



백서

5G의 첫 번째 단계

New Radio 디바이스의 다양한 설계 과제 해결

파트 1: 5G NR 표준

5G는 빠르게 진화하였고, 4G를 뛰어넘는 다음 세대의 기술을 제안합니다. 5G NR(New Radio) 초기 '릴리즈 15'가 2017년 12월에 선보이면서, 물리 계층 사양이 점차 향상되고 있습니다. 릴리즈 15 사양은 eMBB(모바일 대역폭) 및 URLLC(초고 신뢰도 및 초저 대기 시간 통신)의 향상에 집중하여 매우 빠른 데이터 속도를 달성하고 무선 통신의 대기 시간을 줄입니다.

이러한 새로운 사양으로 인해 디바이스와 구성요소 설계자들은 새로운 과제에 직면하고 있습니다. 새로운 표준에 맞춘 설계 외에도, 다양한 테스트 사례에 맞는 프로토콜을 어떻게 검증할 것이며, RF 성능을 어떻게 확인하여 서비스 품질 기대치를 충족할 수 있을까요? 이제 측정하는 일은 더욱 어려워졌습니다. Massive MIMO와 Beam Steering은 빔 관리에 따른 측정 과제와 mmWave (밀리미터웨이브) 주파수의 활용에 따라 신호 품질에 새로운 측정 과제를 직면하게 되었습니다. 기존에 케이블을 사용하던 테스트는 이제 OTA를 활용함으로써 더욱 검증이 어려워졌습니다. 네 파트로 나눈 이 백서 시리즈는 커뮤니케이션 스택의 하위 계층 및 5G 디바이스 설계 및 테스트에 주어진 새로운 과제를 해결하기 위한 고려사항을 설명합니다.

5G 시대를 맞이하며

클라우드 컴퓨팅, AI(인공지능), 머신 러닝, 증강 현실 및 가상 현실, IoT(사물 인터넷), 수억 개의 커넥티드 디바이스를 포용함에 따라 무선 통신 시스템의 영역이 전례 없이 확장되고 있습니다. 어떻게, 어디에 5G NR이 필요할까요? 5G 기술은 빠르고, 신뢰할 수 있으며 근거리에 준하는 연결을 제공함으로써 전 세계 사람들을 연결시켜 줄 것입니다. 5G를 통해 라이브 이벤트와 게임을 실시간으로 경험할 수 있으며, 음성 및 영상 통화를 더욱 친숙하게 접하고, 스마트 디바이스를 인공지능과 페어링하여 개개인을 위한 맞춤형 환경을 조성할 수 있습니다.

5G NR은 4G와 함께 작동할 것이며, 심지어 비단독형 모드(NSA)의 데이터 및 제어 영역을 위해 4G 코어 네트워크를 활용할 것으로 예상됩니다. 또한 5G와 4G, Wi-Fi는 동일한 반송파 내에서 공존하여 비면허 대역을 활용해 6GHz 미만의 용량을 증가시켜 줄 것으로 기대합니다. 5G NR 릴리즈 15는 5G 통신의 향후 릴리즈를 적용할 수 있는 유연성을 제공하도록 기초를 확립합니다. 물리계층은 5G NR 도입의 첫 단계로, 무선 신호를 구성하고 무선 인터페이스(Air interface)를 통해 신호가 통신되는 방법을 결정하는 중요한 파트입니다.

새로운 과제



물리 계층의 디바이스 설계 관련 과제는 다음과 같습니다.

- 유동적인 시간 및 주파수 간격으로 대기 시간은 줄어들지만 채널 코딩이 복잡해지며 신호 품질 확보가 어려워지고 다양한 테스트 사례가 생겨납니다.
- 스펙트럼은 대역폭 파트를 통한 경우 효율적으로 활용할 수 있지만 새로운 공존 문제(coexistence)가 야기됩니다.
- Massive MIMO 및 mmWave beam steering으로 스루풋과 용량 게인은 높아지지만, 그와 동시에 빔 스티어링 부분에 새로운 과제가 대두됩니다.
- mmWave 주파수의 사용으로 채널 대역폭은 더욱 확장되지만, 신호 품질 확보에 어려움이 발생하면 OTA 테스트에 대한 필요성이 생겨납니다.

본 시리즈의 파트 1에서는 5G NR 사양을 소개하고 5G 영역에서 향상을 도모할 것으로 예상되는 새로운 기능을 설명합니다. 새로운 설치 항목으로 인해 5G NR 사양을 이행하는 일은 더욱 어려워질 것입니다.

5G NR 사양

NR 릴리즈 15는 새로운 무선 인터페이스(air interface)를 확정하여 데이터 스루풋 향상과 낮은 대기 시간(latency) 사례를 구현합니다. 스루풋 향상의 핵심은 mmWave 스펙트럼을 52.6GHz까지 추가하는 것입니다. 이와 같이 높은 주파수에는 해당 채널을 통해 더 많은 데이터를 전송할 수 있는 더욱 인접한 스펙트럼이 있습니다. 릴리스 15는 최대 반송파 대역폭을 최대 400MHz 및 최대 800MHz 대역폭으로 집적될 수 있는 최대 16개의 구성요소 반송파로 확정합니다. 또한, 슬롯 구성의 유동성과 확장성은 5G를 보다 새롭고 다양하게 이용할 수 있도록 돋습니다. 그림 1은 다양한 사양이 유동적이고 확장 가능한 물리 계층 구현에 어떻게 기여할 것인지 설명합니다.



그림 1: 5G NR 릴리스 15의 기술 및 이점.

용어

- CP** – 주기적 전치 부호
CP-OFDM – 주기적 전치 부호 직교 주파수 분할 다중 방식
CSI – 채널 상태 정보
DFT-s-OFDM – 지연 확산 OFDM
DL – 다운링크
eMBB – 향상된 모바일 광대역
FDD – 주파수 분할 이중통신
LTE-LAA – LTE 비면하대역 주파수 집성기술
MIMO – 다중 입력, 다중 출력
mMTC – 대규모 사물통신
mmWave – 밀리미터파
NR – New Radio
OTA – Over the Air
PAPR – 피크 대 평균 전력비
SFI – 슬롯 형식 지시기
TDD – 시간 분할 복신
TTI – 시간 전송 간격
UL – 업링크
URLLC – 초고 신뢰도 및 초저 대기 시간 통신

유동적 파형 및 수비학

5G NR은 CP-OFDM(주기적 전치 신호 직교 주파수 분할 다중 방식)을 다운링크(DL) 및 업링크(UL)의 변조 형식(또는 파형)으로 정의합니다. CP-OFDM은 DL 전송에서는 널리 사용되지만 모바일 UL 전송에서는 새롭게 도입됩니다. UL과 DL에서 동일한 파형을 사용하게 되면 미래 릴리즈의 디바이스 간 통신이 더욱 쉬워집니다. DFT-s-OFDM(지연 확산 OFDM)은 또한 UL의 선택형 파형을 지정하였습니다. 이는 단일 전송을 사용하여 전력이 제한된 시나리오에서 유용합니다.

4G와 달리 NR은 확장 가능한 OFDM 수비학(μ)을 허용하기 때문에 하위 반송파 간격이 더 이상 15kHz에 고정되지 않습니다. NR을 통해 하위 반송파는 $2^\mu \times 15\text{kHz}$ 하위 반송파 간격의 적용을 받습니다. 15, 30 및 60kHz의 하위 반송파 간격은 하위 주파수 대역에 사용되며 60, 120 및 240kHz 하위 반송파 간격은 상위 주파수 대역에 사용됩니다. 확장 가능한 수비학은 확장 가능한 슬롯 지속 시간을 구현하여 다양한 서비스 수준의 스루풋, 대기 시간, 신뢰도에 맞게 최적화합니다. 하위 반송파 간격이 상위 주파수에서 더 벌어지면 통합된 위상 노이즈가 mmWave 설계 시 생성될 수 있으므로 파형의 견고성에 유용하게 작용합니다. 그림 2는 다양한 하위 반송파 간격과 관련 전송 시간 간격(TTI)이 각 슬롯의 사이즈를 어떻게 확장하는지 설명합니다.

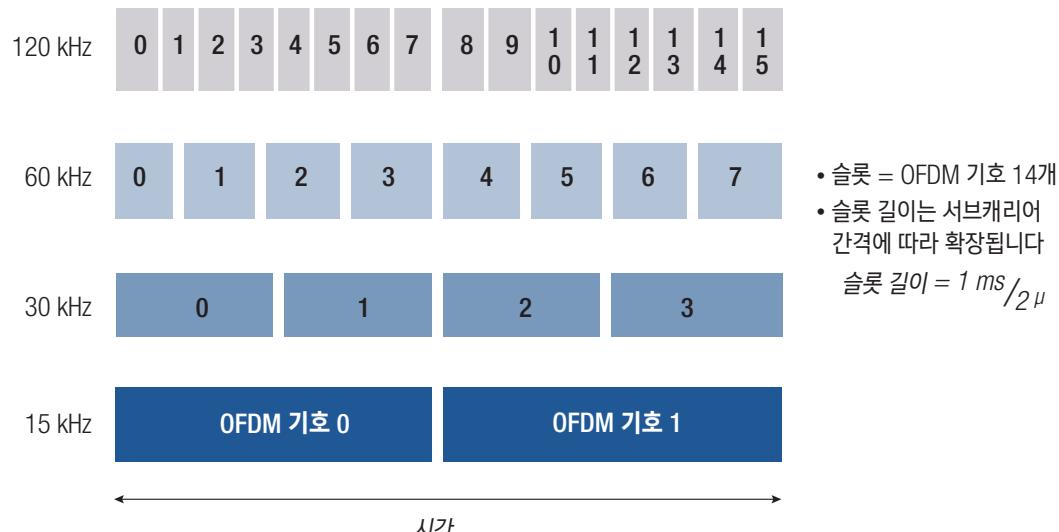


그림 2: 부반송파(subcarrier) 간격 및 지속 시간 간의 상관 관계.

OFDM 시스템에서 주기적 전치 신호(CP)가 채널 지연 확산과 부호 간 간섭의 효과를 완화하기 위해 사용됩니다. CP는 버퍼를 제공하여 동일한 신호의 시작점에서 해당 신호의 끝점을 반복함으로써, OFDM 신호를 부호 간 간섭으로부터 보호합니다. 이로써 구현 가능한 데이터 속도가 낮아지기 때문에 부호 간 간섭은 CP 길이만큼 완전히 제거됩니다. 5G NR에서는 하위 반송파 간격과 주기적 전치 신호 길이 또한 확장되기 때문에, CP 길이를 채널 조건에 맞게 적용할 수 있습니다.

저지연 미니 슬롯

초고 신뢰도 및 초저 대기 시간 통신(URLLC)은 주요 3가지 5G 이용 사례 중 하나이며 부분적으로 미니 슬롯을 통해 구현됩니다. LTE에서 전송은 표준 슬롯 경계를 준수하지만, 이들 경계는 초저 대기 시간에 맞게 최적화되지는 않았습니다. 표준 슬롯은 그림 3에 진청색으로 표시된 14 OFDM 부호를 갖습니다. 하위 반송파 간격이 늘어나면서 슬롯 지속 시간은 하늘색으로 표시된 것처럼 하강합니다. 미니 슬롯의 지속 시간은 표준 슬롯보다 짧기 때문에 슬롯 내부 어디든지 위치할 수 있습니다. 미니 슬롯은 2, 4 또는 7 OFDM 부호 길이입니다. 미니 슬롯은 슬롯 경계가 시작될 때까지 기다릴 필요없이 즉각적인 시작 시간을 기반으로 대기 시간이 짧은 페이로드를 제공할 수 있습니다.



그림 3: 하위 프레임 및 관련 슬롯 지속 시간 내의 슬롯과 미니 슬롯.

유연한 슬롯 구조

NR 서브프레임 구조는 동일한 서브프레임 내에서 OFDM 심볼 링크 방향 및 제어의 다이내믹 배정을 허용합니다. 이러한 다이내믹 TDD 매커니즘을 활용하여 네트워크는 동적으로 UL과 DL 트래픽 요구사항 간의 균형을 실현할 수 있으며, 여기에는 동일한 서브프레임의 제어 및 응답이 포함됩니다. 슬롯 형식 지시기(SFI)는 슬롯 내 특정 OFDM 부호가 업링크, 다운링크 또는 유동적 링크를 위해 사용되었는지 표시합니다.

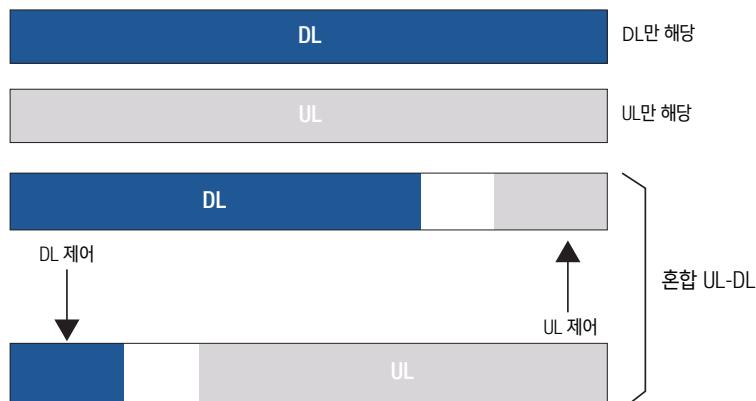


그림 4: 동적 트래픽 개선을 위해 혼합 가능한 슬롯 구조.

유연한 대역폭 파트

LTE에서 반송파는 대역폭에서 최대 20MHz까지 좁아지며, 집적될 경우 최대 100MHz의 더욱 넓은 채널 대역폭을 형성합니다. 5G NR에서 최대 반송파 대역폭은 FR1에서 최대 100MHz(24GHz까지) 이거나, FR2에서 최대 400MHz(52.6GHz까지)입니다. 5G NR에서 새로운 점은 다양한 목적에 맞게 반송파가 세분화되는 대역폭 파트입니다. 각 대역폭 파트는 각자의 수비학을 갖추고 있으며 독립적으로 신호를 받습니다. 반송파 하나는 혼합된 수비학을 가질 수 있으므로, 비면허 대역에서 절전 또는 수비학과 서비스의 멀티플렉싱과 같은 다양한 수준의 서비스를 지원합니다. 그러나 UL과 DL에서 각각 하나의 대역폭 파트만이 특정 시간에 활성화됩니다. 대역폭 파트는 동일한 반송파상의 새로운 5G 디바이스와 함께 기존 4G 디바이스를 지원하게 됩니다. 4G, 5G 및 잠재적인 Wi-Fi 다중 분할 서비스 시, 대역 내 및 내역 외 방사는 모두 최소한으로 유지되어야 합니다. 그림 5는 대역폭 파트가 어떻게 특정 반송파에서 다양한 서비스를 지원하는지 예시를 통해 보여줍니다.

대역폭 파트



그림 5: 대역폭 파트의 동일 반송파 내 다양한 서비스의 분할 다중 방식 지원.

매시브 MIMO 및 빔 스티어링을 통한 스루풋 확대

이전 세대와 마찬가지로 스루풋은 5G 통신을 위한 핵심 성공 열쇠이며, 다양한 방식을 통해 구현할 수 있습니다. 더욱 넓어진 전체 채널 대역폭을 통해 무선 인터페이스로 더 많은 데이터를 전송하는 방법, 독립적인 다중 데이터 스트림이 특정 시간과 주파수에서 다중 안테나를 통해 전송되는 공간 다중화, 향상된 채널 피드백을 사용하여 향상된 채널 코딩을 갖춘 전송에 최적화된 신호를 통한 더 높은 스루풋 구현 등이 이러한 방식에 해당합니다. 매시브 MIMO 및 빔 스티어링이 스루풋 개선의 핵심 기술입니다.

NR 릴리즈 15는 주파수 당 최대 400MHz 대역폭을 사용한 주파수 사용을 최대 52.6GHz으로 확장하며, 다중 반송파는 집적되어 최대 800MHz 채널 대역폭을 형성합니다. 그러나 mmWave 주파수에서 운영할 경우 경로 손실, 장애, 신호 전파 등의 새로운 과제가 있습니다. 빔 스티어링은 이러한 문제를 해결하는데 사용하는 핵심 기술입니다. NR은 새로운 초기 액세스 절차를 확정하여 빔 스티어링에서 사용되는 지향 (directional) 송신을 할당합니다. 그림 6과 마찬가지로, 새로운 초기 액세스 기술은 기지국이 빔 스위핑을 사용하여 다중 빔을 전송하며, 가장 강도가 센 신호를 파악하여 통신 링크를 형성합니다. 초기 액세스를 검정하고 빔을 관리하며 무선 링크를 통해 스루풋을 구현하는 것이 5G에서 빔 스티어링을 성공적으로 이행하는 데 핵심적인 요소로 작용할 것입니다.

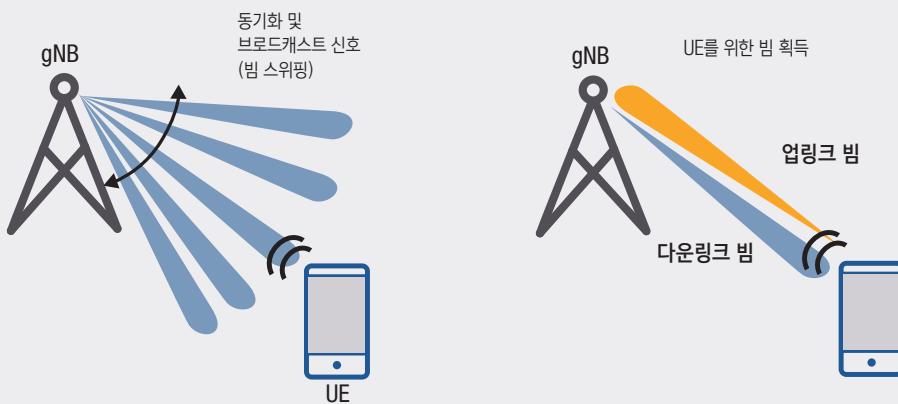


그림 6: 빔 스위핑 및 초기 액세스.

빔 포밍 신뢰도 향상을 위한 CSI

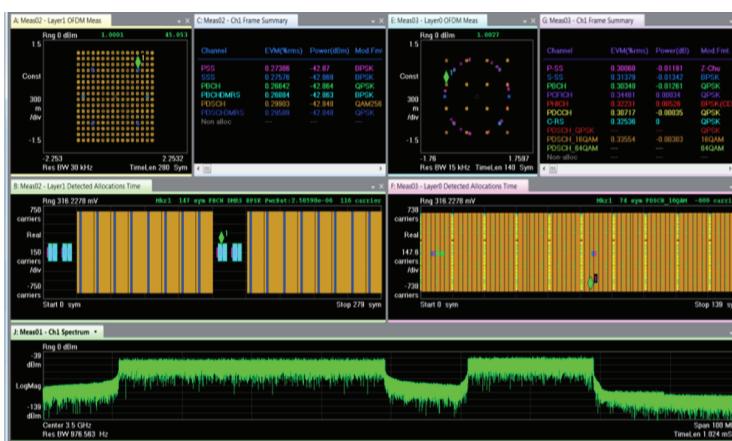
채널 상태 정보(CSI)는 5G NR 빔 포밍의 신뢰도 구축에 유용하게 작용할 것입니다. 5G NR은 CSI 수집을 위한 새로운 빔 관리 프레임워크를 확정해 CSI 측정치와 보고 간의 연결을 감소시키므로 다양한 빔을 동적으로 관리할 수 있습니다. CSI는 채널 추정을 사용해 지능적으로 프리코딩을 변경하여 빔을 특정 사용자에 맞게 적용합니다. CSI 정보가 정확하고 정밀할수록, 이러한 링크의 적응도가 향상됩니다.

5G NR 파형

5G NR 파형의 주파수, 시간, 변조 도메인 분석을 이해하는 것이 중요합니다. 더욱 넓은 대역폭을 갖는 새로운 mmWave 주파수 및 하위 6GHz에서 다양한 이용 사례에 따라 5G 파형을 생성하고 분석할 수 있는 소프트웨어와 하드웨어를 확보하는 것이 필수적입니다. 다양한 하위 반송파 간격 및 다이내믹 TDD, 대역폭 파트의 유연한 수비학을 비롯한 NR 사양에서의 새로운 기술로 인해 파형을 생성하고 분석하는 일은 더욱 복잡해집니다. 그림 7은 키사이트의 5G Signal Studio 소프트웨어와 신호 발생기를 사용해 형성한 두 가지의 NR 파형과 키사이트의 89600 VSA 소프트웨어를 이용한 분석을 보여줍니다.



39GHz에서의 256 QAM NR 신호,
400MHz 대역폭 분석.



인접 대역에서의 5G NR 및
4G LTE의 동시 분석.

그림 7: 5G 신호 발생기, 신호 분석기,
VSA 소프트웨어를 사용해 분석한
4G 및 5G 파형.

파트 1의 결론

5G는 스루풋의 대폭적인 향상, 낮은 대기 시간 및 대량 M2M 통신을 제공합니다. 초기 5G NR 릴리즈 15는 유연성 및 이후 버전과의 호환성을 제공하지만, 이행 과정에서 상당한 과제를 극복해야 합니다. 시뮬레이션, 설계, 검증 과정 등의 모든 측정 단계에서, 이러한 표준을 충족하기 위해 고려해야 할 사항과 해결해야 할 과제가 있습니다. 5G 디바이스의 설계와 테스트는, mmWave 주파수에서 견고하고 높은 스루풋 연결을 확보하는 데 필요한 다양한 테스트 사례의 검증을 포용하고 5G NR, 4G, Wi-Fi의 공존을 설계할 수 있도록 진화해야 합니다. mmWave 주파수에서의 새로운 과제와 NR 디바이스 설계 시 고려 사항을 다음 5G NR 백서에서 설명할 예정입니다.



www.keysight.com에서 더 많은 정보를 확인하실 수 있습니다.

키사이트테크놀로지스 제품, 어플리케이션 또는 서비스에 대한 자세한 정보는 해당 지역의 키사이트로 문의하십시오. 연락처는 www.keysight.com/find/contactus에서 확인하십시오.

