Prinzipien, Vorteile und Typen

Phased-Array-Antennen

Phased-Array-Antennen sind eine Art von Antennenarray, das über die Funktion der elektronischen Strahlungslenkung (Beamforming) verfügt, um die Richtung und Form des abgestrahlten Signals ohne physische Bewegung der Antenne zu ändern.

Die Steuerung der Phasendifferenz zwischen den von jeder Antenne in der Anordnung abgestrahlten Signalen wird für diese elektronische Lenkung ausgenutzt. Das Grundprinzip der Phased-Array-Antenne ist also die phasengesteuerte Überlagerung von mehreren Signalen. Wenn die Signale in Phase sind, verbinden sie sich mit additiver Amplitude. Wenn die Signale gegenphasig sind, heben sie sich gegenseitig auf.

Arten von Phased-Array-Antennen

Die drei Arten von Phased-Array-Antennen sind:

1) lineares Array
2) planares Array
3) Frequenzabtast-Array

Phased-Array-Antennen spielen bei den 5G-Kommunikationstechnologien eine große Rolle.

Antennenarrays funktionieren nach folgendem Konzept: Eine Gruppe, die koordiniert zusammenarbeitet, kann mehr als eine Einheit erreichen, die unkoordiniert dieselbe Menge an Arbeit erledigt. Phased-Array-Antennen arbeiten nach diesem Prinzip, um eine verbesserte Signalstärke durch hohen Gewinn gegenüber einzelnen oder nicht koordinierten Antennen zu erzielen.

Mehr zur Funktion von Phased-Array-Antennen

Phased-Array-Antennen enthalten mehrere Antennenelemente zum Zwecke der Strahlformung (Bild 1). Drei gängige Anwendungsbereiche sind WiFi, Chirp-Radar und 5G. Die Anzahl der Antennenelemente in einer Phased-Array-Antenne kann von wenigen Stück bis zu tausenden reichen. Das Ziel besteht darin, die Richtung des insgesamt emittierten Strahls zu steuern, indem konstruktive Interferenzen zwischen den einzelnen abgestrahlten Signalen ausgenutzt werden. Dies wird allgemein als Beamforming bezeichnet.

Eine Phased-Array-Antenne ermöglicht die Strahlformung durch Einstellen der Phasendifferenzen zwischen den an jedes Antennenelement im Array gesendeten Signalen. Dadurch kann das Strahlungsmuster gesteuert und auf ein Ziel gerichtet werden, ohne dass eine physikalische Bewegung der Antenne erforderlich ist. Dies bedeutet, dass die Strahlformung entlang einer bestimmten Richtung einen Interferenzeffekt zwischen omnidirektionalen Antennenelementen darstellt, z.B. Dipolantennen, die in WiFi verwendet werden.

Wenn die emittierten Signale perfekt in Phase sind, interferieren sie konstruktiv und erzeugen intensive Strahlung nur entlang einer bestimmten Richtung. Die Richtung wird durch Einstellen der Phasenverschiebung zwischen den an verschiedene Sender gesendeten Signalen gesteuert. Die Phasenverschiebung wiederum wird gesteuert durch eine leichte Zeitverzögerung zwischen den Signalen, die an aufeinanderfolgende Emitter in dem Array gesendet werden. Außerhalb der Hauptstrahlrichtung nimmt die Strahlintensität ab. Es gibt auch Nebenkeulen im Strahlmuster, da die Signale periodisch sind.

Informativ ist der Vergleich einer Monopolantenne und einer Phased-Array-Antenne aus Monopolen (Bild 1). Die Monopolantenne emittiert in alle Richtungen in der Ebene senkrecht zur Antennenachse. Wenn mehrere Monopole verwendet werden, um ein phasengesteuertes Array zu bilden, interferieren Wellenfronten miteinander, um eine flache Phasenfront zu bilden.

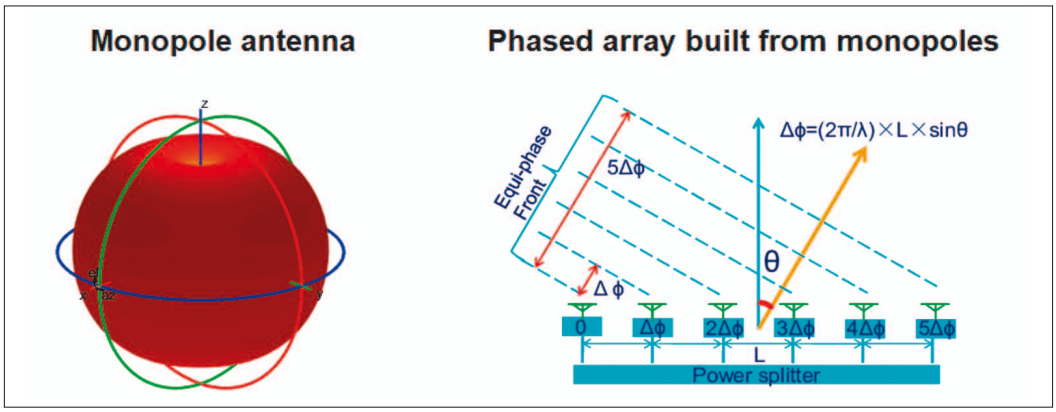

Bild 1: Zum Vergleich einer einzelnen Monopolantenne mit einer Phased-Array-Antenne auf Basis von Monopolen

Quelle:
Phased Array Antennas: Principles, Advantages, and Types
Cadence System Analysis 2021
übersetzt von FS

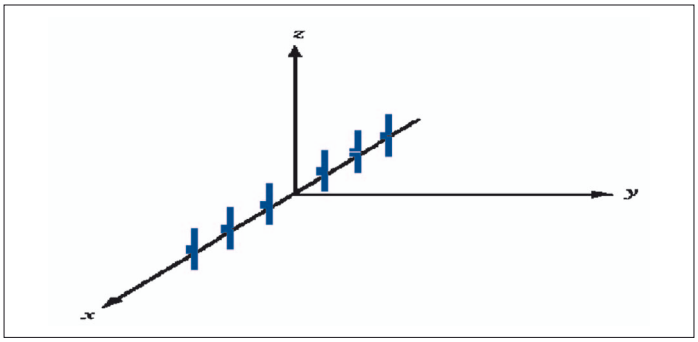

Bild 2: Grundstruktur einer linearen Phased-Array-Antenne

Vorteile der Phased-Array-Technologie

Beamforming mit Phased-Array-Antennen ist bei hohen Frequenzen (ungefähr WiFi-Frequenzen und höher) sinnvoll, um Verluste während der Übertragung zu überwinden. Mit einer Phased-Array-Antenne geeigneter Größe kann die Strahlung von Emittern mit hoher Verstärkung über einen weiten Raumwinkel ausgerichtet werden.

Die Phased-Array-Technologie hat dazu beigetragen, die Eigenschaften des kollektiven Signals oder Strahlungsmusters zu verbessern. Die Verbesserungen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Feldstärke des kollektiven Signals ist die Summe der einzelnen Signalleistungen und daher sehr hoch.
- Die Form des Strahls kann durch die Phasendifferenz der einzelnen Signale gesteuert werden, und das Strahlungsmuster der Phased-Array-Antenne ist im Vergleich zu Einzelantennen schmal.
- Durch den Wegfall der mechanischen Neupositionierung ist die Strahllenkung oder Strahlpositionierung flexibel. Die Strahlsteuerung erfolgt über elektronisch gesteuerte Phasenschieber.
- Mithilfe von Phasenschiebern können hunderte von Strahlungen in Phased-Array-Antennen synthetisiert werden.
- Die Phasenverschiebung kann entweder analog oder digital erfolgen. Die analogen Phasenschieber beruhen auf einer Abwärtswandlung und einer Zeitverschiebung von Signalen. Der digitale Ansatz besteht darin, die Phase des IF-Mischersignals oder des Local-Oscillator-Signals zu verschieben.
- Das Gewicht der Phased-Array-Antennen ist geringer als das der mechanisch gesteuerten Einzelantenne.
- Eine mechanisch gesteuerte Antenne kann durch eine kostengünstigere Phased-Array-Antenne ersetzt werden, wobei die Auflösung gleichbleibt.
- Die Zuverlässigkeit von Phased-Array-Antennen ist um ein Vielfaches höher als die von Einzelantennen. Wenn eine Array-Antenne beeinträchtigt wird, funktionieren die verbleibenden Antennen im Array mit einer geringfügigen Änderung des Strahlungsmusters weiter.

Arten von Phased-Array-Antennen

Phased-Array-Antennen werden basierend auf der Anordnung der einzelnen Antennen und der Anzahl der Phasenschieber in die drei eingangs genannten Typen eingeteilt. Die Klassifizierung ist wie folgt:

- lineares Array

Die Array-Elemente werden mit einem einphasigen Shifter in einer geraden Linie platziert (Bild 2). Obwohl die Antennenanordnung einfach ist, bleibt die Strahlsteuerung auf eine einzige Ebene beschränkt. Die vertikale Anordnung mehrerer linearer Anordnungen bildet die flache Antenne.

- planares Array

Für jede Antenne in einem planaren Array gibt es einen Phasenschieber. Bild 3 informiert zur Matrixanordnung der einzelnen Antennen für die planare Anordnung. Der Strahl kann in zwei Ebenen abgelenkt werden. Der Nachteil von Planar-Array-Antennen ist die große Anzahl der erforderlichen Phasenschieber.

- Frequenzabtastfeld

Wenn die Strahlsteuerung eine Funktion der Frequenz des Senders ist, nennt man Phased-Array-Antennen Frequenzabtast-Array-Antennen. In Frequenzabtast-Array-Antennen sind keine Phasenschieber vorhanden, und die Strahlsteuerung wird durch die Frequenz des Senders gesteuert, s hierzu Bild 4.

Fazit

Die Zukunft der 5G-Kommunikation erfordert Schlüsseltechnologien wie Mehrfachzugriffe, Mehrfachstrahlung, hohe Antennengewinne und ultradichte Netzwerke. Antennen-Designer sind darauf vorbereitet, die Anforderungen künftiger drahtloser Kommunikationssysteme mit Phased-Array-Antennen zu erfüllen.

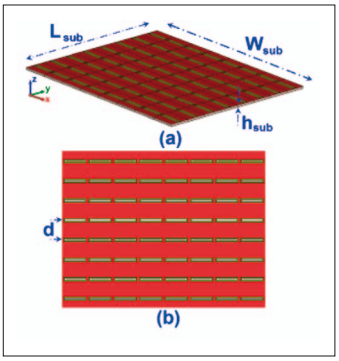

Bild 3: Zum Grundaufbau einer planaren Phased-Array-Antenne, a) Seitenansicht, b) Draufsicht

Insbesondere die Phased-Array-Technologie, die eine elektronische Steuerung bietet, ist ein Vorteil in drahtlosen HF-Kommunikationssystemen. Mit Phased-Array-Antennen können Anwender die Richtung, Stärke und Form der gesendeten Strahlung ohne Auflösungsverlust elektronisch verbessern. ◀

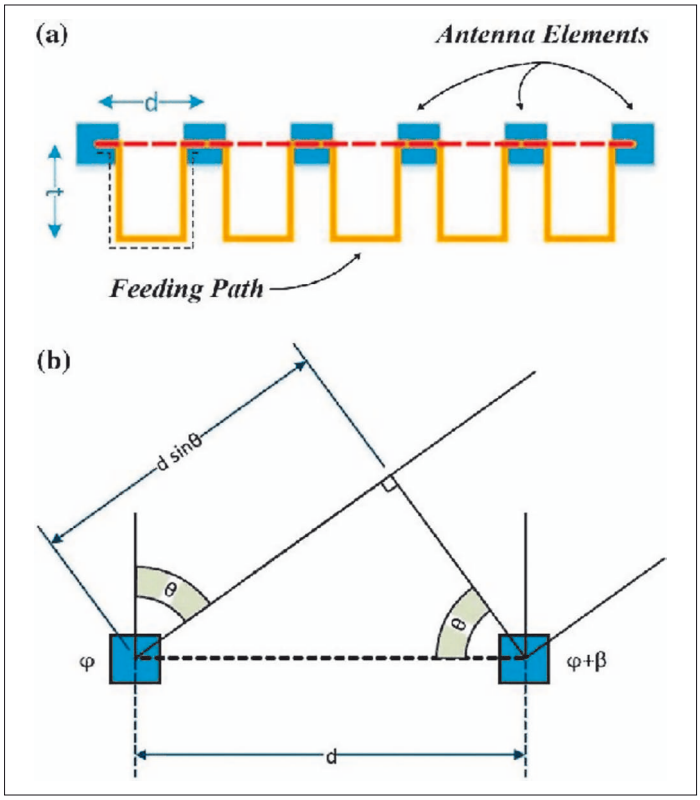

Bild 4: Zur Frequenzabtast-Array-Antenne, a) Antennenstruktur, b) Wellenausbreitungsrichtung