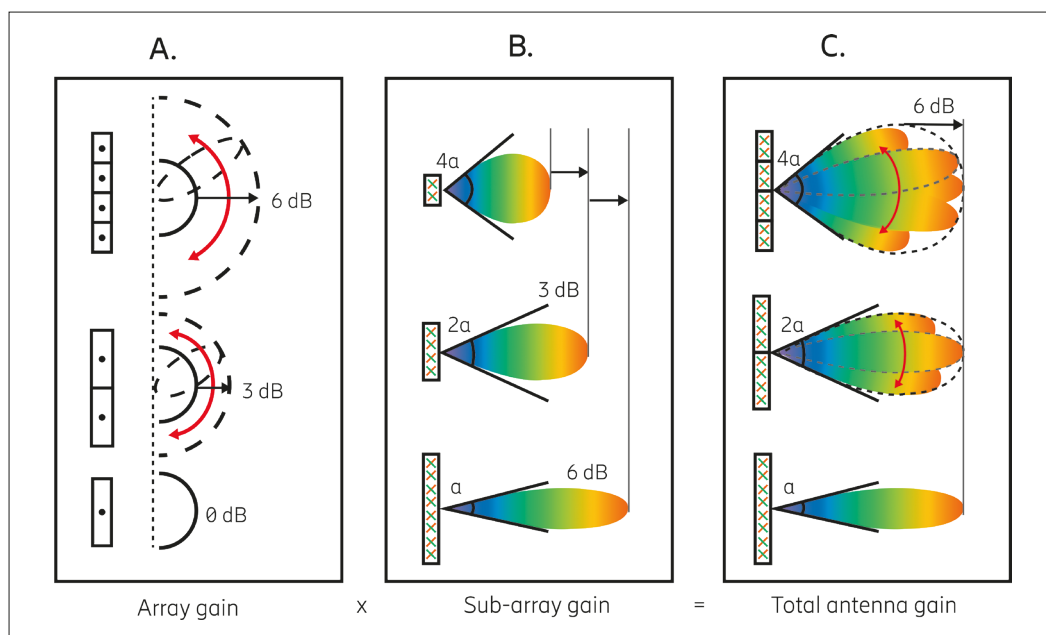


Fortschrittliche Antennensysteme für 5G-Netzwerke

Die jüngsten technologischen Entwicklungen haben fortschrittliche Antennensysteme (Advanced Antenna Systems, AAS) zu einer praktikablen Option für den großflächigen Einsatz in bestehenden 4G- und künftigen 5G-Mobilfunknetzen gemacht.



Ein Array aus Sub-Arrays, das einen hohen Gesamtantennengewinn und eine hohe Steuerbarkeit unterstützt

Ein AAS ermöglicht hochmoderne Beamforming- und MIMO-Techniken, die leistungsstarke Werkzeuge sind, um Endnutzererfahrung, Kapazität und Abdeckung zu verbessern. Denn ein AAS verbessert deutlich die Netzleistung sowohl im Uplink als auch im Downlink. Doch die Suche nach den am besten geeigneten AAS-Varianten zur Erzielung von Leistungssteigerungen und Kosteneffizienz in einem bestimmten Netzeinsatz erfordert ein Verständnis der Eigenschaften sowohl von AAS als auch von Multi-Antennen-Funktionen.

Einführung

Die Leistungsanforderungen der Endnutzer steigen weiter und stellen hohe Anforderungen an das Funkzugangnetz (RAN), um Abdeckung, Kapazität und Durchsatz für den Endnutzer zu erhöhen. Da die Datennutzung derzeit viel schneller zunimmt

als die entsprechenden Umsätze, müssen die Mobilfunknetzbetreiber (MNOs) das RAN so weiterentwickeln, dass die Kosten pro Bit optimiert und gleichzeitig die neuen Anforderungen an die Endnutzerleistung erfüllt werden. Der Technologiewechsel zu fortschrittlichen Antennensystemen ist hierbei hilfreich.

Die Hauptgründe für diesen Technologiewechsel sind die überlegene Leistung von AAS sowohl im Uplink (UL) und Downlink (DL) und die Möglichkeit, AAS kostengünstig zu realisieren. Die Umstellung auf AAS wird befördert durch technologische Fortschritte bei der Integration von Basisband, Funktechnik (Antennen) sowie eine Senkung der Kosten für die digitale Verarbeitung von fortgeschrittenem Beamforming und MIMO.

AAS ist eine leistungsstarke Option für Mobilfunknetz-

Betreiber, die die Abdeckung, die Kapazität und die Nutzerleistung unter Verwendung bestehender Netzstandorte verbessern wollen. Viele MNOs entscheiden sich für diese Strategie, da es oft schwierig, zeitaufwendig und teuer ist, neue Standorte zu erwerben und einzurichten. Ein weiterer Hauptgrund für AAS ist die Notwendigkeit, die Abdeckungsanforderungen auf neuen und höheren Frequenzbändern zu erfüllen. Dies ist besonders wichtig bei der Einführung von 5G in bestehenden Standortnetzen.

Was ist ein fortschrittliches Antennensystem?

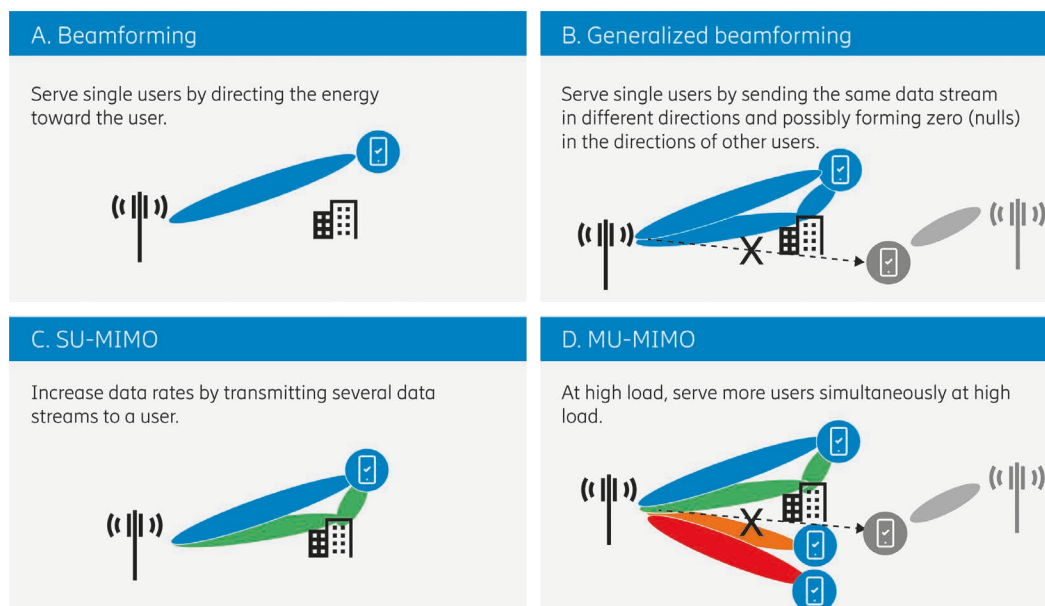
Ein fortschrittliches Antennensystem (AAS) ist eine Kombination aus einem AAS-Funkgerät und einer Reihe von AAS-Funktionen. Ein AAS-Funkgerät besteht aus einer Antennen-Gruppe, die eng mit der Hardware und der Software, die für die Übertragung und den Empfang von Funksignalen erforderlich sind, sowie Signalverarbeitungs-algorithmen zur Unterstützung der Ausführung der AAS-Funktionen verknüpft ist. Im Vergleich zu herkömmlichen Systemen bietet diese Lösung eine viel größere Anpassungsfähigkeit und Steuerbarkeit in Bezug auf die Anpassung des Antennenstrahlungsdiagramms an sich schnell ändernde Funkausbreitungsbedingungen. Darüber hinaus können mehrere Signale gleichzeitig mit unterschiedlichen Strahlungsmustern empfangen oder gesendet werden.

MIMO, Beam- und Nullforming im Überblick

Zu den Mehrantennentechniken, die hier als AAS-Funktionen bezeichnet werden, gehören MIMO und Beamforming. Die

Quelle:
Ericsson White Paper,
Advanced antenna systems for
5G networks
übersetzt und leicht gekürzt
von FS

Contributors:
The contributors to Ericsson's
opinion on this topic are Peter
von Butovitsch, David Astely,
Christer Friberg, Anders
Furuskär, Bo Göransson, Billy
Hogan, Jonas Karlsson and
Erik Larsson.



Beamforming und MIMO, wobei die verschiedenen Farben der gefüllten Strahlen für Streams stehen

Anwendung von AAS-Funktionen auf ein AAS-Funkgerät führt zu erheblichen Leistungssteigerungen, da mehr Freiheitsgrade durch die größere Anzahl von Funkketten (Massive MIMO genannt) genutzt werden können. Beim Senden ist Beamforming die Fähigkeit, die Funkenergie durch den Funkkanal auf einen bestimmten Empfänger zu lenken. Durch Anpassung von Phase und Amplitude der übertragenen Signale kann eine konstruktive Addition der entsprechenden Signale am UE-Empfänger erreicht werden, was die empfangene Signalstärke und damit den Durchsatz für den Endnutzer erhöht. In ähnlicher Weise ist das Beamforming beim Empfang die Fähigkeit, die Signalenergie von einem bestimmten Sender zu sammeln. Die von einem AAS gebildeten Strahlen werden ständig an die Umgebung angepasst, um sowohl bei UL als auch bei DL eine hohe Leistung zu erzielen.

Die Übertragung von Energie in nur eine Richtung ist zwar oft sehr effektiv, aber nicht immer eine optimale Lösung. In Mehrwegeszenarien durch Beugung um Ecken und Reflexionen an Gebäuden oder anderen Objekten ist es von Vorteil, denselben Datenstrom über mehrere Pfade (Richtung und/oder Polarisation)

zu senden und dabei die Phasen und Amplituden so zu steuern, dass sie sich beim Empfänger konstruktiv addieren. Dies nennt man dann generalisiertes Beamforming. Dabei ist es auch möglich, Interferenzen mit anderen UEs zu reduzieren, was als Nullforming bekannt ist. Dies wird erreicht, indem die übertragenen Signale so gesteuert werden, dass sie sich bei den gestörten UEs gegenseitig auslöschen.

MIMO-Techniken

Räumliches Multiplexing, als MIMO bezeichnet, ist die Fähigkeit, mehrere Datenströme zu übertragen, die dieselbe Zeit- und Frequenzressource nutzen. Der Zweck von MIMO ist die Erhöhung des Durchsatzes. MIMO basiert auf dem Grundprinzip, dass es bei hoher Empfangsqualität besser ist, mehrere Datenströme mit reduzierter Leistung pro Datenstrom zu empfangen, als einen Datenstrom mit voller Leistung. Das Potenzial ist groß, wenn die Qualität des empfangenen Signals hoch ist und die Datenströme sich nicht gegenseitig stören. Das Potenzial nimmt ab, wenn die gegenseitige Störung zwischen den Datenströmen zunimmt.

MIMO funktioniert sowohl im UL als auch im DL, aber der

Einfachheit halber wird im Folgenden nur der DL beschrieben.

Single-User-MIMO (SU-MIMO) ist die Fähigkeit, einen oder mehrere Datenströme von einem Sendearray an einen einzelnen Nutzer zu übertragen. SU-MIMO kann dadurch den Durchsatz für diesen Nutzer erhöhen und die Kapazität des Netzes steigern. Die Anzahl der Schichten (Layers), die unterstützt werden können, der sogenannte Rang, hängt vom Funkkanal ab. Zur Unterscheidung zwischen DL-Schichten muss ein UE mindestens so viele Empfängerantennen haben wie es Schichten gibt.

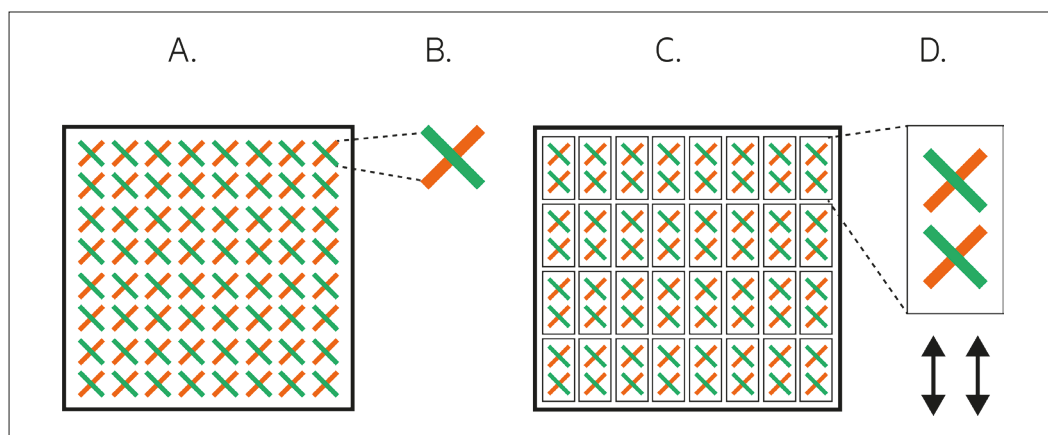
SU-MIMO kann man erreichen, indem verschiedene Schichten auf verschiedenen Polarisationen in dieselbe Richtung gesendet werden. SU-MIMO ist auch in einer Mehrwegeumgebung möglich, in der es viele Funkausbreitungspfade mit ähnlicher Stärke zwischen dem AAS und dem UE gibt. Dies durch verschiedene Schichten auf verschiedenen Ausbreitungspfaden.

Bei Multi-User-MIMO (MU-MIMO) sendet das AAS gleichzeitig verschiedene Schichten in separaten Strahlen an verschiedene Nutzer, die dieselben Zeit- und Frequenzressourcen nutzen, wodurch die Netzkapazität erhöht wird. Um MU-

MIMO zu nutzen, muss das System zwei oder mehr Nutzer finden, die gleichzeitig Daten senden oder empfangen müssen. Für ein effizientes MU-MIMO muss außerdem die Interferenz zwischen den Nutzern geringgehalten werden. Dies kann durch verallgemeinertes Beamforming mit Nullbildung erreicht werden: Wenn eine Schicht an einen Benutzer gesendet wird, sendet man Nullen in den Richtungen der anderen Benutzer.

Die durch MU-MIMO erzielbaren Kapazitätsgewinne hängen davon ab, ob jede Schicht mit einem guten Signal/Störungs-Rausch-Verhältnis (SINR) arbeiten kann. Wie bei SU-MIMO wird die gesamte DL-Leistung zwischen den verschiedenen Schichten geteilt, sodass die Leistung (und damit das SINR) für jeden Nutzer sinkt, wenn die Anzahl der gleichzeitigen MU-MIMO-Nutzer steigt, dies auch aufgrund der gegenseitigen Störungen zwischen den Nutzern. Daher verbessert sich die Netzkapazität in der Regel, wenn die Anzahl der MIMO-Schichten zunimmt bis zu einem Punkt, an dem die gemeinsame Nutzung der Leistung und die Interferenzen zwischen den Nutzern zu abnehmendem Gewinn und schließlich auch Verlusten führt.

Es ist anzumerken, dass die praktischen Vorteile vieler Schichten in MU-MIMO dadurch begrenzt sind, weil in den heutigen realen Netzen selbst bei einer hohen Anzahl von gleichzeitig angeschlossenen Nutzern in der Regel nicht viele Nutzer gleichzeitig Daten empfangen wollen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Datenübertragung bei den meisten Nutzern stoßweise (im Gespräch) erfolgt. Da das AAS und das Transportnetz für die maximale Anzahl von Schichten dimensioniert werden müssen, muss der MNO berücksichtigen, wieviele Schichten in den Netzen erforderlich sind. Bei typischen MBB-Einsätzen mit den aktuellen 64T64R-AAS-Varianten kann der größte Teil der DL- und UL-Kapazitätsgewinne mit bis zu acht Schichten erreicht werden.



Ein typisches Antennenarray (A) besteht aus Reihen und Spalten von einzelnen dualpolarisierten Antennenelementen (B). Antennengruppen können in Untergruppen (C) unterteilt werden, wobei jede Untergruppe (D) mit zwei Funkketten verbunden ist, normalerweise eine pro Polarisation

Erlangung von Kanalkenntnissen für AAS

Die Kenntnis der Funkkanäle zwischen den Antennen des Nutzers und denen der Basisstation ist eine Schlüsselvoraussetzung für Beamforming und MIMO sowohl für den UL-Empfang als auch für die DL-Übertragung. Denn diese Kenntnis ermöglicht es dem AAS, die Anzahl der Schichten anzupassen und zu bestimmen, wie die Strahlformung erfolgen soll.

Für den UL-Empfang von Datensignalen können Kanalschätzungen aus bekannten Signalen bestimmt werden, die bei den UL-Übertragungen empfangen werden. Die Kanalschätzungen lassen sich verwenden, um zu bestimmen, wie die empfangenen Signale zu kombinie-

ren sind, um die gewünschte Signalleistung zu verbessern und Störsignale auszublenden.

Andererseits ist die DL-Übertragung in der Regel schwieriger als der UL-Empfang, weil Kanalwissen vor der Übertragung verfügbar sein muss. Während das grundlegende Beamforming relativ geringe Anforderungen an die erforderliche Kanalkenntnis stellt, stellt generalisiertes Beamforming höhere Anforderungen, da mehr Details über die Mehrwegeausbreitung benötigt werden. Darüber hinaus ist die Entschärfung von Interferenzen in Form von Nullformung für MU-MIMO eine noch größere Herausforderung, da in der Regel mehr Kanäle mit hoher Genauigkeit charakterisiert werden müssen.

Es gibt zwei grundsätzliche Möglichkeiten, das Wissen über den DL-Kanal zwischen den UEs und dem AAS zu erlangen:

UE-Feedback und UL-Kanalschätzung

Beim UE-Feedback sendet die Basisstation bekannte Signale im DL, die die UEs für die Kanalschätzung und die Generierung von Feedback verwenden können.

Im Fall der UL-Kanalschätzung gibt es Unterschiede, je nachdem, ob Zeitduplex (TDD) oder Frequenzduplex (FDD) verwendet wird. Bei TDD wird die gleiche Frequenz sowohl für die UL- als auch für die DL-Übertragung verwendet. Da der Funkkanal reziprok ist (derselbe in UL und DL), können detaillierte kurzfristige Kanalschätzungen aus der UL-Übertragung von bekannten Signalen verwendet werden, um die DL-Sendestrahlen zu bestimmen. Dies wird als reziprozitätsbasiertes Beamforming bezeichnet. Für eine vollständige Kanalschätzung sollten die Signale von jeder UE-Antenne und über alle Frequenzen gesendet werden. Bei FDD, wo für UL und DL unterschiedliche Frequenzen verwendet werden, ist der Kanal nicht vollständig reziprok. Längerfristige DL-Kanalkenntnisse (z.B. dominante Richtungen) kann man durch eine geeignete Mittelwertbildung der UL-Kanalschätzungsstatistiken erhalten.

Welches Kanalerkennungsschema zu verwenden ist, hängt von der UL-Abdeckung und den UE-Fähigkeiten ab. In Fällen, in denen die UL-Abdeckung begrenzt ist, bietet UE-Feedback einen robusteren Betrieb, während die vollständige UL-Kanalschätzung in Szenarien mit guter Abdeckung gut gelingt. Kurz gesagt, sowohl Reziprozität als auch UE-Feedback-basiertes Beamforming sind erforderlich.

Struktur des Antennenarrays

Der Zweck der Verwendung eines rechteckigen Antennenarrays besteht darin, Strahlen mit hoher Verstärkung zu ermöglichen und diese Strahlen über eine Reihe von Winkeln zu steuern. Der Gewinn entsteht sowohl bei UL als auch bei DL durch die konstruktive Kombination von Signalen aus einer Reihe von Antennenelementen. Je mehr Antennenelemente vorhanden sind, desto höher ist der Gewinn.

Die individuelle Steuerung der Amplitude und Phase kleinerer Teile der Antennengruppe geschieht in der Regel durch Unterteilung der Antennengruppe in sogenannte Sub-Arrays (Gruppen von sich nicht überlappenden Elementen) und durch Anwendung von zwei dedizierten Funkketten pro Sub-Array (eine pro Polarisation). Auf diese Weise lassen sich die Richtung und andere Eigenschaften des erzeugten Antennenarray-Strahls beeinflussen.

Der Arraygewinn ist jener, der erreicht wird, wenn alle Sub-Array-Signale konstruktiv (in Phase) addiert werden. Zum Beispiel ergibt sich bei zwei Sub-Arrays ein Arraygewinn von 2 (3 dB). Indem die Phasen der Sub-Array-Signale in einer bestimmten Weise verändert werden, kann dieser Gewinn in jeder Richtung erreicht werden. Es gibt einen Kompromiss zwischen Sub-Array-Gewinn und Strahlbreite.

Der Gesamtantennengewinn ist das Produkt aus dem Arraygewinn und dem Sub-Array-Gewinn. Darüber hinaus bestimmt das Sub-Array-Strahl-

Schlüsselbegriffe

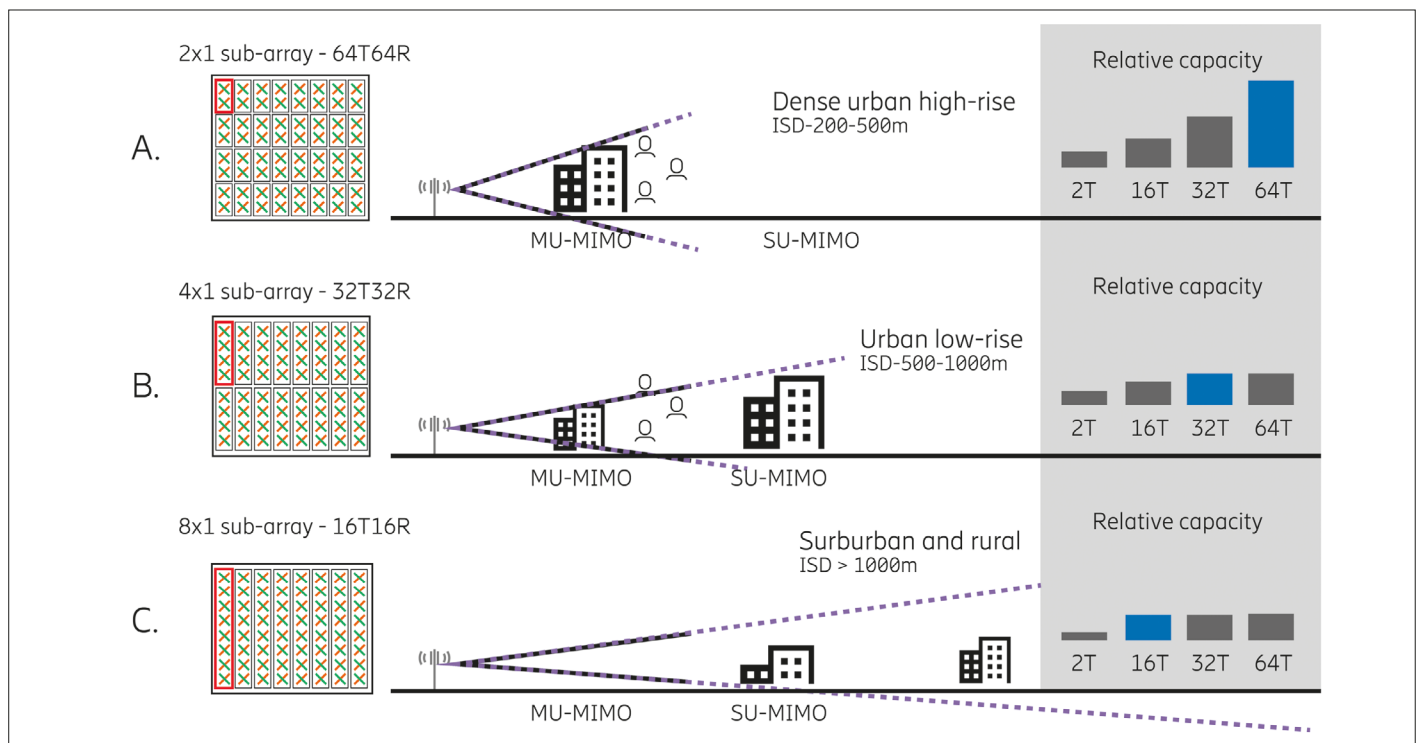
AAS-Funkgerät = Hardware-Einheit, die eine Antennengruppe, Funkketten und Teile des Basisbandes eng integriert, um AAS-Funktionen zu ermöglichen

AAS-Leistungsmerkmal = Mehrantennen-Leistungsmerkmal (z.B. Beamforming und MIMO), das im AAS-Funkgerät in der Basisbandeinheit oder auf anderer Ebene ausgeführt werden kann

AAS = AAS-Funkgerät + AAS-Funktionen

konventionelles System = passive Antenne + abgesetzte Funkeinheit mit einer geringen Anzahl (2, 4 oder 8) von Funkketten

doppelpolarisiertes Antennenelement = Kombination von zwei Antennenelementen mit orthogonaler Polarisation, um Diversität zu ermöglichen und die Verdoppelung der Anzahl von Antennenelementen auf einer gegebenen Fläche zu ermöglichen



AAS-Konfigurationen lt. Text, schematische MU-MIMO- und SU-MIMO-Nutzungsbereiche und typische Kapazitätsgewinne

lungsmuster die Einhüllende der schmalen Strahlen. Dies hat eine Auswirkung auf die Wahl der Antennengruppenstruktur in einem realen Einsatzszenario mit spezifischen Abdeckungsanforderungen. Da jedes Sub-Array normalerweise mit zwei Funkketten verbunden ist und jede Funkkette Kosten verursacht, ist es wichtig, die Leistungsvorteile einer zusätzlichen Lenkbarkeit bei der Wahl einer kosteneffizienten Arraystruktur zu berücksichtigen.

Einsatzszenarien

Um zu bestimmen, welche Art von AAS-Konfiguration für ein bestimmtes Einsatzszenario am geeignetsten und kosteneffizientesten ist, benötigt man Wissen über das Szenario, mögliche Standortbeschränkungen und verfügbare AAS-Merkmale, insbesondere die Notwendigkeit der vertikalen Lenkbarkeit von Strahlen, die Anwendbarkeit der reziproken Strahlformung und der Gewinn durch MU-MIMO. Es wurden drei typische Anwendungsfälle ausgewählt, die verschiedene Aspekte des AAS-Einsatzes veranschaulichen:

A) dichtes städtisches Hochhaus
 Kennzeichen: kurze Inter-Site-Distanzen (ISDs) von 200 bis 500m, hohes Verkehrsaufkommen, hohe Teilnehmerdichte mit erheblicher Verteilung in der vertikalen Dimension

Ziele: Erhöhung der Kapazität oder gleichwertiger hoher Endnutzerdurchsatz bei einer gegebenen Verkehrslast, Antennenbereich, der groß genug ist, um eine ausreichende Abdeckung zu gewährleisten (UL-Datenrate am Zellenrand), vertikale Abdeckung groß, daher kleine Sub-Arrays, die einen breiten Strahl in vertikaler Richtung haben, ausreichende Anzahl von Funkketten, um die Sub-Arrays zu unterstützen

B) städtische Flachbauten

Kennzeichen: Basisstationen in der Regel auf Dächern, Abstände zwischen den Standorten einige 100 m, Verkehr pro Flächeneinheit geringer

Ziele: Maximierung der Antennenfläche zwecks Verbesserung der UL-Zellranddatenraten, geringer vertikaler Abdeckungsbereich, daher größere vertikale Sub-Arrays und weniger

Funkketten, horizontale Strahlformung ist eine sehr effektive Funktion, die große Gewinne liefert, MU-MIMO auch bei hohen Lasten geeignet

C) ländlich/vorstädtisch

Kennzeichen: auf Dächern oder Türmen montierte Basisstationen mit Entfernungen von einem bis zu mehreren Kilometern,

geringe oder mittlere Bevölkerungsdichte, sehr geringe vertikale Verteilung

Ziele: AAS mit einer großen Antennenfläche und der Fähigkeit, horizontales Beamforming zu unterstützen, große vertikale Sub-Arrays mit kleinen vertikalen Abdeckungsbereichen, optimale MU-MIMO-Gewinne ◀

Glossar

AAS	Advanced Antenna System
BB	Baseband
DL	Downlink
FDD	Frequency Division Duplex
HW	Hardware
ISD	Inter-site Distance
MBB	Mobile Broadband
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MU-MIMO	Multi-User MIMO
MNO	Mobile Network Operator
RAN	Radio Access Network
SU-MIMO	Single-User MIMO
SW	Software
TDD	Time Division Duplex
UE	User Equipment
UL	Uplink