Channel Sounding – auf der Suche nach Frequenzen für den Mobilfunk von morgen

5G, die nächste Generation des Mobilfunks, soll bis 2020 einsatzbereit sein. Um aber den geplanten signifikanten Leistungssprung gegenüber den heutigen Netzen möglich zu machen, bedarf es umfangreicher Voruntersuchungen.

Frequenzband	Frequenzbereich	Wellenlängenbereich
UHF (Ultra High Frequency)	300 MHz bis 3 GHz	1 dm bis 10 dm
SHF (Super High Frequency)	3 GHz bis 30 GHz	1 cm bis 10 cm
EHF (Extra High Frequency)	30 GHz bis 300 GHz	1 mm bis 10 mm

ITU-Band	Frequenzbereich
X	8 GHz bis 12 GHz
Ku	12 GHz bis 18 GHz
K	18 GHz bis 27 GHz
Ka	27 GHz bis 40 GHz
Q	33 GHz bis 50 GHz
U	40 GHz bis 60 GHz
V	50 GHz bis 75 GHz
E	60 GHz bis 90 GHz

Tabelle 1 und 2: Neue Spektren für die mobile Kommunikation (Quelle: ITU: Recommendation ITU-R V.431-7: Nomenclature of the Frequency and Wavelength Bands Used in Telecommunications

Das Finden und Charakterisieren geeigneter Übertragungskanäle spielt dabei eine wichtige Rolle. 5G wird ganz neue Frequenzbänder bis in den Millimeterwellenbereich (d. h. jenseits von 30 GHz) für den kommerziellen Mobilfunk erschließen (siehe Tabelle 1 und 2). Der zweite wesentliche Aspekt ist die signifikante Erweiterung der Nutzsignalbandbreite. Diese neuen Kanäle müssen umfassend analysiert werden, um sie möglichst optimal nutzen zu können. Die wichtigste Methode zum Charakterisieren von Mobilfunkkanälen ist das Channel Sounding.

Wie man hineinruft …

… so schallt es nicht unbedingt wieder heraus. Zumindest dann nicht, wenn es um breitbandige Funksignale geht und zwischen Sender und Empfänger eine alles andere als perfekte Übertragungsstrecke liegt. Um unter diesen Umständen dennoch Hochleistungsfunk betreiben zu können, muss man die Eigenschaften der Strecke genau kennen. Deren Charakteristik liefert ein Channel Sounder. Channel Sounding bezeichnet ganz allgemein den Vorgang zur Bestimmung der Impulsantwort eines Übertragungskanals, insbesondere eines Mobilfunkkanals. Der Begriff entstand in Anlehnung an klassische akustische Messverfahren zur Bestimmung von Distanzen, zum Beispiel der Wassertiefe mit einem Echolot (Echo Sounding) [1].

Die Kanalimpulsantwort (Channel Impulse Response, CIR) liefert eine komplexe, d. h. Betrag und Phase eines Signals einbeziehende und damit vollständige Information über den Einfluss des betrachteten Kanals auf ein Funksignal und eignet sich somit insbesondere zu seiner Charakterisierung. Den Funkkanal beeinträchtigende Einflüsse sind Signal-Echos durch Reflexionen, Verzerrungen durch Beugungs- und Streueffekte, Abschattungen durch Gebäude und Bäume, aber auch wetterbedingte Auswir-

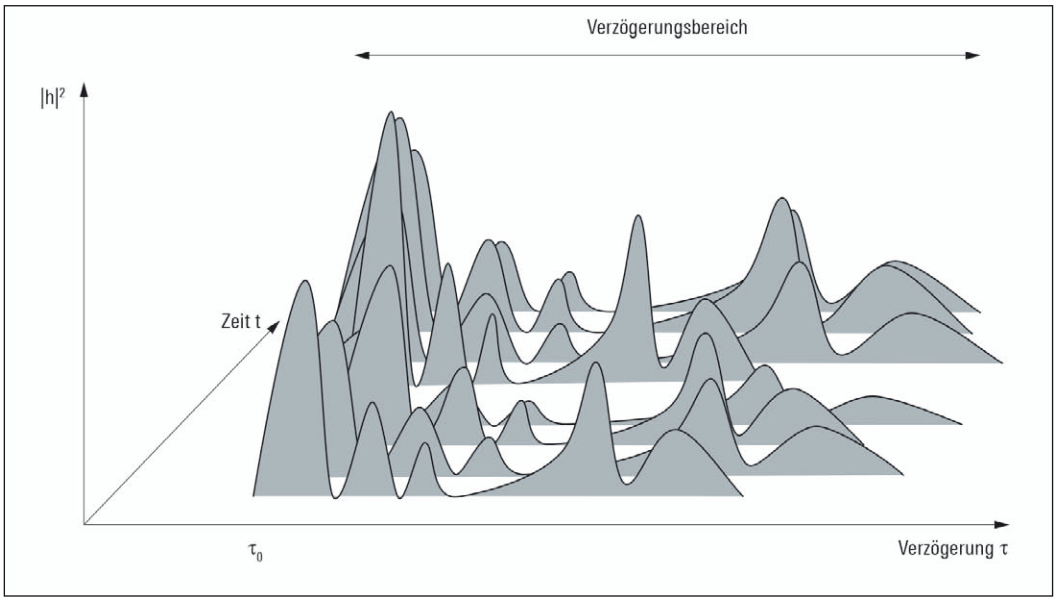

Bild 1: Leistungsverzögerungsprofil (englisch PDP) einer zeitvarianten Kanalimpulsantwort

Rohde & Schwarz
www.rohde-schwarz.com

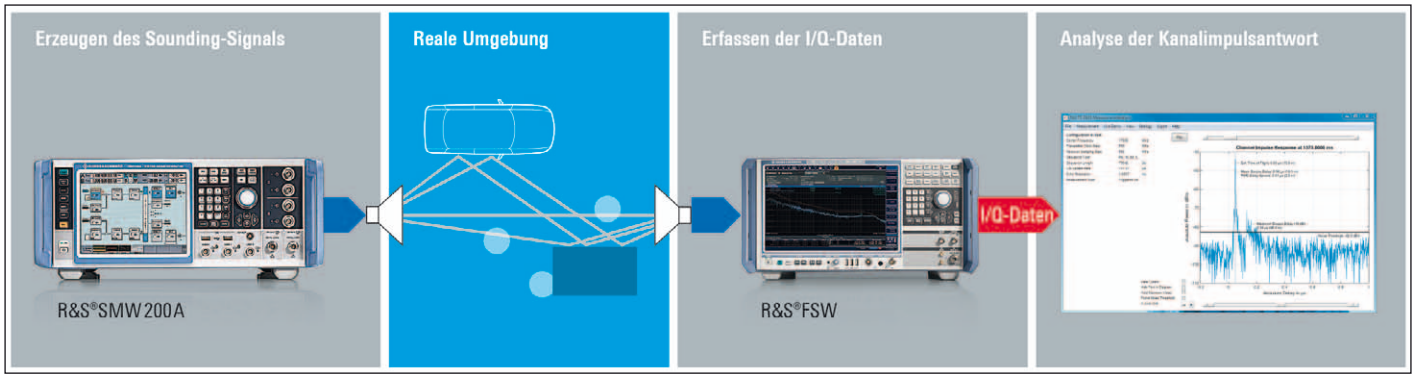

Bild 2: Prinzipieller Aufbau für die direkte Messung der Kanalimpulsantwort (ohne Verkabelung und Antennen)

kungen wie Regen und Schnee. Bild 1 stellt exemplarisch das Betragsquadrat einer zeitvarianten Kanalimpulsantwort h(t, τ) dar, das sogenannte Leistungsverzögerungsprofil (Power Delay Profile, PDP).

Über die Verzögerungsachse τ ist eine mögliche Mehrwegeausbreitung des Funksignals erkennbar. Die lokalen Maxima lassen auf starke, zeitverzögerte Echos und damit Reflektoren im Funkkanal schließen. Entlang der Zeitachse t erkennt man im Beispiel eine zeitliche Veränderung der Kanalimpulsantwort. Eine mögliche Ursache für eine solche Zeitvarianz sind zum Beispiel ein sich bewegender Empfänger oder allgemein sich ändernde Kanalbedingungen.

An diesem Beispiel sind auch schon die wesentlichen Anforderungen an einen Channel Sounder erkennbar. Neben einer hohen Empfindlichkeit in den betrachteten Frequenzbereichen und Bandbreiten muss er schnell genug sein, um zeitliche Änderungen des Kanals zu erkennen. Andererseits muss er aber auch jede einzelne Kanalimpulsantwort lange genug messen, um den gesamten Verzögerungsbereich (Delay Spread) zu erfassen, und das mit einer möglichst hohen zeitlichen Auflösung und Messdynamik. Wie so häufig sind das zwei sich widersprechende Anforderungen, die nur mit einem Kompromiss erfüllt werden können. Der bestmögliche Kompromiss wiederum

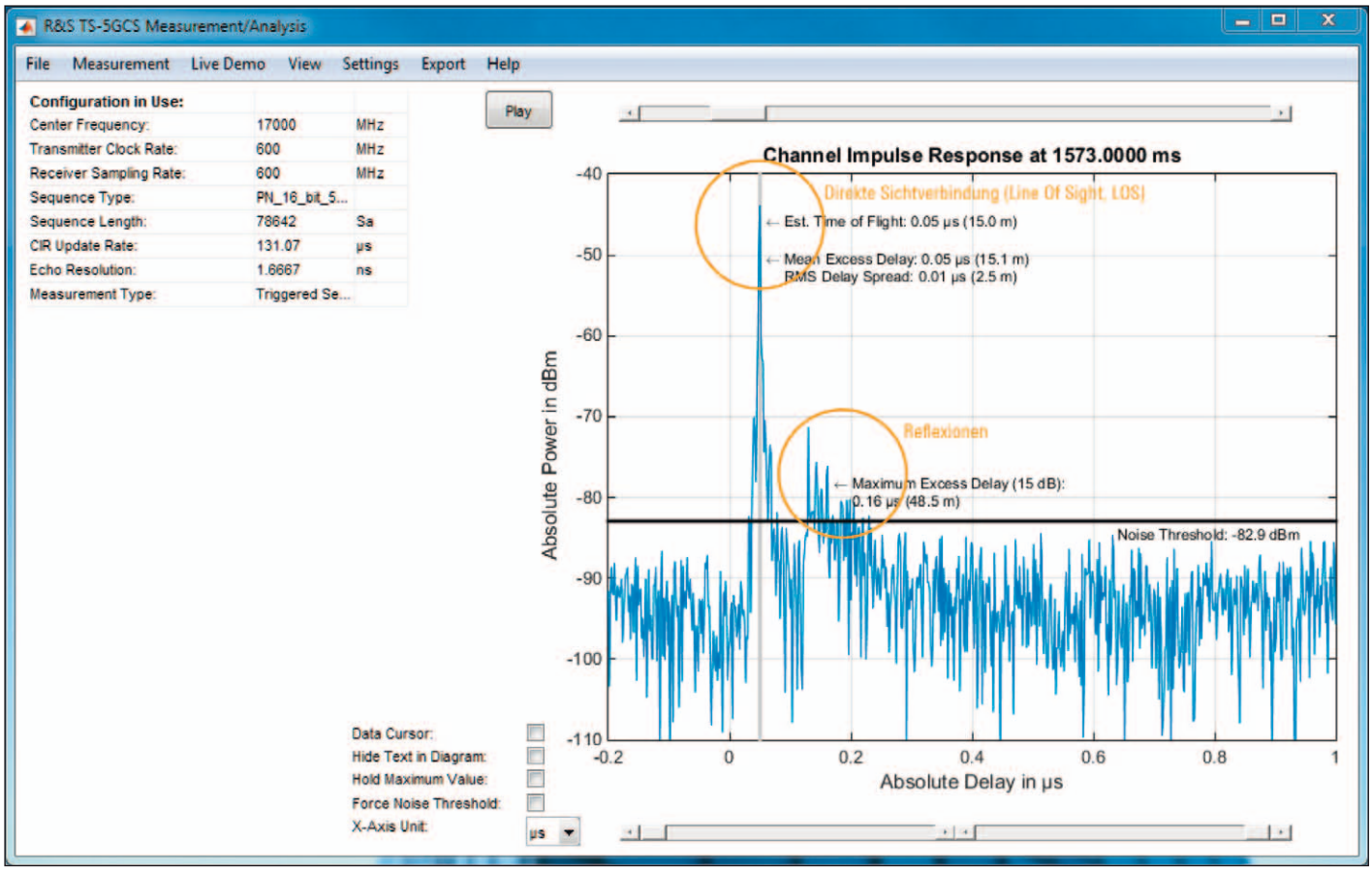

Bild 3: Exemplarische Messung eines Leistungsverzögerungsspektrums. Als Messstrecke diente das Atrium des Rohde & Schwarz-Schulungszentrums in München. Gemessen wurde bei 17 GHz mit einer 13-dBi-Hornantenne auf der Senderseite (am R&S SMW200A) und einer omnidirektionalen Breitbandantenne auf der Empfangsseite (am R&S FSW43), übrigens eine typische Antennenwahl für Channel-Sounding-Messkampagnen. Hervorstechend sind die Reflexionen durch Boden und Decke des Gebäudes

hängt vom betrachteten Szenario ab. Es kann z.B. stationär oder eine stark zeitvariante Umgebung, wie beispielsweise ein Schnellzug. sein. Offensichtlich muss also ein Channel Sounder ein sehr hohes Maß an Qualität und Flexibilität mitbringen. Die hier vorgestellte Lösung ist deshalb besonders geeignet.

Die Kanalimpulsantwort kann durch Korrelation direkt im Zeitbereich gemessen werden. Dazu bedient man sich der besonderen Autokorrelationseigenschaften bestimmter komprimierter, periodischen Pulssignale [1]. Diese sogenannten Sounding-Signale sind sehr einfach in ihrer Struktur. Zum Beispiel eignen sich einfache binäre Pseudozufallsfolgen (Pseudo Random Binary Sequences, PRBS) maximaler Länge. Diese werden M-Sequenzen genannt. Die Idee des Channel Soundings ist dabei denkbar einfach: Eine periodische M-Sequenz wird über den zu untersuchenden Funkkanal gesendet. Das empfangene Signal wird am „Ende" des Kanals mit der bekannten M-Sequenz korreliert und liefert die gewünschte Kanalimpulsantwort. Die Sounding-Sequenz kann noch optimiert werden. Möglichkeiten dafür sind zum Beispiel die spektrale Reinheit oder der Crest-Faktor. Deshalb werden neben MSequenzen zum Beispiel auch Frank-Zadoff-Chu-Sequenzen oder die aus der Radartechnik bekannten FMCW-Signale, bekannt auch als Chirp-Signale, verwendet.

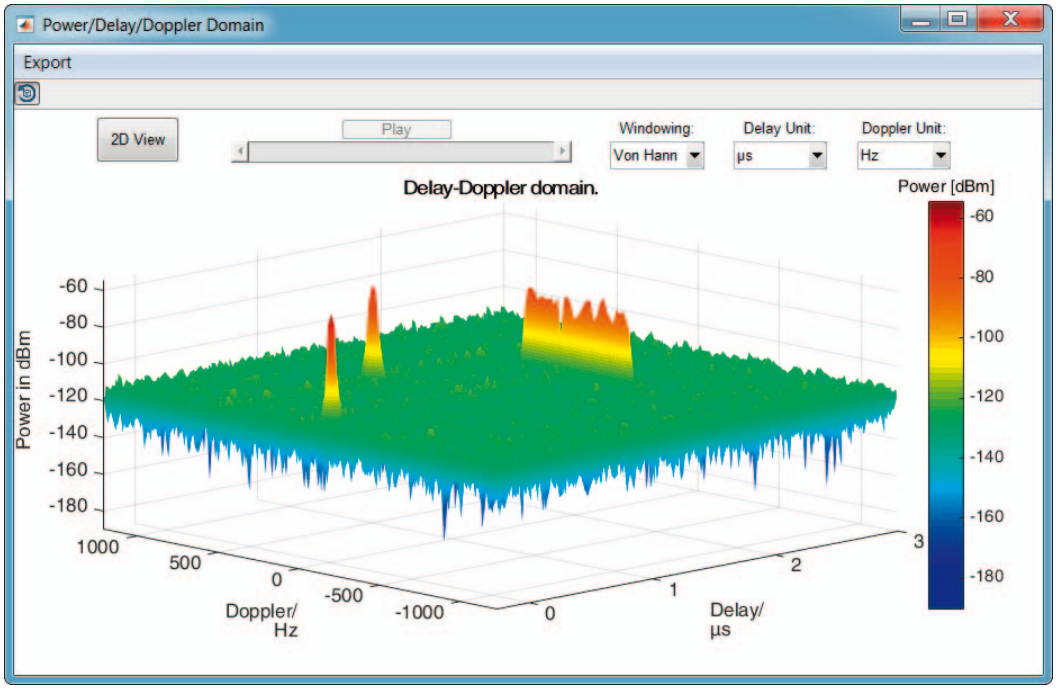

Bild 4: Ein dreidimensionales Leistungsverzögerungs-Dopplerprofil. Zu jedem Echo wird die korrespondierende Dopplerfrequenzverschiebung gezeigt. Das hier abgebildete Profil wurde nicht durch Messung einer realen Strecke gewonnen, sondern mit dem Fading-Simulator des R&S SMW200A generiert, mit dem sich sehr einfach die Funktion der Channel-Sounding-Software demonstrieren und verifizieren lässt

Warum überhaupt „5G Sounding"?

Mit GSM begann das Zeitalter der digitalen Mobilkommunikation. Gleichzeitig standen die Hersteller von Basis- und Mobilstationen vor der Herausforderung, mit zeit- und ortsabhängigen Funkkanälen umzugehen. Die Lösung dieses Problems lag insbesondere in der ausgiebigen Vermessung der Funkkanäle und der daraus abgeleiteten Kanalmodelle. Letztere dienten dabei als wesentliche Entwicklungsgrundlage für das gesamte Mobilfunksystem, einschließlich der Funknetzplanungswerkzeuge. Die Kanalmodelle wurden kontinuierlich bis hin zur heutigen vierten Generation des Mobilfunks (LTE-A) weiterentwickelt [2]. Da die bisherigen Mobilfunkgenerationen sich im Wesentlichen immer in den gleichen Frequenzbändern unterhalb von 3 GHz bewegten, konnten die Kanalmodelle relativ einfach immer wieder angepasst werden. Bewegt man sich jedoch in völlig neuen Frequenzbereichen, etwa in den Millimeterwellenbereich, und erweitert man auch noch die Nutzkanalbandbreite auf ein Vielfaches der bisher üblichen, dann sind die bisherigen Kanalmodelle nicht mehr hinreichend geeignet [1]. Es müssen also neue Modelle her, und die kann man nur aus den Daten ausgedehnter Channel-Sounding-Messkampagnen gewinnen. So wurden zum Beispiel genau für diesen Zweck vom 3GPP beim „5G Start Workshop" im September 2015 umfangreiche Messkampagnen in typischen Umgebungsszenarien auf den Weg gebracht.

Die Lösung

Eine Channel-Sounding-Lösung zur direkten Messung der Kanalimpulsantwort besteht aus einem qualitativ hochwertigen, flexiblen Sender für die Sounding-Sequenz und einem hochempfindlichen Breitbandempfänger mit sehr hoher Messdynamik (Bild 2). Rohde & Schwarz bietet mit dem Vektorsignalgenerator R&S SMW200A und dem Signal- und Spektrumanalysator R&S FSW zwei Geräte mit den genau richtigen Eigenschaften.

Zur einfachen Bestimmung der Kanalimpulsantwort dient die neue MATLAB-basierende PC-Applikationssoftware R&S TS-5GCS. Sie wertet die vom R&S FSW gelieferten I/Q-Daten aus und berechnet die Kanalimpulsantwort per Korrelation mit einer kalibrierten Originalsequenz. Die Messdaten werden grafisch dargestellt und lassen sich MATLAB-kompatibel exportieren (Bild 3 und 4). Der Anwender profitiert von den überragenden, stabilen Eigenschaften der Messgeräte bei Frequenzen bis in den Millimeterwellenbereich und kann sich auf die Auswertung der Messdaten konzentrieren. Außerdem liefert die Sounding-Software die notwendige Flexibilität bezüglich der Sounding-Sequenzen. Alle Sounding-Signale werden als R&S SMW200A-kompatible Wellenformen mitgeliefert. Darüber hinaus kann der Anwender, mithilfe der R&S ARB Toolbox Plus, die Sequenzen an seine Bedürfnisse anpassen beziehungsweise eigene Sounding-Sequenzen generieren.

Referenzen

[1] Radio Propagation Measurement and Channel Modeling, Sana Salous, Durham University UK, published 2013 by John WILEY and Sons Ltd.

[2] WINNER II D1.1.2, „Channel models", V1.2, 2008, erhältlich bei http://www.ist-winner.org/deliverables.html.