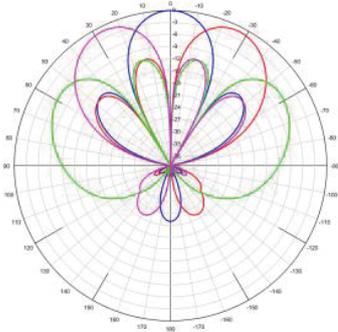
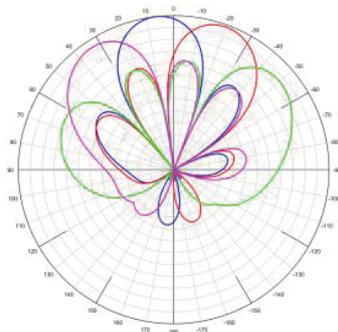


FDD, 8T8R und Antennenleistung

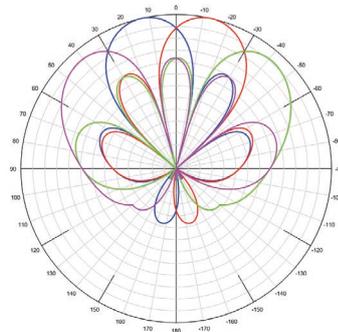
FDD und 8T8R spielen eine wichtige Rolle beim Aufbau von 5G-Fundamentalnetzen. In diesem Artikel werden die Anforderungen an FDD-8T8R-Antennen, neue Antennenspezifizierungen und Testmethoden auf der Grundlage der technischen Merkmale von FDD 8T8R und der 3GPP-Spezifikationen beschrieben.



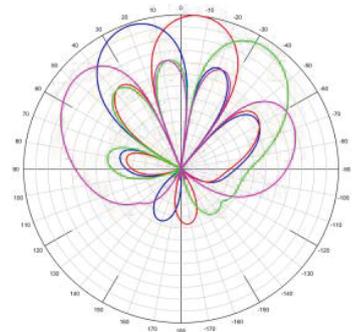
No. 0/16/32/48
Orthogonal beam group 1



No. 4/20/36/52
Orthogonal beam group 2



No. 8/24/40/56
Orthogonal beam group 3



No. 12/28/44/60
Orthogonal beam group 4

Da sich die kommerzielle 5G-Nutzung weiter ausbreitet und die 5G-Nutzerpenetration weiter zunimmt, steigen auch die Anforderungen der Nutzer an die 5G-Abdeckung und die Netzrate. Dies stellt höhere Anforderungen an das 5G-Netz der Betreiber, d.h. die Bereitstellung einer kontinuierlichen 5G-Abdeckung und eines optimalen Nutzungserlebnisses.

Signale unter 1 GHz haben eine hohe Durchdringungsfähigkeit und können leicht eine kontinuierliche Abdeckung erreichen, aber die begrenzten Ressourcen des Spektrums machen dies bei 5G-Nutzung schwierig. Bänder über 3 GHz verfügen über reichhaltige Spektrumsressourcen und können eine große Bandbreite für die Erzielung von Spitzenwerten bieten, allerdings sind die Streuverluste und der Durchdringungsverlust groß. Das behindert an bestehenden Standorten eine kontinuierliche Abdeckung und eine gute Innenraumabdeckung. Bei den mittleren Bändern unter 3 GHz handelt es sich hauptsächlich um FDD-Bänder, die eine ausgewogene Bandbreite und Abdeckungsleistung aufweisen.

Die 4T4R-Antennentechnologie wird auf FDD-Bändern verbreitet angewandt, doch ist es für Betreiber schwierig, neue Standorte zu erschließen, und es gibt

kein neues Spektrum auf dem FDD-Bereich. Die weitergehende Entwicklung der Multi-Antennentechnologie ist daher der Schlüssel zur Verbesserung der Netzkapazitäten und Abdeckung. 8T8R wird ein wichtiger Entwicklungsschritt sein, da es eine grundlegende Konfiguration für Beamforming ist. Es unterstützt die Benutzerebene durch Präzisionspfeilstrahlen, um eine hohe Netzkapazität zu erreichen. FDD 8T8R wird eine einzigartige Rolle in 5G-Netzen spielen und das Rückgrat von 5G-Grundnetzen werden.

Zur Notwendigkeit der Entwicklung von FDD 8T8R

Zu den Schlüsseltechnologien von 8T8R gehören Beamforming, SU-MIMO (Single-User

MIMO) und MU-MIMO (Mehrbenutzer-MIMO). Durch Beamforming wird eine gute Signalqualität sichergestellt, auch wenn das Ziel-UE weit von der Basisstation entfernt ist (Zellenrand), daher ist Beamforming die Grundlage für die Verbesserung der 5G-Abdeckung. Es ist eine der wichtigsten Mehrantennentechnologien, um Arraygewinne, Multiplexing-Gewinne und Interferenzunterdrückungsgewinne zu erzielen. SU-MIMO und MU-MIMO sind zwei Räummultiplextechnologien. Bei SU-MIMO wird die gleiche Zeit-/Frequenzressource für ein einzelnes UE zum Senden mehrerer paralleler Datenströme vorgesehen, um Übertragungsraten und Spektrumseffizienz zu verbessern (Bild 1). MU-MIMO ermöglicht es, für mehrere UEs



Bild 1: Im SU-MIMO-Modus wird die zugewiesene Zeit-/Frequenzressource ausschließlich vom UE belegt.

Quelle:
„FDD 8T8R Antenna
Performance“
Huawei Technologies
www.huawei.com

übersetzt und gekürzt von FS



Bild 2: Im MU-MIMO-Modus verwenden mehrere UEs dieselbe Zeit-/Frequenzressource im Raummultiplexverfahren.

mehrere Datenströme parallel zu übertragen, indem sie dieselbe Zeit-/Frequenzressource nutzen, sodass die Kapazität der Zelle effektiv verbessert werden kann (Bild 2). Geringe Kanal-korrelation zwischen mehreren UEs ist eine Voraussetzung für MU-MIMO.

8T8R realisiert nun eine bessere MIMO-Leistung. Durch ihre Beamforming-Fähigkeit können 8T8R-Antennen eine bessere Leistung erzielen. Ein Vergleich der Strahlformungsmuster von 8T8R- und 4T4R-Antennen erklärt das, s. Bild 3. Zunächst ist zu erkennen, dass die Strahlbreite des 8T8R-Musters schmaler, also der Gewinn höher ist,

sodass die gesendeten Signale stärker auf das Ziel-UE fokussiert sind, was das Signal/Rausch-Verhältnis verbessert, der Basisstation zu einer besseren Abdeckung oder dem UE zu einem höheren Durchsatz verhilft. Zweitens hat das 8T8R-Muster geringere Nebenkeulen. Daher ist die Interferenz mit anderen UEs geringer, was deren SNR erhöht, um einen höheren Durchsatz zu erzielen. Drittens hat das 8T8R-Muster mehr Nullstellen. Das bedeutet, dass es mehr Raumrichtungen gibt, in denen andere UEs nicht gestört werden, was die MU-MIMO-Paarungserfolgsrate erhöhen

und die Zellkapazität verbessern kann.

Anforderungen an die 8T8R-Antenne

Die Leistungsanforderungen an die FDD-8T8R-Antenne lassen sich anhand von drei Arten von Strahlen beschreiben: Einsäulenstrahl (Single-Column Beam), Rundfunkstrahl und Verkehrsstrahl. Die Hardware-Anforderung der FDD-8T8R-Antenne ist die Fähigkeit zur Kanalkalibrierung.

- Single-Column Beam

Ein Single-Column Beam (Bild 4) ist das Strahlungsdiagramm jeder Antennengruppe und die

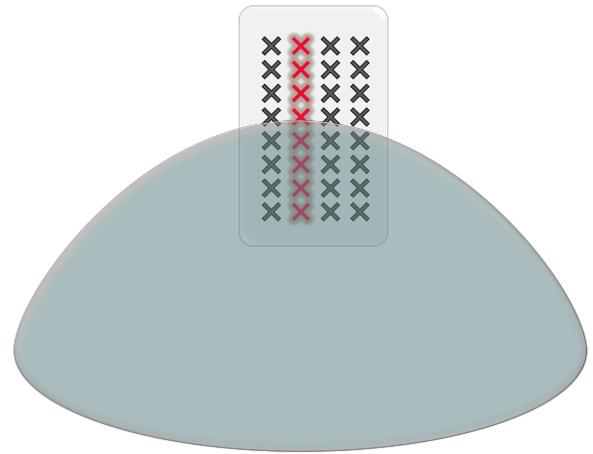


Bild 4: Einsäulenstrahl

Grundlage für die Kombination von Sendekegel und Verkehrssystem. Die Charakteristik eines Einsäulenstrahls kann vergleichbar mit der eines standardisierten Stationsstrahls spezifiziert werden. Die Grundparameter eines Einsäulenstrahls sind: Gewinn, horizontale und vertikale Strahlbreite, Kreuzpolarisationsverhältnis, Verhältnis von Vorderseite zu Rückseite $\pm 30^\circ$, obere Nebenkeulenunterdrückung.

- Rundfunkstrahl

Der NR-Broadcast-Beam nutzt mehrere Antennen zur Verbesserung der Abdeckung, d.h., Multiantennen-Strahlformung, um schmale Strahlen mit höherer Energiekonzentration für die Abdeckung eines großen Gebiets anzuwenden. Ein einzelner schmaler Strahl kann jedoch nicht die gesamte Zelle abdecken. Daher wird die Strahlabtastung NR für die Abdeckung eingeführt, d.h., die Basisstation liefert einen schmalen Strahl zur Abdeckung einer Richtung in einem Zeitschlitz und deckt die gesamte Zelle im Abfragemodus ab (Bild 5). Die Abdeckungsfähigkeit des NR-Rundfunkstrahls kann durch die Verwendung der Hüllkurve aller Sendestrahlen beschrieben werden. Die Einhüllende des NR-Rundfunkstrahls kann das Single-Column-Strahlformungsmuster ersetzen, um die Fähigkeit der Antenne zur Rundfunkabdeckung der Antenne darzustellen.

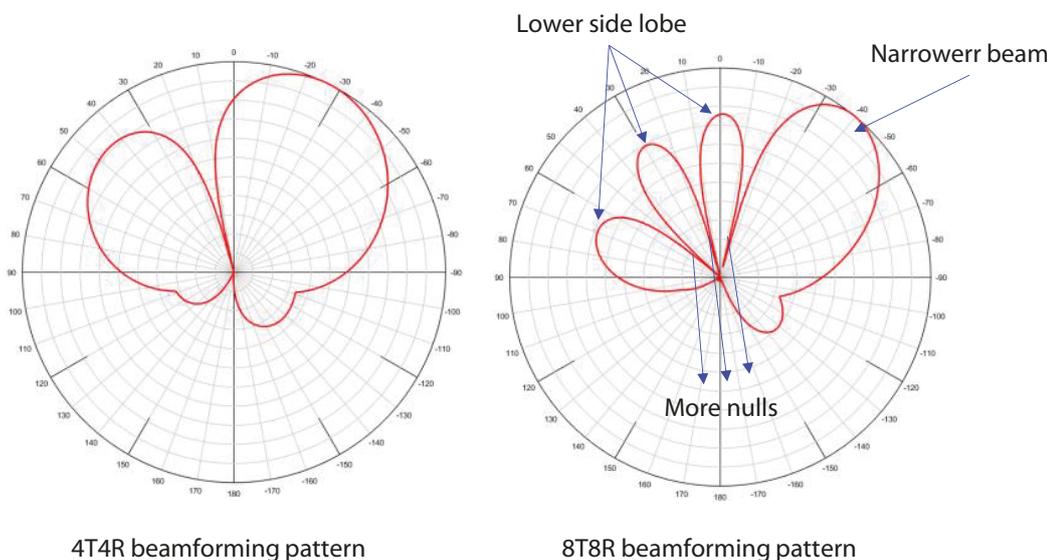


Bild 3: 8T8R- und 4T4R-Strahlformungsdiagramme. 8T8R bietet mehr Nullstellen, geringere Nebenkeulen und einen schmaleren Strahl.

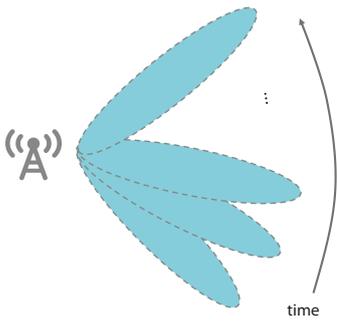


Bild 5: NR Broadcast Beam, Sweeping-Prozess

• Verkehrsstrahl

Das Raummultiplexverfahren ist eine Schlüsseltechnologie, die Kapazität und Nutzererfahrung verbessert. Es stellt hohe Anforderungen an die Kanal-korrelation, d.h., die Interferenz zwischen korrelierten Verkehrsstrahlen muss niedrig genug sein. Verkehrsstrahlen, die von UEs ausgelöst werden können, sind nur aus einer vordefinierten Gruppe auswählbar. In MU-MIMO- und SU-MIMO-Szenarien mit mehreren Stream-Übertragungsszenarien werden mehrere Strahlen auf der gleichen Zeit-/Frequenzressource ausgelöst. Strahlenkombinationen und -beziehungen zwischen den in den 3GPP-Spezifikationen definierten Strahlen lassen sich analysieren, um daraus die Anforderungen der Verkehrs-keulen an die Antennenspezifikationen abzuleiten.

Wir können einen neuen Parameter – die Strahlisolierung – definieren, um die räumliche Unabhängigkeit der Strahlen in einer Strahlengruppe zu beschreiben, s. unten. Eine hohe Strahlisolierung bedeutet, dass die Interferenz zwischen den Strahlen gering ist und die Vorteile des Raummultiplexverfahrens besser genutzt werden können.

Fähigkeit zur Kanalkalibrierung

Die Leistungen des Verkehrsstrahls, die von der Basisbandverarbeitung an die Antennenanschlüsse gegeben werden, sind in den 3GPP-Spezifikationen definiert. In einem idealen Modell sind die Amplituden- und Phaseneigenschaften und Verzögerungen mehrerer HF-Kanäle gleich. Diese Charakteristiken können aufgrund von Faktoren wie Amplituden- und Phasenfluktuation der aktiven Komponenten über die Länge des Weges, die Dauer des Analogsignals jedes Kanals und der Verzögerungsdifferenz der Duplexgruppe nicht konsistent sein.

Die Vorteile der 8T8R-Mehrantennentechnologie liegen in der Kapazitäts- und Abdeckungsverbesserung. Die genannten Strahlentypen und Indikatoren können zur umfassenden Definition der Leistung von 8T8R-Antennen verwendet werden.

Für FDD wurden alle Verkehrsstrahlen und Abstands-

Akronyme und Abkürzungen

NR	New Radio
UE	User Equipment (Benutzerausrüstung)
BF	Beamforming (Strahlformung)
MIMO	Multi-Input Multi-Output (mehrere Eingänge, mehrere Ausgänge)
SU-MIMO	Single-User MIMO (Einzelbenutzer-MIMO)
MU-MIMO	Multi-User MIMO (Mehrbenutzer-MIMO)
3GPP	Partnerschaftsprojekt der 3. Generation
BBU	Baseband Unit (Basisband-Einheit)
RRU	Remote Radio Unit (abgesetzte Funkeinheit, auch RRH Remote Radio Head)
PMI	Recoding Matrix Indication (Aufzeichnungsmatrix-Anzeige)
DFT	Diskrete Fourier-Transformation

multiplexing-Strahlgruppen in 3GPP-Spezifikationen definiert. Daher kann die Leistung der Verkehrsstrahlen auf der Basis der in 3GPP-Spezifikationen definierten Verkehrsstrahlen bewertet werden.

Um sicherzustellen, dass die Gewichtung eines Strahls, der einen Antennenanschluss erreicht, mit der Gewichtung in den 3GPP-Spezifikationen übereinstimmt, und dass die Gewichtung eines Rundfunkstrahls mit der geplanten Gewichtung übereinstimmt, muss die Kanalkalibrierungsfähigkeit im Antennendesign spezifiziert werden.

Daher müssen die am Antennenanschluss ankommenden Signale kalibriert werden. Die Antennenkalibrierung, auch Kanalkalibrierung genannt, zielt darauf ab, die Konsistenz der Datenverzögerungen und Phasen zwischen den Kanälen in einem Mehrkanalsystem sicherzustellen. Im Prinzip ändern sich Phase, Amplitude und Verzögerung von Signalen, nachdem sie über verschiedene Kanäle übertragen wurden. Solche Änderungen können auf der Grundlage von Änderungen der Phase, Amplitude und Verzögerung bekannter Kalibrierungssignale berechnet werden, nachdem diese über verschiedene Kanäle übertragen wurden. Dann wird eine Kompensation auf die Kanäle angewendet.

Merkmale von FDD-8T8R-Verkehrsstrahlen

3GPP Release 15 definiert das NR-basierte Codebuch. Das Codebuch mit der Antennenanordnung H4V1 (N1 = 4, N2 = 1) basiert auf 16 DFT-Gewichtungen (Discrete Fourier Transform), s. Tabelle 1. (Die Amplituden sind gleich, nur die Phase wird angezeigt, und P1 bis P4 bezeichnen die Nummern einer co-polarisierten Antennengruppe.)

Die 16 Gruppen von Basisgewichtungen können weiter in

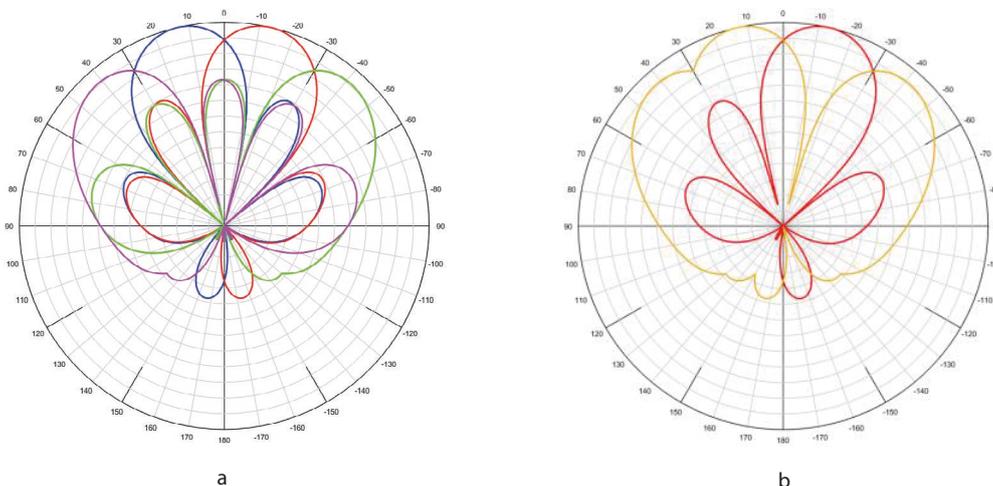


Bild 6: Beispiel für die Berechnung der Trägerisolierung

Rank1 PMI No.	P1	P2	P3	P4
0	0	0	0	0
4	0	22.5	45	67.5
8	0	45	90	135
12	0	67.5	135	202.5
16	0	90	180	270
20	0	112.5	225	337.5
24	0	135	270	405
28	0	157.5	315	472.5
32	0	180	360	540
36	0	202.5	405	607.5
40	0	225	450	675
44	0	247.5	495	742.5
48	0	270	540	810
52	0	292.5	585	877.5
56	0	315	630	945
60	0	337.5	675	1012.5

Tabelle 1: Das Codebuch, definiert in 3GPP TS 38.214 5.2.2.2.1 (N1 = 4, N2 = 1)

vier orthogonale Gruppen unterteilt werden: Nr. 0/16/32/48, 4/20/36/52, 8/24/40/56 und 12/28/44/60. Wie bereits beschrieben, werden bei der MU-MIMO- und SU-MIMO-Multisteam-Übertragung mehrere Strahlen auf der gleichen Zeit-/Frequenzressource ausgelöst. Alle Strahlenkombinationen, die ausgelöst werden können, entsprechen denselben Gewichtungen in derselben orthogonalen Gruppe.

Das Aufmacherbild zeigt vier orthogonale Strahlengruppen in einer 8T8R-Zelle. Es ist zu beachten, dass die orthogonale Strahlengruppe 1 mit ihren vier Strahlen 0/16/32/48 zwar als einzige symmetrisch ist, dass aber die grünen Strahlen zwei identischen Keulen mit deutlich unterschiedlichen Richtungen auftreten. Hauptkeule und maximale Nebenkeule in der horizontalen Ebene sind unbestimmt. Daher taugt die orthogonale Strahlengruppe 1 nicht für Verbindungen mit Verkehrsstrahlen.

Strahlisolierung (Beam Isolation)

Definitionen von orthogonalen PMI-Strahlgruppen (Precoding

Matrix Indication) umfassten die bekannten Kennwerte Gewinn und Nebenkeulen-Unterdrückung, aber auch Strahlisolierung (Beam Isolation, BI): In einer orthogonalen PMI-Strahlgruppe ist dies das maximale Verhältnis der Leistung eines Strahls zur äußeren Hüllkurvenleistung der anderen drei Strahlen innerhalb von $\pm 60^\circ$ auf der horizontalen Ebene dieses PMI-Strahls. Damit gilt: $BI \text{ (dB)} = \max. G_n - G_{n \text{ others}}$. Dabei ist $n = 1$ bis 4. G_n ist das Strahlungsdiagramm des zu berechnenden Strahls. $G_{n \text{ others}}$ ist das äußere Strahlungsdiagramm der anderen Strahlen außer n . In Bild 6 erfolgt die Berechnung einer BI beispielhaft anhand eines roten Strahls. Rechts noch einmal das Diagramm des roten Strahls und

die äußere Umhüllung der Strahlen 2, 3 und 4.

Die Strahlisolierung wird verwendet, um die relative Beziehung zwischen den Strahlen in einer orthogonalen Strahlengruppe zu beschreiben. Eine größere Strahlisolierung bedeutet eine geringere Interferenz zwischen den Strahlen. Wenn der rote Strahl für die Übertragung von Nutzdaten verwendet wird, ist die Interferenz der anderen Strahlen mit dem roten Strahl umso geringer, je höher die Strahlisolierung ist. Weiter führt eine geringe Interferenz zwischen den Strahlen zu einer höheren Wahrscheinlichkeit, dass SU-MIMO-Multisteam und MU-MIMO zum Tragen kommen können. Daher kann eine höhere Strahlisolation

PMI Orthogonal Beam Group No.	P1	P2	P3	P4
1	0	45	90	135
2	0	135	270	405
3	0	225	450	675
4	0	315	630	945

Tabelle 2: Gewichtungen der PMI Orthogonal Beam Group

tion einen höheren Durchsatz und eine höhere Netzkapazität unterstützen.

Die Strahlisolierung ist ein neuer Indikator für eine Basisstationsantenne und stellt die Korrelation zwischen orthogonalen Strahlen dar. Eine größere Strahlisolierung bedeutet eine geringere Strahlenkorrelation und eine bessere MIMO-Leistung. Tabelle 2 zeigt die Gewichtungen der PMI Orthogonal Beam Group (gleiche Amplituden, nur die Phase wird dargestellt. P1 to P4 sind die Nummern der Polarisationsports der Antenne.

Mit abnehmender Strahlisolierung sinkt die Zellkapazität allmählich: Strahlisolierung: 30 (25, 20, 15, 10) dB, Zellenkapazität: Baseline (-0,2%, -2,2%, -11,7%, -15,5%).

Zusammenfassung

Die Hauptanforderung der FDD-8T8R-Lösung für Antennen besteht darin, die 8T8R-Mehrantennentechnologie zu nutzen, um die Kapazität, die Nutzungserfahrung und die Reichweite zu verbessern. Um die Leistung von FDD-8T8R-Antennen vollständig zu beschreiben, wurden Antennenindikatoren auf der Grundlage von drei Strahltypen definiert: einseitiger Strahl, Rundfunkstrahl und Verkehrsstrahl. Um die Genauigkeit der Antennengewichte zu gewährleisten, musste die Antenne mit dem System zusammenarbeiten, um eine Kanalkalibrierung durchzuführen, weshalb die Antenne über eine Kanalkalibrierungsfunktion verfügen musste. ◀