

5G ve Ötesi: Devrime Kalkışıp Evrime Razı Olmak

İlhan Bağören
Ilhan.Bagoren@telenity.com

5G, ya da beşinci nesil kablosuz ağ çalışmaları 2010'lar-
dan itibaren dünyayı değiştirme iddiası ile başladı, ama
bu başlangıçtan 10-15 yıl, ilk kullanımdan 5 yıl sonra,
5G bakıldığında, dünyayı değiştirmekten çok sonraki
nesil için bir geçiş teknolojisi olarak değerlendirmek
daha uygun gibi.

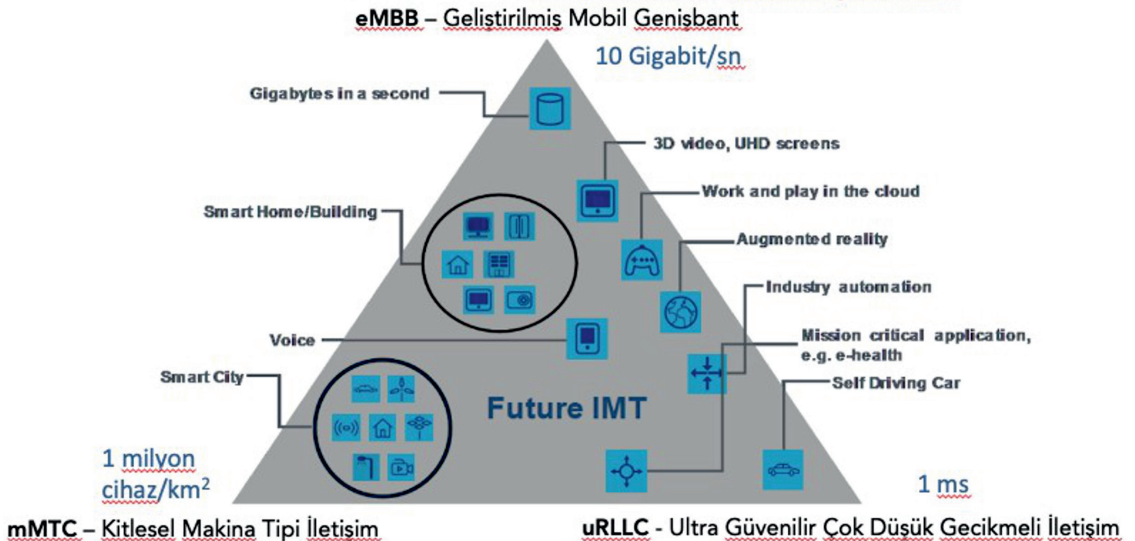
5G, önceki nesillerdeki gibi “haberleşme” standardı
değil, bir endüstri standardı olması amacıyla tasarlan-
mıştı. Önceki nesillerde beklentiler mobil işletmeciler
ve üreticiler tarafından belirlenir, tüketici ve endüstri
için ayırım yapılmazken, 5G için çalışmalara bütün
endüstrilerden temsilcilerin 2030 yılına kadar hangi
uygulamaları öngördükleri ve bu uygulamalar için
haberleşme teknolojilerinden beklentileri toplanarak
başlandı ve ITU (International Telecommunications
Union) bu “kullanım senaryoları”nı IMT 2020 adlı bel-
gede teknik gereksinimlere dönüştürdü. Bu çalışmanın
sonuçları 5G ile anılan en popüler görsel olan üçgenle
görselleştirildi.

Bu üçgenin üç köşesi, IMT 2020 gereksinimleri ara-
sında 5G'yi tanımlayan en önemli teknik özellikleri,
taşıyıcı kolonları temsil ediyor. Üstteki köşe Geliştiril-
miş Mobil Genişband (Enhanced Mobile Broadband
– eMBB), 4G'deki 100 Mb/s'e varan veri hızı yerine 10
Gb/s hızını hedefliyordu. Bu hızla filmleri indirmek

saniyelere incek, çok oyunculu oyunlar, çok merkez-
den katılımla müzik kaydı, hologram gibi uygulamalar
mümkün olacaktı. eMBB, üç köşe ya da kolon arasında
4G'deki tüketiciye yönelik özelliklerin doğal devamı
olabilecek tek kolon. Diğerleri, tüketiciden çok endü-
riyel kullanıma yönelik: Kitlel Makine Tipi İletişim
(Massive Machine-Type Communications – mMTC),
1 kilometre karede 1 milyon nesnelerin interneti için
kullanılabilecek cihaza hizmet vermeyi öngörüyor.
4G'de bu sayı bin ile limitliydi. Bu özellik, akıllı ev ya
da şehirler, tarım, sağlık uygulamaları için önemli ve
gerekli. Ultra Güvenilir Çok Düşük Gecikmeli İleti-
şim (Ultra-Reliable Low Latency Communications
– uRLLC) ise öncelikle 5G ağına iletilen herhangi bir
verinin muhakkak olarak alıcısına iletebileceği ve 1 ms
seviyelerine kadar gecikme garantisi verilebileceğini
öngörüyor. Bu konuda 4G'nin ne iletme garantisi, ne
de maksimum süre belirleyebilme özelliği vardı, “best
effort” denilen elden gelenin en iyisini yapmaya çalışır,
genelde de gecikmeler en az 40ms-1s arasında olurdu.
Bu özellik de sürücüsüz arabalar, uzaktan tıbbi operas-
yonlar gibi hayati uygulamalar için geçerli.

5G'nin üstte bahsedilen üç kolonla ifade edilen temel
teknik özelliklerin yanında getirmeyi vadettiği 4G ile
karşılaştırıldığında “çağ atlamak” olarak nitelenebilecek
özellikleri yandaki sayfada listelenmiştir.

IMT 2020 - 5G Kullanım Senaryoları



İlk Sürümdeki (Release 15) Temel Özellikler

Çok sayıda anten (256x256'ya kadar MIMO) ile hüzmleme (beamforming) kullanılarak kapsama alanının erişilen çok sayıda cihazın konumuna göre değiştirilebilmesi mümkün. Bu sayede güç ve enerji verimliliği sağlanabilecek.

5G hızı ve hüzmleme yeteneği ile, fiber bağlantılarla rekabet edecek sabit kablosuz genişbant bağlantısı (Fixed Wireless Access – FWA) sağlamak mümkün oldu.

Mobil işletmecileri radyo şebekesini az sayıda büyük üreticilerden tek bir parça olarak almaya zorlayan kapalı mimari yerine, yazılım temelli açık standartlara dayanan yapı getirilerek çok sayıda üreticinin oyuna girmesi sağlandı. Birçok mobil işletmeci açık kaynaklara ve standartlara dayanan radyo şebekesi (OpenRAN) gibi ürünler kullanmaya başlayarak bu konudaki tekeli kırdılar. Bu da bazı parçalarda yerli üreticilerimizin de rekabetçi olabileceği bir ticari ortam sağladı.

Geçmişte kullandıkları ürünlerin sürümelerini bir ya da iki senede yenileyen, bu modele yönelik olarak da aylarca süren testler yaptıran mobil işletmeciler, çok daha düşük gider yapısı ile gelirlerini ellerinden alan Apple, Google, Facebook, Whatsapp gibi Tepeden İnme (Over The Top – OTT) uygulamalarla rekabet edebilmek için onların günde binlerce sürüm yayımlamalarını sağlayan sürekli entegrasyon/sürekli dağıtım (Continous Integration/Continous Delivery- CI/CD) metodolojisini destekleyen mikroservis yapısına benzer Servis Bazlı Mimari (Service Based Architecture – SBA) yazılım standardı getirildi. Bu mimari, geçmişte bir-biri ile uyumsuz fiziksel sistemlerden oluşan ürün ve uygulamalar yerine bulut, sanallaştırma, orkestrasyon gibi modern teknikleri de kullanabilir hale geldi, AI kullanılarak otomasyon mümkün oldu.

5G öncesi başlayan ama 5G uygulamalarının fizibilitesi için hayati önemdeki Sınır Bilişim (Edge Computing), özellikle uRLLC gereksinimlerini (1 ms gecikme) sağlayabilecek, ayrıca radyo şebekesinin dağıtık yapısını destekleyecek yapı olarak standartlara girdi.

5G'nin gerektirdiği büyük yatırımın fizibilitesini sağlayacak iş uygulamalarının kolaylıkla geliştirilebilmesi için çok zengin bir uygulama arayüz platformu (Application Programming Interface – API) geliştirildi.

Güvenlik güçleri ve kritik milli altyapılarca kullanılabilecek Kritik Görev Ağları (Mission Critical Networks) desteği getirildi. Böylece, asker ya da polis bir elinde ticari cep telefonu, diğer elinde güvenli el telefonu ya da telsiz kullanmak zorunda kalmayacak.

Geçmiş nesillerde frekans tahsisi sadece mobil işletmecilere yapılırken, 5G ile birlikte fabrikalar, büyük işletmeler “Özel 5G” adı altında kendi şebekelerini kurup işletebilecekler. 5G'nin bu işletmelerde daha önce kullanılan wifi ya da kablolu olarak bağımsız çalışan sistemleri gerçek zamanlı ve güvenli olarak tek bir sistem olarak çalıştırabilmeleri otomasyonda yeni bir çağ açacak.

Sonraki Özellikler (Release 16-17)

Kitlesel Makine Tipi İletişim (mMTC) ve Ultra Güvenilir Çok Düşük Gecikmeli İletişim (uRLLC)

3 köşe/kolondaki özelliklerin çeşitli değer ve kombinasyonlarının ticari olarak birer sanal ağ gibi satılabilmesini sağlayacak Ağ Dilimleme (Network Slicing) özelliği. Böylece eMBB, mMTC ve uRLLC'nin değerlerinin sırasıyla, mesela oyun için 1 Gb/s, 1.000 cihaz/km2 ve 50 ms garantisi olan Bronz Paket, 5 Gb/s, 2.000/km2 cihaz ve 10 ms garantisi olan Gümüş Paket, 10 Gb/s, 5.000/km2 ve 1 ms garantisi olan Altın Paket, birer oyuncuya veya oyunculara satış yapacak toptancılara satılabilecek. Tarım ya da evdeki sayaçların okunmasına yönelik uygulamalar için daha fazla cihaz, ama daha düşük hız ve iddialı olmayan gecikme sürelerinden dilim paketleri tanımlanabilecek. Benzer şekilde otonom araçlar, sağlık uygulamaları için de çeşitli dilimler tanımlanması ile bu dikey sektörlerle uzmanlaşmış “Sanal Operatörlük” iş modelleri mümkün olacak.

Nesnelerin interneti alanında kritik görevlerde yüksek performans bekleyen uygulamalarla düşük komplekslikle düşük pil ömrü gerektiren uygulamaların arasında giyilebilir ya da endüstriyel sensörler gibi orta-seviyeli gereksinimleri olan çok sayıda uygulamada 5G'yi rekabetçi yapabilmek için standartların üç kolonun ortası için optimize edilmiş hali Azaltılmış Kapasite (Reduced Capability - RedCap) olarak adlandırılmış bir alt-standart getirildi.

Geçmişte uçlardaki trafiği merkeze taşımak için fiber ya da radyolinklere ucuz ama düşük kaliteli alternatif olarak kullanılan uydular (Non-Terrestrial Networks – NTN), 5G ile birlikte alternatif erişim teknolojisi olarak da kullanılmaya başladı. Özellikle alçak yörüngede düşük gecikme ile hizmet verebilen LEO uydular, 5G operatörlerine tamamlayıcı olabilecekler. Bu uydular kendi yörüngelerinde döndüğü için, günde bir defa erişimin uygun olduğu uygulamalar dışında ülke bazlı olarak uygun değil, Starlink gibi küresel kapsam gerekiyor.

Otomobillerin diğer otomobillerle, yaya ve bisikletlilerle, yol altyapısıyla ve mobil ağ ile iletişimini düzenleyen C-V2X standartları ile daha güvenli trafik, daha verimli kullanım ve sürücüsüz araçlar mümkün olacak.

5G Advanced Özellikleri (Release 18 ve Ötesi, 6G'ye Geçiş)

Nesnelerin interneti uygulamalarında en basit ve küçük cihazlarda LoRa gibi teknolojilerle rekabet edebilmek için geliştirilen, enerjisini çevreden sağlayan ve basitleştirilmiş standart ve minimum enerji ile ağı bağlanabilen pasif cihazlar (Passive IoT) desteklenecek.

Algılama ile iletişim teknolojilerinin (Integrated Sensor and Communication – ISAC) gittikçe yakınsaması sonucu tek bir altyapı cihazının her iki hizmeti hem daha yüksek performansla hem de daha uygun maliyetle verebilmesi ile çeşitli yeni endüstriyel uygulamalar mümkün olacak.

Dünyada 5G Kullanımı

5G ile hayata geçirilecek uygulamalara yönelik ticarileşme çalışmaları çok büyük yatırım ve emek gerektireceği için, standartları geliştiren 3GPP kuruluşu, standartları 1-2 sene arayla yayımlanacak 3 ayrı sürümle (Release 15, 16 ve 17) yayımlamayı planladı. Daha önceki nesiller gibi 10 senelik bir zaman diliminde aktif olması gereken 5G'nin ilk sürümü olan Release 15'in "erken yayını" 2017'de, tam yayını 2018'de yapıldı ve 2020'de ticari kullanıma başlandı.

Bu ilk sürüm, küçük yatırımla kısa vadede 5G'yi hızla yaymayı planlayarak geliştirildiyse de ardından gelen küresel krizle birlikte bugün varılan hayal kırıklığının temelini oluşturdu: Modern mobil şebekelerde yapıyı oluşturan iki ana bileşen var: merkezi bir yazılımdan oluşan çekirdek şebeke ve baz istasyonlarını içeren ve dağıtılmış olan radyo şebekesi. 5G'de bu iki bileşen 4G'ye göre tamamen farklı olduğu ve ilk yatırımın çok yüksek olacağı öngörülerek bir uzun vade, bir de ara geçiş formülü tanımlandı: 5G'ye özgü çekirdek şebeke ve radyo şebekesi içeren konfigürasyon Bağımsız (Standalone – SA) olarak nitelenirken, 4G şebekesine sadece 5G baz istasyonu eklenerek, 5G'de öngörülen özelliklerden sadece mMTC özelliğini sağlayacak bir konfigürasyon yaratıldı ve Bağımlı (Non-Stand Alone – NSA) olarak tanımlandı.

Şubat 2025 itibarı ile 127 ülkede 341 mobil işletmeci 5G hizmeti veriyor. Bu işletmecilerden sadece 70 tanesi Bağımsız (SA) 5G hizmeti veriyor. Diğerleri ise aslında 4G+ denilebilecek, sadece hızlı internet hizmeti veren, 5G'nin endüstriyel uygulamalarını kullanmaktan uzaktalar. Bağımlı (NSA) ağ için ilk yatırım yapmış işletmecilerin küresel ekonomik krizde ikinci bir yatırım turuna girmeleri zor, sadece hızlandırılmış internetten kazanacakları parayla da bu yatırımı yapmaları zor. Yatırım olmadan endüstriyel kullanıma geçiş ise tam bir tavuk yumurta hikayesi: müşteriye kazandırdıkları paradan yatırım için fon yaratabilirler, ancak müşterinin para kazanması için geniş kapsama gerekiyor. Sonuçta, 5G için ayrılan zaman diliminin ortasına gelmişken, 5G'den beklenen özellikleri kullananlar %10 bile değil.

Türkiye'nin 5G Yolculuğu

Türkiye'de 5G kullanımına 2026'da başlanması planlanıyor. Bu 6 yıllık gecikmenin çeşitli nedenleri var. Cumhurbaşkanı Recep Tayyip Erdoğan'ın "yerli ve milli teknoloji olmadan 5G'ye geçilmeyeceği" talimatına uyarak beklenildiği akla gelse de, aşağıda "Yerli ve Milli 5G" başlığı altında detaylı anlatıldığı gibi, bu konuda sorumluluk yüklenen bir makam olmadığı için verilen göstermelik desteklerle kayda değer bir yerli ve milli teknoloji gelişmesi sağlanamadı. Daha gerçekçi nedenler ise, bir taraftan 4G'ye de 6-7 sene geç başladığımız için o aşamada 10 senede dönüş sağlanmak üzere yapılmış yatırımların henüz vadesinin dolmamış olması, diğer taraftan özellikle Varlık Fonu tarafından yöneti-

len Turkcell ve Turk Telekom'un, ülkenin yaşamakta olduğu ekonomik kriz ortamında geçmiş senelerde kazanımlarını yatırıma ayıramaması olması.

Yeni nesil teknolojilere geç girmenin avantajları ve dezavantajları oluyor. Avantajların başında, geçen senelerde yaşanan teknolojik gelişmelerle kullanılacak ürünlerin öncülükte kullanımdan çok daha yüksek performanslı olması. Ayrıca, özellikle çeşitli yeni kullanım ve iş modellerine açık olan 5G gibi teknolojilerde, geçen süre boyunca diğer ülkelerde başarılı/başarısız olanlar belirlenmiş, "süzülmüş" modelleri ile daha verimli yatırımlar mümkün oluyor. Dezavantajların başında ise küresel rekabette firmalarımızın bu yeni teknolojileri kullanarak daha yüksek verim alan rakiplerinin arkasında kalması var. Ayrıca, 4G'de ülke ekonomisine GDP'nin ortalama %4.6'sı kadar olan, ve 5G'de daha da yüksek olması beklenen katkıyı da kaçırmış oluyoruz. Küresel olarak da 5G'nin planlanandan çok yavaş ilerlemesinden dolayı, kaçırdığımız trenin fazla uzağa gitmemiş olması bir teselli kaynağı.

Yerli ve Milli 5G

Türkiye, BTK öncülüğünde 5G hazırlıklarına 2017 yılında başladı. Öncelikle bütün sektörlerin temsilcilerinin toplanması ile 5G'nin ülkemizde kullanılabileceği uygulamalar ve gereken altyapı için bir "Beyaz Kitap" yayımlandı. Daha sonra BTK ile OSTİM'in birlikte kurduğu Haberleşme Teknolojileri Kümelenmesi (HTK), 2018'de 5G için kullanılacak ürünlerin yerli üreticiler tarafından geliştirilebilmesi için 16 firma ve üç mobil işletmecimizin katılımı ile TÜBİTAK tarihinin en büyük AR-GE projesini (Uçtan Uca Yerli ve Milli 5G – UUYM5G) başlattı. 25 Milyon USD civarında devlet desteği kullanılan 3 yıllık bu projeye 2021 başında gerekli bütün ürünlerin birer örneği prototip olarak geliştirildi, 3 mobil işletmecimiz, birer küresel dev ile (HUAWEI, ERICSSON ve NOKIA) 5G'de uyumlu çalışma testlerini başarıyla yaptı.

Bu prototiplerin ticarileştirilmesi için planlanan 2. fazda 800 milyon TL (30 Milyon USD) civarında devlet desteği gerekiyordu, UUYM5G projesinde çalışan savunma sanayi ve özel sektör firmalarının birlikte çalışmaları sağlanamadı, iki ayrı başvuru yapıldı. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı destek vermedi, haberleşme projelerinin AR-GE'si için toplanan vergilerden oluşan 3 milyar TL'den fazla fonu olan Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı (UAB) da 2023 sonuna kadar kenardan izledi, UUYM5G prototiplerini geliştiren firmaların pek çoğu bu uzun sürede fonlayamadıkları ekipleri dağıtmak zorunda kaldılar, UUYM5G projesinin kazanımlarının çoğu heba oldu. 2023 sonunda UAB'nin projeyi canlandırmak üzere firma başına maksimum 20 Milyon TL olmak üzere verdiği toplam 200 Milyon TL'lik destek, 10 Milyarlarca USD AR-GE yatırımı yapmış devleri bırakın, 1 Milyar USD üzerinde yatırım yapmış orta büyüklükte firmalarla bile rekabet edebilmek için iyi niyetten öteye gitmiyor; bu AR-GE fonlarının kullanımını yöneten

Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Araştırmaları Merkezi (UDHAM) önemli çaba harcarsa da bu ekibe yönlendirilecek fonların “musluğu” maalesef gerekene göre çok kısık durumda. Sonuçta, batıda uygulanan ambargolar sonrası Çin firmaları için “son kalan kale”lerden olan Türkiye’de pazarda “yerliler”in önemli payı alması tehlikesi bertaraf edilmiş oldu.

4.5G lisans anlaşmasının şartlarından biri olarak ortaya konulan %45 yerlilik kriteri yabancı üreticiler tarafından boş fabrikalarda alınan yerlilik belgeleri ile delindikten sonra 5G’de nasıl bir yerlilik kriteri getirileceği merak konusu. Bir taraftan Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı daha zor delinecek bir Yerli Malı Tebliği hazırladı, uygulamasını yöneten TOBB da 2026 başından itibaren kullanılacak Uygulama Esasları’nı geliştiriyor. Mobil işletmecilerin yerlilik kriterlerine uyumunu denetleyen BTK ise, Yerli Malı süreçlerinin etkin olmama ihtimaline karşın “Milli Haberleşme Ürünü” tanımı geliştirdi. Bu kriterlerin hangilerinin 5G lisans şartlarında kullanılacağı sektörde merakla bekleniyor.

Bu arada, özel 5G için lisansların nasıl verileceği de merak konusu. Pek çok ülkede bu lisanslar direkt olarak kullanıcıya veriliyor. Bazılarında ise frekanslar sadece mobil işletmecilere veriliyor, Özel 5G kullanıcıları frekansları mobil işletmecilerden kiralyor. Her ikisinin de avantaj ve dezavantajları var. Mobil işletmecilerin telekom konusunda tecrübeleri bir avantaj iken, kullanıcılara özel uygulamalarda uzmanlaşacak esneklik geliştirmeleri zor olacaktır. Özel 5G’nin fabrikalar, kurumsal firmalar, limanlar gibi kullanım alanlarında özelleşmiş sistem entegratörleri oluşması mantıklı olur.

BTK’nın Özel 5G için uygulayacağı yerli teknoloji kullanım kriterleri de ilgiyle bekleniyor. UDHAM’ın üniversiteler öncelikli olmak üzere Özel 5G kullanımlarını teşvik ederek pazar oluşmasını destekleme planları var.

6G Çalışmaları

5G’nin gecikmesi, 6G’yi, 5G için oluşan beklentilerin gerçekleşeceği nesil olarak konumlandırdı. Dolayısıyla, 6G’ye geçişte, 4G ile 5G arasındaki gibi radikal bir şebeke teknolojisi farkı beklenmiyor. ITU, 6G için teknik gereksinimleri IMT-2030 belgesiyle belirledi. Yakın zamanda, 3GPP’nin bu kullanım senaryolarını hayata geçirecek standardizasyon çalışmaları başlayacak. Büyük ihtimalle, 2030’da Release 21 içeriğine uygun olarak ilk kullanımlar başlayacak.

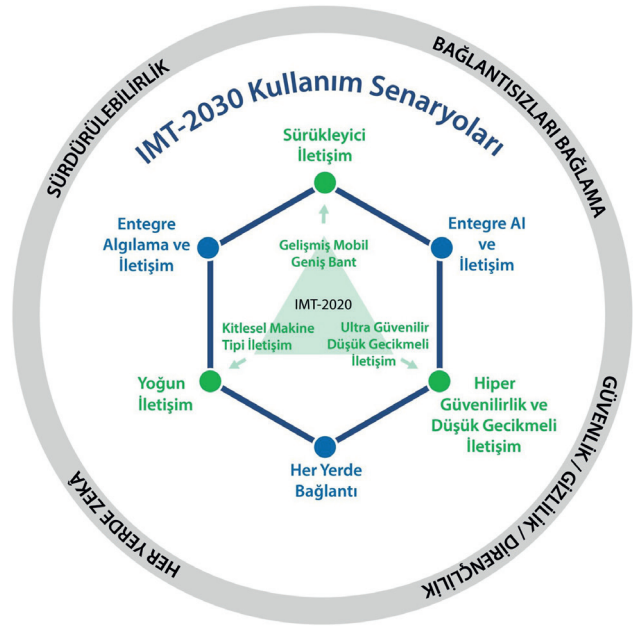
6G’nin yeni temel yeteneklerinin, kapsama, sürdürülebilirlik, yaygın yapay zeka, algılama, güvenlik ve gizlilik alanlarında olması bekleniyor. 6G’nin kullanım senaryolarının ilk üç tanesi, 5G’deki köşe/sütunların devamı niteliğinde:

Gelişmiş Mobil Genişbant (eMBB – Tbps/s), Sürükleyici İletişime dönüşecek, kullanıcılara makine arayüzleriyle etkileşimler de dahil olmak üzere zengin ve etkileşimli bir video deneyimi sağlayacaktır. Tipik

kullanım durumları arasında sürükleyici XR, uzaktan çok duyulu tele-varlık ve holografik iletişim için iletişim yer alır.

Kitlesel Makine Tipi İletişim (mMTC – 10M/km2), yoğun iletişime dönüşecek, akıllı şehirler, ulaşım, lojistik, sağlık, enerji, çevresel izleme ve tarım dahil olmak üzere çeşitli kullanım durumları ve uygulamalar için birçok cihazı veya sensörü birbirine bağlayacaktır.

Ultra Güvenilir Çok Düşük Gecikmeli İletişim (uRLLC 0.1ms), hiper güvenilir ve düşük gecikmeli iletişime dönüşecek, endüstriyel bir ortamda tam otomasyon, kontrol ve operasyonu sağlayacaktır. Bu tür iletişim, makine etkileşimleri, acil servisler, tele tıp ve elektrik enerjisi iletimi ve dağıtımı için izleme gibi çeşitli uygulamalara yardımcı olabilir.



Yeni Kullanım Senaryoları ise:

Her yerde bağlantı: Özellikle kırsal ve uzak alanlar için dijital uçurum kapanacaktır. Tipik kullanım durumları arasında IoT ve mobil geniş bant iletişimi bulunur, ancak yürüyüşçüler, çiftçiler ve diğerleri için erişimi de içerebilir.

AI ve iletişim: Otonom sürüş, tıbbi yardım uygulamaları için cihazlar arasında otonom işbirliğini, cihazlar ve ağlar arasında ağır hesaplama işlemlerini gerek kalmamasını, dijital ikizler oluşturarak kestirimi destekleyecektir.

Entegre algılama ve iletişim: Destekli navigasyon, AI ve XR için çevreyle ilgili veri algılama, aktivite algılama, hareket takibi, çevresel izleme gibi algılama yetenekleri gerektiren uygulamaları ve hizmetleri iyileştirecektir.