

Verlustleistungsabwägungen beim 5G-Antennenaufbau

Um die versprochene 1000fache Zunahme der Bandbreite bei 5G-Mobilfunknetzen zu erzielen, müssen umfangreiche MIMO-Funktechniken zum Einsatz kommen, um deren Kapazität zu erhöhen – so wie es bereits bei WiFi der Fall ist.

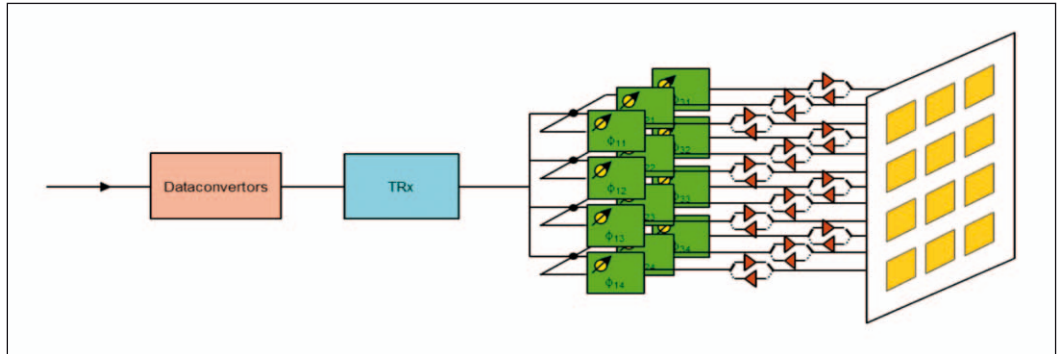


Bild 1: Phasenverschiebung im Analogbereich für eine 5G-Antennenanordnung (Bilder: AMPLEON)

5G-Basistationen müssen in der Lage sein, komplexe Antennenanordnungen anzusteuern, die mehrere Signalstrahlen bilden können, um einen Benutzer über unterschiedliche Signalwege zu erreichen – selbst in signalstreuenden Umgebungen.

Am Standort des Benutzers verstärken sich die Signale all dieser Pfade, um genügend Signalenergie zu liefern und hohe Datenraten zu erzielen.

Der Aufbau dieser Systeme ist komplex, und diese Komplexität ist teuer bei der Umsetzung und während des Betriebs (hoher Energieverbrauch). Dies wird Netzbetreiber und Endgerätehersteller nicht erfreuen.

Bei der Entwicklung müssen daher Kompromisse hinsichtlich der Komplexität, Leistungsfähigkeit, des Energieverbrauchs und der Kosten eingegangen werden.

Das Problem der Phasenverschiebung

Das Hauptproblem ist, dass die Strahlformung, die das Herzstück der 5G-MIMO-Technik ist, eine Phasenverschiebung der Signale beinhaltet, die eine Anordnung von Elementen innerhalb eines Antennenarrays ansteuert. Dies kann im Analogbereich durchgeführt werden, indem der Sendedatenstrom durch die Zahl der im Antennenarray vorhanden Elemente geteilt wird, und dann eine Phasenverschiebung bei jedem Teilelement angewendet wird (Bild 1).

Dies funktioniert zwar – allerdings können nur ein Datenstrom verarbeitet und ein Signalstrahl erzeugt werden. Die digitale Strahlformung (Bild 2) kann mehrere Datenströme verarbeiten und mehrere Strahlen mit einem Array erzeugen:

jedes Element des Antennenarrays weist dafür einen eigenen Transceiver und einen Satz von Datenwandlern auf.

Die höhere Komplexität digitaler Strahlformtechniken - im Vergleich zu analogen Techniken - führt zu einem höheren Energieverbrauch, der verringert werden muss, um die Umweltbelastung, den Kühlbedarf und die Betriebskosten der Basisstation zu senken.

Kühlung eines Antennenarrays – eine Komplettlösung

Als Beispiel betrachten wir eine 4x4-Antennenanordnung, die mit 30 GHz arbeitet. Die Antennenelemente sind eine halbe Wellenlänge voneinander entfernt, d.h. 5 mm. Bei einer digitalen Strahlformung muss jedes Element der Anordnung zwei DACs (jeweils einen für I und Q), zwei ADCs,

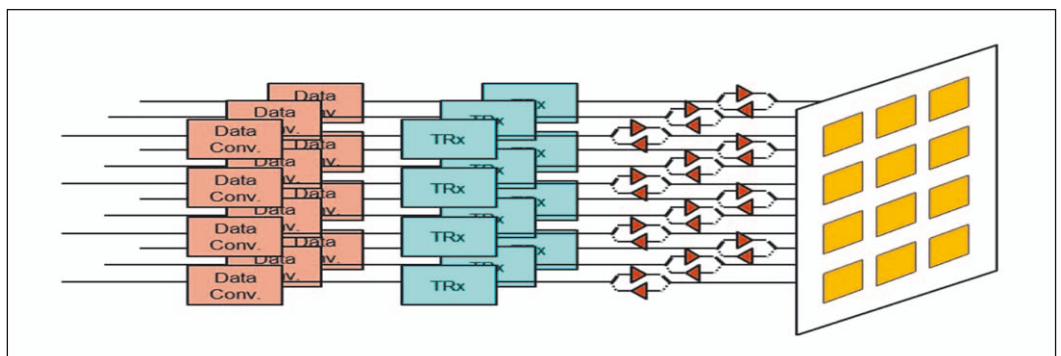


Bild 2: Grundlegende Architektur eines digitalen Strahlformungsarrays

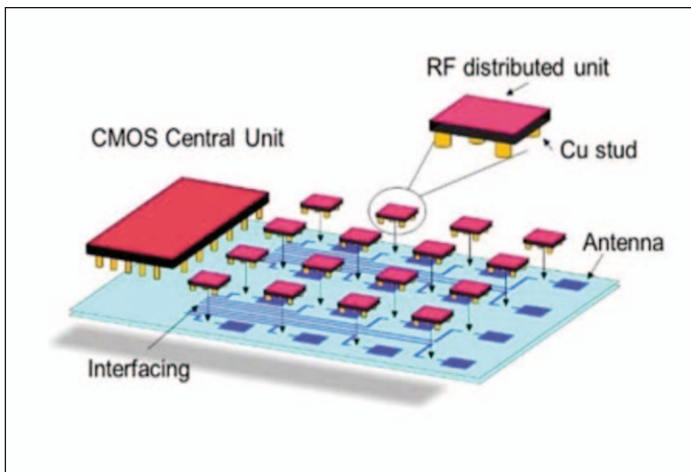


Bild 3: Eine 4x4-Antennenanordnung mit verteilten Schaltkreisen für jedes Element und einer zentralen Recheneinheit

eine PLL, einen LNA, einen PA, einen Send-/Empfangsschalter, einige Verstärker und andere Elektronik, einschließlich Filter enthalten. Idealerweise sollten sich alle Schaltkreise für jedes Array-Element auf einem Chip befinden, um Größe und Kosten einzusparen. Die Anordnung wird dann durch das Auslegen von 16 Chips auf einem Panel zusammengesetzt, so dass kurze Verbindungen zu den anzusteuenden Elementen bestehen. Die dabei entstehende Wärme kann somit gleichmäßig verteilt werden (Bild 3).

Wenn jeder Leistungsverstärker über eine Spitzenleistung von etwa 20 dBm verfügt und auf modernster Technik basiert, beträgt die Gesamtleistungsaufnahme des Panels 3 bis 4 W. Dies setzt Datenwandler mit begrenzten Bittiefen voraus, da Forschungsergebnisse zeigen, dass eine geringere Auflösung erforderlich ist, um die gleiche Signalintegrität für den Empfänger bereitzustellen, wenn ein Antennenarray anstelle einer einzigen Antenne verwendet wird. Die Datenwandler müssen jedoch weiterhin mit hoher Geschwindigkeit betrieben werden, um die Signalbandbreite zu bedienen.

Leistungsverstärker (PAs) machen etwa 75% der Gesamtverlustleistung beim Senden aus, da ihre Effizienz bei Millimeterwellenfrequenzen gering ist. Techniken wie Doherty-PA-Architekturen und Hüllkurven-

verfolgungsschemata können die Effizienz verbessern, benötigen jedoch eine digitale Verzerrungsschaltung. An einem gewissen Punkt muss ein Kompromiss zwischen den Vorteilen jeder dieser Techniken und den Energiekosten erfolgen. In diesem 4x4-Array ist dies der Fall, so dass sie in diesem Beispiel nicht angewendet werden.

Das fertige Design erzeugt zwischen 3 und 4 W Wärme auf einem Panel mit einer Fläche von 400 mm². Um die Kosten zu senken und die Zuverlässigkeit zu erhöhen erfolgt eine passive Kühlung. Eine Aluminiumplatte mit Kühlrippen könnte zum Einsatz kommen, die eine Kühlleistung von etwa 60 W/m²K bietet. Bei einer angenommenen Umgebungstemperatur von 60 °C (Basisstation auf einem Dach im Sommer) und einer Temperatur von 100 °C an der Verbindung zwischen dem Antennenpanel und den Transceiver-ICs würde dieser Ansatz eine Kühlleistung von 0,25 W/cm² bieten – oder etwa ein Viertel dessen, was das Array zur Kühlung benötigt. Um die gesamte Wärmeleistung von 3,5 W abzuführen, wäre ein Kühlpanel mit einer Größe von etwa 1400 mm² erforderlich.

Man könnte ein Panel mit entsprechender Größe bereitstellen, um die Elektronik zu kühlen, und über flexible Anschlüsse ein separates, kleineres Antennenarray-Panel ansteuern. Dies wäre aber bei Arrays mit Dutzenden

oder Hunderten von Antennen unpraktisch.

Gering besetzte Arrays als Alternative

Eine Lösung könnten gering besetzte Array-Aufbauten sein, bei denen die Abstände zwischen den Antennenelementen viel größer sind als die übertragene Wellenlänge, obwohl die Anordnung weiterhin Seiten- oder Gitterkeulen unterdrücken muss, die Störungen verursachen können.

Antennenarrays mit Zwischenelementabständen, die gleich oder größer als die übertragene Wellenlänge λ sind, erzeugen Gitterkeulen, wenn die Elemente in einem einheitlichen Gitter angeordnet sind. Weisen die Elemente keine gleichmäßigen Abstände auf, wie bei der „Sonnenblumenanordnung“ mit 150 Elementen (Bild 4), kann der mittlere Zwischenelementabstand größer sein, ohne Gitterkeulen zu erzeugen.

Die Sonnenblumenanordnung weist eine nahezu gleichförmige Leistungsdichte auf, welche die Kühlung vereinfacht und die gesamte Antennenapertur effektiv nutzt, wenn alle Elemente auf dem gleichen Niveau angeordnet werden. Diese Anordnung erzeugt auch keine Gitterkeulen

und ihr Strahl ist so lenkbar, wie bei einem gleichmäßig angeordneten, dichten Array. Die sonnenblumenförmige Anordnung eignet sich damit hervorragend für passiv gekühlte 5G-Antennenarrays.

Die 3-dB-Strahlbreite dieser gering besetzten Arrays ist umgekehrt proportional zu ihrer Apertur, d.h. ihr Einsatz vereinfacht die Kühlung und führt zu schmaleren Strahlen. Berechnungen unter Verwendung gängiger Annahmen zeigen, dass für einen Zugangspunkt mit einer Reichweite von 150 m der resultierende Strahl wahrscheinlich nur 5 bis 8° breit ist.

Fazit

Der Aufbau von 5G-Systemen verlangt eine Reihe komplexer, systembezogener Kompromisse hinsichtlich der Wärmeverteilung, Funkleistung, des Stromverbrauchs und der Signalverarbeitung. Beruhigend für Entwickler, die diese Anforderungen berücksichtigen müssen, ist die Tatsache, dass viele technische Optionen bereits ausgearbeitet wurden. Die Herausforderung besteht also darin, die richtige Kombination dieser Optionen zu finden.

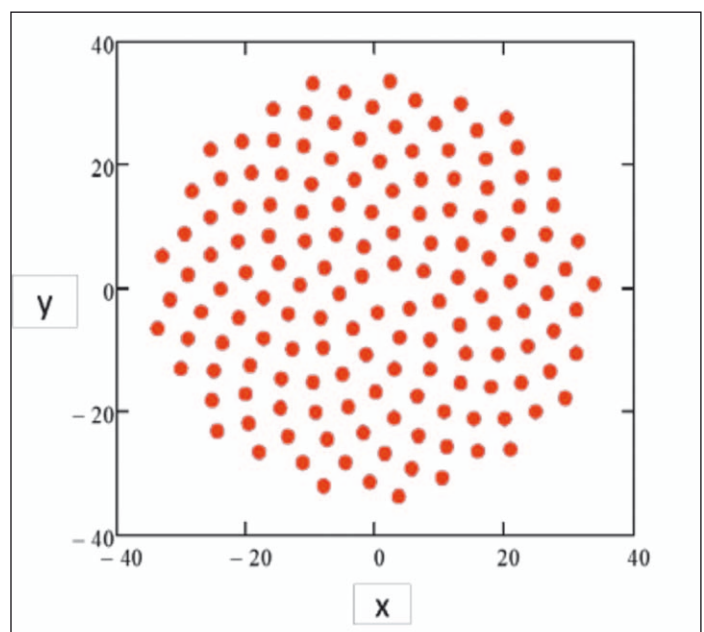


Bild 4: Ein ungleichförmiges Antennenarray, das dem Modell einer Sonnenblume entspricht