을 위한 단말 탐색 기술은 자원 사용의 효율성, 단말 및 네트워크 부하, 간섭 등을 고려하여 설계되어야 할 것이다.

Ⅲ. LTE-Advanced 네트워크에서 D2D 데이터 전송 절차

LTE 통신 프로토콜에 적합한 D2D 데이터 전송 절차는 <그림 3>과 같다. eNB가 기본적으로 중앙집중식으로 자원할당을 하며 모든 D2D 링크에 대해서도 자원할당 권한을 갖는 것을 원칙으로 한다^[10]. <그림 3>의 과정을 살펴보면, 첫번째 UE1은 eNB에게 UE2로 전송할 데이터를 가지고 있음을 알려준다. LTE 프로토콜에 따라서 UE1은 BSR(Buffer Status Report) 정보를 eNB에게 PUSCH(Physical Uplink Shared Channel)을 통해서 보낼 수 있다. 만약, BSR 전송에 필요한 상향링크 자원이 할당되어 있지 않다면 UE1은



〈그림 3〉 LTE 시스템에 적합한 D2D 데이터 전송 절차¹⁰⁾

한 비트의 SR (Scheduling Request) 메시지를 PUCCH (Physical Uplink Control Channel)을 통해서 전송할 수 있다.

일단 eNB가 UE1으로부터 SR 시그널링을 받게 되면 eNB는 상향링크 자원을 BSR 전송을 위해서 할당하게 된다. eNB는 UE1으로부터 BSR을 수신한 후에 UE1과 UE2의 데이터 전송을 위한 자원을 할당하게 된다. D2D 통신에 대해서 eNB는 UE1과 UE2 사이 D2D 링크의 CQI (Channel Quality Information)를 주기적으로 혹은 비주기적으로 PUCCH를 통해서 획득할 수 있다. UE1 그리고 UE2는 SRS (Sounding Reference Signal)을 통해서 채널 추정을 수행하는 것을 고려할 수 있다.

eNB가 자원할당을 수행한 후 UE1과 UE2에게 PDCCH를 통해 자원할당 정보를 전달하는 것을 고려한다. LTE 시스템에서는 C-RNTI (Cell Radio Network Temporary Identifier)와 같은 Identity를 통해서 특정 PDCCH 지점에서 블라인드 복호를 고려한다. 따라서, UE1과 UE2에게 자원할당 결과를 공지하는 방법에 대해서 다음과 같은 두가지 접근 방법을 고려한다.

- **방법 1** : eNB는 두개의 독립적인 PDCCH를 UE1과 UE2에게 전송한다. UE1과 UE2는 할당된 자원에 대해서 데이터를 전송하고 수신해야 하는지를 알기 위해서 eNB가 UE1과 UE2에게 전송하는 PDCCH들은 다른 DCI (Downlink Control Information) 형식을 가질 수 있다.
- **방법 2** : eNB는 UE1 그리고 전송하는 UE의 C-RNTI를 가지고 있는 UE2에게 오직 한 개의 PDCCH를 전송한다. 그러므로 UE2는 PDCCH를 복호하기 위해서 UE1의 C-RNTI를 알아야 한다. C-RNTI는 D2D 연결 과정에서 획득하는 것을 고려한다. 방법 1과 비교해서 이 접근 방법은 시그널링 오버헤드를 감소시키지만 블라인드 복호 시도를 증가시키는 문제점이 있다.

UE1이 eNB로부터 PDCCH를 수신한 후에 UE1은 UE2로 할당된 자원을 통해서 데이터를 전송하게 된다. LTE 시스템에서 하향링크 그리고 상향링크 데이터 전송은 PDSCH (Physical Downlink Shared Channel)와 PUSCH를 통해서 이루어진다. D2D 통신에서는 PDSCH 또는 PUSCH를 통해서 데이터를 전송할 수 있지만, 하향링크 채널을 통해 D2D 트래픽을 전송하는 것은 여러 가지 현실적인 문제점을 갖고 있다. LTE 시스템에서 UE는 동기 검출을 위해서 CRS (Cell-specific Reference Signal)을 검출하여 하향링크 채널을 추정하여야 한다. D2D UE가 eNB가 하는 것처럼 CRS를 전송할 수 없을 뿐만 아니라, 전송하는 UE가 CRS 자원에 대해서 간섭을 일으키게 되어 동기 검출에 문제를 야기할 수 있다. 또한 PDCCH는 PDSCH 보다 한 개 혹은 여러 개의 서브프레임 이전에 전송되어야 하는데, 이와 같은 부분에서 서브프레임간 이증적인 스케줄링 문제를 일으키게 된다. 현재 LTE 시스템에서는 UE 고유의 참조 신호를 이용하는 상향링크 전송을 고려하는 것을 현실적으로 고려한다. UE 고유의 참조 신호를 사용하는 경우 D2D UE와 셀룰러 UE 사이의 간섭을 고려하지 않아도 된다. 또한, eNB는 PUSCH 전송을 위해 한 개 혹은 여러 개의 서브프



레이프 전에 UE에게 할당된 자원 정보를 알려주게 된다. LTE 시스템에서 PDCCH와 PUSCH 사이의 타이밍 관계는 이중적인 스케줄링의 문제가 없다.

UE2가 eNB로부터 PDCCH를 수신한 후에 UE2는 UE1으로부터 할당된 자원을 통해 데이터를 수신하게 된다. UE2는 수신을 정확하게 했는지 여부에 따라서 UE1으로 ACK/NACK 피드백 신호를 보내야 한다. 일반적으로 LTE 시스템에서 eNB는 UE가 전송한 PUSCH의 정확한 수신 여부에 따라서 ACK/NACK 신호를 PHICH (Physical Hybrid ARQ Indicator Channel)를 통해서 보내게 된다. UE2는 UE1으로 PUSCH를 통해서 데이터를 셀룰러 UE와 함께 전송했기 때문에 동일한 서브프레임 안에서 PHICH를 다중화 전송하기가 어렵다. 따라서 현실적인 대안으로 PUCCH를 통해서 ACK/NACK 신호를 전송하는 것을 고려할 수 있다. LTE 시스템에서는 하향링크 전송에 대한 ACK/NACK 신호를 PUCCH를 통해 전송한다. PDCCH는 PDSCH와 PUCCH의 자원을 결정한다. 셀룰러 연결과 다르게 D2D는 PDCCH 및 연관된 PDSCH와 동일한 서브프레임에서 전송되고 PDCCH는 D2D 사이의 실제 데이터 전송보다 한 개 혹은 여러 개의 서브프레임 전에 전송된다. 따라서, D2D ACK/NACK에 대한 PUCCH 자원은 셀룰러 ACK/NACK와 충돌하게 된다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 다음과 같은 두 가지 방법을 고려한다.

- **방법 1** : D2D PUCCH에 대한 특정 자원을 할당
- **방법 2** : CA (Carrier Aggregation) 기술을 이용하여 교차적인 반송파 스케줄링을 사용하는 방법

할당된 반송파는 D2D 트래픽과 관련된 PDCCH들을 전송하기 위해 사용된다. 이런 방법에서, D2D ACK/NACK는 셀룰러 ACK/NACK와 서로 다른 반송파에서 전송되는 것을 고려해야 한다. 한 가지 고려할 수 있는 방법으로 D2D 트래픽에 대한 TDD (Time Division Duplex), FDD (Frequency Division Duplex)의 보호대역을 이용하는 방법이다. 마지막 절

차로 UE1은 UE2로부터 ACK/NACK를 전송하게 되고 데이터 재전송 여부를 결정하게 된다. LTE 시스템은 상향링크에서 동기화된 HARQ를 사용하기 때문에 UE1과 UE2 모두 재전송된 데이터를 보내고 받게 되는 서브프레임을 알고 있다.

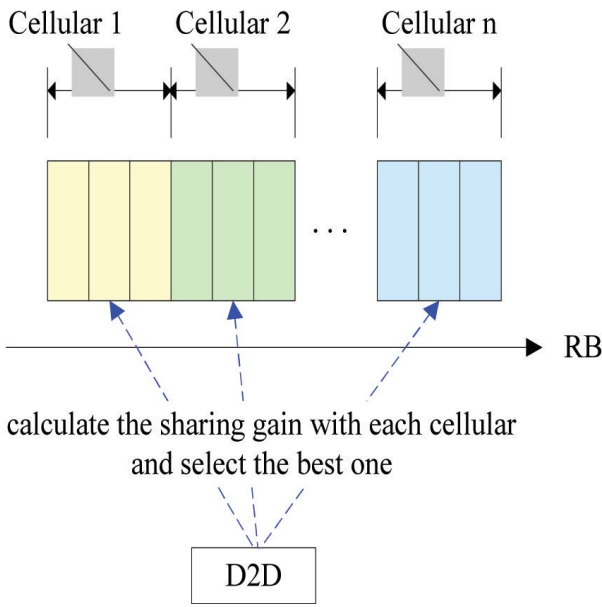
IV. 자원할당

자원할당 기술은 사용자 단말들이 통신을 하기 위해 필요한 주파수 및 시간 자원을 적절하게 할당하는 기술이다. LTE-Advanced 셀룰러 환경에서 D2D 사용자는 셀룰러 사용자의 상향링크 자원과 같은 셀 또는 인접셀 D2D 사용자의 자원을 재사용한다. 따라서 동일한 자원을 사용하는 셀룰러와 D2D 사용자 사이에는 간섭이 발생하게 되며, 이러한 간섭을 줄이기 위한 기법들이 다양하게 연구되어 왔다. 본 절에서는 지금까지 연구된 셀룰러 네트워크 기반의 D2D 통신에서 발생하는 간섭 문제를 해결하기 위한 기술에 대해 설명한다.

4.1. D2D 통신의 데이터 처리량을 보장하는 자원 할당 기법

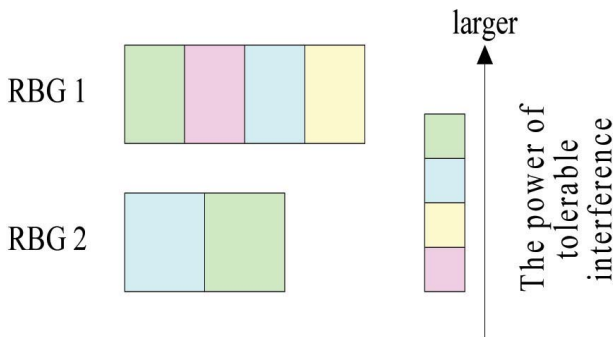
첫번째 소개하는 기법은 D2D 사용자의 QoS (Quality of Service)를 보장하기 위해서 D2D 사용자에게 RB (Resource Block)를 할당할 때 여러 가지 후보 RB 그룹을 설정하고, 이러한 후보 RB 그룹 중에서 목표 데이터 처리량을 만족하는 최소한의 RB를 사용하는 RB 그룹을 선택하는 기법이다^[11]. [12-14]에서는 각각의 D2D 사용자는 하나의 셀룰러 사용자와 자원을 공유한다고 가정한다.

이 기법은 <그림 4>와 같이 셀룰러 자원을 재사용하는 D2D 사용자 중에서 셀룰러와 D2D 사용자 사이의 경로 손실이나 채널 공유 이득 정보를 사용하여 간섭을 최소로 발생시키는 D2D 사용자를 선택한다. 하지만 이러한 경우는 셀룰러 사용자의 데이터 처리량을 우선으로 두기 때문에 D2D 사용자의 QoS를 보장할 수 없게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 [11]에서는 <그림 5>와 같이 첫번째 단계에서 최소의 RB들로



〈그림 4〉 경로 손실이나 채널 공유 이득 정보에 기반한 D2D 사용자의 자원할당^[11]

구성된 RB 그룹으로 채널을 분할하고 D2D 사용자의 데이터 처리량을 만족할 때 최소의 RB를 사용한 RB 그룹 생성을 완료한다. 두번째 단계에서는 첫 번째 단계의 RB 그룹을 생성할 때 구성되는 RB 개수를 증가시킨 후에 같은 과정을 반복한다. 세번째 단계에서는 최소의 RB를 사용하는 RB 그룹을 선택한다. 이러한 과정을 통해 D2D 사용자는 데이터 처리량에 대한 QoS를 보장 받으면서 동시에 최소의 자원을 사용할 수 있게 된다.



〈그림 5〉 QoS 보장을 위한 D2D 사용자의 자원할당^[11]

4.2. Labeled Time Slot 기반 자원할당 기법

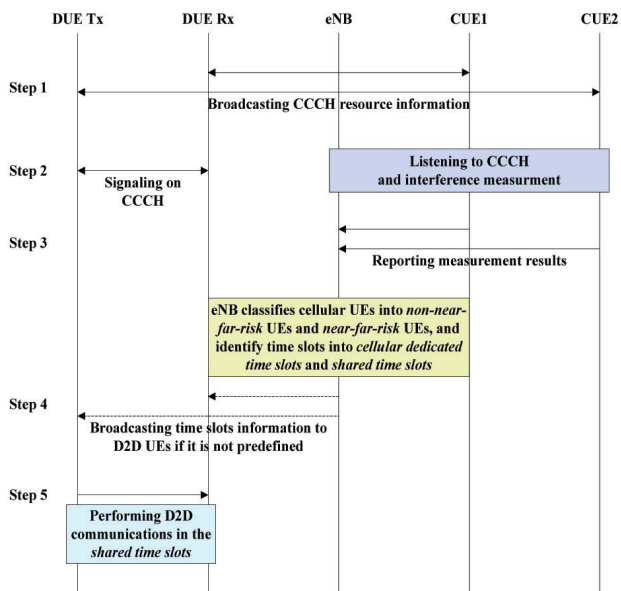
Labeled Time Slot 기반의 자원할당 기법은 D2D 사용자가 셀룰러 사용자의 하향링크 자원을 재사용할 때 주사용자인 셀룰러 사용자가 받는 간섭을 회피하기 위하여 제안되었다^[15]. 이 기법에서는 D2D 사용자가 LTE FDD 시스템에서 셀룰러 사용자와 하향링크 자원을 재사용하는 경우를 고려하였다. 또한, D2D 사용자는 eNB로부터 전달받은 제어 정보를 사용하여 자체적으로 자원을 할당한다. 이와 같은 방법은 eNB가 D2D 사용자를 모두 제어하는 경우보다 낮은 제어 신호 처리량과 기존의 인프라를 변경하지 않아도 되는 장점을 가지고 있다. D2D 통신이 LTE 시스템 기반위에 존재하기 때문에 eNB는 D2D 통신에 특정된 CCCH (Common Control Channel)을 할당하여 제어 정보를 전달한다. 이 기법에서 제시하는 하이브리드 시스템에서 셀룰러 사용자의 하향링크 자원을 공유하는 제안 기법의 절차는 아래와 같다.

- 단계 1 : eNB는 먼저 D2D 통신의 CCCH를 브로드캐스팅 채널을 통하여 전달하여 모든 셀룰러와 D2D 사용자가 CCCH의 존재를 알게 한다.
- 단계 2 : 셀룰러 사용자는 주기적으로 CCCH의 신호를 엿듣는 방식으로 D2D 사용자가 자신과 인접한지 확인한다. 인접한 D2D 사용자를 정확하게 인지하기 위해서는 SINR (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio) 임계값과 엿듣는 주기를 적절히 선택하여야 한다.
- 단계 3 : 임의의 셀룰러 사용자가 CCCH로부터 수신한 SINR 값이 미리 정해진 임계값보다 크면 이 결과를 최대한 빠른 상향링크 타임슬롯을 통하여 eNB에게 전달한다. 이 때 1 비트의 결과를 사용하여 D2D 사용자가 가까이 있는지 알려주거나 여러 개의 비트를 사용하여 서로 다른 간섭 레벨 정보를 전달할 수 있다.

단계 4 : 단계 3에서 수신한 정보를 사용하여 eNB는 모든 셀룰러 사용자를 'Near-Far-Risk'와 'Non-Near-Far-Risk' 2개 그룹으로 나눈다. 'Non-Near-Far-Risk' 사용자는 수신한 CCCH의 SINR이 임계값보다 작은 그룹이기 때문에 D2D 사용자와 같은 자원을 공유하여도 간섭량이 적다. 반면에 'Near-Far-Risk' 사용자는 수신한 CCCH의 SINR이 임계값보다 크기 때문에 인접한 D2D 사용자로부터 간섭량이 많다. eNB는 또한 시간을 'Cellular Dedicated Time Slot', 'Shared Time Slot' 2개 그룹으로 나누어 D2D 사용자에게 'Cellular Dedicated Time Slot' 사용을 금지한다.

단계 5 : eNB는 사용 가능한 Time Slot 정보를 모든 D2D 사용자에게 전달한다.

위와 같은 절차를 따르게 되면, D2D 사용자는 셀룰러 사용자에게 간섭을 적게 발생시키는 하향링크 자원을 사용할 수 있다. <그림 6>은 위의 절차를 그림으로 도시한 것이다.



<그림 6> Labeled Time Slot 기반의 셀룰러 하향링크 자원 할당 절차^[15]

V. 전력제어

전력제어 기술은 대부분의 경우에 간섭을 완화하려는 목적으로 사용되고 있다. 셀룰러 통신과 D2D 통신이 공존하는 하이브리드 LTE 시스템에서도 전력제어 기술은 D2D 사용자들의 전력을 조절하여 D2D의 성능을 높이고 셀 전체의 성능도 개선할 수 있는 실현 가능한 방법 중의 하나로 연구되고 있다. D2D 통신은 전송이 이루어지면 송신단에서 높은 전력을 사용할수록 수신단에서의 SINR이 커지기 때문에 하나의 D2D 링크를 놓고 볼 때 최대 송신 전력을 사용하면 전송 용량도 높아지고 오류 확률도 낮아진다. 하지만 D2D 단말들마다 직교하는 자원을 할당 받을 수 없고 D2D 통신을 하고자 하는 목적도 효율적인 자원 사용을 포함하고 있기 때문에, D2D 단말은 셀룰러 단말이나 다른 D2D 단말과 동일한 자원을 공유하게 된다. 이런 경우에 송신 전력을 높여 개선할 수 있는 전체 셀의 성능보다 서로에게 미치는 간섭이 더 많이 발생하면 네트워크 효율성이 떨어지게 되어 전력제어 기술의 가치성이 떨어지게 된다. 따라서 전체 셀의 성능을 높이기 위해서는 여러 요소들을 결합하여 송신 전력을 결정하여야 한다. 셀룰러 통신과 D2D 통신이 공존하는 통신망의 성능을 최대화 하도록 송신 전력을 조절하는 기술들로는 아래와 같은 여러 가지 기술들이 연구되었다.

주기적으로 D2D 단말의 송신 전력을 조절하여 셀룰러 단말에게 발생시키는 간섭을 최소화 하는 기법을 [16]에서 제안하였다. [16]에서 제안한 기법은 세션 초기화 단계와 송신 단말의 전력 조절 단계로 나누어진다. 세션 초기화 단계에서 D2D 통신을 하려고 하는 단말이 세션 초기화 요청 메시지를 eNB로 보내면 eNB가 D2D 단말에게 할당 가능한 자원의 여부를 확인한다. 그리고 eNB는 각 자원을 단말에 할당할 때 D2D 통신을 하는 것이 셀룰러 통신을 하는 것 보다 더 높은 전송 용량을 나타낸다고 결정하면 해당 단말에 D2D 통신 세션을 설정하여 준다. eNB는 셀룰러 단말과 D2D 단말들 사이의 간섭을 최소화하기 위하여 우선적으로 셀룰러 단말에 자원을 할당한 다음 남아 있는 자

원을 D2D 단말에게 할당하는데, 이 때 남아 있는 자원이 부족하면 D2D 단말은 셀룰러 단말과 동일한 자원을 사용하게 된다. D2D 세션이 시작되면 송신 단말은 주기적으로 전력을 조절하여 셀룰러 단말기가 받는 간섭을 최소화 하려고 한다. D2D 단말은 같은 자원을 공유하는 셀룰러 단말로부터 받는 신호의 세기를 측정함으로써 각 단말들 사이의 채널 이득을 추정한다. 그리고 eNB는 D2D 단말로부터 받은 신호의 세기를 이용하여 D2D 단말들과의 채널 이득을 추정한다. 이렇게 추정한 채널 이득과 eNB의 커버리지를 확보할 수 있는 채널 이득을 이용하여 D2D 송신 단말의 전력을 동적으로 조절한다.

[17]에서 제안한 전력제어 기술은 일정 전송 용량을 만족하는 조건하에 최소 송신 전력으로 통신하도록 분산적으로 전력을 조절하는 기술이다. 셀룰러 단말기와 D2D 단말기가 동일한 상향링크 자원을 사용하는 모델을 고려하였다. [17]에서는 먼저 다중 셀 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 수신 신호 모델에서 수신단에서 선형 MMSE (Minimum Mean Square Error)로 수신한다고 가정하고, 수신 신호 스트림에서 효율적인 SINR 값을 도출하였으며 송신 전력이 SINR 값에 미치는 영향을 관계식으로 정의하였다. 이 관계식들은 전력제어를 통해 최적화 문제를 풀기 위한 중요한 기준이 된다. 전력제어 기술의 주요 특징으로는 각 D2D 링크가 SINR 정보를 수신단에서 송신단으로 피드백하면서 전력제어를 반복적으로 수행한다. 이 과정에서 일정한 Target SINR을 유지하면서 송신 전력을 최소화하는 것이다.

[14]에서는 하나의 D2D 링크와 셀룰러 단말기가 자원을 공유하는 경우에 최대 송신 전력과 일련의 전송 용량 제한 조건을 만족시키면서 최대의 통신 용량의 합을 얻을 수 있도록 하는 전력제어 기술을 제안하였다. 셀룰러 통신과 D2D 통신이 우선권이 없이 모두 최대 송신 전력으로 전송하여 통신 용량을 최대화 시키는 경우나 셀룰러 통신을 하는 단말이 우선권을 가지는 경우 모두 최대 통신 용량을 가진다. 이 기법은 통신 용량을 증가시키기 위하여 셀룰러 사용자들의 수를 지나치게

증가시키는 것이 아니라 송신 전력을 적당히 조절하여 간섭을 완화하여 통신 용량을 증가시킨다.

셀룰러 단말의 SINR이 일정한 정도까지만 감소하도록 D2D 단말의 송신 전력을 제한하는 전력제어 기술을 [18]에서 제안하였다. [18]에서는 단일 셀 환경에서 D2D 단말이 셀룰러 단말과 자원을 공유하면서 여전히 셀룰러 네트워크의 제어를 받는 모델을 고려하였다. eNB가 순시적인 채널 상태 정보를 얻을 수 없다고 가정하였기 때문에 간섭을 완벽하게 조정하지 못하며 시스템의 디자인도 셀의 통계적인 값에 의존한다. [18]에서는 D2D 링크를 이루는 두 개의 단말들 중 하나는 고정시키고 다른 한 단말은 최대 거리로 떨어져 있는 시나리오에서 먼저 개별 단말들의 SINR 흐름을 통계적으로 나타낸다. 이렇게 체계적으로 나타낸 SINR의 분포를 이용하여 D2D 단말의 송신 전력을 조절하여 셀룰러 단말에게 발생시키는 간섭의 영향을 제어한다. 또한 실험을 통하여 D2D 링크가 eNB로부터 멀리 떨어져 있는 경우에 상향링크 자원을 공유하고 eNB와 가까이 위치하여 있는 경우에 하향링크 자원을 공유하는 것이 시스템의 성능을 증가시킨다는 결론을 얻었다.

[19]에서는 다음과 같이 다양한 모델에서 여러 가지 전력제어 기술의 성능을 분석하고, 기존의 개루프 전력제어에 근거한 새로운 알고리즘을 제시하였다.

1) D2D 단말이 고정된 송신 전력을 사용

이 경우에는 D2D 통신을 하는 모든 단말들이 동일한 송신 전력을 사용한다고 가정하였다. 이 기법은 구현 가능하지만 D2D SINR이 넓은 범위에서 동적으로 변하기 때문에 정확하게 작동하지 않을 확률이 높다.

2) D2D 단말이 고정된 SNR을 만족하는 송신 전력을 사용

목표치 SNR의 결정은 송신 단말의 송신 전력을 결정하게 되고 궁극적으로 SINR에까지 직접적인 영향을 미친다. D2D 송신 단말이 높은 SNR을 얻으려면 송신 전력을 높여야 하고 해당 D2D 링크의 SINR은 개선된다. 하지만 송신 전력을 높이는 것은 같은 자원을 사용



하고 있는 셀룰러 단말에게 미치는 간섭 레벨을 증가시키는 위험 요소를 가지고 있다.

3) D2D 단말이 LTE 개루프 전력 제어를 이용하여 송신 전력을 조절

이 기법은 [20]에서 명시된 기법으로 수신받은 신호의 전파 경로 손실이나 쉐도잉처럼 변화율이 크지 않은 값들을 $\alpha(0 < \alpha < 1)$ 값에 의하여 어느 정도 보상하느냐를 개루프로 조절하는 기법이다. α 가 0에 가까울수록 전파 경로 손실이나 쉐도잉을 적게 보상하고 1에 가까운 값을 가질수록 더 많이 보상할 수 있도록 송신 전력을 조절하는 기법이다. 즉 이 알고리즘에서의 핵심적인 파라미터는 α 이다.

4) D2D 단말이 LTE 개루프 전력제어에 기반하여 페루프로 송신 전력을 조절

이 기법은 3)에 튜닝 단계라는 피드백을 추가하면서 송신 전력을 페루프로 조절하면서 시스템의 성능을 최적화 한다. 이 알고리즘은 3)으로 초기화 된 상태에서 매 단계마다 피드백 받은 SINR값과 목표 SINR값의 차이에 비례하여 또는 고정된 값만큼 송신 전력이 갱신된다. [19]에서 얻은 결과로부터 알고리즘의 튜닝 단계가 동적인 값일 때가 고정된 값을 가질 때 보다 더 빨리 수렴하며 결과가 정확하다는 결론을 얻을 수 있다.

VI. 결론

본고에서는 LTE-Advanced 네트워크에서 D2D 통신 기술 현황을 살펴보았다. D2D 통신은 Wi-Fi Direct 또는 Bluetooth와 같은 형태로 출발하였지만, 상황인지 어플리케이션 및 근거리 멀티캐스팅과 같은 형태의 서비스에서 활용가치가 높아지면서 셀룰러 네트워크 사업자의 D2D 통신에 대한 관심이 높아졌다. 본고에서는 LTE-Advanced 네트워크에서 D2D 단말 탐색, 데이터 통신 절차, 자원할당, 전력제어 기술 현황을 설명하였다. 현재 D2D는 차세대 무선 규격의 연구 항목으로 선정되어 활발히 연구가 진행되고 있으며, 가

까운 미래에는 D2D 통신 기술을 기반으로 한 다양한 응용서비스가 활성화 될 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 방송통신위원회의 방송통신인프라원천기술 개발사업의 연구결과로 수행되었음 (KCA-2012-12-911-01-107).

참고 문헌

- [1] 3GPP TSG-SA WG1 S1-113334 (Intel), "Enabling proximity services in a LTE network under operator control," Nov. 2011.
- [2] C. Bisdikian, "An overview of the Bluetooth wireless technology," *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 39, No. 12, pp. 86-94, Dec. 2001.
- [3] 마진석, 이재호, "Wi-Fi P2P 기술 분석," *전자통신동향분석*, 제26권, 제5호, pp. 74-82, 2011년 10월.
- [4] X. Wu, S. Tavildar, S. Shakkottai, T. Richardson, J. Li, R. Laroia, and A. Jovicic, "FlashLinQ: A synchronous distributed scheduler for peer-to-peer ad hoc networks," *Proc. IEEE Allerton Conf.*, Monticello, USA, Sept. 2010.
- [5] R. Laroia, J. Li, A. Jovicic, T. Richardson, and X. Wu, "Method and apparatus related to peer discovery and paging in peer to peer wireless communications," US patent #2009/0013081 A1, Jan. 8, 2009.
- [6] 강진환, 장민, 김상호, "차세대 통신을 위한 D2D 통신: 기술 동향," *전자공학회지*, 제39권, 제3호, pp. 47-55, 2012년 3월.
- [7] G. Fodor, E. Dahlman, G. Mildh, S. Parkvall, N. Reider, G. Miklos, and Z. Turanyi, "Design aspects of network assisted device-to-device communications," *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 50, No. 3, pp. 170-177, Mar. 2012.



- [8] K. Doppler, M. Rinne, C. Wijting, C. Ribeiro, and K. Hugl, "Device-to-device communication as an underlay to LTE-Advanced networks," *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 47, No. 12, pp. 42-49, Dec. 2009.
- [9] 성선익, 홍종우, 김경수, 박승일, 박천우, 최성현, 이광복, "셀룰러 네트워크 기반의 D2D 통신 기술 현황," *한국통신학회지*, 제29권, 제7호, pp. 97-105, 2012년 7월.
- [10] L. Lei, Z. Zhong, C. Lin, and X. Shen, "Operator controlled device-to-device communications in LTE-Advanced networks," *IEEE Wireless Commun.*, Vol. 19, No. 3, pp. 96-104, June 2012.
- [11] X. Zhu, S. Wen, G. Cao, X. Zhang, and D. Yang "QoS-based resource allocation scheme for device-to-device (D2D) radio underlaying cellular networks," *Proc. IEEE ICT 2012*, Jounieh, Lebanon, Apr. 2012.
- [12] P. Jänis, V. Koivunen, R. Cassio, J. Korhonen, K. Doppler, and K. Hugl, "Interference-aware resource allocation for device-to-device radio underlaying cellular networks," *Proc. IEEE VTC 2009-Spring*, Barcelona, Spain, Apr. 2009.
- [13] A. Osseiran, K. Doppler, C. Ribeiro, M. Xiao, M. Skoglund, and J. Manssour "Advances in device-to-device communications and network coding for IMT-Advanced," *Proc. IIMC 2009*, Santander, Spain, June 2009.
- [14] C. H. Yu, O. Tirkkonen, K. Doppler, and C. Ribeiro, "Power optimization of device-to-device communication underlaying cellular communication," *Proc. IEEE ICC 2009*, Dresden, Germany, June 2009.
- [15] S. Xu, H. Wang, T. Peng, and Q. Huang, "Effective labeled time slots based D2D transmission in cellular downlink spectrums," *Proc. IEEE VTC 2010-Spring*, Taipei, Taiwan, May 2010.
- [16] J. Gu, S. Bae, B. Choi, and M. Chung, "Dynamic power control mechanism for interference coordination of device-to-device communication in cellular networks," *Proc. IEEE ICUFN 2011*, pp. 71-75, Dalian, China, June 2011.
- [17] G. Fodor and N. Reider, "A distributed power control scheme for cellular network assisted D2D communications," *Proc. IEEE GLOBECOM 2011*, Houston, USA, Dec. 2011.
- [18] C. Yu, O. Tirkkonen, K. Doppler, and C. Ribeiro, "On the performance of device-to-device underlay communication with simple power control," *Proc. IEEE VTC 2009-Spring*, Barcelona, Spain, Apr. 2009.
- [19] H. Xing and S. Hakola, "The investigation of power control schemes for a device-to-device communication integrated into OFDMA cellular system," *Proc. IEEE PIMRC 2010*, pp. 1775-1780, Istanbul, Turkey, Sept. 2010.
- [20] 3GPP TS 36.213 V10.2.0, "E-UTRA physical layer procedures," Mar. 2012.



양 모 찬

2005년 8월 숭실대학교 정보통신전자공학부 (학사)
 2009년 2월 숭실대학교 정보통신공학과 (석사)
 2009년 3월~현재 숭실대학교 정보통신공학과 (박사과정)

<관심분야>
 OFDM 시스템, 협력통신 시스템, 인지 무선 기술



임이랑

2011년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 (학사)
2011년 3월~현재 숭실대학교 정보통신공학과
(석사과정)

〈관심분야〉
이동 및 무선통신, 통신신호처리



신오순

1998년 2월 서울대학교 전기공학부 (학사)
2000년 2월 서울대학교 전기공학부 (석사)
2004년 2월 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 (박사)
2004년 3월~2005년 9월
미국 Harvard University 박사후연구원
2006년 4월~2007년 8월
삼성전자 통신연구소 책임연구원
2007년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부
전임강사/조교수

〈관심분야〉
통신시스템, 통신이론, 통신신호처리



오선애

2011년 8월 연변과학기술대학교 컴퓨터전자통신공
학과 (학사)
2011년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학과
(석사과정)

〈관심분야〉
이동 및 무선통신



신요안

1987년 2월 서울대학교 전자공학과 (학사)
1989년 2월 서울대학교 전자공학과 (석사)
1992년 12월 Univ. of Texas at Austin 전기 및
컴퓨터공학과 (박사)
1992년 12월~1994년 7월
Austin 소재 MCC 연구콘소시엄 Member of
Technical Staff
1994년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부
전임강사/조교수/부교수/교수 및
학부장
2005년 1월~2006년 12월
한국통신학회 부호 및 정보이론연구회 위원장
2008년 1월~2008년 12월
한국통신학회 이동통신연구회 위원장
2008년 1월~2009년 12월 대한전자공학회 상임이사
2008년 3월~2009년 8월
숭실대학교 첨단IT융합정보기술연구소 소장
2009년 9월~2010년 8월
Univ. of British Columbia 방문교수
2011년 1월~현재 한국통신학회 상임이사

〈관심분야〉
이동 및 무선통신, 통신신호처리



김현민

2012년 8월 숭실대학교 정보통신전자공학부 (학사)
2012년 9월~현재 숭실대학교 정보통신공학과
(석사과정)

〈관심분야〉
통신시스템, 통신이론, 통신신호처리