

5G 세상 준비하기:

기반 기술 및 하드웨어 요구 사항에 대한
개요



Pietro Scalia
사업부 이사
텍사스 인스트루먼트

5G가 초저 대기 시간, 빠른 속도, 낮은 소비 전력 및 더 많은 연결을 약속하며 전 세계적으로 도입 속도를 더해감에 따라 하드웨어 회사와 엔지니어들은 2020년 이후를 위한 포트폴리오를 준비하고 있습니다.

4G가 소비자용 네트워크 성능에 중점을 두거나 "인터넷을 내 손으로" 등의 표어를 앞세웠다면, 5G는 이보다 훨씬 많은 것을 제공할 것입니다.

5G란 무엇일까요?

5G는 산업, 자동차, 의료는 물론, 군수에 이르기까지 다양한 시장의 혁신적인 애플리케이션을 구현하기 위한 통신의 중추입니다. 사물 인터넷(IoT)에 의해 연결의 수가 급격하게 증가하는 현재 환경에서, 속도(4G보다 최소 10배 이상 빠른 속도, 최고 속도 10Gbps), 지연 시간(4G보다 10배 이상 낮은 시간, 최소 지연 1ms), 밀도(평방Km당 IoT 장치 100만 대 지원)가 크게 개선된 5G는 보안, 신뢰성, 서비스 품질, 효율성 및 비용이 중요한 여러 혁신적인 애플리케이션을 실현하는데 중요한 역할을 할 것입니다.

그림 1에 나온 것처럼 5G는 사물을 서비스에 연결합니다. 여기에서 "사물"은 소비자 또는 기업의 공간에 있으며 "서비스"는 일반적으로 클라우드에 있습니다. 5G 네트워크는 병렬 연결을 서비스 사용자 요청 수준에 가장 맞는 크기로 유연하게 잘라서 최적의 비용/성능의 균형을 제공합니다.

5G는 통신 표준 진화의 단순한 다음 "G(세대)"가 아니며 최소한 세 가지 주요 트렌드를 아우르는 포괄적 용어입니다. ITU(International Telecommunication Union)의

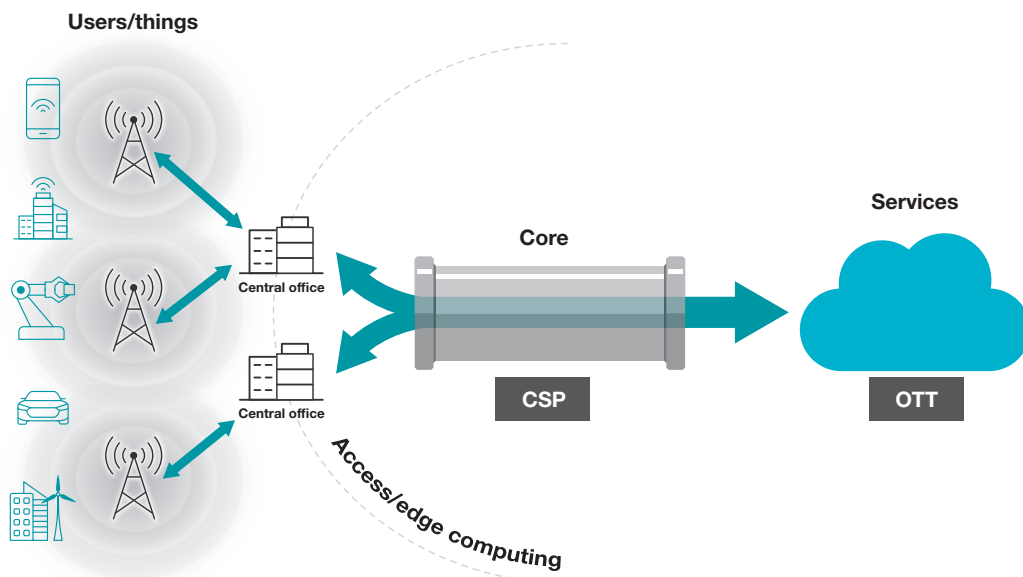


그림 1: 5G가 사용자/사물을 서비스와 연결하는 방법.

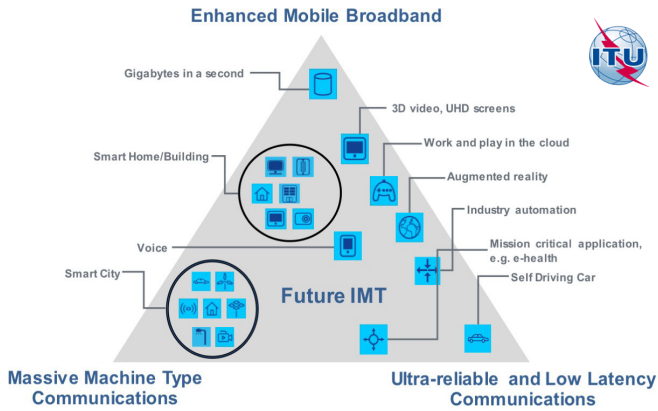


그림 2: ITU-R IMT-2020 비전 권장 사항의 5G 사용 시나리오.

정의(그림 2 참조)에 따르면 이러한 트렌드 중 첫 번째는 향상된 모바일 대역폭(emBB)이며 증강 현실 및 가상 현실과 같은 영역을 개선하는 데 일조할 것입니다. 두 번째 트렌드는 IoT를 위한 유비쿼터스 센서 연결을 포함하는 mMTC(massive Machine-Type Communication)입니다. 세 번째는 자율 주행이나 원격 수술과 같이 중요한 애플리케이션을 위한 신뢰도가 극히 높고 대기 시간이 낮은 통신입니다. 5G는 스마트폰, 자동차, 시설, 웨어러블, 병원 수술실, 대규모 공장, 전력망 등 모든 곳에서 스마트 도시, 스마트 제조 및 연결된 세계의 개념에 더 가까이 다가갈 것을 약속합니다.

단계적 롤아웃

5G NR(New Radio)은 5G 플랫폼의 필수적인 부분으로 남은 LTE-Advanced와 연결되어 기존 코어 네트워크 인프라에서의 작동을 보장합니다. 이 방법을 통해 업계에서 2017년 말에 완성된 3세대 파트너십 프로젝트(3GPP) 릴리즈 15의 롤아웃으로 스펙트럼의 6GHz 미만 영역에서 꾸준한 발전이 가능했습니다. 릴리즈 15는 2020년까지 5G 초기 배포를 지원할 것입니다.

그러나 6GHz 이상 스펙트럼(밀리미터파)에 영향을 미치는 표준은 2019년 하반기부터 배포될 릴리즈 16입니다(그림 3 참조). 릴리즈 16은 중요한 통신 서비스, 가상 현실 및 LPWA(Low-Power Wide-Area) IoT에 필수적입니다. 이 표준은 스펙트럼 공유, 차량용 C-V2X(Cellular Vehicle-to-Everything) 등을 비롯한 모든 새로운 기능을 기본적으로 갖추고 5G 버전의 진정한 잠재력으로 자주 홍보된 애플리케이션의 많은 부분을 실현함으로써 통신 업계의 지형을 완전히 바꿀 것으로 기대되고 있습니다.

5G 채택을 보여주는 비즈니스 사례

5G를 위한 첫 번째 비즈니스 사례는 간단하게 4G와 동일한 비용으로 네트워크 용량, 속도, 신뢰성 및 가용성을 높이고 지연 시간은 낮추는 솔루션입니다.

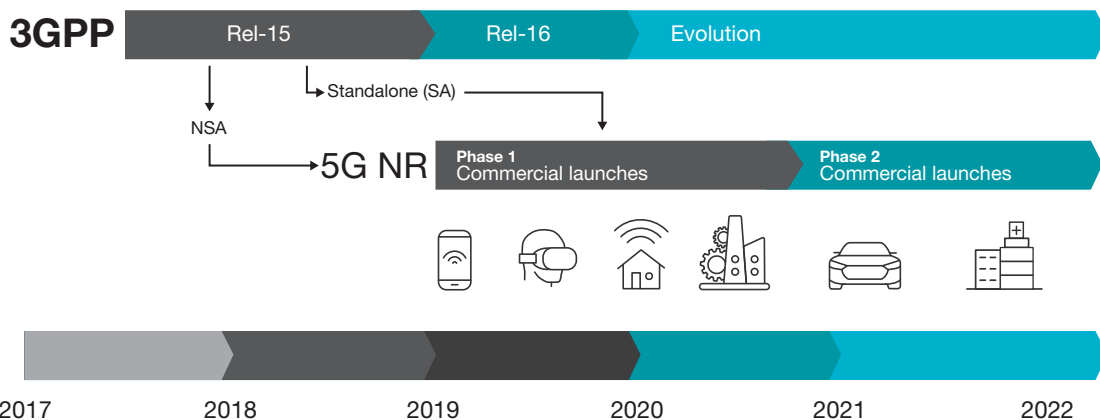


그림 3: 3GPP 릴리스 타임라인.

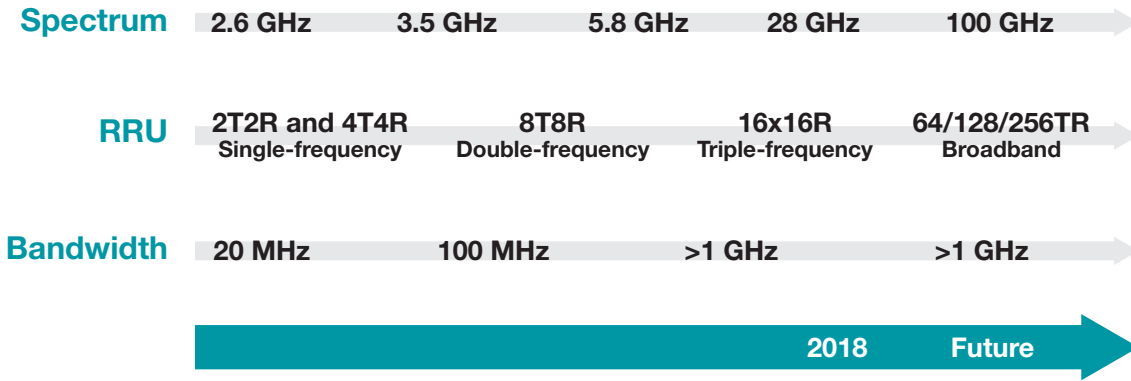


그림 4: 무선통신 파라미터의 혁신.

두 번째 비즈니스 사례는 미국에서 이미 상용화 출시되었으며, 밀리미터파 주파수(아직 3GPP 지정이 안 됨)를 광섬유의 대안으로 사용하여 저렴한 설치 비용으로 300Mbps 이상의 속도로 원격 사용자를 연결하는 고정형 무선 애플리케이션입니다(그림 4 참조). 이것으로도 초기 5G 테스트 및 시연에 참여한 대부분의 이동 통신 사업자뿐 아니라 먼저 5G 서비스를 런칭하기 위해 인프라를 구축하려는 - 먼저 핵심 네트워크에서부터 시작하여 이중셀 커버리지를 높이려는 - 사업자에게 충분합니다.

초기 테스트와 시연에 참여한 국가 중 설치된 송수신 기지국(BTS) 측면에서 뒤쳐진 미국은 필요한 셀 커버리지 밀도를 준비하기 위해 다른 어떤 국가보다 빠른 속도로 5G 롤아웃을 시작했습니다. 참고로 2018년을 기준으로 미국은 약 20만 개의 기지국을 보유하고 있지만, 중국은 약 200만 개를 보유하고 있습니다. 또한 전 세계 기존 IoT 연결의 70%를 중국이 유지하고 있다는 점을 감안하면 해당 국가의 롤아웃 필요성은 크게 다르다고 할 수 있습니다. 백서 작성 시점을 기준으로 한국, 오스트레일리아, 영국, 이탈리아, 스페인, 미국, 독일 등에서 신규 주파수 경매가 진행 중이거나 진행될 예정입니다.

Mobile World Congress 2018에서 GSMA(Group Spéciale Mobile Association)는 2023년까지 소비자 및 엔터프라이즈 애플리케이션 양쪽을 합해 5G 연결의 수가 4조 개(그중 30%는 미국)에 이를 것으로 전망했습니다.

통신 서비스 공급자(CSP)만 5G에 대해 기대하고 있는 것은 아닙니다. 많은 이례적인 주자들이 5G 영역에서 움직이고 있습니다. Facebook, Microsoft, Google 및 Amazon을 비롯한 오버더톱(OTT) 미디어 공급자들이 비즈니스 기회를 주시하고 있습니다. 이러한 OTT 공급자는 대부분의 서비스가 위치하는 자체 클라우드를 보유하고 있어 5G 미션의 핵심 주자라고 할 수 있습니다. 그러나 이들 업체는 아직 액세스 부분을 보유하지 못하고 있으며, 이 영역은 CSP가 완전히 관리합니다.

5G의 특성

4G 구현 중에도 이미 많은 네트워크 기능이 가상화되어 인프라의 공용 클라우드 부분(IAAS: Infrastructure As A Service)이 크게 성장할 수 있었습니다. 그러나 연결고리는 확고하게 CSP의 손에 남아 있습니다. 공생적으로 작동하는 시스템은 공급자와 사용자 간의 올바른 연결 설정과 스마트한 관리를 필요로 합니다. 이러한 연결의 진화에는 5G의 새롭고 중요한 특징인 네트워크 슬라이싱 및 에지 컴퓨팅과 같은 새로운 기술이 포함됩니다.

네트워크 슬라이싱

컴퓨팅을 사용자와 가까운 곳으로 옮기는 에지 컴퓨팅은 5G 퍼즐의 중요한 조각이지만, 4G의 소프트웨어 정의 네트워크 개념을 한 차원 끌어올린 네트워크 슬라이싱의 개념은 5G의 미래에서 에지 컴퓨팅과 비슷한 수준으로 중요한 구성 요소입니다.

그림 5에 나오는 것처럼 네트워크 슬라이싱은 운영사가 패킷 트래픽 계층을 컨트롤 계층으로부터 분리하여 다양한 수준의 품질, 지연 시간 및 대역폭을 필요로 하는 사용자 범위를 위해 병렬로 실행 중인 여러 애플리케이션과 서비스를 지원할 수 있게 해줍니다. 이것은 5G 시스템이 특정 애플리케이션과 고객을 지원하기 위한 논리적 네트워크 슬라이스(또는 "고속 트랙 레인")를 가질 수 있다는 의미입니다.

예를 들어 한 운영사에서 증강 현실 툴을 사용하기 위해 emBB를 필요로 하는 고객을 지원하는 동시에 이와는 아주 다른 네트워크 특성이 요구되는 mMTC, 자율 주행 또는 원격 수술을 위한 네트워크를 필요로 하는 고객을 지원할 수 있습니다. 애플리케이션마다 각각의 특정한 요구 사항이 있으므로, 네트워크를 서로 다른 전용 세션 또는 병렬 연결로 잘라서 다양한 슬라이스를 적절하게 최적화할 수 있습니다.

이를 통해 운영사는 네트워크를 고객에게 서비스형 방식으로 판매하여 모든 고객이 네트워크의 슬라이스를 마치 전체로부터 물리적으로 잘라낸 것처럼 경험할 수 있게 해줍니다. 조리법의 재료를 실시간으로 조정해서 "케이크의 원하는 조각을 선택하고 먹는" 것과도 비슷합니다. 본질적으로 네트워크 슬라이싱은 운영 효율성을 높이고 새로운 서비스를 구현하기 위한 시장 출시 시간을 단축시켜줍니다.

네트워크 슬라이싱은 엔터프라이즈 고객에게 비용 효율적인 새로운 5G 서비스를 제공하기 위한 가장 중요한 기반 기술이 될 것입니다.

에지 컴퓨팅

에지 컴퓨팅은 실시간 결정을 데이터의 원본과 가까운 곳에서 수행하는 것을 의미합니다. 에지 컴퓨팅은 컴퓨팅 지능을 데이터의 개별적이고 다양한 원본에 가깝게 배치함으로써, 요청된 서비스의 구현에서 지연 시간을 줄입니다. 에지 컴퓨팅은 처리할 데이터를 전체 코어 네트워크를 통해 클라우드로 전송하는 대신, 분산된 네트워크 아키텍처를 사용하여 감소한 지연 시간으로 거의 실시간에 가까운 처리를 보장하며, 이것은 특정 서비스에서 반드시 필요한 요건입니다.

즉각적인 컴퓨팅 리소스를 요구하는 중요한 애플리케이션을 비롯해, 자율 주행, 원격 의료 및 가상 현실 애플리케이션과 같은 인공 지능(AI) 기반 스마트 기능이 확산됨에 따라 컴퓨팅을 최종 사용자, 즉 에지로 이동하는 것이 무엇보다 중요한 요건이 되었습니다. 예를 들어, 전체 네트워크를 왕복하는 데 수십 밀리초가 소모된다면 자동차 주행 중 제동 명령을 수신해도 수 미터를 더 이동할 수 있습니다. 에지 리소스를 사용하면 지연 시간을 10배 이상 줄여 제동 명령이 실제 실행되는 시간을 크게 단축할 수 있습니다.

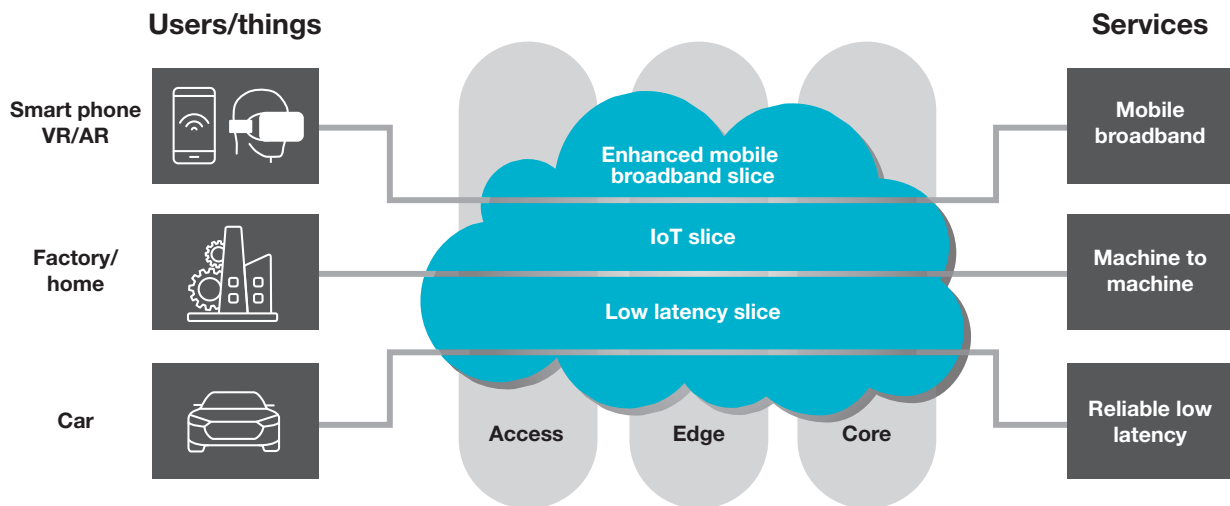


그림 5: 5G 네트워크 슬라이싱.

에지 컴퓨팅 리소스 또는 다중 액세스 에지 컴퓨팅은 RAN(Radio Access Network)의 기존 중앙 사무실에서 손쉽게 홈을 찾을 수 있습니다. AI 가속기를 사용하면 안테나 클러스터부터 수 킬로미터까지 다양한 거리에서 추가 하드웨어 리소스 및 서버를 찾을 수 있습니다. 이 같은 방식은 추가 하드웨어 인프라를 확산시킵니다.

5G 미래의 핵심 하드웨어

5G 네트워크는 강력한 NR 액세스 표준과 기능을 갖추고 있어 다양한 애플리케이션의 여러 수직 시장에 적합합니다. 이에 따라 안테나를 통합하여 원격 무선통신 헤드의 개념을 발전시킨 [AAS\(Active Antenna Systems\)](#)와 같은 장비에 포함되는 등의 많은 하드웨어 수요가 발생하고 있습니다. 이러한 통합은 공간 다양성 및 지역화 빔을 통해 mMIMO(Massive MIMO) 기술을 구현하여 5G의 용량 향상 과제를 해결하도록 도와줍니다.

AAS, mMIMO 및 빔포밍

AAS 기술은 기지국 효율을 극대화하여 운영사가 용량을 크게 증가시키고(5G의 경우 최대 5배) 해당 네트워크의 커버리지 대상을 늘릴 수 있도록 해줍니다. 전원 증폭기(PA) 클러스터는 안테나 요소와 함께 AAS의 필수적 부품으로서, 현재 최대 1024개의 PA를 사용하여 네트워크가 베이스밴드 노드에 연결하기 위한 완전한 액세스 기능을 제공할 수 있습니다. 이러한 부품은 AAS와 같은 장소에 배치하거나 중앙 사무소(클라우드 RAN)에 배치할 수 있습니다. 공간 다양성에 기반을 두고 여러 동시 및 개별 데이터 경로를 개별 사용자에게 지원하는 기술인 mMIMO를 통해 주파수 재사용이 가능하며, 이는 공간 멀티플렉싱을 구현하여 BTS의 높은 용량을 가능하게 하는 주된 원동력이 됩니다. 여러 다른 안테나를 사용하는 것도 3D 지향성 및 집중형 빔을 사용하는 기술인 향상된 빔포밍을 가능하게 하는 방법입니다. 이 기술은 인접 채널의 간섭을 줄이며 동일한 전력으로 데이터 트래픽이 원하는 목적지를 향하도록 조정하여 전달 거리를 극대화합니다. 결과적으로 전체 용량을 최적화하고 높은 무선통신 신호 처리량을 달성할 수 있습니다.

AAS 배포는 4G 종료 단계에 시작되었으며, 이제는 용량과 지원 범위를 향상해야 하는 곳에서 새로운 설치 유형으로 확산되고 있습니다. 매크로 기지국의 대규모 하드웨어 업그레이드는 업그레이드 가능한 소프트웨어로 4G 및 베이스밴드와 하위 호환성을 갖춘 하드웨어와 새로운 주파수 스펙트럼의 구현이 좌우할 것입니다.

새로운 서비스를 유지하는 커버리지의 밀도를 높이고, 특히 고층 아파트 건물, 경기장, 쇼핑몰, 놀이공원과 같은 고밀도 환경에서 전송을 사용자와 가깝게 배치하고 낮은 전력으로 더 높은 초당 비트를 전송할 수 있도록 스몰 셀 배포가 실현될 것입니다.

하드웨어 관점에서 직면한 과제는 밀도입니다. 첫째, 점차 작아지는 캡슐화된 내부에서 모든 장치의 열을 관리해야 합니다. 둘째, 기능과 부품의 대규모 통합을 통해 기대치를 효과적으로 충족해야 합니다. 그리고 셋째, 이 모든 목표를 저전력, 고성능을 유지하며 달성해야 합니다.

이 새로운 장비에 필요한 부품의 수가 늘어나면서 직면한 과제를 해결하기 위해, 트랜시버부터 클럭, 그리고 전원 관리에 이르기까지 AAS 내부의 모든 부품을 다시 설계하고 조정해야 합니다. RF(Radio-Frequency) 트랜시버부터 살펴보면, 보조 기능을 추가하고 공통 전원 관리를 사용하는 새로운 부품을 더 많이 집적하는 스마트 시스템 솔루션을 만드는 방법으로 더 많은 부품을 통합할 수 있습니다.

클러킹, 통합 트랜시버 및 전원

다채널, 고도로 통합된 RF 트랜시버는 5G 하드웨어 퍼즐의 핵심 조각입니다. 다중 밴드에서 작동할 수 있는 가능성을 포함하여 최고 1GHz의 RF 신호 대역폭이 필요합니다. 설명한 특성을 갖춘 RF 샘플링 기술을 구현하면 줄어든 비용으로 간소한 아키텍처를 구축할 수 있습니다. 10Gbps 이상의 용량을 가진 시리얼라이저-디시리얼라이저와 통합 로우지터 PLL(Phase-Locked Loop)/VCXO(Voltage-Controlled Oscillator)은 SoC의 새롭게 떠오르는 다른 핵심 특징으로서 저주파 레퍼런스 클럭을 사용하여 간편하게 샘플링 클럭을 생성합니다.

5G 고대역 네트워크의 타이밍 요구 사항을 충족하는 것도 간과할 수 없습니다. 현재의 모바일 네트워크에서와 마찬가지로, VCXO(Voltage-Controlled Crystal Oscillator)/TCXO(Temperature-Compensated Crystal Oscillator)를 통한 소스 타이밍은 지터가 매우 낮아야 하며 밀리미터파 전송에서 최고 성능의 고차 직교 진폭 변조를 지원하기 위해 계속 엄격해지는 잡음 요구 사항을 충족할 수 있어야 합니다.

클라우드 RAN 아키텍처에 따르면 eCPRI(Ethernet CPRI)라고 이름 붙은 최신 CPRI(Common Public Radio Interface) 사양이 [BBU\(BaseBand Unit\)](#) 풀 및 [RRU\(Remote Radio Unit\)](#) 네트워크 간의 다중 지점 링크 역할을 하여 다중 RRU의 요구 사항을 처리하는 고대역폭 링크를 제공합니다. 5G의 전면 전송을 위한 5G eCPRI의 채택에 따른 새로운 타이밍 요구 사항도 있습니다. 점대점 CPRI 링크에서 본질적으로 보장되던 타이밍과 주파수 동기화는 전체 5G 타이밍 솔루션에서는 더 이상 미룰 수 없고 반드시 해결해야 하는 부분이 되었습니다. 결과적으로 클록 트리가 CPRI 용 전송에 도입된 VCXO 기반 지터 클리너 솔루션에서 eCPRI에 필요한 타이밍을 해결하기 위한 TCXO 기반 네트워크 싱크로나이저 솔루션으로 진화했습니다.

또한 6GHz 미만 전송을 목표로 하는 5G 매크로 기지국은 멀티 캐리어 GSM(Global System for Mobile) 통신 표준을 지원해야 하므로, 클록 트리가 전반적인 GSM 블록러 사양을 위반하지 않는 스폿 위상 잡음 요구 사항도 충족해야 합니다. 5G mMIMO 기지국의 경우 빔포밍으로 간섭을 최소화하며 스펙트럼의 효율적인 사용을 지원할 수 있습니다. 이는 RF 신호 체인을 위한 클록 트리의 다양한 출력 사이의 기울어짐에 대해 엄격한 제한으로 작용합니다. 제로 지연 모드와 같은 몇 가지 보드 및 칩 수준 기술로 프로세스, 전압 및 온도 측면에 걸쳐 클록 트리의 지연 변화를 최소화할 수 있으며, 시스템 수준의 안테나 보정 방식을 적용하여 빔포밍의 효율성을 높일 수 있습니다.

5G는 또한 수십 와트에서 수백 와트까지 변하는 전력 환경에 맞게 IoT, 스몰 셀 및 능동 안테나의 소비 전력 요구 사항을 지원하기 위한 부하 지점 패러다임의

변화를 이끌고 있습니다. 구체적으로 말해, 증가된 전력/전류 충족사항은 AAS, 분산 안테나 시스템 및 차세대 mMIMO 무선통신의 요구를 충족하기 위해 분배 버스의 가치를 12V로 이동시켰습니다.

RRU 및 BBU 양쪽에서 증가된 전력 때문에 PMBus(Power Management Bus)의 역할에 대한 관심이 더 높아졌습니다. 동시에 고전압 벅 컨버터도 3D 열 발산 및 가변 전류 제한을 포함하는 100V 작동 컨버터를 필요로 하는 증가하는 PA의 수를 지원하기 위해 진화하고 있습니다. 밀도를 높이면서 무선통신에 정밀한 클로킹과 트랜시버 회로를 공급하기 위해, 낮은 손실 레귤레이터 대신 컨버터를 사용하여 효율성을 유지하며 줄어든 크기로 1MHz 이상 빠른 스위칭 속도로 다중 채널 전용 컨버터의 크기와 잡음을 줄이려는 움직임도 있습니다.

재료 사양서, 복잡성 및 비용을 최소화하는 것은 5G 하드웨어 경쟁에서 승리하기 위한 열쇠이며, IC 에 기능을 통합하는 것이 이러한 목표를 달성하는 방법입니다. 반도체 회사들은 기지국 장비 고객들과 밀접하게 협력하여 5G의 발전된 롤아웃을 지원하기 위한 고집적 RF 트랜시버, 최적화된 신호 체인과 전원을 제조해야 할 것입니다.

5G는 앞으로 어떻게 발전할까요?

통신 업계의 최근 역사를 돌아보면, 10년 주기로 다음 기술로 업그레이드 되고 있습니다. 5G 채택의 속도도 비슷한 양상이며 성숙한 정점에 대한 기대도 커지고 있습니다.

5G는 새로운 인프라, 새로운 장치, 새로운 사용 사례로 연결된 지구라는 개념에 새로운 생명력을 불어넣고 있습니다. 5G는 높은 용량과 낮은 지연 시간으로 사람들과 장치가 연결하는 방법을 급격하게 바꿀 것입니다.

기업 환경을 보면, 5G는 전체 업계를 혁신할 수 있는 매우 중대한 서비스를 실현하여 더욱 큰 변화를 가져올 수 있습니다. 진정한 5G를 통해 완벽한 사물통신 기술, 저전력 센서, 모바일 관리, 원격 장비/자산 모니터링, 스마트 전력망 등을 갖춘 미래의 공장을 실현할 수 있습니다.

릴리즈 16을 통해 주파수 스펙트럼의 상위 부분이 활성화되면 5G의 나머지 측면도 향상될 것입니다. 고밀도 도시 지역에서 [스몰 셀 기지국](#)의 저렴한 역송을 위해 밀리미터파 메시 네트워크를 사용할 수 있습니다. 이러한 네트워크는 차량-차량 또는 차량-사물 통신 시스템에서도 잘 작동하므로 차량이 다른 차량 및 교통 신호와 통신하고 디지털 맵핑 정보를 업데이트하기 위한 핵심 지원 기술이 될 수 있습니다.

5G는 미래의 네트워크지만, 현재의 엔지니어들이 구축하고 있으며 앞으로 우리가 살 세계를 바꿀 것입니다.

자세한 정보

[통신 장비용 TI 솔루션을 찾아보십시오.](#)

알림: 텍사스 인스트루먼트와 이 문서에 기술된 자회사의 제품 및 서비스는 TI의 판매 표준 약관에 의거하여 판매됩니다. TI 제품과 서비스에 대한 최신 정보를 완전히 숙지하신 후 제품을 주문해 주시기 바랍니다. TI는 애플리케이션 지원, 고객의 애플리케이션 또는 제품 설계, 소프트웨어 성능 또는 특허권 침해에 대해 책임을 지지 않습니다. 다른 모든 회사의 제품 또는 서비스에 관한 정보의 출판물은 TI가 승인, 보증 또는 동의한 것으로 간주되지 않습니다.

플랫폼 바는 텍사스 인스트루먼트의 상표입니다. 모든 다른 상표는 각 소유주의 재산입니다.

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, or other requirements. These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to TI's Terms of Sale (www.ti.com/legal/termsofsale.html) or other applicable terms available either on ti.com or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2019, Texas Instruments Incorporated