

Photonisches Radar

Radarsysteme senden typischerweise Signale im Mikrowellenbereich aus und empfangen und vermessen deren von Radarzielen kommenden schwachen Reflexionen. Für die senderseitige Erzeugung der Radarsignale und vor allem deren aufwendige empfängerseitige Signalverarbeitung wird dabei heute Mikrowellenelektronik eingesetzt. Im Vergleich dazu sollen mit sogenannten photonischen Radaren in Zukunft wesentliche Leistungssteigerungen möglich werden. Bei diesen erfolgt die Signalerzeugung und Signalverarbeitung nicht mit Mikrowellenelektronik, sondern mithilfe der sogenannten Mikrowellenphotonik, d. h. die Signale werden mit Licht transportiert und mithilfe optischer Komponenten verarbeitet. Hierfür muss einerseits das von der Radarantenne empfangene Mikrowellensignal durch sogenannte elektrooptische Modulatoren z. B. auf einen Laserstrahl aufmoduliert (d. h. aufgeprägt) werden und andererseits die senderseitig als Lichtsignal erzeugte Radarwellenform zur Abstrahlung in den Mikrowellenbereich konvertiert werden. Die Weiterentwicklung und Verbesserung konventioneller Radarsysteme stößt besonders bei den erreichbaren Signalverarbeitungsgeschwindigkeiten sowie räumlichen und zeitlichen Auflösungen mittlerweile mehr und mehr an Grenzen, welche in den grundsätzlichen physikalischen Eigenschaften elektronischer Hochfrequenzkomponenten begründet liegen. Dies führt z. B. dazu, dass die Detektion von langsamen, niedrig fliegenden und kleinen Zielen – vor allem in elektromagnetisch komplexen Umgebungen – nach wie vor mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden ist.

Aus der Anwendungsperspektive werden jedoch für die nächsten Generationen von Radaren erheblich flexiblere und leistungsfähigere Systeme gefordert. Diese sollen ein möglichst vollständiges Bild des überwachten Bereichs erfassen und alle vorhandenen Ziele nicht nur präzise detektieren, sondern zusätzlich auch klassifizieren und ggf. abbilden können. Dies erfordert allgemein sogenannte heterogene (gleichzeitig in unterschiedlichen Frequenzbändern verschiedene

Funktionen ausführende), agile (d. h. echtzeitfähige) und hochadaptive sowie großräumig verteilte Systeme mit bisher unerreichter Bandbreite. Durch die möglichst umfassende Nutzung von Mikrowellenphotonik in photonischen Radaren können im Prinzip praktisch alle Probleme herkömmlicher Hochfrequenzelektronik gelöst und die genannten Anforderungen an zukünftige Radarsysteme erfüllt werden. Die Mikrowellenphotonik ist ein interdisziplinäres Gebiet, das sich ganz allgemein mit der Generierung, Verteilung und Verarbeitung von Mikrowellensignalen mittels Photonik beschäftigt. Für die nächste Generation von Radar- und Kommunikationssystemen gilt sie somit als Schlüsseltechnologie.

Neben dem sich durch die Nutzung photonischer Technologien ergebenden Leistungssprung bei der Signalerzeugung und -verarbeitung ist hier besonders die Möglichkeit interessant, auf optische Trägerwellen aufmodulierte Radarsignale mit Glasfasern verlust- und verzerrungsarm über weite Strecken übertragen und somit ihre Sende- und Empfangsantennen weitläufig verteilen zu können. Dies erlaubt es, Ziele nicht nur wie bisher aus einer, sondern aus vielen Richtungen und mit verschiedenen Signalen gleichzeitig beleuchten und vermessen zu können und somit herkömmliche, aus einzelnen und lokalen Systemen bestehende Radarkonzepte zu überwinden.

Aus militärischer Sicht stellen solche durch photonisches Radar ermöglichte Netzwerke aus großräumig verteilten sogenannten MIMO-Radarsystemen (Multiple Input Multiple Output) einen strategischen Vorteil dar, welcher insbesondere bei schwachen und komplexen Zielen zum Tragen kommt. Solche Systeme können besonders kleine Ziele, wie z. B. Marschflugkörper, sowie langsame und tieffliegende Ziele, wie z. B. Drohnen und Drohnenschwärme, aber auch Projektile, wie z. B. Mörsergranaten, deutlich besser auffassen und verfolgen – auch unter schwierigen Gelände- und Wetterbedingungen sowie unter Bedingungen des elektronischen Kampfes. Dies gilt insbesondere auch für Ziele mit einem insgesamt sehr kleinen

und richtungsabhängigen Radarquerschnitt, wie er für Stealth-Ziele typisch ist. Photonische Radare eignen sich ebenfalls besonders gut für das genaue Vermessen bzw. Abbilden von Radarzielen, welches speziell für die (nichtkooperative) Zielidentifikation benötigt wird.

Als klassische Dual-Use-Technologie wird photonisches Radar in Zukunft sehr wahrscheinlich auch im zivilen Bereich eine große bis sehr große Rolle spielen. Beispielsweise ermöglicht diese Technologie neuartige miniaturisierte Radare für Drohnen und andere Fahrzeuge. Außerdem eignen sich hochauflösende photonische Radarsensoren z. B. prinzipiell als relativ wetterunabhängige Ergänzung zu im optischen Wellenlängenbereich sendenden Lidar-Systemen in zukünftigen autonomen Fahrzeugen.

Momentan gibt es international sowohl im Bereich der Mikrowellenphotonik allgemein als auch speziell bei photonischem Radar eine äußerst dynamische Forschungs- und Entwicklungstätigkeit. Trotz deutlicher Fortschritte in den letzten ca. 20 Jahren sind jedoch beide Felder insgesamt noch auf einem vergleichsweise frühen und heterogenen Entwicklungsstand – gegenwärtig erreichen photonische Radare noch nicht die Leistungsfähigkeit konventioneller Systeme. Neben einer deutlichen Verbesserung bei der Mehrzahl der photonischen Einzelkomponenten gilt hier die möglichst vollständige Integration aller Komponenten (und somit auch von ganzen photonischen Radarsystemen) in sogenannten photonischen integrierten Schaltkreisen (Photonic Integrated Circuit, PIC) als Hauptentwicklungstrend. Die ersten photonischen Radare werden vermutlich weniger leistungsfähige, sogenannte hybride photonische Radare sein, bei welchen lediglich einzelne elektronische durch photonische Komponenten ersetzt sind. Diese könnten mittelfristig verfügbar werden. Leistungsfähige vollständig photonische Systeme werden voraussichtlich auf einer neuen Generation von PIC basieren und sind eher erst langfristig zu erwarten.

Dr. Oliver Gabel