



BILD: SYMEO

Radarlösung ermöglicht eine neue Sicht auf die Schieneninfrastruktur

Gastbeitrag von Thomas Hörl-Weinhold

Neue Entwicklungen im Bereich Synthetic Aperture Radar erlauben eine Datenerfassung entlang von Bahnstrecken, die unter Zuhilfenahme KI-basierter Big-Data-Analyse und Mustererkennung eine wertvolle Ergänzung des Monitorings komplexer Strukturen bietet. Infrastruktur wird als digitaler Zwilling erfasst, der Datenabgleich macht Gefahren kenntlich – ob Erdbeben oder Sabotage.

Stolze Lokomotiven und komfortable Wagons mögen die Aushängeschilder der Eisenbahngeschichte sein, doch die Basis jedes erfolgreichen Schienenverkehrs war und ist eine zuverlässige, intakte Infrastruktur. Wo früher Streckengänger Dienst taten, werden heute Sensoren zur Zustandsüberwachung eingesetzt. Das Monitoring von Bahnanlagen und Gebäuden, sei es in Bahnhöfen oder auf freier Strecke, ist

entscheidend für die Gefahrenabwehr und die Instandhaltung. Bedenkt man zudem die steigenden Risiken durch Klimawandel und Sabotage, ist es nicht verwunderlich, dass in Fachkreisen die Forderung nach Resilienz der Infrastruktur die Runde macht. Ein engmaschiges Monitoring ist dazu eine wesentliche Voraussetzung.

Die Überwachung von Bahninfrastruktur wird immer einem mehrschichtigen Ansatz folgen müssen, bei dem verschiedene Elemente zusammenwirken, wie zum Beispiel Sensorik direkt an Gleis und Bauwerk, Distributed Acoustic Sensing mit Lichtwellenleitern, Satellitenüberwachung oder On-board-Sensorik. Bei Letzter eröffnen sich jetzt durch Fortschritte beim Synthetic Aperture Radar (SAR) ganz neue Möglichkeiten.

SAR-Technik erlaubt vielseitigen Einsatz

SAR hat bereits eine längere Geschichte, die 1951 mit der Erfindung der Technologie durch den Mathematiker Carl A. Wiley und ihrer Weiterentwicklung im folgenden

Jahrzehnt begann. Ursprünglich für militärische Zwecke entwickelt, wird diese Technologie seitdem auch in der Fernerkundung der Erde zum Beispiel für das Klima- und Umweltmonitoring oder der Kartierung und Landnutzung eingesetzt. Seit etwa zehn Jahren gibt es Entwicklungen zur Implementierung von SAR bei kurzen Entfernungen. Symeo ist seit 20 Jahren eine treibende Kraft in der Entwicklung von Radarsensoren für industrielle Anwendungen, und diese sind die Basis für bewährte Lösungen in herausfordernden Umgebungen wie Häfen, Stahlwerken oder Schüttgutlogistik. Auch die Nutzbarmachung von SAR jenseits der bisherigen Einsatzfelder gehört zu den Forschungsgebieten von Symeo, und gemeinsam mit der Universität Erlangen (FAU) gelang dem Unternehmen ein Durchbruch bei der SAR-Technologie für kurze Entfernungen. Grundlegende Probleme wurden gelöst, und die hochauflösende Technik kann ab sofort in industrielle Produkte umgesetzt werden. Ein wichtiger Aspekt ist, dass auch in benachbarten Technologiebereichen Durchbrüche erzielt wurden. Dazu gehören Möglichkeiten zur Vorab-Simulation von Radarkonfigurationen, 3D-Druck von Radarantennen, der effizientere Strukturen ermöglicht und die Weiterverarbeitung der erzeugten Daten. Zum einen stehen leistungsfähigere Prozessoren zur Verfügung, wie etwa GPU von Nvidia, zum anderen wird die Mustererkennung durch Künstliche Intelligenz (KI) immer besser. Die Reduktion der Daten ermöglicht zudem eine großflächige Datenübertragung mittels Mobilfunknetz (5G).

Radarsensoren meistern extreme Bedingungen

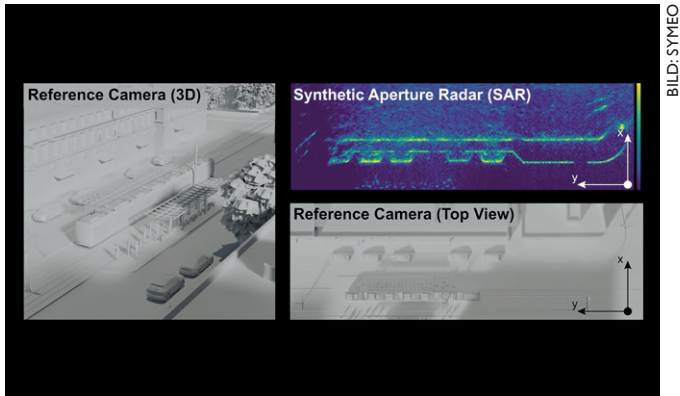
Radarsysteme senden Funkwellen aus und empfangen die von Objekten (Zielen) zurückgeworfenen Signale. Aus der Zeitverzögerung zwischen Aussendung und Empfang sowie aus der Frequenzverschiebung lassen sich Informationen über Entfernung, Geschwindigkeit und weitere Eigenschaften des Ziels ableiten. Radar bietet einige wesentliche Vorteile gegenüber optischen Sensoren: Es lässt sich nicht von Sonneneinstrahlung, Staub, Nebel oder Regen beeinflussen. Außerdem liefert es Entfernungs- und Geschwindigkeitsdaten. Industrielle Radarsensoren – wie sie von Symeo entwickelt werden – haben sich über viele Jahre und Jahrzehnte hinweg unter extremen Bedingungen bewährt, in denen sie zuverlässig und weitgehend wartungsfrei arbeiten. Es handelt sich um eine ausgereifte, äußerst robuste Technologie, die sich hervorragend für Anwendungen auf Schienenfahrzeugen und in der Bahninfrastruktur eignet.

Bildgebendes Radar hat eine besondere Herausforderung. Um hochauflösende Bilder zu generieren, braucht es eine möglichst gute Winkelauflösung. Die Winkelauflösung eines FMCW-Radarsystems (Frequency Modulated Continuous Wave) steht in direktem Zusammenhang mit der Größe der Antennenapertur und der Wellenlänge des Signals. Sie ist im Vergleich zu seiner Entfernungs- und Dopplerauflösung deutlich schwerer zu erreichen, da sich die Winkelauflösung mit größeren Antennenaperturen verbessert, die aber für mobile Anwendungen nicht praktikabel sind. Mit einer metergroßen Antenne lassen sich gute Winkelauflösungen erreichen, aber in der Praxis werden möglichst kleine Bauformen benötigt. Mit SAR lässt sich dieses Problem lösen. „Synthetic Aperture“ (synthetische Öffnung) bedeutet, dass durch Bewegung des Sensors und entsprechende Verarbeitung der zurückkommenden Signale eine viel größere Effektivantenne virtuell emuliert wird, als tatsächlich physisch vorhanden ist. Durch die Bewegung spannt sich somit trotz kleiner physischer



BILD: SYMEO

SAR-gestützte Streckenüberwachung:
Veränderungen im Gleisumfeld frühzeitig erkennen und
vor Erdrutschen rechtzeitig warnen.



SAR-Anwendungsbeispiel: Erfassung der unmittelbaren Umgebung einer Straßenbahnlinie

Bauform eine sehr große virtuelle Antenne auf. Seitwärts gerichtetes SAR ist die gängige SAR-Konfiguration, bei der die Radarantenne seitlich zur Bewegungsrichtung ausgerichtet ist. Die bisherigen Anwendungen mit Sensoren an Flugzeugen oder Satelliten erzeugen auf diese Weise ihre hochauflösenden Bilder. Mit der gelungenen Adaption für den Nahbereich bieten sich nun viele industrielle Anwendungen an, so auch für den Schienenverkehr. Radarsensoren an beiden Seiten von Lokomotiven scannen bei jeder Vorbeifahrt den Raum neben den Gleisen. Aus diesen Daten lässt sich ein digitaler Zwilling der gesamten, gleisnahen Infrastruktur erzeugen. Eine mustererkennende KI könnte durch die Auswertung von Veränderungen über die Zeit beispielsweise erkennen, ob sich ein Hang neben der Strecke in Bewegung setzt.

Hochpräzise Bilder ohne Verletzung von Rechten

Nach vorne gerichtete Radarsysteme sind eine wichtige Sensorik zur Erkennung von Hindernissen, beispielsweise bei Nebel. Im Zusammenhang mit Fahrerassistenzsystemen sind Radarsensoren im Automobilbereich bereits seit vielen Jahren etabliert. Dieselben Sensoren einfach an Lokomotiven oder Straßenbahnen zu montieren, ist keine geeignete Lösung, da diese kostenoptimiert auf die Straßenverkehrsanwendung zugeschnitten sind und oft keine Rohdaten liefern. Um andere industrielle Applikationen mit ihren jeweils speziellen Anforderungen flexibel realisieren zu können, werden jedoch die Rohdaten benötigt. Die Forschung von Symeo und der Universität Erlangen führte

zu der Erkenntnis, dass aus den Rohdaten eines nach vorne gerichteten Sensors auch SAR-Bilder errechnet werden können. Testfahrten mit industriellen Radaren haben gezeigt, dass mit vorwärts gerichtetem SAR sehr detaillierte Bilder der Umgebung der Route aufgenommen werden konnten. Eine direkt aus diesem Test ableitbare Anwendung wäre die Erfassung der unmittelbaren Umgebung einer Straßenbahnlinie, um beispielsweise abzuklären, ob ein neuer Fahrzeugtyp auf dieser Strecke eingesetzt werden könnte. Dieses Anwendungsszenario macht übrigens einen bisher noch nicht angesprochenen Vorteil von Radar deutlich: Im Gegensatz zu einer Erfassung mit einer Kamera verletzt die Erstellung eines Radarabbilds weder die Privatsphäre von Anrainergrundstücken noch die Persönlichkeitsrechte zufällig aufgenommener Passanten.

Bei dauerhafter Nutzung eines Sensors basierend auf SAR wird ein digitaler Zwilling der Infrastruktur erzeugt. Diese Daten bilden die Basis für jede Mustererkennung, Registrierung von Veränderung sowie der historischen Auswertung von Ereignissen. Im Fall eines infrastrukturbedingten Unfalls, verursacht beispielsweise durch Gleisbetterweichung, hat der Bahnbetreiber die Möglichkeit, die relevanten historischen Radar-Bilddaten auszuwerten.

SAR-Daten sorgen für sicherere Netze

SAR hat großes Potenzial, beginnend bei der Kollisionsvermeidung einzelner Schienenfahrzeuge hin zur Überwachung der gesamten Infrastruktur. Und damit sind nicht nur die 33.000 Kilometer deutscher Schienen oder die 5.000 Kilometer österreichischer Schienen gemeint, sondern letztlich alle miteinander verbundenen Netze. Es wäre ein erstrebenswertes Ziel, wenn netzbetreiberübergreifende Kooperationen dazu führen, digitale Zwillinge der Infrastrukturen mit jedem durchfahrenden radarfähigen Fahrzeug zu aktualisieren und diese digitalen Abbilder der Infrastrukturen zu verknüpfen. Auf diese Weise hat eine KI, die auf Mustererkennung in den Radarbildern der Infrastruktur trainiert wird, eine möglichst breite Datenbasis zur Verfügung. Je größer die Datenbasis, desto besser wird die Fähigkeit, potenzielle Gefahren rechtzeitig für den Betrieb zu erkennen. Außerdem können validierte KI-Muster international frei zur Verfügung gestellt werden, sodass aus einer maximalen Anzahl von Ereignissen die eigene Infrastruktur an Resilienz gewinnt. ==

Thomas Hörl-Weinhold ist Vice President Industry Business Development bei der Symeo GmbH.