

5G NR – Herausforderungen und Erwartungen



Worin unterscheidet sich 5G NR von LTE? Welche Auswirkungen hat 5G NR? Beim Testen von 5G gelten andere Spielregeln – sind Sie bereit für 5G?

Die Vision einer nahtlos vernetzten Gesellschaft und des „Internet der Dinge“ wird allmählich zur Realität. Die ersten 5G-NR-Spezifikationen, die im vergangenen Jahr fertiggestellt wurden, bilden die Grundlage für die Entwicklung der nächsten Funktechnologie-Generation: 5G. Die drei wichtigsten 5G-Anwendungsfälle kennt man jetzt schon:

- Enhanced Mobile BroadBand (eMBB)
- Massive Machine Type Communications (mMTC)
- Ultra-Reliable and Low Latency Communications (URLLC).

(Anmerkung: Für die 3GPP-Version vom Dezember 2017

John Russell
Keysight Technologies
www.keysight.com/find/5G

wurden mMTC und Teile von URLLC als ‚out of scope‘ betrachtet, sie werden Bestandteil einer späteren Version sein.)

Von 1G bis 4G hat sich das Mobilfunknetz enorm weiterentwickelt, von einfacher analoger Sprachkommunikation bis zur heutigen digitalen Breitbandkommunikation. Die technischen Fortschritte brachten mit jeder Technologiegeneration eine neue, revolutionäre Benutzererfahrung, die die Art und Weise, wie wir arbeiten, leben und kommunizieren, verändert. Bei 5G sind die Erwartungen noch höher gesteckt. Das Spektrum unter 6 GHz ist bereits stark überlastet, und um dem Bedarf an höherer Geschwindigkeit und größerer Kapazität gerecht zu werden, muss man zu Frequenzen übergehen, bei denen höhere Bandbreiten zur Verfügung stehen, das sind insbesondere die Millimeterwellenbänder. Die Funkchnittstelle muss flexibel sein, um die vielfältigen Anforderungen zukünftiger Dienste und Anwendungen branchenübergreifend zu erfüllen. Für einsatzkritische Anwendungen muss das Netzwerk außerdem eine hochzuverlässige und latenzarme Kommunikation gewährleisten.

Um die 5G-Ziele zu erreichen, werden mit 5G NR sowohl evolutionäre als auch revolutionäre Veränderungen auf dem Physical Layer gegenüber LTE eingeführt. Nachfolgend werden wir kurz untersuchen, warum einige dieser Änderungen nötig sind und wie sie sich auswirken. Weiterführende Informationen finden Sie in unserem Webcast „Understanding the 5G Physical Layer“.

Signalformate / Frame-Strukturen

Der NR Physical Layer wurde im Hinblick auf Flexibilität und Skalierbarkeit entwickelt, um die vielfältigen 5G-Anwendungsfälle sowie Koexistenz mit LTE und Vorwärtskompatibilität zu unterstützen. Im Folgenden werden drei neue Konzepte erörtert, die dem zugrunde liegen:

- skalierbares, parametrierbares orthogonales Frequenzmultiplexing (OFDM)
- parametrierbares Multiplexing und
- dynamisches Zeitmultiplexing (TDD).

Parametrierbares OFDM-Multiplexing

Einer der zahlreichen Parameter, die beim parametrierbaren OFDM-Multiplexing verändert werden können, ist der Subträgerabstand (SCS, subcarrier spacing). Tabelle 1 zeigt die wichtigsten Unterschiede zwischen LTE und New Radio. Wie man sieht, kann bei 5G NR der Subträgerabstand je nach geforderter Kanalbandbreite über einen weiten Bereich variiert werden. Der parametrierbare SCS bietet im Vergleich zum festen SCS bei LTE mehrere Vorteile. Bei Millimeterwellenfrequenzen und sehr großen Kanalbandbreiten ist ein fester Subträgerabstand von 15 kHz (wie bei LTE) wegen des Phasenrauschens unzureichend. eMBB im Millimeterwellenbereich erfordert einen sehr hohen Datendurchsatz und kurze Latenzzeiten; diese Ziele lassen sich durch Verwendung kürzerer OFDM-Symbole und kompakterer Frame-Strukturen erreichen. (Man beachte, dass die zeitliche Länge eines OFDM-Symbols dem Kehrwert des SCS entspricht). Daher arbeitet man im Millimeterwellenbereich mit Subträgerabständen von bis zu 120 kHz für Datenkanäle bzw. 240 kHz für Broadcast- und Synchronisationskanäle. Völlig anders sind die Anforderungen von mMTC-Diensten, die mit niedrigen Datenraten arbeiten und bei denen Energieeffizienz und hohe Netzabdeckung im Vordergrund stehen. Für diese Dienste bieten sich schmalbandige Signale an. Für solche Anwendungen können auch Subträgerabstände von weniger als 15 kHz verwendet werden (obwohl das in Release 15 nicht vorgesehen ist).

Die NR-Frame-Struktur hat die gleiche Frame-Länge (10 ms) und die gleiche Subframe-Länge (1 ms) wie LTE – aber hier endet schon die Ähnlichkeit. Ein NR-Slot besteht aus 14 OFDM-Symbolen, ein LTE-Slot aus sieben. Außerdem ist bei NR die Slot-Länge parametrierbar. NR erlaubt Subträgerabstände von $2n \times 15$ kHz und, abhängig vom Subträgerabstand, Slot-Längen von $1 \text{ ms}/2n$ (n steht für eine natürliche Zahl). Bei einer kon-

stanten Subframe-Länge von 1 ms ist die Anzahl der Slots demnach vom verwendeten Subträgerabstand abhängig.

Der Subträgerabstand kann je nach Dienst zweckmäßig parametrisiert werden, wobei Parameter-Multiplexing unterstützt wird, d. h. ein Kanal kann unterschiedliche Parametrisierungen (und somit auch unterschiedliche 5G-Dienste) transportieren.

Ein Slot kann vollständig für den Downlink, vollständig für den Uplink oder gemischt konfiguriert werden. Die gemischte Konfiguration kann statisch, semi-statisch oder dynamisch sein. Die beiden erstgenannten Konfigurationen sind genauso implementiert wie bei LTE. Die dynamische Konfiguration ermöglicht es dem Netzwerk, DL- und UL-Ressourcen flexi-

bel je nach Bedarf zuzuteilen. Um die Verbindungsrichtung im dynamischen TDD anzuzeigen, informiert die Slot Format Indication (SFI) die Endgeräte (UE) darüber, ob ein OFDM-Symbol DL, UL oder flexibel ist.

Im Gegensatz zur festen zeitlichen Positionierung in Slots haben Mini-Slots eine flexible Startposition und können überall in einem Slot mit flexibler Dauer vergeben werden. Das ist wichtig für Anwendungen, die eine möglichst geringe Latenz erfordern und bei denen die Übertragung unverzüglich – noch bevor der nächste Slot bereitsteht – beginnen soll. Ein DL-Mini-Slot kann 2, 4 oder 7 Symbole enthalten.

Massives MIMO, Beamforming und Beamsteering

Massives MIMO ist eine wichtige Innovation, die bei 5G kommerziell genutzt werden soll, um die spektrale Effizienz insbesondere in den Sub-6-GHz-Bändern zu verbessern. Diese Technologie erhöht die Kapazität dadurch, dass die Anzahl der Basisstation-Antennen die Anzahl der zu versorgenden Endgeräte weit übersteigt. Durch die Nutzung der TDD-Kanal-Reziprozität werden die energieaufwändigen Berechnungen vom Sender der Basisstation durchgeführt, wodurch massives MIMO für batteriebetriebene Geräte möglich wird. Keysights Applikationsbericht „Examining the challenges in implementing and testing massive MIMO for 5G“ bietet einen tieferen Einblick in massives MIMO, angefangen von den Grundlagen bis

hin zu Herausforderungen bei Test und Implementierung.

Massive-MIMO-Beamforming erhöht die Kapazität durch Zeit- und Frequenzmultiplexing mehrerer Nutzer. Doch wie kann man verhindern, dass sich alle diese Signale gegenseitig stören? Die Strahlformung beginnt mit der Abschätzung der jeweiligen Kanalausbreitungsbedingungen für jeden Benutzer. Die Sendesignale werden dann anhand eines inversen Kanalmodells vorcodiert und erreichen die Empfänger nach Durchlaufen des Kanals als orthogonale Signale. Im Extremfall einer direkten Sichtverbindung ohne Mehrwege-Reflexionen erzeugt massives MIMO enge Richtkeulen, die mittels Beamsteering auf den Empfänger gerichtet werden; dieser Prozess ist einfacher

LTE		New Radio
Maximale Bandbreite (pro CC)	20 MHz	50 MHz (@15 kHz), 100 MHz (@30 kHz), 200 MHz (@60 kHz), 400 MHz (@120 kHz)
Maximale Anzahl CCs	5 (derzeit)	16 (erlaubt, CCs-Kombination noch nicht festgelegt)
Subträgerabstand	15 kHz	2 ⁿ × 15 kHz TDM- und FDM-Multiplexing
Signalformate	CP-OFDM für DL; SC-FDMA für UL	CP-OFDM für DL; CP-OFDM und DFT-s-OFDM für UL
Maximale Anzahl von Subträgern	1200	3300
Subframe-Länge	1 ms (künftig 0,5 ms)	1 ms
Latenz (Funkschnittstelle)	10 ms (künftig 5 ms)	1 ms
Slot-Länge	7 Symbole in 500 µs	14 Symbole (Länge vom Subträgerabstand abhängig); 2, 4 oder 7 Symbole für Mini-Slots
Kanalcodierung	Turbo Code (Datenkanäle); TBCC (Steuerkanäle)	Polar Codes (Steuerkanäle); LDPC (Datenkanäle)
Verbindungsaufbau	Kein Beamforming	Beamforming
MIMO	8×8	8×8 unterstützt, aber für FR2,
Referenzsignale	Endgerätespezifisches DMRS und zellenspezifisches RS	Front-loaded DMRS (endgerätespezifisch)
Duplexing	FDD, Static TDD	FDD, Static TDD, Dynamic TDD

Tabelle 1. Die wichtigsten Unterschiede zwischen LTE- und NR-Physical-Layer

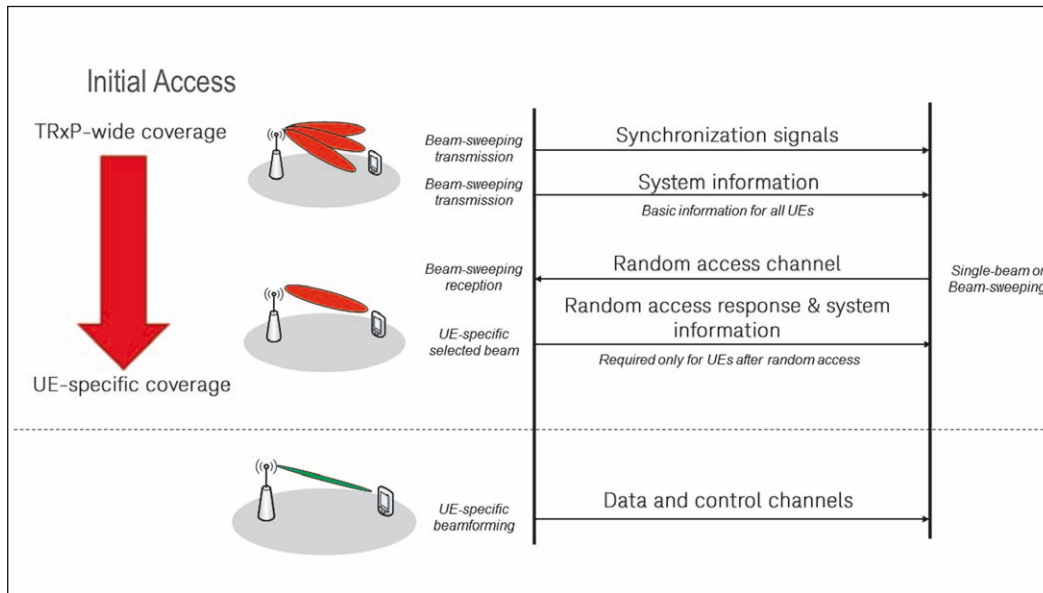


Bild 1: Beamforming beim Verbindungsaufbau

als Beamforming, weil er keine Abschätzung der Kanaleigenschaften erfordert.

Um dem Bedarf an größerer Kapazität und höherer Geschwindigkeit gerecht zu werden, bietet 5G die Möglichkeit, auf neue Frequenzbänder im unteren Millimeterwellenbereich von 24 GHz bis 52,6 GHz zuzugreifen. Der Umstieg auf höhere Frequenzen bietet den Vorteil einer größeren Bandbreite und eines höheren Durchsatzes, führt aber zu höheren Ausbreitungs- und Absorptionsverlusten. Die Verwendung kürzerer Wellenlängen öffnet eine „Büchse der Pandora“ voller Herausforderungen wie Streuung, Beugung und Absorption.

Um die Herausforderungen der Signalausbreitung im Millimeterwellenbereich zu meistern, muss man die Zellen verkleinern und auf hochentwickelte Antennentechniken wie Beamsteering zurückgreifen. Mittels Beamsteering lassen sich Endgeräte exakt „anpeilen“, das führt zu einem hohen Antennengewinn und einem größeren Signal/Rauschabstand. So kann man den hohen Ausbreitungsverlusten im Millimeterwellenbereich entgegenwirken. Wie aber kann ein Endgerät eine Basisstation entdecken und sich bei ihr einloggen, wenn das Downlink-Signal stark gerichtet ist?

An dieser Stelle kommen die Unterschiede zwischen LTE und NR beim Verbindungsaufbau ins Spiel. Wie Bild 1 zeigt,

sendet die gNB (3GPP 5G Next Generation NodeB, vulgo Basisstation) periodisch SS/PBCH (Synchronization Signal und Physical Broadcast Channel) Signale in unterschiedliche Richtungen aus, sodass alle in Reichweite befindlichen Endgeräte irgendwann einmal „getroffen“ werden. Das Endgerät identifiziert den stärksten Downlink-Strahl und startet dann ein Random-Access-Verfahren, bei dem Timing- und Winkelinformationen verwendet werden, und sendet in die Gegenrichtung dieses Strahls. Nach Abschluss dieser Prozedur kann die Datenübertragung über den endgerätespezifischen Strahl erfolgen. Wenn sich das Endgerät relativ zum Netzwerk bewegt, wird der Strahl immer wieder nachjustiert. Diese Prozeduren sind in Release 15 noch nicht vollständig ausgearbeitet.

5G-Tests über die Funkschnittstelle (OTA, Over-the-Air)

5G bringt grundlegende Veränderungen gegenüber früheren Mobilfunkgenerationen. Diese neue Technologie zielt darauf ab, die Vielfalt der drahtlosen Zugangstechnologien „unter einen Hut zu bringen“ und eine nahtlose Konnektivität von Menschen und „Dingen“ aller Art zu ermöglichen. Das hat auch Auswirkungen auf das Testen von 5G-Produkten. Eine schrittweise Anpassung herkömmlicher Testverfahren an die neuen Gegeben-

heiten ist in diesem Fall nicht möglich – stattdessen sind völlig neue Ansätze gefragt. Keysights Technologiechef, Moray Rumney, schreibt in seinem Blog: „In Zukunft müssen wir sämtliche Tests – nicht nur einige davon – über die Funkschnittstelle durchführen. Das ist eine große Herausforderung“.

Bei früheren Technologiegenerationen (< 3 GHz) laufen fast alle Tests über Steckverbindungen und Kabel. Das ändert sich, wenn man zu massivem MIMO im Millimeterwellenbereich (oder auch, wie angedacht, im Sub-6-GHz-Frequenzbereich) übergeht – dann ist ein Paradigmenwechsel bezüglich der Art und Weise, wie Geräte und Systeme getestet werden, unvermeidlich. Antennenarrays, die zur Realisierung von Techniken wie Beamforming und Beamsteering verwendet werden, sind typischerweise hochintegrierte Bausteine, deren Antennenelemente direkt mit ICs verbunden sind. Das erschwert Kabelverbindungen oder macht sie gar unmöglich. Die dynamische oder aktive Natur von Antennenarrays bedeutet auch, dass es nicht möglich ist, aus Messungen einzelner Antennenelemente eine End-zu-End-Performance zu extrapolieren.

OTA ist aus 5G-Tests nicht wegzudenken (wenngleich man einige Tests, beispielsweise im 6-GHz-Frequenzbereich, FR1, auch weiterhin verkabelt durchführen wird). 5G-OTA-Tests lau-

fen über einen hochkomplexen HF-Kanal zwischen Testobjekt und Basisstation, dessen Unzulänglichkeiten beim Test berücksichtigt werden müssen. Der Keysight Applikationsbericht „OTA Test for Millimeter-Wave 5G NR Devices and Systems“ geht näher auf die Herausforderungen bei OTA-Tests ein. Er beschreibt eine kompakte Antennenteststation (CATR, Compact Antenna Test Range), die kürzlich von 3GPP für die Fernfeldcharakterisierung qualifiziert wurde. CATR nutzt einen parabolischen Reflektor als Kollimator, der die von einer Prüfsonde abgestrahlte Energie in ein paralleles Strahlenbündel verwandelt, das dem Messobjekt ein Fernfeld „vorspiegelt“. Dieses Verfahren weist geringere Pfadverluste auf als die direkte Fernfeldmethode, die zudem nur bei Geräten mit Antennenaperturen unter 5 cm anwendbar ist. Außerdem spart diese Lösung Platz.

Neben der CATR-Lösung für HF-Tests und einfache Demodulationstests sind verschiedene Typen von Absorberkammern verfügbar, um räumliche Aspekte wie die Strahlerfassung und -verfolgung zu testen.

Zusammenfassung

5G NR entwickelt sich rasant. Der Vorstoß in das Millimeterwellenspektrum hat abrupte und signifikante Auswirkungen darauf, wie kommerzielle Kommunikationsgeräte und -systeme künftig entwickelt und verifiziert werden. Messgeräte und Testlösungen müssen sich mit der Technologie und den Standards weiterentwickeln, um mit der Marktentwicklung Schritt halten zu können.

Keysight ist im gesamten 5G-Ökosystem aktiv und arbeitet eng mit Standardisierungsgremien, kommerziellen Partnern und diversen Konsortien zusammen, mit dem Ziel, Lösungen anzubieten, die die neuesten 5G-Testanforderungen erfüllen, Innovationen bei neuen und etablierten Technologien unterstützen und alle Phasen des Entwicklungszyklus abdecken. ◀