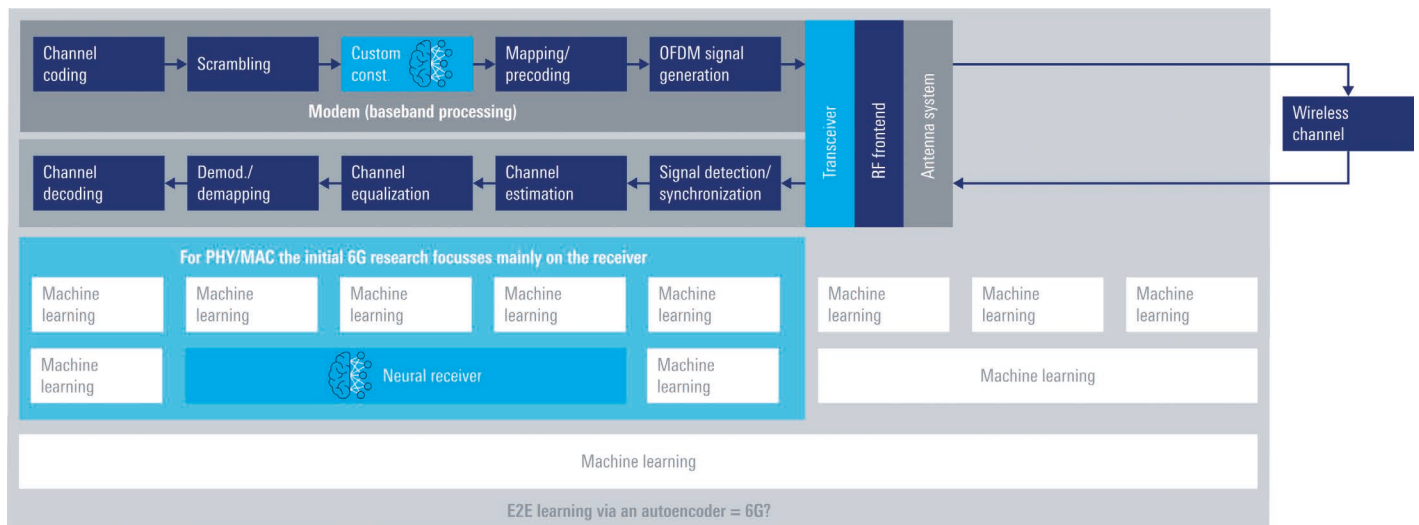


Die Zukunft ist KI-nativ

Herausforderungen und Chancen für 6G

Die Integration Künstlicher Intelligenz bietet Chancen für zahlreiche Aspekte des Mobilfunks wie Netzbetrieb und Netzwerk-Management, die Dienstbereitstellung und die Entwicklung neuer Edge-Dienste. Bereits heute kommen in bestehenden 5G-Netzen erste KI-Modelle zum Einsatz. Die 6G-Standards befinden sich noch in der Entwicklung und werden voraussichtlich ab 2028 verfügbar sein – mit künstlicher Intelligenz als integralem Bestandteil der zukünftigen Infrastruktur und Dienste.



In 5G-Netzen übt KI vor allem eine unterstützende Funktion zur Optimierung der Performance in ausgewählten Anwendungsfällen aus. Mit 6G beginnt die „KI-native“ Ära. Künstliche Intelligenz wird bei 6G eine zentrale Rolle in Netzwerkprotokollen, der Signalverarbeitung und der Systemoptimierung spielen.



Autor:
Francesco Rossetto
Signal Processing and
Wireless Communication
Specialist
Rohde & Schwarz
www.rohde-schwarz.com/de

KI-native Luftschnittstelle

Die Entwicklung einer KI-nativen Luftschnittstelle für künftige 6G-Netze ist bereits angelaufen. In der Signalverarbeitungskette werden herkömmliche Funktionsblöcke zunächst durch trainierte Machine-Learning-Modelle ergänzt und zu einem späteren Zeitpunkt vollständig ersetzt. Beispielsweise können Aufgaben wie Kanalschätzung, Kanalentzerrung und Demapping in einem einzigen trainierten ML-Modell kombiniert werden, einem sogenannten neuronalen Empfänger. Solche neuronalen Empfänger bieten zahlreiche Vorteile, etwa im Hinblick auf die Performance des Funksystems in dynamischen und schnell veränderlichen Umgebungen. Wenn sich Netzteilnehmer mit hoher Geschwindigkeit bewegen, werden Kanalschätzungen schnell obsolet, und die Interpolation zwischen Pilotsignalen führt zu Schätzfehlern. Konventionelle Ansätze zur Reduzierung dieser Fehler führen zudem zu

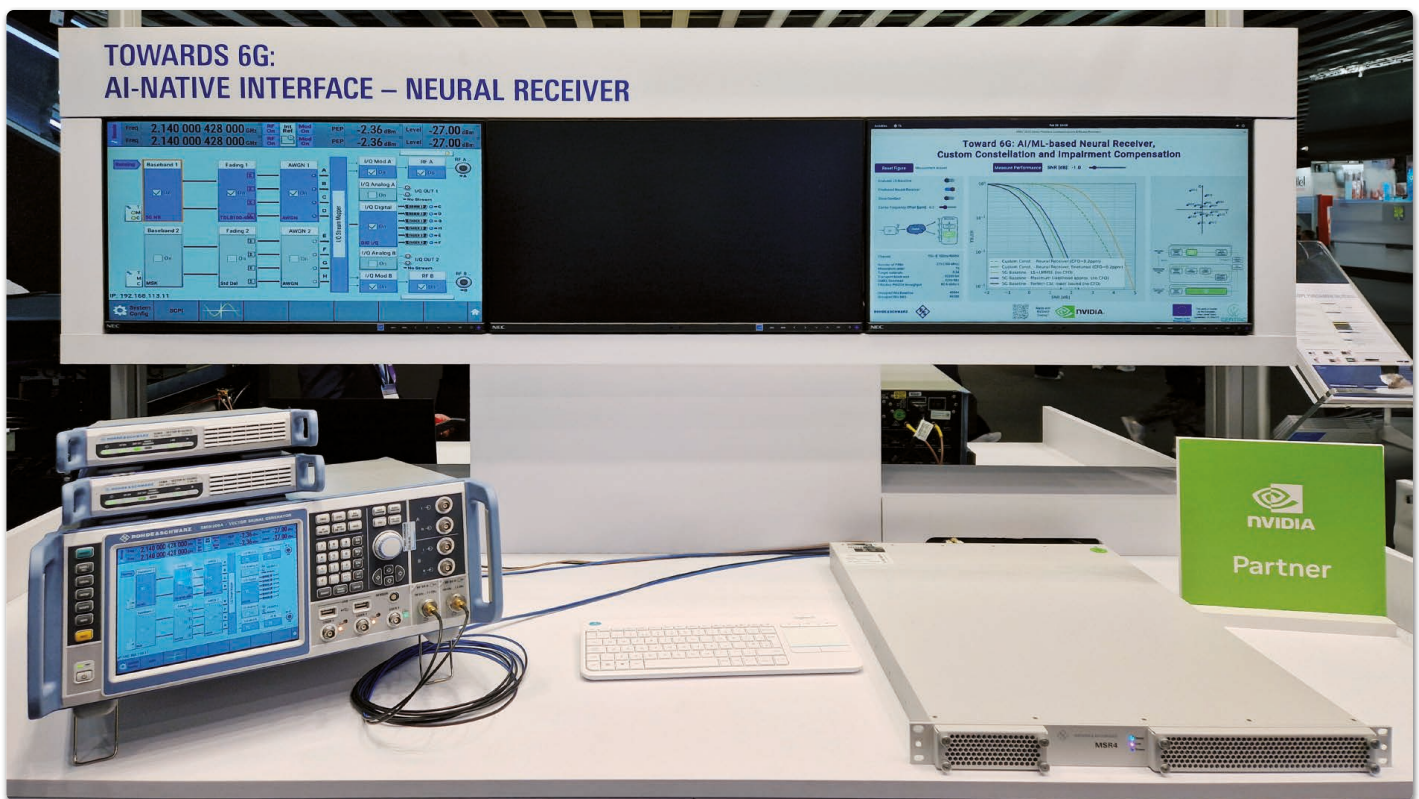
einem Overhead, da verschiedene Pilotsignalmuster verwendet werden, die dem Resource Grid, dem Zeit-Frequenz-Ressourcenraster, zuzuweisen sind. Darunter leidet die Spektrumeffizienz. Neuronale Empfänger, die das Zeitverhalten des Funkkanals erlernen, können die Schätzfehler reduzieren und performen in solchen Situationen besser.

Herausforderungen

Es soll aber nicht verschwiegen werden, dass der Einsatz von KI/ML vor zahlreichen Herausforderungen steht – nicht nur im Zusammenhang mit neuronalen Empfängern, wo die Performance im Vergleich zu konventionellen Algorithmen noch hitzig debattiert wird, neben Fragen der Echtzeitleistung, des Stromverbrauchs und der Energieeffizienz. Zu den allgemeinen Herausforderungen gehören die Entwicklung und effiziente Einführung der KI-Modelle, die Implementierung von Updates, die Versionskon-

trolle, die Überwachung der Performance und die Integration neuer Daten und Szenarien.

Auch für die Messtechnik ergeben sich wichtige Implikationen. Einzigartiges Know-how prädestiniert Rohde & Schwarz für eine maßgebliche Rolle auf diesem Gebiet. Die herkömmlichen deterministischen Testmethoden, die aus 5G- und 5G-Advanced-Szenarien bekannt sind, werden einer KI-nativen Luftschnittstelle nicht gerecht. Neue Strategien sind gefragt, die der probabilistischen Entscheidungsfindung durch künstliche Intelligenz, der Variabilität der Trainingsdaten und möglichem Daten-Drift im Laufe der Zeit Rechnung tragen. Es zeichnet sich bereits ab, dass Test- und Validierungsverfahren künftig flexibler und anpassungsfähiger gestaltet werden müssen. Um Robustheit und Zuverlässigkeit zu gewährleisten, wird der Einsatz sowohl realer Daten als auch simulationsbasierter Verfahren erforderlich sein.



Validierung neuronaler Empfänger

Gegenwärtig wird noch hauptsächlich mit Simulationen gearbeitet. Rohde & Schwarz hat eine Partnerschaft mit Nvidia geschlossen, um einen mithilfe des offenen Software-Frameworks Sionna des KI-Pioniers entwickelten und trainierten neuronalen Empfänger zu validieren. Als Grundlage diente der 5G New Radio-Standard. Der neuronale Empfänger wurde für ein MU-MIMO-Szenario (Multiuser MIMO) in Uplink-Richtung trainiert, wobei zwei Netzteilnehmer emuliert wurden, die unterschiedlichen Funkkanalbedingungen ausgesetzt sind (unterschiedliche Dopplereffrequenzen und Delayspreads).

Da die Informationen über das Modulationsverfahren (z.B. 16QAM) und den verwendeten Unterträgerabstand (z.B. 30 kHz) fest in die Gewichtungen des neuronalen Netzes eintrainiert sind, benötigt jedes Modulationsverfahren und jeder Unterträgerabstand ein eigenes Modell. Die Performance dieser verschiedenen Modelle kann nun mit dem 6G-Testsystem von

Rohde & Schwarz getestet werden, das die KI-Inferenz mit in Hardware-in-the-Loop-Experimenten gewonnenen Messdaten erlaubt. Die Integration des neuronalen Empfängers markiert einen wichtigen Meilenstein für das Testsystem, das erstmals auf dem Mobile World Congress 2023 in Barcelona vorgestellt wurde.

Verbesserung der Effizienz

KI-basierte Signalverarbeitung wie der neuronale Empfänger wird voraussichtlich zunächst in Infrastrukturkomponenten wie 6G-Basisstationen zum Einsatz kommen. Die Verbesserung der Effizienz stellt eines der zentralen Forschungsanliegen dar, und beim Training des neuronalen Empfängers kann auch die Senderseite miteinbezogen werden.

Jüngste Fortschritte beim Empfänger und Testsystem ermöglichen die Nutzung eines sogenannten „pilotlosen Kommunikationsschemas“. Dies bedeutet, dass der Modulations-Mapper auf der TX-Seite in den Trainingsprozess einbezogen wird und eine spezielle Konstellation erlernt wird, die auf dem

erfahrenen Funkkanal und den beispielsweise durch die analoge HF-Hardware verursachten Impairments basiert. Die Erweiterung des Modells führt zur Eliminierung der sonst notwendigen Pilotensignale und mit der gewählten 5G-Signalkonfiguration somit zu einer Steigerung der Spektrumeffizienz um 7%. Andere Studien legen nahe, dass die Spektrumeffizienz sogar um 14% gesteigert werden könnte – je nachdem, welches herkömmliche Pilotmuster als Basis für den Vergleich verwendet wird.

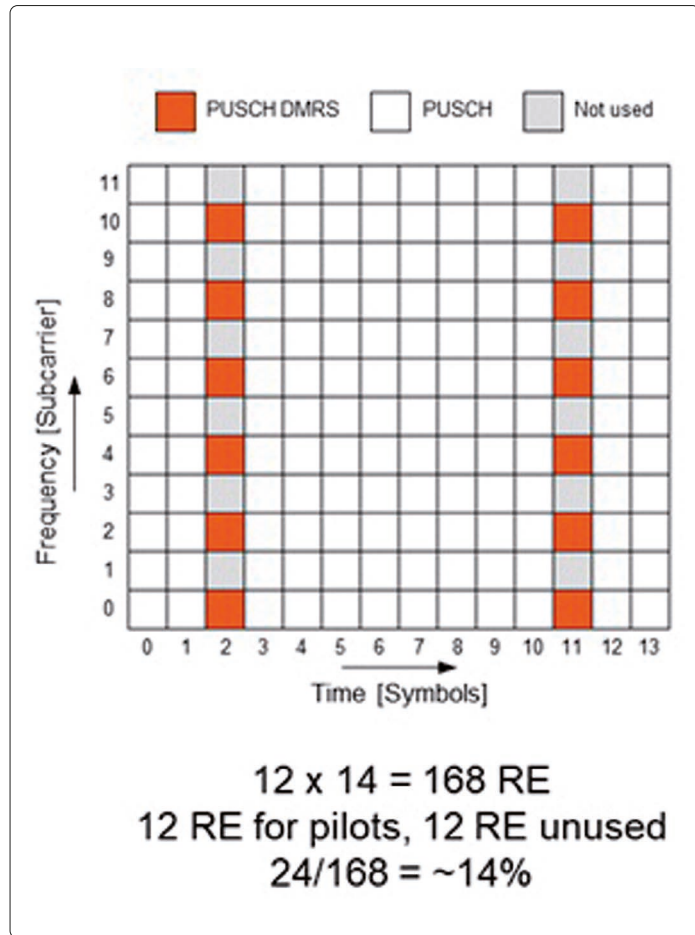
Gleiche Performance bei weniger Komplexität

Bei öffentlichen Demonstrationen und im Labor wurden der neuronale Empfänger mit dem R&S SMW200A Vektorsignalgenerator und dem server-basierten Test-Framework R&S Server-Based Testing mit den darin enthaltenen R&S VSE Vector Signal Explorer Micro Services kombiniert. Die Bewertung der Performance von Single-User- und Multi-User MIMO-Implementierungen anhand von Kennzahlen wie

der (Transport-)Blockfehlerrate bei gegebenem Signal-Rausch-Verhältnis hat gezeigt, dass der neuronale Empfänger eine ähnliche Performance erreicht wie leistungsfähige konventionelle Algorithmen – z.B. Maximum-Likelihood-Schätzung mit K-Best-Detektion –, aber mit geringerer Rechenkomplexität.

AI-RAN Alliance als Prüfstand

Rohde & Schwarz ist kürzlich der AI-RAN Alliance beigetreten, die im Februar 2024 von wichtigen Branchenunternehmen wie unserem Kooperationspartner Nvidia, ARM, DeepSig, Ericsson, Microsoft, Nokia, Samsung, Softbank und T-Mobile sowie mehreren wissenschaftlichen Einrichtungen gegründet wurde. Die Allianz konzentriert sich auf kritische Aspekte der KI im 6G-Funkzugangszugangnetz (RAN) wie die Verbesserung der Spektrumeffizienz und eine effektivere Nutzung der Infrastruktur sowie die Implementierung von KI-Diensten am Netzwerkrand zur Steigerung der Betriebseffizienz und Entwicklung neuer Dienste für Mobilfunknutzer.



Rohde & Schwarz bringt leistungsstarke Messtechniklösungen und umfassendes Know-how in die Allianz ein. Durch seine Beteiligung will das Unternehmen seine führende Rolle bei der Entwicklung von Testverfahren für KI-native Luftschnittstellen weiter ausbauen.

KI im HF-Frontend (RFFE)

Ein weiteres Einsatzgebiet, wo KI zur Verbesserung der Netz-Performance beitragen kann, ist die Linearisierung von Leistungsverstärkern und des gesamten HF-Frontends, sowohl in Mobilfunkgeräten als auch in Basisstationen. KI kann zunächst die heutigen deterministischen, algorithmischen Linearisierungsmodelle für Leistungsverstärker ersetzen und könnte künftig für das gesamte Antennensystem sowie den Transceiver eingesetzt werden.

Um die Fortschritte beim Leistungsverstärker und Frontend mit dem zuvor besprochenen neuronalen Empfänger zusammenzuführen, müssen der Sender, Empfänger und die Basisbandverarbeitung gemeinsam optimiert werden, damit die Übertragung an die zugrundeliegende Anwendung angepasst werden kann: Sprachanrufe, Webbrowsing, erweiterte Realität (XR) oder andere Dienste. Ende-zu-Ende-Lernen ermöglicht die Anpassung an die Unvollkommenheiten des Senders und Empfängers, an Signalverarbeitungsfehler sowie die Bedingungen des Funkkanals.

Die Branche zusammenbringen

Die Datenverfügbarkeit ist im Zusammenhang mit künstlicher Intelligenz und 6G immer ein Thema. Der Zugriff auf Datensätze ist beim Training neuronaler Netze von entscheidender Bedeutung – im Fall

des HF-Frontends – sind die notwendigen Daten meist in den Händen des Geräteentwicklers vereint. Die KI-Integration vereinfacht sich dadurch.

Das Trainieren der Modelle für einige der allgemeineren Mobilfunkaspekte könnte jedoch komplizierter werden. 3GPP forciert weiterhin die Untersuchung von mittlerweile vier Pilot-Anwendungsfällen – ein Projekt, das mit 5G Advanced (3GPP Release 18) begonnen wurde und nun in 3GPP Release 19 und 20 fortgeführt wird. Einer dieser Anwendungsfälle ist die KI-basierte Feedback-Optimierung für Kanalzustandsinformationen (channel state information, CSI) mithilfe von Autoencodern (ein bestimmter KI-Modell Typ). Weitere Anwendungsfälle sind die Verbesserung des Beamformings oder die Optimierung der Positionsschätzungsgenauigkeit und nun die Untersuchung, wie ML für Mobilitätsaspekte wie den Handover genutzt werden kann.

Die CSI-Feedback-Optimierung ist ein sogenannter beidseitiger Modellanwendungsfall. Gemeint ist damit, dass ein Teil des ML-Modells auf dem Endgerät (UE, dem Encoder) und der andere Teil auf der Infrastrukturseite (gNB, dem Decoder) ausgeführt wird. Aktuelle Studien deuten darauf hin, dass sich hierdurch eine bessere Performance als mit grundlegenden konventionellen Methoden erzielen lässt. Das Verfahren könnte also zu einem Wettbewerbsfaktor werden, sodass die Betreiber gute Gründe haben, ihre Modelle geheimzuhalten.

Andererseits ist die Kompatibilität von kritischer Bedeutung, auch wenn Entwicklung und Training getrennt erfolgen. Anbieter von Messtechniklösungen wie Rohde & Schwarz können im Kontext von Konformitäts- und Performance-Tests eine vermittelnde Rolle zwischen Netzwerkausrüstern, Chipsatz- und Geräteentwicklern übernehmen.

Es ist weiterhin entscheidend, dass die Komponenten verschiedener Hersteller, die nicht im Wettbewerb stehen, problemlos zusammenarbeiten. In einem typischen Szenario kommen etwa die Basisstation, das Mobilfunkgerät und dessen integriertes Modem von jeweils anderen Herstellern. Die Zusammenarbeit dieser Unternehmen ist essenziell. Auch hierbei können sich Messtechnikunternehmen wie Rohde & Schwarz ins Spiel bringen, um die technischen Lücken zwischen verschiedenen Anbietern zu überbrücken.

Weiterentwicklung von KI und ML

Die Überführung des KI-nativen Mobilfunks von der Forschung in die Realität birgt noch viele Herausforderungen – beim Design und bei der Messtechnik gleichermaßen. Mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung von KI und ML werden sich jedoch auch vielfältige neue Chancen ergeben.

Generative KI kann beispielsweise die Darstellung von Kanalumgebungen verbessern und so zum Training von neuronalen Empfängern beitragen, um deren Performance zu optimieren. Natürlich ist auch generative KI mit Herausforderungen verbunden – dazu zählen etwa ein hoher Rechenaufwand für das Training sowie die benötigten umfangreichen und hochwertigen Datensätze.

Die frühzeitige Einbindung datengestützter, trainierter Systeme in die laufende Konzeptionierung und Entwicklung der 6G-Technologie legt die Grundlage für eine effizientere und nachhaltigere Kommunikation zwischen Menschen und Maschinen in nicht mehr ferner Zukunft. Hier mitwirken und die Zukunft der KI-nativen Infrastruktur gestalten zu können, ist für uns alle eine einmalige Chance. ◀