

Full-Duplex

유튜브 주소 : <https://youtu.be/sECilwIWWT8>

정보 전송 방식

TDD & FDD

Security of Full-Duplex

정보 전송 방식

- 전송 방식은 3가지 존재

- 전송 방식은 2개의 연결된 장치에서의 **신호의 방향**으로 결정

- Simplex(단방향)

- 정보의 전송이 **한 방향으로만** 이루어지는 방식

- Half-Duplex(반이중)

- 정보의 전송이 **양 방향으로** 이루어지는 방식
- 단, **한 쪽이 송신하는 동안은 다른 쪽이 송신하지 못함**

- Full-Duplex(전이중)

- 정보의 전송이 **양 방향으로** 이루어지고, **양 쪽 모두 동시에 송신이 가능한** 방식

정보 전송 방식

- **Simplex(단방향)**

- 정보의 전송이 **한 방향으로만** 이루어지는 방식

- **수신자와 송신자 측이 고정되어있음**

- 송신자에서 수신자 측으로만 전송 가능
- 수신자는 송신자에게 응답하지 못함

- 예시

- 키보드, 모니터, 리모콘 등 단순 입,출력 장치
- CCTV, 라디오, TV 등 방송 매체
 - 단, 스마트 티비(인터넷 티비) 제외

정보 전송 방식

- **Simplex(단방향)**
- 예시: 일방 통행 도로



정보 전송 방식

- **Half-Duplex(반이중)**

- 정보의 전송이 **양 방향으로** 이루어지는 방식
- 한 쪽이 송신하는 동안은 다른 쪽이 송신하지 못함

- 데이터의 송,수신이 동시에 이루어지는 것이 불가능

- 단, Simplex 방식과는 달리 송신자와 수신자가 고정되어있지 않음
- **데이터의 송,수신을 번갈아가며 하는 방식**
- 송,수신측간 통신 충돌을 방지하기 위해 **CSMA/CD 프로토콜 사용**

- 예시

- 워키토키(무전기)
- 초기 이더넷 네트워크

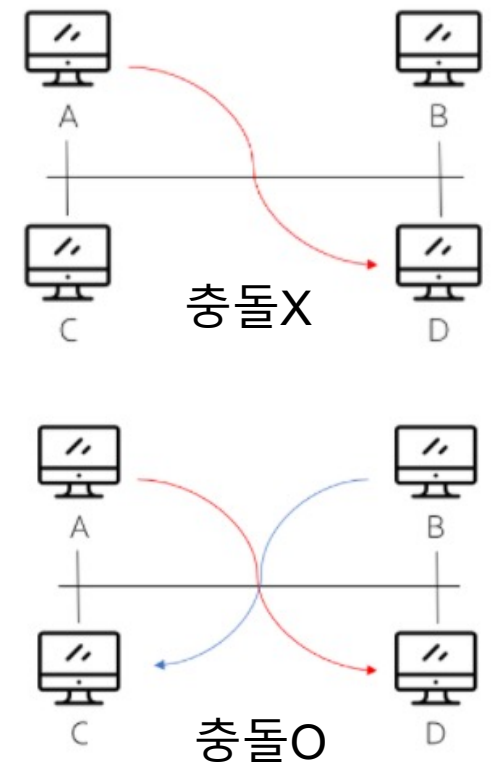
정보 전송 방식

• CSMA/CD(반송파 감지 다중 접속 및 충돌 탐지)

- Carrier-Sense Multiple Access with Collision Detection
- LAN의 통신 프로토콜 중 하나이며, 이더넷 환경에서 사용
- Half-Duplex 방식 통신 시 송,수신측 간 전송 충돌을 방지

• CSMA/CD 프로토콜 작동 방식

- 통신을 원하는 PC/서버는 네트워크 상에 통신이 일어나고 있는지 확인
 - 캐리어 검사(Carrier Sense)를 수행(캐리어: 네트워크 상에 나타나는 신호)
- 네트워크 통신이 일어나고 있으면(캐리어가 감지되면) 데이터를 보내지 않고 대기
- 네트워크 통신이 일어나고 있지 않으면(캐리어가 감지되지 않으면) 데이터를 네트워크에 전송
- 캐리어가 감지되지 않았을 때 만약 두 PC/서버가 동시에 전송하면 **충돌(Collision)**이 발생
 - 해당 충돌을 다중 접근(Multiple Access)이라고 함
- 충돌이 발생할 경우 해당 PC/서버는 랜덤한 시간동안 기다린 다음 다시 데이터를 전송
- 이러한 충돌이 계속해서 15번 일어나면 통신을 끊음



정보 전송 방식

- Half-duplex(반이중)
- 예시: 왕복 1차로 도로



정보 전송 방식

- **Full-Duplex(전이중)**

- 정보의 전송이 **양 방향으로** 이루어지는 방식

- **데이터의 송,수신을 동시에 할 수 있음**

- 일반적으로 수신을 위한 라인과 송신을 위한 라인이 각각 별도로 존재
- 그러나 **한 개의 라인을 사용하면서도 전이중 방식 통신 가능**
 - 시분할 이중 통신(TDD)과 주파수 분할 이중 통신(FDD)을 사용하여 한 개의 라인 상에서 Full-Duplex 구현
 - 무선 통신 시 보통 한 개의 라인 사용 -> TDD, FDD 이용

- **예시**

- Full-Duplex를 지원하는 Wi-Fi 및 블루투스
- 휴대전화 통화

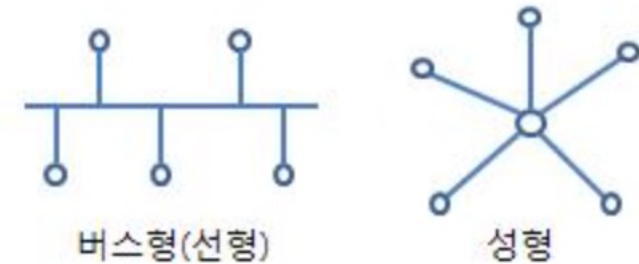
정보 전송 방식

- **Full-Duplex(전이중)**
- 예시: 왕복 2차로 도로



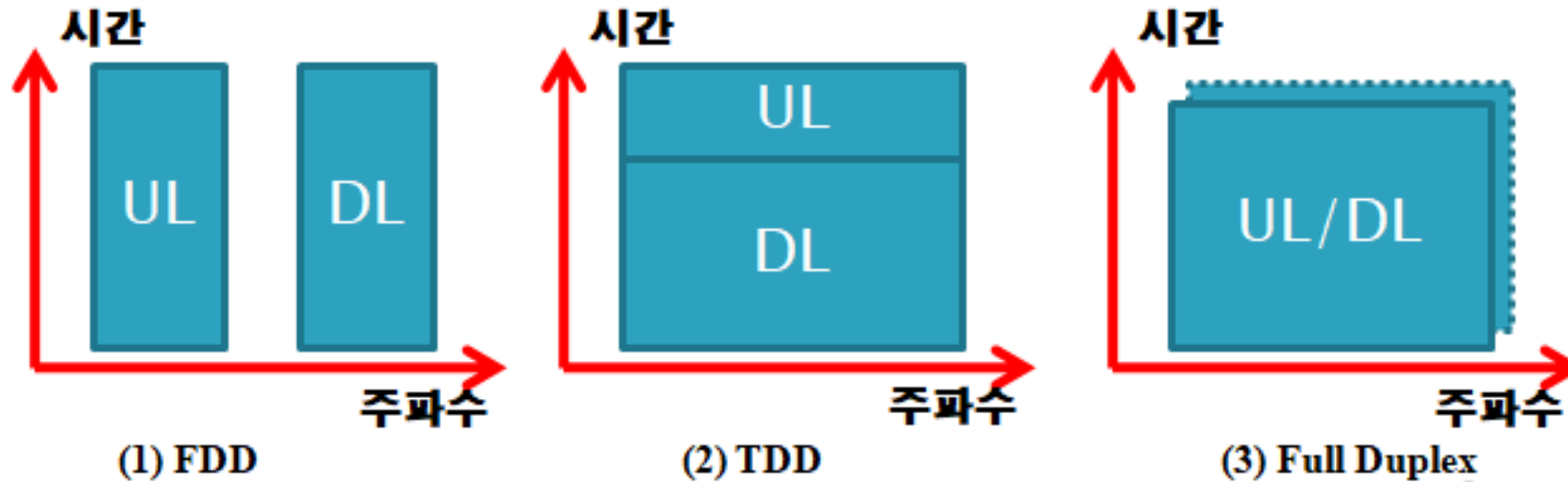
정보 전송 방식

- Half-Duplex vs Full-Duplex 설명 영상
- https://www.youtube.com/watch?v=LMRSS7ZYM50&ab_channel=PowerCertAnimatedVideos
- 네트워크 허브의 등장
 - 네트워크 토폴로지: 버스형(선형) -> 스타형(성형)
- 허브의 업그레이드
 - 허브 -> 스위칭 허브 or L2 스위치
 - 허브의 업그레이드로 이더넷은 실질적으로 충돌이 발생하지 않는 구조가 됨
 - 즉, 랜 케이블을 사용하는 현재의 이더넷은 충돌이 발생하지 않음
 - 이로 인해 기가 인터넷 등의 고속 인터넷 서비스를 제공할 수 있게 됨
 - 그러나 과거와의 호환성을 이유로 CSMA/CD는 여전히 이더넷 표준에 포함되어있음



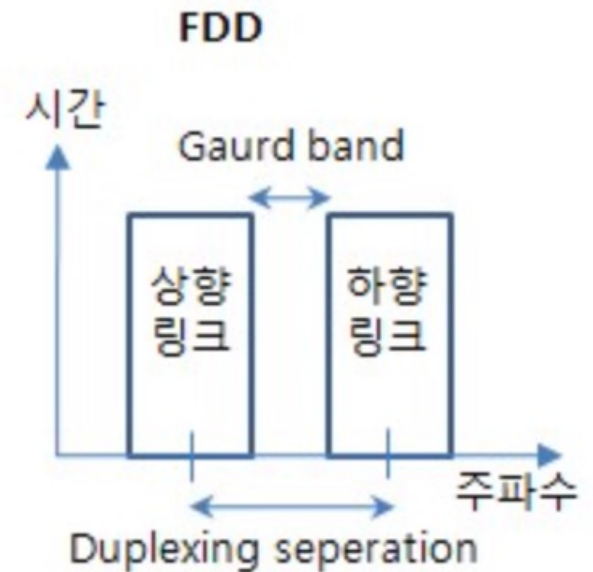
Full-Duplex

- 무선 통신에서의 **Full-Duplex**는 아직 제대로 사용 X
 - 구현 및 상용화에 어려움이 있기 때문
 - 어려움: 주파수 대역의 물리적 한계 및 비용, 자기 간섭(self-interference)문제 등
- 현재는 **Half-Duplex** 방식을 **Full-Duplex**처럼 사용
 - TDD 및 FDD를 활용



Full-Duplex

- 주파수 분할 이중 통신(FDD: Frequency Division Duplex)
 - 통신하는 주파수 대역을 분할하여 전송되는 데이터가 충돌하지 않게 함
- 주파수를 나누어서 UL(Up Link)와 DL(Down Link)를 동시에 사용 가능하게 함
 - UL, DL단에 사용자들을 별도로 할당
- UL, DL단에 같은 주파수량을 대칭적으로 할당
 - UL은 낮은 주파수에, DL은 높은 주파수에 배치
 - 일정 보호 대역(Guard Band)을 기준으로 UL과 DL을 구분
- 특징
 - 보호대역의 존재로 인해 효율성이 낮음
 - 전송 지연 시간이 적고, 고속 전송 및 이동성에 유리함
 - 무선망 설계가 용이함



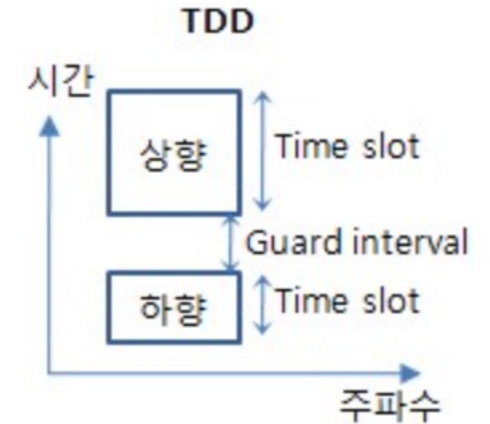
Full-Duplex

- 주파수 분할 이중 통신(FDD: Frequency Division Duplex)
- GSM, UMTS, LTE와 같은 2G,3G,4G 통신의 경우 FDD를 메인으로 채택
 - E.g. GSM: 890 ~ 960 MHz 대역 사용
 - 890~915MHz는 Up Link 대역으로 설정
 - 935~960MHz는 Down Link 대역으로 설정
 - 915~935MHz의 20MHz는 Guard Band로 활용

FR1 operating band	Uplink (UL) operating band BS receive / UE transmit F_{UL_low} - F_{UL_high}	Downlink (DL) operating band BS transmit / UE receive F_{DL_low} - F_{DL_high}	Duplex Mode
n1	1920 MHz – 1980 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
n2	1850 MHz – 1910 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	FDD
n3	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
n5	824 MHz – 849 MHz	869 MHz – 894 MHz	FDD
n7	2500 MHz – 2570 MHz	2620 MHz – 2690 MHz	FDD
n8	880 MHz – 915 MHz	925 MHz – 960 MHz	FDD
n12	699 MHz – 716 MHz	729 MHz – 746 MHz	FDD
n20	832 MHz – 862 MHz	791 MHz – 821 MHz	FDD
n25	1850 MHz – 1915 MHz	1930 MHz – 1995 MHz	FDD
n28	703 MHz – 748 MHz	758 MHz – 803 MHz	FDD
n34	2010 MHz – 2025 MHz	2010 MHz – 2025 MHz	TDD
n38	2570 MHz – 2620 MHz	2570 MHz – 2620 MHz	TDD
n39	1880 MHz – 1920 MHz	1880 MHz – 1920 MHz	TDD
n40	2300 MHz – 2400 MHz	2300 MHz – 2400 MHz	TDD
n41	2496 MHz – 2690 MHz	2496 MHz – 2690 MHz	TDD
n50	1432 MHz – 1517 MHz	1432 MHz – 1517 MHz	TDD ¹
n51	1427 MHz – 1432 MHz	1427 MHz – 1432 MHz	TDD
n66	1710 MHz – 1780 MHz	2110 MHz – 2200 MHz	FDD
n70	1695 MHz – 1710 MHz	1995 MHz – 2020 MHz	FDD
n71	663 MHz – 698 MHz	617 MHz – 652 MHz	FDD
n74	1427 MHz – 1470 MHz	1475 MHz – 1518 MHz	FDD

Full-Duplex

- 시간 분할 이중화 통신(TDD: Time Division Duplexing)
 - 주파수 대역을 시간적으로 분할하여 전송되는 데이터가 충돌하지 않게 함
- FDD와 달리 상,하향 같은 주파수를 활용
 - FDD는 상, 하향 주파수가 다름(반씩 나누어 사용)
 - Guard Interval을 두어 시간 전환 간 간섭을 방지
- 상,하향 링크가 시간에 따라 분리되기에 정확한 시간 동기화가 필요
 - 이로 인해 고속 전송에는 FDD보다 불리
- 채널 할당이 유연함
 - 상, 하향에 동적으로 타임 슬롯을 할당
 - 동적 할당으로 인해 비대칭, 혹은 Bursty(급증)한 트래픽 전송에 적합
- FDD보다 적은 주파수 대역을 필요로 하기에 주파수 효율성이 좋음
 - FDD보다 적은 주파수 대역(1/2), 즉 적은 가격(1/2)으로 서비스 제공 가능
- 상, 하향 링크의 채널 특성이 같기에 스마트 안테나, 링크 적응 등의 기술의 적용이 쉬움



Full-Duplex

- 현재의 이동 통신 방식(FDD,TDD)은 UL와 DL가 각각 별도의 무선 자원을 사용
- Full-Duplex 통신은 노드가 무선 신호를 전송함과 동시에 신호를 수신 가능
 - 동일 무선 자원을 사용하여 상,하향 링크 전송을 모두 수행
- 즉, Full-Duplex 방식은 **현재의 방식 대비 전송 용량을 최대 2배까지 향상 가능**
- 그러나 Full-Duplex 방식은 **심각한 자기 간섭(self-Interference) 문제 존재**
 - 노드가 수신하고자 하는 신호는 멀리 떨어진 다른 노드로부터 전송되어 큰 폭의 신호 감쇄를 겪음
 - 자기 간섭 신호는 자신이 전송하는 신호이기에, 수신하고자 하는 신호보다 더 큰 전력 세기로 수신됨
 - 이에 수신하고자 하는 신호를 디코딩하여 **오류가 없는 데이터를 추출하는 것이 어려움**
- Full-Duplex 방식을 구현하려면 자기 간섭 문제를 해결해야함
 - 해당 문제를 해결하기 위한 여러 연구 진행 중

Full-Duplex

- ETRI의 In-band Full Duplex 통신 기술 영상
- https://www.youtube.com/watch?v=cvn0EptL2qA&ab_channel=%ED%95%9C%EA%B5%AD%EC%A0%84%EC%9E%90%ED%86%B5%EC%8B%A0%EC%97%B0%EA%B5%AC%EC%9B%90ETRI

Security of Full-Duplex

Full-Duplex Small-Cell Networks: A Physical-Layer Security Perspective

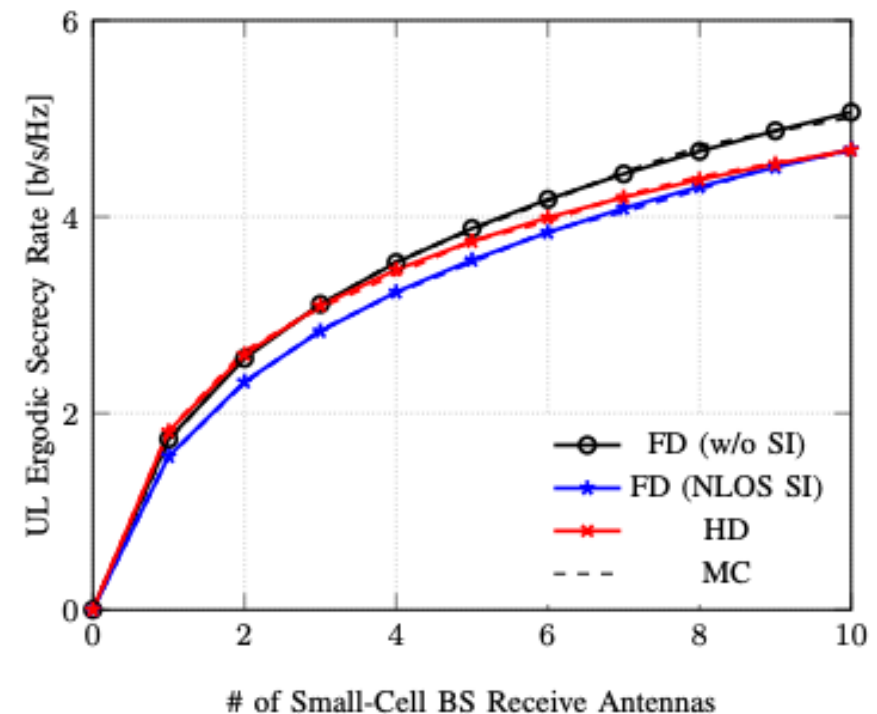
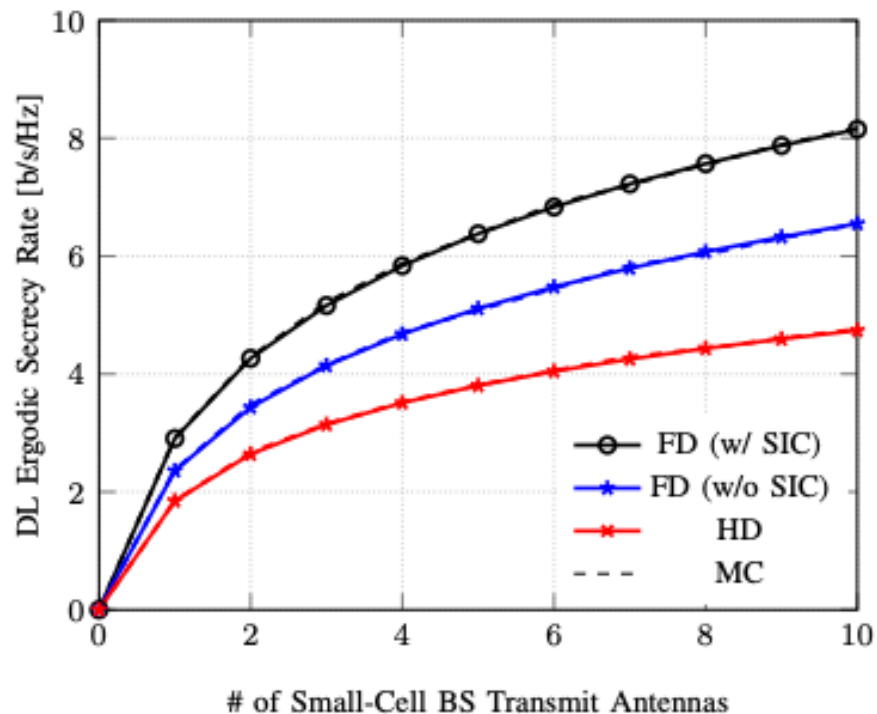
- 물리적 보안 관점에서의 Full-Duplex 소형 셀 네트워크 연구
- 다중 안테나 기지국(BS) 및 사용자 장비(UE)가 동질 포아송 포인트 프로세스(PPP) 기반 모델을 다르는 환경에서 수행
 - PPP: 어떤 공간에서의 무작위한 이벤트 발생을 모델링하는 확률
- 해당 연구에서는 **무선 소형셀 네트워크의 물리적 계층 보안 성능을 조사**
 - 다양한 시나리오에서의 도청차(ED)들의 포아송 필드가 존재한다고 가정
 - 선형 Zero-Forcing 빔 포밍을 고려하여 DL 및 UL 에르고딕 보안율을 특성화
 - 에르고딕 보안율: 통신 채널의 특성에 대한 통계적 정보를 이용하여 보안 통신에서의 메시지의 보호 수준을 평가하는데 사용
 - 다양한 유용한 신호 및 간섭 신호 통계에 대한 폐쇄형 표현을 유도
- 해당 연구 결과는 **FD의 물리적 계층 보안 성능을 향상시킬 수 있음을 보여줌**
 - 간섭 취소 체계를 지원
 - Full-Duplex가 스펙트럼 효율성(SE)를 향상시키는 데 도움이 됨을 보여줌

Security of Full-Duplex

- 시뮬레이션 환경
 - 소형 셀 기지국들의 의 공간 밀도는 $\lambda(d) = 4\pi$ per km^2 로 설정
 - 사용자 당 기지국과 사용자 장치의 송신 전력은 각각 $p_d = 23\text{dBm}$, $p_u = 20\text{dBm}$ 으로 고정
 - 모든 수신기에서의 잡음 스펙트럴 밀도는 -170dBm/Hz
 - 전체 시스템 대역폭은 $W = 10\text{MHz}$
 - 시뮬레이션은 반지름이 10km 인 원형 영역에서 20,000회 시행
- 모든 결과는 두 개의 리소스 블록을 통한 사용자 당 에르고딕 보안 성능에 해당함
 - FD 소형셀 네트워크에선 DL과 UL가 두 개의 리소스 블록 상에서 동시에 진행
 - HD 소형셀 네트워크에선 DL과 UL가 서로 다른 리소스 블록에서 발생
- 특히 DL에서는 UE측의 SIC 기능이 있는 경우와 없는 경우를 고려
 - **SIC: 자기 간섭을 약화시키는 기술**
 - 동시에 수신되는 신호 중 가장 강력한 신호를 먼저 감지하고 복조하여 제거 후, 다음으로 강력한 신호를 감지하고 이를 반복적으로 처리하여 간섭을 최소화하는 방식
 - 이를 통해 동시에 여러 신호를 수신하고 처리할 수 있어 전송 효율성을 향상시키고 통신의 안정성을 높임

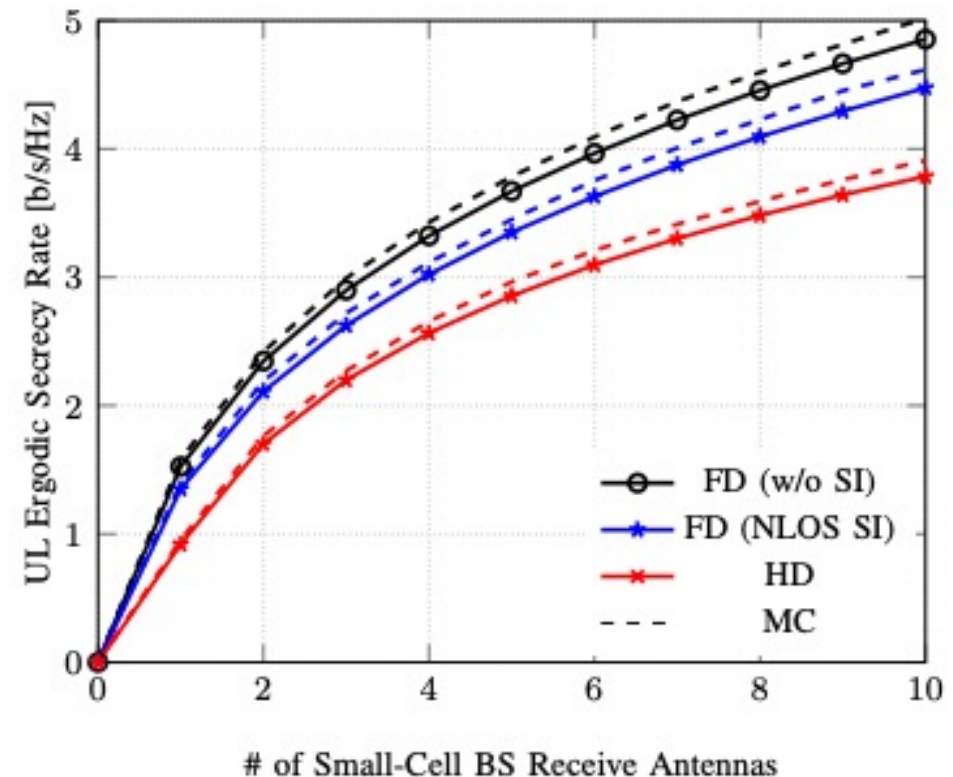
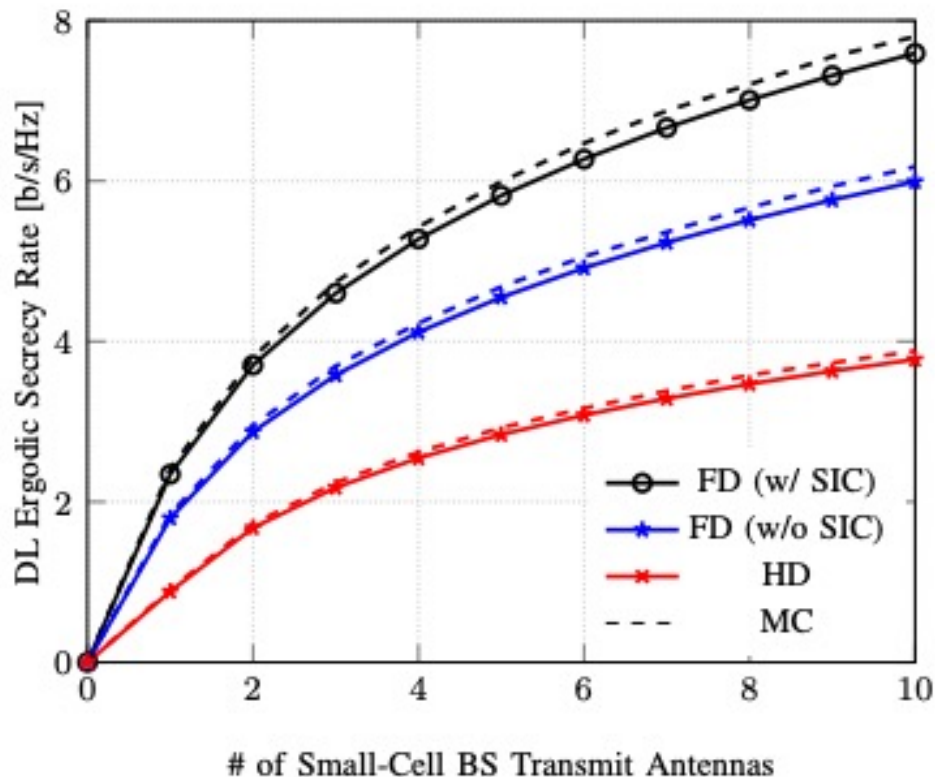
Security of Full-Duplex

- 소형셀 기지국의 송신 및 수신 안테나 수가 DL와 UL 물리계층의 보안 성능에 미치는 영향의 수치
 - 수동 도청기(통신 망에 대한 수동적인 감시 및 정보 수집에 사용)의 포아송 필드 상에서 테스트
- 모든 경우에서 에르고딕 보안률은 안테나 수가 증가함에 따라 같이 증가하는 것을 확인
- FD 물리층 보안 성능 향상률 또한 안테나 수가 증가함에 따라 같이 증가
 - SIC기능이 있을 경우에도 안테나 수가 적다면 미미한 에르고딕 보안률 향상(보안성 향상)을 의미



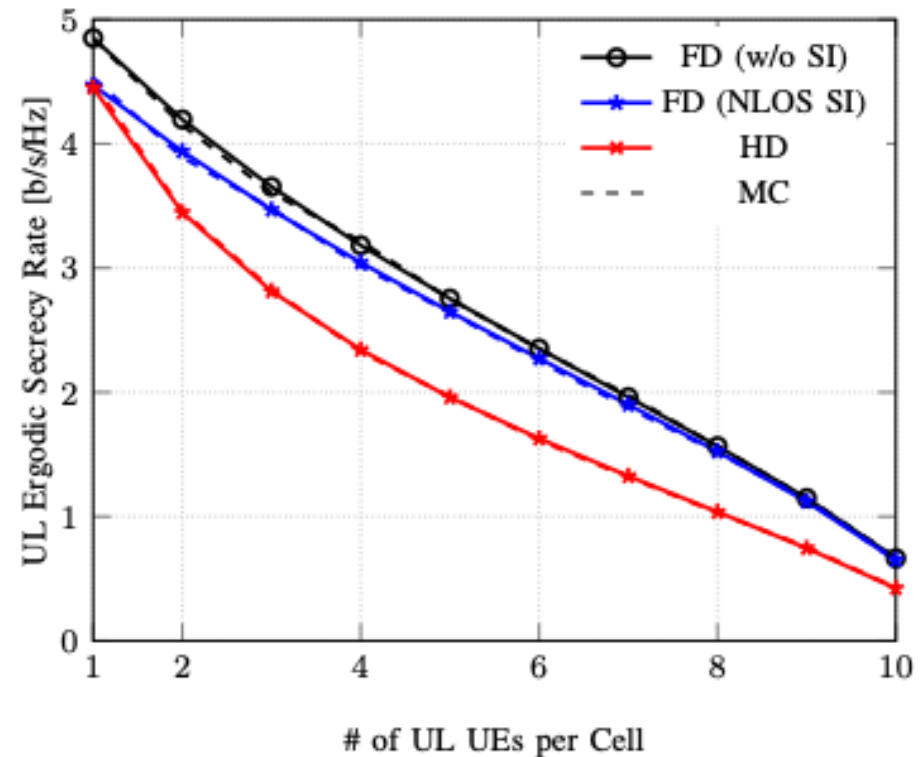
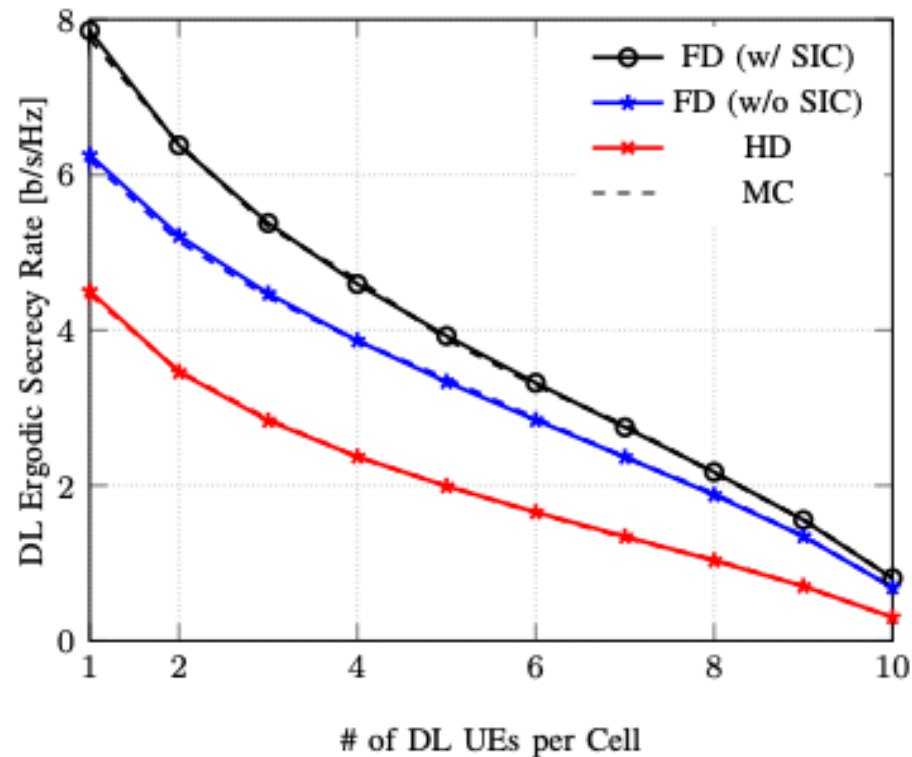
Security of Full-Duplex

- 소형셀 기지국 안테나 수가 공모 도청의 포아송 필드 하에서의 보안 성능에 미치는 영향의 수치
 - 공모 도청기(Colluding Eavesdroppers): 여러 도청기들이 협력하여 정보를 수집하거나 공유하는 도청 기법
- 수동 도청기의 경우와 유사하게, 안테나 수를 증가시키면 더 높은 에르고딕 보안률 향상을 보임
 - 상대적으로 FD 대 HD 에르고딕 보안률 향상이 더 높을 수 있음을 의미



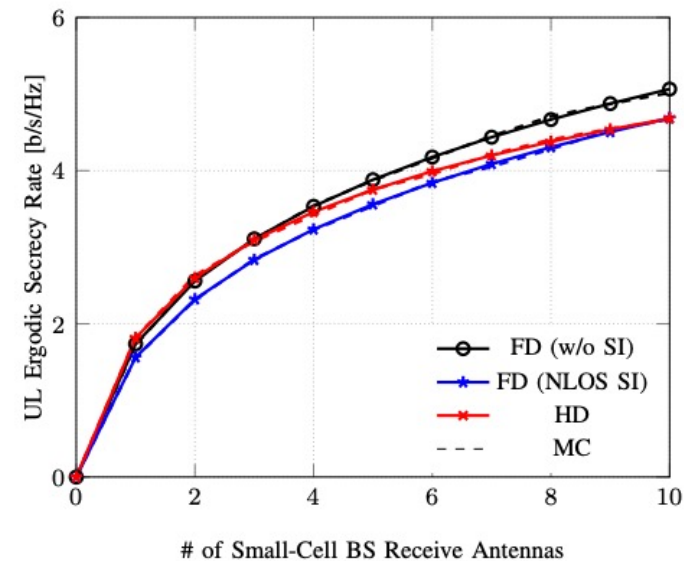
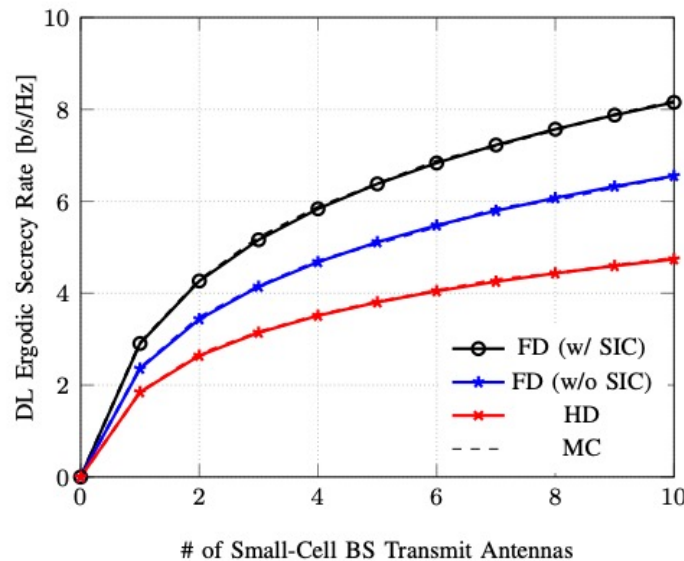
Security of Full-Duplex

- 수동 도청 장치들의 포아송 필드 하에서 서비스되는 사용자 수가 물리적 보안 성능에 미치는 영향
 - 소형셀 네트워크의 DL 및 UL 물리 계층 보안 성능에 미치는 영향을 조사
- 모든 시스템에서 사용자 당 에르고딕 보안을 성능이 감소되는 것을 보여줌
 - 셀 당 서비스 되는 UE 수가 증가함에 따라 항상 감소하는 것을 보여줌



Security of Full-Duplex

- 소형 셀 네트워크 물리 계층에 대한 사용자 장비(UE) 수가 미치는 영향을 표시
- **UE를 증가시키면 사용자 별 에르고딕 비밀율은 낮아지고, 면적 에르고딕 비밀율은 상승**
- 대규모 ED의 경우 DL 및 UL수를 동시에 늘리면 FD 대비 HD의 물리적 보안 성능이 감소함을 확인



- 모든 결과에서 FD가 HD보다 나은 에르고딕 보안률을 보임
- SIC를 적용한 FD의 경우, 적용하지 않은 FD보다 더 나은 에르고딕 보안률을 보임
- FD 기술을 사용한다면, 물리 계층에서의 보안 성능을 상당히 향상시킬 수 있음을 확인
- 특히 다중 안테나 통신 및 간섭 제거 기술과 결합 시 보안률 향상이 뚜렷하게 나타남을 확인

Q & A