

Drahtlose Kommunikation in der Industrie

Von schnellerer Konnektivität zu deterministischer Konnektivität



Drahtlose Anwendungen in der Industrie – darunter immer komplexere cyber-physische Systeme wie kollaborative Roboter, autonom fahrende Transportfahrzeuge (AGVs) und Closed-Loop-Steuerungssysteme – stellen immer strengere Anforderungen an drahtlose Netzwerke. Über die reine Bandbreite hinaus erfordern diese Anwendungen ein in hohem Maße vorhersehbares Netzwerkverhalten – gekennzeichnet durch außergewöhnliche Zuverlässigkeit und geringe Latenz.

In industriellen Umgebungen

geben jedoch durchschnittliche Latenzwerte nur einen Teil der Situation wieder. Noch wichtiger ist das Konzept der begrenzten Latenz: die Fähigkeit, sicherzustellen, dass die Kommunikation mit hoher Sicherheit innerhalb eines festgelegten Zeitfensters übermittelt wird, selbst unter widrigen Betriebsbedingungen.

Eine zweite bahnbrechende Entwicklung

in diesem Bereich ist der wachsende Bedarf an Synchronisation zwischen drahtlosen Zugangspunkten. Da Sensoren, Roboter und andere industrielle Anlagen zunehmend Informationen austauschen und ihre Aktionen in Echtzeit koordinieren, werden Techniken wie koordinierte Übertragungen und kohärentes Beamforming unerlässlich, um Abdeckungslücken zu verringern und die Zuverlässigkeit in dynamischen Produktionsumgebungen, die mit Gestellen und anderen Metallkonstruktionen gefüllt sind, weiter zu verbessern.

Mit anderen Worten:

Das Zeitalter der schnelleren Konnektivität entwickelt sich rasch zum Zeitalter der deterministischen Konnektivität. Bei der industriellen drahtlosen Kommunikation geht es nicht mehr in erster Linie um die Maximierung des Durchsatzes, sondern

darum, sicherzustellen, dass die richtigen Informationen zu jedem Zeitpunkt genau zur richtigen Zeit ankommen.

Dieser Wandel hat wichtige Auswirkungen

sowohl auf die Architektur drahtloser Netzwerke als auch auf die zugrunde liegenden Zugangstechnologien. Eines wird immer deutlicher: Der traditionelle „One-Size-Fits-All“-Ansatz für industrielle drahtlose Konnektivität reicht nicht mehr aus. Stattdessen ist eine flexible Kombination komplementärer drahtloser Zugangstechnologien erforderlich, die jeweils dort eingesetzt werden, wo sie den größten Nutzen bieten und die Anforderungen eines bestimmten Anwendungsfalls am besten erfüllen.

Industrielle Vernetzung jenseits von 5G

neu denken: Bevor wir jedoch diese Vision eines heterogenen drahtlosen Netzwerks genauer beleuchten, lohnt es sich zu fragen, warum 5G nicht zu jener universellen Plattform für industrielle Konnektivität geworden ist, wie ursprünglich erwartet.

„Als die 5G-Vision vor mehr als einem Jahrzehnt formuliert wurde, drehte sie sich um drei zentrale Dienstkategorien: Enhanced Mobile Broadband (eMBB), Massive Machine-Type Communications (mMTC) und Ultra-Reliable Low-Latency Communications (URLLC)“, erklärt Ingrid Moerman, eine Forscherin, die sowohl bei imec als auch an der Universität Gent (Belgien) tätig ist. „Während sich eMBB auf die Bereitstellung immer höherer Datenraten konzentrierte, war mMTC darauf ausgelegt, eine enorme Anzahl von IoT-Geräten zu verbinden, und URLLC sollte missionskritische Kommunikation mit strengen Anforderungen an Latenz und Zuverlässigkeit unterstützen.“

Statement

„Heute hat 5G seine eMBB-Versprechen erfüllt und ermöglicht Hochgeschwindigkeitsverbindungen auf landesweiter Ebene“, fährt sie fort. „Die Fortschritte bei mMTC und insbesondere bei URLLC waren jedoch weitaus begrenzter. Im Kern handelt es sich hierbei um ein klassisches Henne-Ei-Problem. Einerseits erkennen industrielle Anwender den Wert der URLLC-Fähigkeiten an, doch der Markt ist nach wie vor zu klein, um größere Investitionen seitens der Netzbetreiber zu rechtfertigen.“

Andererseits ist der Industriesektor verständlicherweise zurückhaltend, da Unternehmen in der Regel Lösungen bevorzugen, die ihren Wert in realen Einsatzszenarien bereits unter Beweis gestellt haben. Infolgedessen befinden wir uns in einer Art Pattsituation. Und 6G wird wahrscheinlich vor derselben Herausforderung stehen.“

Private 5G-Netze

wurden oft als Möglichkeit vorgeschlagen, diese Lücke zu schließen – um die Vorteile von 5G in kleinerem Maßstab zu nutzen. Sie ermöglichen es Unternehmensnutzern, entweder auf dedizierte Slices eines öffentlichen Mobilfunknetzes zurückzugreifen oder eine vollständig private Infrastruktur zu betreiben. In der Praxis sind jedoch beide Ansätze mit erheblichen Kompromissen verbunden. Network Slicing wirft Fragen hinsichtlich der Datenhoheit und der Integration in lokale Systeme auf, während vollständig private Netzwerke mit erheblichen Einrichtungs- und Wartungskosten verbunden sind. Folglich ist die Einführung privater 5G-Netze bislang begrenzt geblieben und wirtschaftlich vor allem für die größten industriellen Nutzer sinnvoll.

Auf dem Weg zu KI-gestützten heterogenen drahtlosen Netzwerken

„Bei der Entwicklung heterogener drahtloser Netzwerke geht es nicht darum, zwischen Technologien zu wählen, sondern die Stärken jeder einzelnen dort zu nutzen, wo sie den größten Mehrwert bieten“, sagt Jeroen Hoebeke, der ebenfalls bei imec und an der Universität Gent tätig ist.

„Eine der Ideen, die wir derzeit untersuchen, ist beispielsweise, wie die Zuverlässigkeit und die Dienstgüte, die typischerweise mit Mobilfunknetzen verbunden sind, mit der Flexibilität bei der Bereitstellung von WLAN kombiniert werden können. Ein möglicher Ansatz ist die Einführung einer lizenzierten WLAN-Variante, wodurch ein alternativer Weg zu zeitkritischen Netzwerken geschaffen wird, während die unkomplizierte Integration von WLAN in die bestehenden Ethernet-Infrastrukturen von Unternehmen erhalten bleibt.“

Auch andere drahtlose Zugangstechnologien

könnten ergänzende Rollen übernehmen. Ultrabreitband (UWB) ist beispielsweise vor allem für seine hochpräzisen Ortungsmöglichkeiten bekannt. Die daraus resultierenden Positionsdaten können jedoch auch dazu genutzt werden, die Leistung des drahtlosen Netzwerks in einer gesamten

Industrieanlage zu überwachen, wodurch Verbindungsprobleme erkannt und das Netzwerkverhalten bei Bedarf optimiert werden können. In ähnlicher Weise wird erwartet, dass Bluetooth Low Energy (BLE) eine wichtige technologische Option für Punkt-zu-Punkt-Verbindungen mit geringem Stromverbrauch bleibt.

Schließlich könnten am anderen Ende des Spektrums nichtterrestrische Netzwerke (NTNs) eine zusätzliche Ausfallsicherheitsschicht bieten. Ursprünglich konzipiert, um abgelegene oder unterversorgte Regionen anzubinden, könnten sich NTNs auch in industriellen Umgebungen wie Offshore-Anlagen und großen Logistikzentren als besonders wertvoll erweisen. Auch wenn sie wahrscheinlich nicht zur primären Konnektivitätslösung innerhalb von Fabriken werden, könnten sie als Ausweich-Kommunikationsinfrastruktur dienen, sobald terrestrische Mobilfunknetze nicht mehr verfügbar sind.

Von isolierten Netzwerken zu koordinierten Ökosystemen

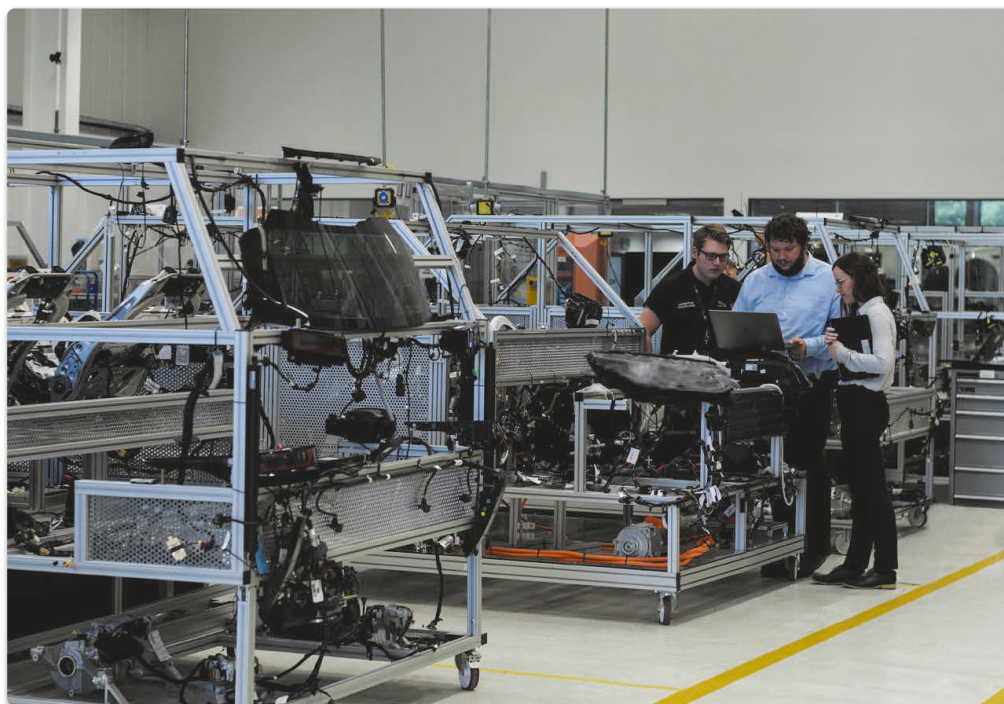
geht der Trend. Denn die Praxis sieht so aus, dass die meisten drahtlosen Zugangstechnologien nach wie vor als isolierte Systeme eingesetzt und verwaltet werden. Die Frage lautet daher, wie man von einer Ansammlung isolierter Systeme zu einer koordinierten Kommunikationsinfrastruktur gelangen kann, in der mehrere Technologien nahtlos zusammenarbeiten.

„Man muss sich bewusst machen, dass viele der verbleibenden Hindernisse nicht

mehr in erster Linie technologischer Natur sind“, erklärt Ingrid Moerman. „In vielen Fällen beruhen die Einschränkungen auf regulatorische und ökosystembezogene Zwänge. Bestehende Standards machen es beispielsweise nicht immer einfach, verschiedene Technologien zu einem kohärenten Ganzen zu verbinden. Und bestimmte Zertifizierungsanforderungen, wie etwa vollständige Abwärtskompatibilität, haben eindeutig ebenfalls zu immer komplexeren und geschlosseneren Ökosystemen beigetragen“, erklärt Ingrid Moerman.

„Daher kommt den Normungsgremien eine wichtige Rolle bei der Ermöglichung heterogener drahtloser Netzwerke zu. Sie können dazu beitragen, Ökosysteme zu öffnen, die Interoperabilität zu fördern und die Zusammenarbeit über traditionelle Technologiegrenzen hinweg zu erleichtern. Warum sollte es beispielsweise nicht möglich sein, eine 5G-Basisstation genauso einfach in ein Ethernet-Netzwerk zu integrieren wie einen WLAN-Zugangspunkt?“, fügt sie hinzu.

„Parallel dazu schafft diese Entwicklung nicht nur neue Verantwortlichkeiten, sondern auch neue Chancen für Systemintegratoren“, sagt Jeroen Hoebeke. „Sie werden zunehmend End-to-End-Kommunikationsinfrastrukturen entwerfen, bereitstellen und verwalten müssen, die mehrere drahtlose Technologien umfassen, und dabei sicherstellen müssen, dass das Netzwerk, die Anwendungen und die Recheninfrastruktur als ein einziges, koordiniertes System funktionieren.“



Die Einbindung deterministischer Intelligenz in das Netzwerk

ist ein nicht zu vernachlässigendes Thema. Nicht zuletzt wird erwartet, dass diese Netzwerke, da sie immer komplexer werden, auf KI-gesteuerte Koordinierungstechnologien zurückgreifen, die in der Lage sind, die Netzwerkbedingungen kontinuierlich zu überwachen, die für eine bestimmte Anwendung am besten geeignete Kommunikationstechnologie auszuwählen und die Netzwerkleistung dynamisch zu optimieren.

„KI-gesteuerte Regelkreise werden bereits in Mobilfunknetzen erprobt“, erklärt Jeroen Hoebeke. „Sie arbeiten auf unterschiedlichen Zeitskalen – von nahezu sofortigen Reaktionen auf sich ändernde Funkbedingungen bis hin zu langsameren Entscheidungen auf höherer Ebene, die größere Teile des Netzwerks betreffen. Und sie übernehmen die Verantwortung für verschiedene Aspekte des Netzwerkbetriebs. Industrielle Umgebungen bringen jedoch eine zusätzliche Komplexitätsebene mit sich – insbesondere hinsichtlich der Zuverlässigkeit solcher KI-Systeme. Eine falsche Entscheidung könnte schwerwiegende Folgen für die vom Netzwerk abhängigen Prozesse haben, unabhängig davon, ob diese Entscheidung eine einzelne Komponente oder einen gesamten Industriestandort betrifft.“

Dies wirft wichtige Fragen auf:

Inwieweit kann die Entscheidungsfindung an KI delegiert werden? Wie können Betreiber sicherstellen, dass KI-gesteuerte Maßnahmen kritische Arbeitsabläufe nicht beeinträchtigen? Und wie schnell können menschliche Bediener bei Bedarf eingreifen?



„Auf diese Herausforderung gibt es nur eine Antwort“, sagt Ingrid Moerman. „Da Netzwerke zunehmend deterministische Prozesse unterstützen, muss auch die KI, die diese verwaltet, deterministisch werden.“

Herkömmliche, pauschale KI-Ansätze werden daher wahrscheinlich nicht ausreichen. Stattdessen benötigen industrielle Funknetzwerke KI-Systeme, deren Verhalten vorhersehbar, nachvollziehbar und zuverlässig genug ist, um in geschäftskritischen Umgebungen eingesetzt zu werden.

Dies zu erreichen, ist nach wie vor ein aktives Forschungsgebiet: Während sich heutige KI-Anwendungen weitgehend auf streng kontrollierte Optimierungsaufgaben

beschränken, die innerhalb vordefinierter Rahmenbedingungen und Sicherheitsgrenzen ablaufen, besteht das längerfristige Ziel darin, sich in Richtung eines autonomen, durchgängigen Netzwerkmanagements weiterzuentwickeln.

Fazit:

Die Zukunft der industriellen drahtlosen Kommunikation wird weder durch eine einzelne bahnbrechende Technologie noch allein durch immer höhere Datenraten bestimmt werden. Vielmehr wird der Erfolg von der Fähigkeit abhängen, durch eine sorgfältig abgestimmte Kombination komplementärer drahtloser Zugangstechnologien eine deterministische Leistung zu gewährleisten.

Um diese Vision zu verwirklichen, bedarf es mehr als nur technologischer Innovationen. Es werden zudem einfachere, offenere und interoperable Technologie-Stacks erforderlich sein.

„Ein komplexes System ist nicht unbedingt ein besseres“, fasst Ingrid Moerman zusammen. „Wir sollten darauf achten, keine künstliche Komplexität zu schaffen, die anschließend durch KI verwaltet werden muss. Es gibt bereits genug echte Herausforderungen, die es zu lösen gilt.“

In dieser Hinsicht sind Konzepte wie lizenziertes WLAN und deterministische KI kein Selbstzweck, sondern potenzielle Bausteine auf dem Weg zu einem gemeinsamen Ziel: der Schaffung industrieller Funkinfrastrukturen, die zuverlässig, vorhersehbar und einfach zu implementieren sind. ◀

