

Das Beste aus zwei Welten – hybride Ortung durch klassische Peilung und TDOA



BILD 1: Das outdoor-fähige Spektrum-Monitoring-System R&S®UMS300 für ITU-konformes Monitoring, Peilen und Orten via TDOA.

Hybride Ortungssysteme von Rohde & Schwarz kombinieren moderne Methoden wie das TDOA-Verfahren mit bewährter Peiltechnik und profitieren damit vom Besten aus zwei Welten. Eine breite Palette TDOA-fähiger Geräte und Systeme bietet skalierbare Lösungen für alle Aufgabenbereiche.

TDOA – das Konzept

Für die Ortsbestimmung einer Emission mit dem TDOA-Verfahren (Time Difference Of Arrival) gilt, was auch Voraussetzung für die Peilung nach der bewährten Angle-of-Arrival (AOA)-Methode ist: Es müssen hinreichend viele Empfänger in Reichweite des gesuchten Senders liegen. Dessen sich mit konstanter Geschwindigkeit ausbreitende Signale kommen zu geringfügig unterschiedlichen Zeiten bei den Empfängern an, weil diese in der Regel verschieden weit vom Emissionsort entfernt sind. Aus diesen Zeitdifferenzen lassen sich die Koordinaten des Senders errechnen.

Dazu wird zuerst mittels mathematischer Korrelationsverfahren der relative Unterschied der Signalankunftszeit bei zwei Empfängern ermittelt. Dieser Wert sowie die geografischen

Koordinaten der Empfänger liefern die Basis für die Berechnungen aller möglichen passenden Senderstandorte. Übertragen auf eine Karte, würden sie auf einer hyperbelförmigen Kurve liegen. Anschließend wird die Berechnung für ein zweites und ggf. weitere Empfängerpaare wiederholt. Der Schnittpunkt der Hyperbeln ist der Senderstandort. Das Prinzip der Schnittpunktbildung wird auch bei der Ortung mittels Peilern angewendet, jedoch mit dem Hauptunterschied, dass bei diesen die möglichen Senderstandorte nicht auf einer Hyperbel, sondern auf einer Geraden liegen.

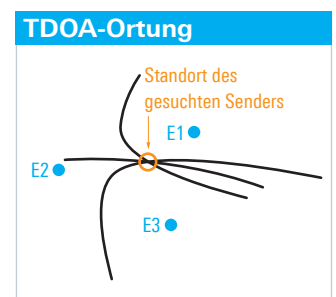
Ein TDOA-Ortungssystem muss also aus mindestens drei Empfängern bestehen, die drei Hyperbeln liefern (E1 – E2, E1 – E3, E2 – E3, siehe BILD 2). Mehr Empfänger bieten zunächst eine höhere Ortungsgenauigkeit. Allerdings gibt

es für deren Anzahl eine sinnvolle Obergrenze, ab der die Rechenzeit drastisch zunimmt, ohne dass sich die Genauigkeit signifikant erhöht. Auch hier gibt es Parallelen zur Peilerortung: Mindestens zwei Peiler sind notwendig, ein Dritter erhöht die Genauigkeit, die Verwendung von fünf oder mehr Peilern liefert keine wesentlich besseren Ortungsergebnisse.

Da sich elektromagnetische Wellen mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, ist für die Bestimmung der Unterschiede der Ankunftszeit zwingend eine Systemgenauigkeit im Nanosekundenbereich erforderlich. Deshalb werden GPS-Empfänger eingesetzt, die exakte Zeitstempel für die zur Korrelation verwendeten Basisband-(I/Q)-Daten liefern (BILD 3). Damit die Berechnungen zu sinnvollen und eindeutigen Ergebnissen führen, müssen die Signale ein Mindestmaß an Informationen enthalten. Deshalb ist das TDOA-Verfahren beispielsweise für unmodulierte Träger- oder CW-Signale weniger geeignet.

Die Vorteile des TDOA-Verfahrens zeigen sich insbesondere in Städten mit dichter und hoher Bebauung. Die hier typischen Probleme wie Reflexionen und Mehrwegeausbreitungen, die für Peiler eine große Herausforderung sind, werden durch passende TDOA-Algorithmen verringert. Andererseits dominieren in Städten oft komplexe Signalszenarien. Es herrscht dort ein buntes Gemisch aus zahlreichen Emissionen, schwache Sender sind oft direkt neben starken platziert – mit entsprechend hohen Anforderungen an Linearität, Empfindlichkeit und Dynamik der Empfänger.

BILD 2: Prinzip der Ortung beim TDOA-Verfahren: Aus den relativen Signalankunftszeiten bei den drei Empfängern werden drei Hyperbeln berechnet, in deren Schnittpunkt der gesuchte Senderstandort liegt.



Hybrid-Ortungen – das Beste aus beiden Welten

Je nach Signalszenarien und örtlichen Gegebenheiten kann entweder ein TDOA-System oder ein AOA-Peilsystem die besseren Ergebnisse liefern. Idealerweise stehen beide Verfahren gleichzeitig zur Verfügung, um deren Vorteile kombinieren zu können. Die neuen Hybrid-Ortungssysteme von Rohde&Schwarz bieten diese Möglichkeit. Es steht eine große Auswahl an Komponenten für TDOA-basierte Ortungen zur Verfügung, beispielsweise die Monitoring-Empfänger R&S®ESMD, R&S®EB500 und R&S®EM100, die Peiler R&S®DDF255 und R&S®DDF205 sowie die kompakten Monitoring-Systeme R&S®UMS300 (BILD 1) und R&S®UMS175. Um diese Geräte TDOA-fähig zu machen, reichen der Anschluss eines geeigneten GPS-Empfängers („IGT Option“) und die aktuelle Firmware aus. Bereits vorhandene Geräte können grundsätzlich nachgerüstet werden.

Korrektur der Zeitverzögerungen

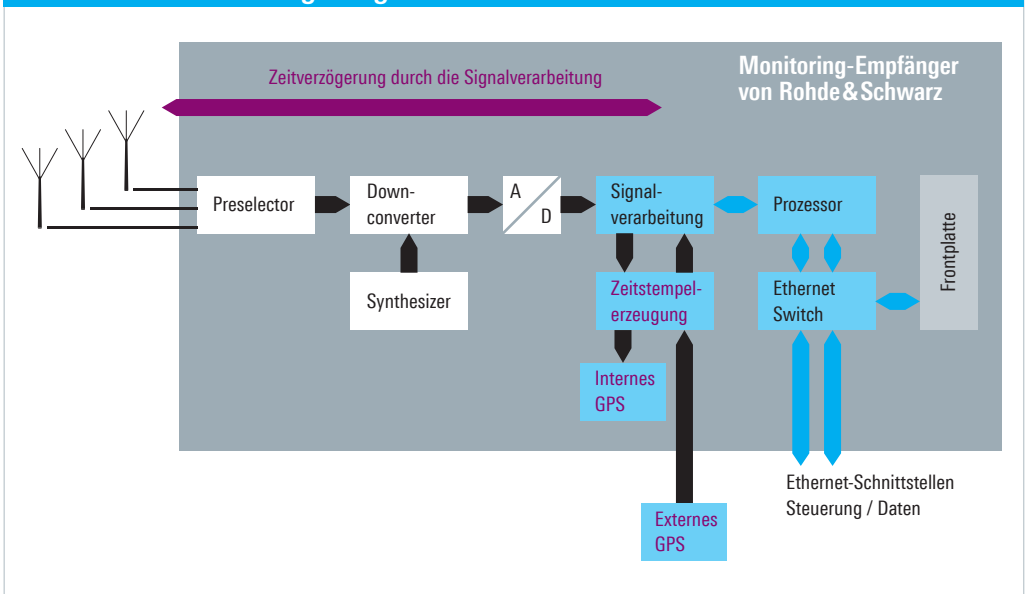


BILD 3: Bei Rohde&Schwarz-Geräten wird die Zeitverzögerung zwischen Antenneneingang und Signalverarbeitung berücksichtigt, was zu einer höheren Ortungsgenauigkeit führt.

In einem aufwendigen Verfahren wird in den Rohde&Schwarz-Geräten die Signallaufzeit vom Antenneneingang bis zur Signalverarbeitung ermittelt und der Zeitstempel der Basisbanddaten entsprechend korrigiert. Die damit erreichte größere Zeitgenauigkeit schlägt sich direkt in einer höheren Ortungsgenauigkeit nieder. Dieses im Markt einzigartige innovative Konzept erlaubt es zudem, alle TDOA-geeigneten Geräte von Rohde&Schwarz für Ortungszwecke beliebig miteinander zu kombinieren.

Die Steuerung der Messungen erfolgt über die Spektrum-Monitoring-Software R&S®ARGUS. Seit Jahren erfolgreich im Markt, ist sie weltweit der Standard für alle Spektrum-Monitoring Aufgaben bei Regulierungsbehörden und Organisationen mit hoheitlichen Aufgaben. TDOA-Ortungen reihen sich nahtlos in die zahlreichen Mess- und Analysefunktionen dieser Software ein. Ein klassischer Arbeitsablauf besteht im ersten Schritt darin, ein bestimmtes Frequenzband zu vermessen. Alle gefundenen Sender werden mit einer Referenzliste verglichen, die typischerweise aus einer Lizenzdatenbank importiert wird. Aktive Sender, die nicht in der Referenzliste verzeichnet sind, z. B. unlizenzierte, werden genauer analysiert, identifiziert und geortet. Bislang erfolgte die Ortung mittels Peiler. Jetzt kann wahlweise auch das TDOA-Verfahren oder eine Kombination aus beiden gewählt werden. Je nach Präferenz erfolgt der Ablauf automatisch oder interaktiv.

Zur Auswahl der Sensoren für die Ortung sowie zur Anzeige der Ergebnisse in elektronischen Karten dient die geografische Informationssoftware R&S®MapView. Zahlreiche Karten in freien und kommerziellen Formaten stehen zur Auswahl. Zusätzlich zu den Ortungsergebnissen werden die Standorte bekannter oder lizenzierter Sender angezeigt (BILD 4 und 5).

Vorteile der Lösung von Rohde & Schwarz

Die optionale Implementation der TDOA-Funktionalität in die aktuelle Empfänger- und Peilergeneration von Rohde&Schwarz hat zahlreiche Vorteile. Die Wichtigsten sind:

- **Hochwertige Geräte gewährleisten eine höhere Ortungsgenauigkeit**

Hochqualitative, ITU-konforme Geräte sind eine unabdingbare Voraussetzung für erfolgreiche TDOA-Ortungen, speziell bei Signalszenarien in Großstädten. Hohe Empfindlichkeit gepaart mit großem Dynamikbereich ermöglicht das präzise Vermessen auch schwacher Signalen in unmittelbarer Nähe starker Sender.

Die Genauigkeit einer TDOA-Ortung erhöht sich mit größerer Signalbandbreite und größerem Signal/Rausch-Abstand (S/N). Je schmaler das Signal, desto ungenauer ist die Ortung. Die hohe Empfindlichkeit der Rohde&Schwarz-Empfänger führt zu einem höheren S/N und damit grundsätzlich zu einem genaueren Ortungsergebnis. In vielen

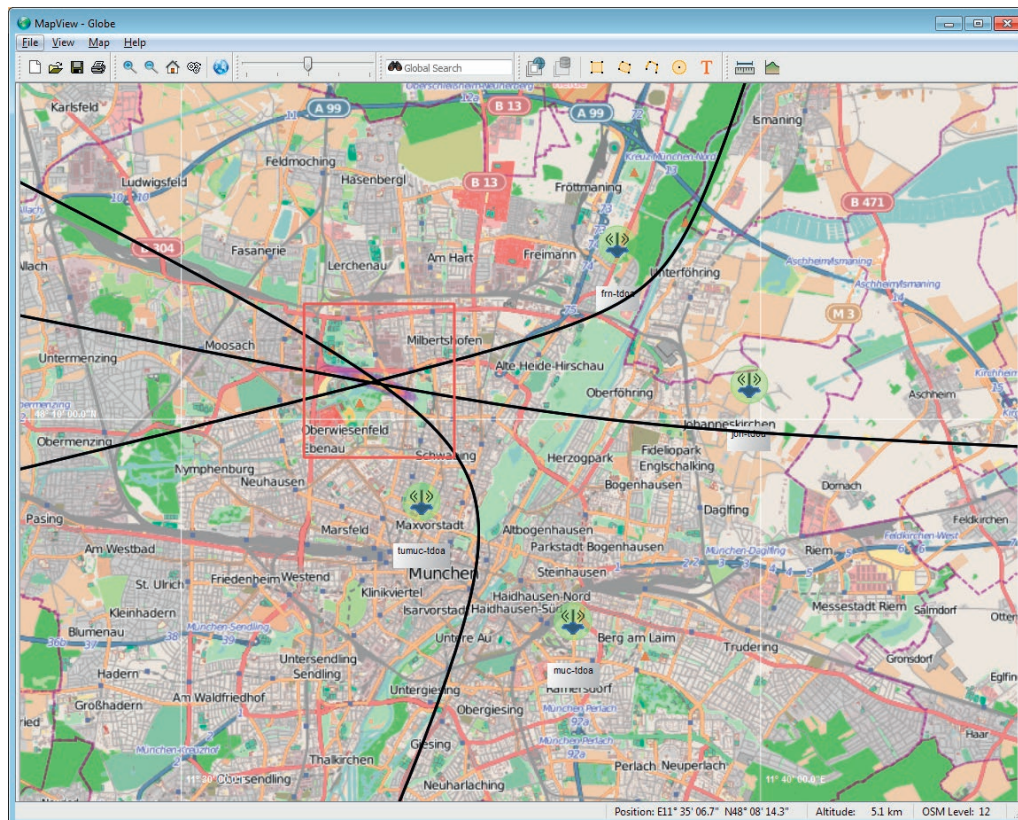


BILD 4: Anzeige der TDOA-Ergebnisse als Hyperbeln und Heatmap.

Fällen ist erst durch die hohe Empfindlichkeit überhaupt eine Ortung möglich. Die hohe Empfindlichkeit kompensiert aber auch die bandbreitenbedingte Ungenauigkeit, d. h., hochqualitative Geräte orten schmalbandige Signale mit höherer Präzision.

Flexible Kombination von TDOA-Verfahren und Peilung

Der Anwender kann situationsabhängig zwischen TDOA-Verfahren, Peilung und der Hybridlösung wählen und hat damit immer die jeweils beste Methode zur Verfügung.

In Zeiten ohne Ortungsaufgaben stehen die Systeme für andere ITU-konforme Messungen zur Verfügung

Die Ortung von Sendern ist zwar eine wichtige Aufgabe, erfahrungsgemäß ist dafür jedoch nur ein kleinerer Teil der Zeit aufzubringen. Reine TDOA-Sensoren sind also in der restlichen Zeit überwiegend nutzlos. Geräte und Systeme von Rohde&Schwarz mit TDOA als optionaler Zusatzfunktion dagegen sind rund um die Uhr für zahlreiche andere Monitoring Aufgaben einsetzbar. All diese TDOA-fähigen Geräte und Systeme sind beliebig kombinierbar, was Anwender in die Lage versetzt, das für ihre Hauptaufgabe optimal passende Gerät auszuwählen.

Die Erweiterbarkeit bestehender Hardware für TDOA macht die Suche nach neuen Standorten überflüssig

Geeignete Standorte für zusätzliche Monitoring-Stationen zu finden wird immer schwieriger. Durch die einfache Erweiterbarkeit bestehender Stationen entfallen die langwierige

Standortsuche und der Aufwand für das Bereitstellen der erforderlichen Infrastruktur wie Strom oder die Anbindung an Netz- und Kommunikationseinrichtungen.

Fazit

Das Grundkonzept von TDOA-Ortungen ist nicht neu. Sendesignale mit immer größerer Bandbreite, kompakte und leistungsfähige Empfänger, flächendeckende Versorgung mit hochpräzisen Zeit- und Ortsangaben per GPS sowie immer schnellere Kommunikationsinfrastruktur sind gute Voraussetzungen dafür, dass TDOA nun ein technologischer und ökonomischer Erfolg wird. Mit der breiten Palette von TDOA-fähigen Geräten und Systemen bietet Rohde&Schwarz skalierbare Lösungen für alle Aufgabenbereiche. Insbesondere die Kombination von TDOA mit klassischer Peilerortung bietet die optimale Lösung für jeden Anwendungsfall. So werden alle Sender jederzeit schnell und zuverlässig geortet.

Thomas Krenz

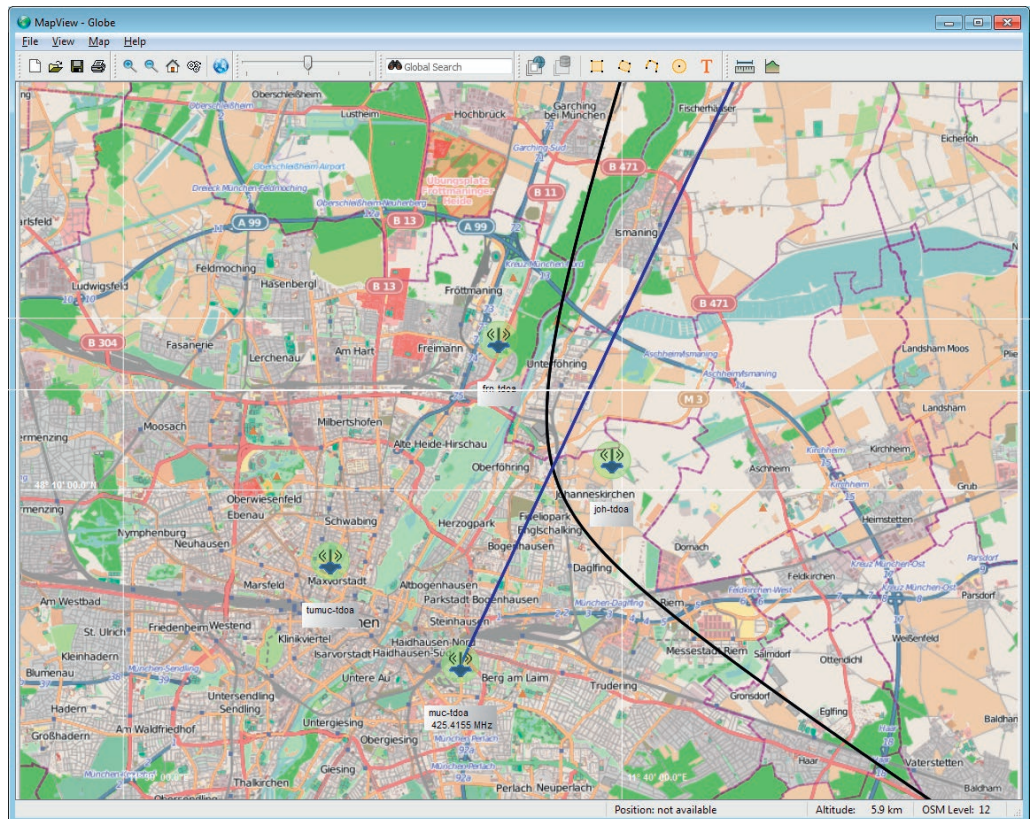


BILD 5: Hybrid-Ortung mit Hyperbel und Peilstrahl.