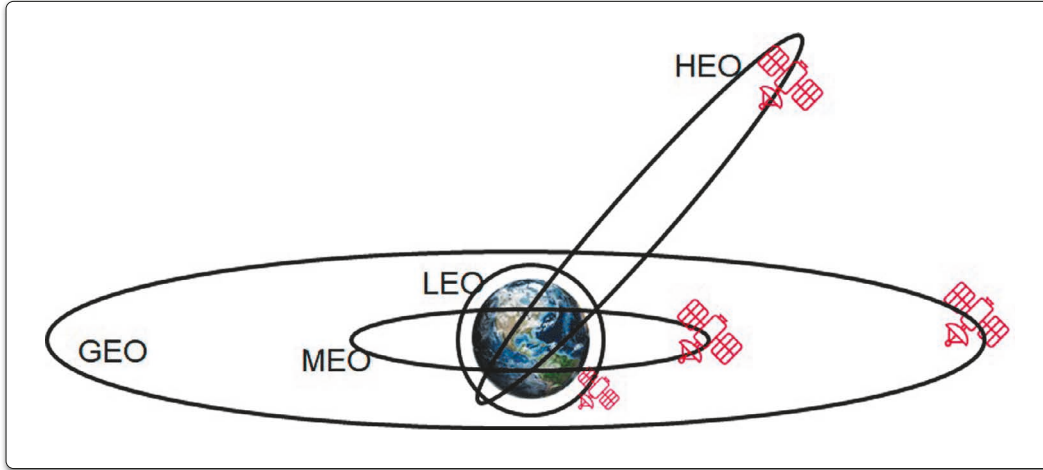


Für die Zukunft von 5G:

Nicht-terrestrische Netzwerke im Fokus



Seit der Erfindung des Mobiltelefons stützen sich Mobilfunknetze auf terrestrische Infrastrukturen. Zum ersten Mal in der Geschichte kann die 5G-Technologie Teile der mobilen Netzwerkinfrastruktur über nicht-terrestrische Netzwerke (NTNs) in den Weltraum verlagern. Wo liegen die technischen Herausforderungen von NTN? Welche neuen Funktionen des 3GPP Release 17 unterstützen NTN und welche neuen Anwendungsfälle werden durch NTN ermöglicht?

Der Satellit als Basisstation

Als Teil von Mobilfunknetzen werden Satelliten in der Lage sein, anstelle von terrestrischen Basisstationen Daten zu übertragen und zu verarbeiten. NTNs werden die Abdeckung des Mobilfunknetzes und die Kontinuität der Verbindungen im Vergleich zur herkömmlichen terrestrischen Netzarchitektur erheblich verbessern und eine katastrophensichere Lösung für die Notfallkommunikation bieten. Auch unter dem Gesichtspunkt des Umweltschutzes und der Energieeffizienz bietet NTN klare Vorteile.

Damit Satelliten am Betrieb von Mobilfunknetzen mitwirken können, muss zunächst eine direkte Verbindung zwischen Satelliten und erdgebundenen Gateways bestehen. Bild 1 zeigt, wie ein terrestrisches Netzwerk über Luftknoten auf sein Kernnetz zugreifen kann. In diesem

Fall fungieren die Satelliten als Sprungstationen von einer Bodenstation zur anderen und bilden eine Bent-Pipe-Verbindung zwischen UE und Satelliten-Gateway. Bei dieser Architektur findet keine Datenverarbeitung in den Satelliten statt. Daher wurde diese Architektur in 3GPP Release 17 als transparente NTN-RAN-Architektur (Radio Access Network) definiert. Sie ist die einfachste Architektur, um NTN-Funktionen für die meisten Anwendungsfälle zu erreichen. Release 17 unterstützt nur diese transparente Architektur.

Es gibt zwei weitere Architekturen, die in Version 17 definiert sind, aber noch nicht unterstützt werden. Bei einer dieser Architekturen ist eine vollständige 5G-Basisstation oder ein gNB in den Satelliten eingebaut, wie in Bild 2 dargestellt. Bei der anderen Architektur ist nur eine verteilte Einheit (DU) in den Satel-

iten eingebaut (Bild 3). Diese beiden Architekturen ermöglichen die Datenverarbeitung in Satelliten, wodurch die Ausbreitungsverzögerung im Vergleich zur transparenten Architektur um die Hälfte reduziert wird. Da diese beiden Architekturen jedoch einzigartige Komponenten erfordern, sind sie schwieriger zu implementieren.

Umlaufbahnen

Das Verständnis der verschiedenen Arten von Umlaufbahnen ist ein wesentlicher Bestandteil des Verständnisses von NTN. Im Aufmacherbild sind alle möglichen Arten von Umlaufbahnen dargestellt. Die erste ist die bekannte geostationäre Umlaufbahn (GEO). Ihr Hauptvorteil besteht darin, dass ein einziger Satellit ein großes Gebiet kontinuierlich abdecken kann.

Zu den nicht-geostationären (NGSO) Satelliten gehören erdnahe Umlaufbahnen (LEO, 300 bis 2000 km), mittelgroße Umlaufbahnen (MEO, 7000 bis 25.000 km) und hochelliptische Umlaufbahnen (HEO 1000 bis 35.756 km). Diese Satelliten stehen in Bezug auf die Erde nicht still.

Die Höhe von LEO-Satelliten ist unabhängig von der Satellitenarchitektur viel geringer als die von GEO-Umlaufbahnen. Daher ist die Ausbreitungsverzögerung von GEO-Satelliten etwa 20-mal größer als die von LEO-Orbits. Die meisten kommerziellen Satellitenanwendungen nutzen



Autor:
Xiang Li
Industry Solution Marketing
Engineer
Keysight Technologies
www.keysight.com
Xiang Li ist ein erfahrener
Ingenieur für Wireless-
Netzwerke und hat einen
Master-Abschluss in
Elektrotechnik

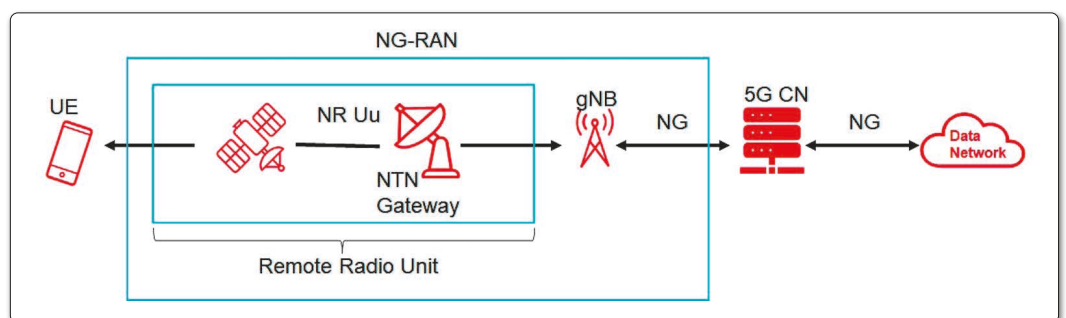


Bild 1: Transparente satellitengestützte NG-RAN-Architektur

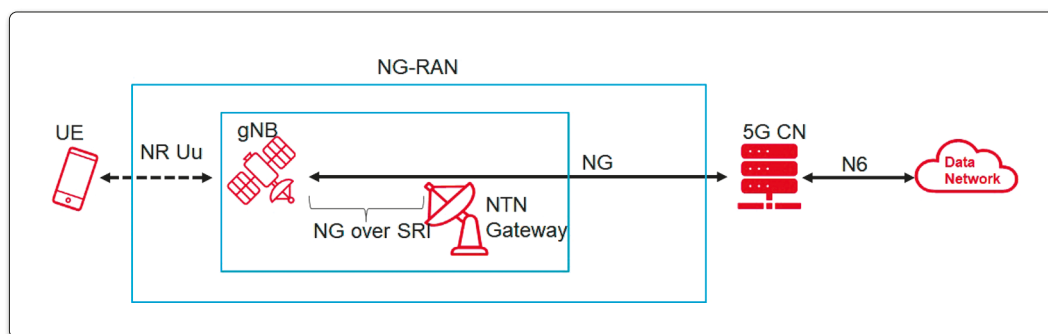


Bild 2: Regenerative satellitengestützte NG-RAN-Architektur mit gNB an Bord

heute LEO-Umlaufbahnen, um die Latenzzeit zu verringern. Es werden jedoch viel mehr Satelliten benötigt, um die gleiche Abdeckung und Kontinuität wie ein GEO-Satellit zu erreichen.

Zentrale technische Herausforderungen

Aufgrund der großen Entfernung leidet das Signal unter einer erheblichen Dämpfung. Dies führt zu der ersten großen Herausforderung für NTN: die Ausbreitungsverzögerung. Tabelle 1 zeigt Werte für die Ausbreitungsverzögerung, die einem technischen Bericht des 3GPP entnommen wurden. Die Ausbreitungsverzögerung wird mit zunehmender Höhe des Satelliten größer. Wie bereits erwähnt, können regenerative Satellitenarchitekturen die Ausbreitungsverzögerungen im Vergleich zu transparenten Satellitenarchitekturen um die Hälfte reduzieren. Im besten Fall liegt die Ausbreitungsverzögerung bei 6 ms, was in den Toleranzbereich der 5G-Latenzzeiten fällt.

Die Doppler-Verschiebung ist eine weitere Herausforderung bei NTN. Satelliten bewegen

sich mit hoher Geschwindigkeit relativ zum UE. Das empfangene Signal kann eine höhere oder niedrigere Frequenz haben, je nachdem, in welche Richtung sich der Satellit bewegt. Tabelle 2 zeigt die Doppler-Verschiebung aus einem technischen Bericht des 3GPP. Demnach nimmt die Doppler-Verschiebung mit zunehmender Satellitenhöhe ab. Daher sind LEO-Satelliten am stärksten von der Doppler-Verschiebung betroffen. Wie bei der Laufzeitverzögerung ist es derzeit nicht möglich, die Doppler-Verschiebung vollständig zu beseitigen. Anders als bei der Ausbreitungsverzögerung kann das Senden eines Referenzsignals dem Anwender helfen, die Frequenzverschiebung auszugleichen.

Durch 3GPP unterstützte NTN-Funktionen

Die NTN-Technologie befindet sich noch in einem frühen Stadium der Entwicklung. Damit sie ihr volles Potenzial entfalten kann, muss die Mobilfunkbranche bei der Entwicklung der Funktionen und Normen eng mit der Satellitenbranche zusammenarbeiten. Release 17 ist die

erste 3GPP-Release, die NTN unterstützt. Wie erwähnt, definiert sie drei RAN-Architekturen für NTN, unterstützt aber derzeit nur die transparente Architektur. Dazu gehört die implizite Unterstützung von High-Altitude Platform Station (HAPS), LEO-Szenarien, GEO-Szenarien und allen NGSO-Szenarien mit kreisförmiger Umlaufbahn in einer Höhe von weniger als 600 km. Künftige 3GPP-Releases werden die Unterstützung auf andere Architekturen und andere Umlaufbahnszenarien ausweiten.

Um die Doppler-Verschiebung zu kompensieren, unterstützt Release 17 nur die Schätzung der Zeitverschiebung (TA) durch Endgeräte mit einem GNSS (Global Navigation Satellite System). Das bedeutet, dass sich die Endgeräte nur auf die Informationen verlassen können, die sie von GNSS erhalten, um Zeit und Frequenz zu berechnen und dann die Doppler-Verschiebung anzupassen. Die Genauigkeit dieser Methode kann sehr gering sein, jedoch müssen die Anwender ihre Geräte nicht aufrüsten, da GNSS eine übliche Funktion in den heutigen smarten Geräten ist.

In Zukunft sollte das Netzwerk in der Lage sein, Referenzsignale an die Endgeräte zu senden. Die Endgeräte werden in der Lage sein, sowohl GNSS- als auch Referenz-Signale zu nutzen, um die Genauigkeit der Schätzung zu verbessern. Diese Funktion wird auch die Frequenzsynchronisation zwischen UEs und dem Netzwerk verbessern.

Die Verwendung der TA-Schätzung von GNSS kann auch dazu beitragen, dass sich die Nachrichten nicht gegenseitig stören. Lange Ausbreitungsverzögerungen erschweren die Zeitsynchronisation. Die von GNSS berechnete TA-Schätzung verbessert die Zeitinformation zwischen dem Satelliten und den UEs. Derzeit unterstützt Release 17 nur die Übertragung der Satellitenposition zusammen mit der Verzögerung vom Satelliten zum Boden-Gateway. In zukünftigen 3GPP-Releases werden die Satelliten mehr Möglichkeiten haben, Ephemeriden- und Frequenzinformationen zu übertragen, um die Zeitsynchronisation zu verbessern.

Durch NTN ermöglichte Anwendungsfälle

Der wichtigste Vorteil von NTN ist die Möglichkeit, eine globale Abdeckung zu bieten. NTN kann kontinuierliche Verbindungen anbieten, die die gesamte Erdoberfläche abdecken. Aus Sicht der Anwender sollten UEs eine stabile Netzwerkverbindung haben, wenn sie den Himmel sehen können. Das bedeutet, dass sie auch in abgelegenen Regionen, in ländlichen Gemeinden und auf Schiffen, die den Ozean überqueren, auf Mobilfunknetze zugreifen können. NTN kann in Notfällen in Gebieten, in denen terrestrische Netzwerke durch technische Ausfälle, Sturmschäden, Überschwemmungen, Erdbeben und Kriege gestört werden können, äußerst hilfreich sein. Diese Anwendungsfälle waren in der Vergangenheit nicht möglich.

Die derzeitigen terrestrischen Netzwerke haben auch Schwierigkeiten, kontinuierliche Verbindungen bereitzustellen, wenn sich

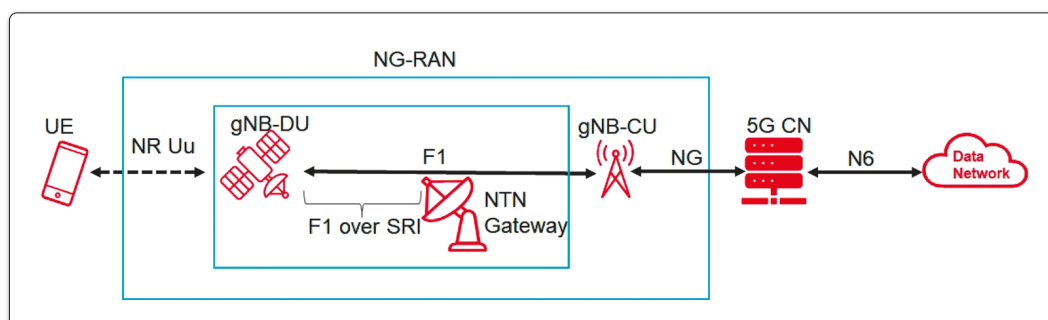


Bild 3: Regenerative satellitengestützte NG-RAN-Architektur mit gNB-DU an Bord

Höhenwinkel	Pfad	LEO bei 600 km		LEO bei 1500 km		MEO bei 10.000 km	
		Distanz D (km)	Verzögerung (ms)	Distanz D (km)	Verzögerung (ms)	Distanz D (km)	Verzögerung (ms)
UE: 10°	Satellit – UE	1932,24	6,440	3.647,5	12,158	14.018,16	46,727
GW: 5°	Satellit – Gateway	2.329,01	7,763	4.101,6	13,672	14.539,4	48,464
90°	Satellit – UE	600	2	1500	5	10.000	33,333
Bent-Pipe-Satellit							
Verzögerung in einer Richtung	Gateway – Satellit – UE	4.261,2	14,204	7.749,2	25,83	28.557,6	95,192
Verzögerung für Hin- und Rückweg	Zweimal	8.522,5	28,408	15.498,4	51,661	57.115,2	190,38
Regenerativer Satellit							
Verzögerung in einer Richtung	Satellit – UE	1.932,24	6,44	3.647,5	12,16	14.018,16	46,73
Verzögerung für Hin- und Rückweg	Satellit – UE – Satellit	3.864,48	12,88	7,295	24,32	28,036,32	93,45

Tabelle 1: Messungen der Ausbreitungsverzögerung bei verschiedenen Satellitenhöhen und -architekturen lt. 3GG Technical Report 38.821

die Anwender sehr schnell bewegen, z.B. wenn die Endgeräte in einem Hochgeschwindigkeitszug oder einem Auto auf einer Autobahn fahren. Der Grund für die instabile Verbindung sind die ständigen Handover zwischen den terrestrischen Basisstationen. NTN kann für diese Anwendungsfälle stabilere Verbindungen bereitstellen, da jeder Satellit eine große Fläche abdeckt.

Heutzutage sind Schiffe, die über den Ozean fahren, zu Kommunikationszwecken stark auf Satelliten angewiesen, haben aber keinen Zugang zu Mobilfunknetzen, wenn sie sich auf hoher See befinden. Mit der NTN-Technologie können diese Schiffe oder UEs auf diesen Schiffen über

Satelliten auf das 5G-Netzwerk zugreifen. Die Integration dieser Technologien wird die Verbindungsgeschwindigkeit erheblich verbessern, die Servicearten erweitern und die Kosten für diese Schiffe senken.

Vergessen wir nicht das Internet der Dinge (IoT). NTN wird viele neue IoT-Anwendungen ermöglichen. Erstens wird es autonomen Autos ermöglichen, an jeden beliebigen Ort zu fahren, ohne sich um den Zugang zum Netzwerk kümmern zu müssen. NTN wird auch Machine-to-Machine-Anwendungen oder das industrielle IoT ermöglichen. Zum Beispiel die Nachverfolgung von Schiffscontainern oder die Überprüfung des Leistungs-

status von Maschinen auf einer Ölförderanlage mitten im Ozean. NTN-Scans senden Informationen über den Status von Maschinen an die Betreiber. Die Nutzer können den Betrieb der Maschinen überwachen und über das 5G-Netzwerk auch Aufgaben oder Reparaturen durchführen.

Die neue spannende Technologie NTN

Die Integration von Satellitennetzwerken in 5G-Netze wird viele nützliche Anwendungsfälle für private und geschäftliche Anwender bieten. Mobiltelefone werden wirklich mobil werden. Verbindungsprobleme werden der Vergangenheit angehören. Doch wie jede bahnbrechende

neue Technologie bringt auch NTN viele Herausforderungen mit sich. NTN erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen der Mobilfunkbranche und der Satellitenbranche, sowohl in technischer als auch in geschäftlicher Hinsicht. Dieser Prozess wird Zeit benötigen. Die gute Nachricht ist, dass 3GPP Release 17 bereits damit begonnen hat, NTN-Funktionen zu unterstützen. In Zukunft werden weitere Funktionen eingeführt und unterstützt werden. Die UE-Hersteller haben bereits mit der Arbeit an Geräten begonnen, die über Satellitenfunktionen verfügen. Letztlich werden Satelliten und terrestrische Netzwerke ab 5G zusammenarbeiten. ◀

Frequenz (GHz)	Doppler (Max)	Doppler (relative)	Doppler (max. Variation)	
2	±48 kHz	0,0024 %	- 544 Hz/s	LEO bei 600 km Höhe
20	±480 kHz	0,0024 %	-5,44 kHz/s	
30	±720 kHz	0,0024 %	-8,16 kHz/s	
2	±40 kHz	0,002 %	-180 Hz/s	LEO bei 1500 km Höhe
20	±400 kHz	0,002 %	-1,8 kHz/s	
30	±600 kHz	0,002 %	-2,7 kHz/s	
2	±15 kHz	0,00075 %	-6 Hz/s	LEO bei 10.000 km Höhe
20	±150 kHz	0,00075 %	-60 Hz/2	
30	±225 kHz	0,00075 %	-90 Hz/s	

Tabelle 2: Messungen der Doppler-Verschiebung bei unterschiedlichen Betriebsfrequenzen und Satellitenhöhen lt. 3GPP Technical Report 38.821