

Das IoT auf die Erdumlaufbahn ausweiten

IoT-Anbindung über Satellit verspricht, die Kosten zu senken und die Reichweite funkbasierter Verbindungen auf den gesamten Planeten zu erweitern. Damit rücken neue globale Anwendungen in greifbare Nähe.



Transformation von Lieferketten

Das Mobilfunk-IoT ist zu einem Treiber für die Transformation im Lieferketten-Management geworden. Es schafft ein neues Maß an Transparenz, Effizienz und Reaktionsfähigkeit in einem ehemals weitgehend intransparenten Prozess. Vor dem Mobilfunk-IoT waren Lieferketten oft langsam, fragmentiert und stark von manueller Dokumentation abhängig. Unternehmen verfolgten Sendungen mit Papierdokumenten, Telefonaten und regelmäßigen Updates, was erhebliche Informationslücken schuf. Die Dokumente wurden zusammen mit den Waren selbst transportiert, was bedeutete, dass Transparenz nur an bestimmten Kontrollpunkten bestand, z.B. wenn ein Container einen Hafen verließ oder in einem Lager ankam.

Das Mobilfunk-IoT hat das Lieferketten-Management grundlegend verändert, indem es Echtzeittransparenz und einen kontinuierlichen Datenfluss schafft. Durch die Vernetzung von Gütern über Geräte und Mobilfunknetze können Unternehmen Sendungen weltweit in Echtzeit verfolgen und steuern. Die Geräte liefern nicht nur genaue Standortdaten, sondern erfassen auch Parameter, wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Vibrationen. Das ist besonders wichtig für Branchen wie Lebensmittel, Pharma und Elektronik, in denen Abweichungen von sicheren Grenzwerten zu Verderb oder Schäden führen können.

Auch die betriebliche Effizienz hat sich deutlich verbessert. IoT-fähige Flotten-Management-Tools optimieren Lieferrouten, reduzieren Leerlaufzeiten und senken den Kraftstoffverbrauch. In Lagereinrichtungen kommen vernetzte Systeme zum Einsatz, um Bestände automatisch zu aktualisieren und so Überbestände oder Engpässe zu vermeiden, die bei manuellen Erfassungssystemen früher an der Tagesordnung waren.

Schwachstellen überwinden

So transformativ die Mobilfunk-IoT-Technologie für Lieferketten und viele andere Branchen auch gewesen sein mag, sie hat doch ihre Grenzen. Während 4G/LTE an die 90% der Weltbevölkerung abdeckt, versorgt es geografisch gesehen nur etwa 15% der Erdoberfläche. Zwar steigt dieser Anteil auf 30 bis 35%, wenn man 2G und 3G mit einbezieht, doch dieser Prozentsatz nimmt

Das IoT entstand zunächst aus dem Bedarf heraus, Probleme in Lieferketten zu lösen: Waren und Sensoren sollten während des Transports automatisch Daten austauschen. Daraus entwickelte sich eine umfassendere Vision, die physische Welt in Haushalten, Fabriken und Städten intelligenter zu machen, indem Sensorik, Vernetzung und Rechenleistung in Alltagsgegenstände integriert werden. Trotz dieser Entwicklung blieb das IoT jedoch stets eng mit dem Lieferketten-Management verbunden.

2024 wurde der Markt für IoT in der Lieferkette auf 21,36 Mrd. US-\$ geschätzt und soll bis 2031 auf 55,58 Mrd. US-\$ ansteigen [1]. Dieses Wachstum wird durch den Bedarf an intelligenten, vernetzten Lieferketten angetrieben, die die Produktivität und Kosteneinsparungen für Anbieter steigern, sowie durch die Kundennachfrage nach Transparenz und Rückverfolgbarkeit. Die Vorgabe ist, das richtige Produkt zur richtigen Zeit, im richtigen Zustand und zu den richtigen Kosten an den richtigen Ort zu bringen – und dies gelingt nur mit ausfallsicherer IoT-Technik.



Autor:
Martin Lesund
Technical Product Manager
für Cellular IoT
Nordic Semiconductor
www.nordicsemi.com

jedes Jahr ab, da die Betreiber diese Netze weltweit schrittweise abschalten.

Dieser Mangel an Mobilfunkabdeckung wird bei IoT-Lösungen noch verstärkt, da diese – anders als Menschen – unter Umständen überall auf der Erde eingesetzt werden müssen. Ein Beispiel sind die Frachtschiffe, die die Südpazifik-Großroute zwischen Südamerika und Neuseeland sowie Australien befahren. Diese Route verläuft in der Nähe von Point Nemo, einem Punkt im Ozean, der fast 3000 km von jeglicher Landmasse entfernt ist und so abgelegen liegt, dass er als Friedhof für aus der Umlaufbahn genommene Satelliten und Raumstationen dient. Die Containerschiffe, die diese Route befahren, transportieren unter anderem teure Bergbau- und Industrieausrüstung für Minen sowie Luxusautos, Elektronik und andere Nischenprodukte. Eine nahezu Echtzeit-Verfolgung des gesamten Weges und des Zustands solcher Fracht war jedoch bisher undenkbar, selbst mit mobilfunkbasiertem IoT.

Kritische Ortungs- und Überwachungsanwendungen finden sich auch in entlegenen Regionen an Land. In Nordkanada, Australien, Patagonien und Zentralasien liegen große Rinderfarmen außerhalb der Mobilfunkabdeckung, auf denen die Ortung einzelner Tiere die Viehhaltung erleichtern kann. Hinzu kommen bis zu 10 Mio. km Hochspannungsleitungen und 7 Mio. km Öl- und Gaspipelines, die sich in linearen Korridoren über den Globus erstrecken – häufig durch abgelegene oder raue Gebiete, in denen die Überwachung auf Lecks und Störungen besonders wichtig ist.

Mobilfunkbasierte IoT-Module (wie die der Serie nRF91 von Nordic Semiconductor) kombinieren einen Bluetooth-LE-/BLE-Transceiver und Sensoren. Sie sind wie



geschaffen für Lösungen zur Bestandsverfolgung und Asset-Überwachung. Die Bausteine sind zuverlässig, sicher, stromsparend und kostengünstig genug, um auf der Ebene einzelner Pakete (oder Tiere) oder in regelmäßigen Abständen entlang einer Übertragungsleitung oder Pipeline eingesetzt zu werden; dennoch gibt es Grenzen. Sie bieten Datenanbindung über Städte und Länder hinweg und in weiten Teilen der bewohnten Welt, jedoch nicht mitten im Südpazifik oder entlang einer Pipeline durch Alaska. Wie können Hersteller von IoT-Tracking-Lösungen ihren Kunden also eine lückenlose globale Abdeckung bieten, wenn 70% der Erde keine Mobilfunk-IoT-Abdeckung haben?

Eine nichtterrestrische Lösung

Eine Lösung ist das Non-Terrestrial Network (NTN) des 3rd Generation Partnership Project (3GPP). Zwar gibt es

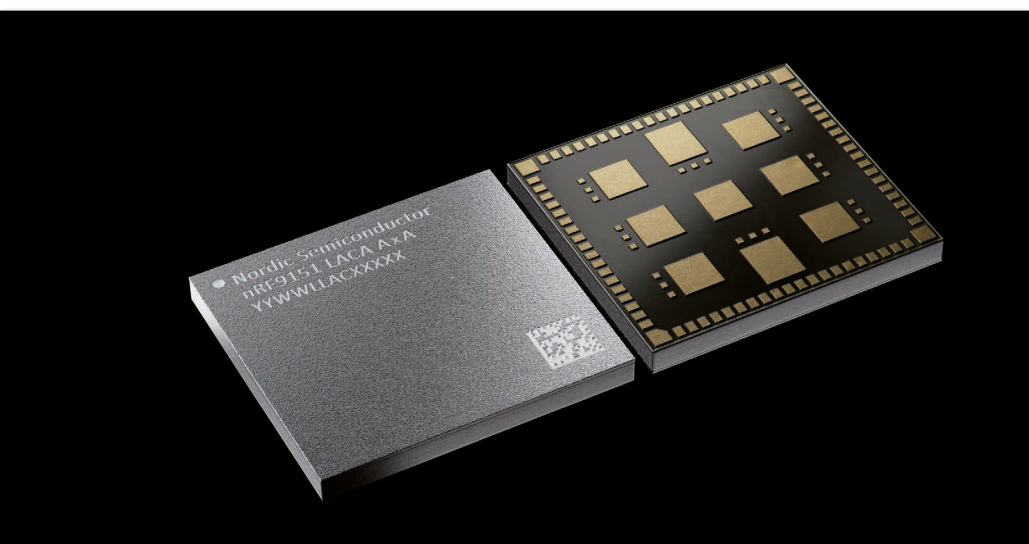
Satellitenkommunikation bereits seit Jahrzehnten, doch funktionierte sie unabhängig von Mobilfunkstandards, bis 3GPP die NTN-Technik in sein globales Mobilfunk-Framework aufnahm. NTN unterstützt NB-IoT über Satelliten, anstatt auf Mobilfunkinfrastruktur angewiesen zu sein. Die Technik wird von einer Satellitenkonstellation bereitgestellt und durch Mobilfunk-IoT-Infrastruktur ergänzt, wo diese verfügbar ist. Das Ergebnis ist der Zugang zu globalen Mobilfunknetzen, auf die ähnlich wie auf terrestrische LTE-M/NB-IoT-Netze zugegriffen wird.

3GPP-NTN-Anbieter bieten zwei gleich wichtige Komponenten an: die Satelliten, die die Mobilfunkmasten ersetzen, und das Mobilfunk-Kernnetz. Dieses Core-Netzwerk ermöglicht eine nahtlose Interaktion zwischen NTN und terrestrischen Netzen, sodass mobile IoT-Geräte wie Asset-Tracker von einem terrestrischen Netz zu NTN wechseln können, ähnlich wie wir es heute bereits vom Roaming in herkömmlichen terrestrischen Mobilfunknetzen kennen.

Grundsätzlich lassen sich NTN in drei Hauptkategorien unterteilen. Die Technologie kann auf Satelliten in geostationärer Erdumlaufbahn (GEO), in niedriger Erdumlaufbahn (LEO) oder in mittlerer Erdumlaufbahn (MEO) basieren, wobei letztere im IoT nicht weit verbreitet ist.

GEO-basierte NTN

Ein GEO-Satellit kann bis zu einem Drittel der Erde abdecken. GEO-Satelliten reflektieren die vom IoT-Gerät gesendeten Signale in der Regel ohne jegliche Verarbeitung zurück zur Erde. Der Satellit ist für das Endgerät transparent, und die Kommunikation findet zwischen diesem Gerät und einem eNB (Evolved NodeB) oder einem ebenfalls am





Boden befindlichen Mobilfunkmast statt. So können gesendete Daten den eigenen Cloud-Dienst erreichen, solange die NTN-Verbindung noch aktiv ist.

Die große Distanz und die geringe Zahl an GEO-Satelliten begrenzen das Link-Budget von IoT-Geräten und senken die Netzkapazität gegenüber terrestrischen Netzen. Bei GEO-NTN sind auf der PHY-Schicht (on air) typischerweise 1 bis 2 KBit/s zu erwarten, wenn ein Standardmodul der Leistungsklasse 3 (23 dBm) mit einer 0-dBm-Antenne eingesetzt wird. Für eine stabile GEO-NTN-Verbindung kommen dieselben NB-IoT-Protokollmechanismen zum Einsatz wie zur Reichweitenerweiterung in terrestrischen Netzen. Entsprechend ähneln Durchsatz und Stromverbrauch von GEO-NTN einem Mobilfunk-IoT-Gerät am Rand der Abdeckung in einem terrestrischen NB-IoT-Netz.

Wegen der geringen effektiven Datenrate, aber der Echtzeitverbindung zum Core-Netz, wurden GEO-basierte NTN bislang vor allem für Notfallkommunikation eingesetzt. Der wichtigste Anwendungsfall sind Direct-to-Device-Dienste (D2D) für mobile Geräte sowie andere Anwendungen, bei denen kritische Nachrichten sofort zugestellt werden müssen. Mit dem Ausbau des Angebots eignen sich diese Netze nun zunehmend auch für IoT-Anwendungen mit geringem Datenbedarf, die dennoch auf konstante Abdeckung und geringe Latenz angewiesen sind – etwa bei kleinen Datenmengen pro Tag oder bei wichtigen Alarmmeldungen, auf die umgehend reagiert werden muss.

LEO bietet mehr Datendurchsatz

LEO-Satelliten, die in mehreren neuen 3GPP-NTN-Netzen eingesetzt werden, kreisen mit 600 bis 800 km deutlich näher an der Erde als GEO-Satelliten. Das verbessert das Link-Budget für IoT-Geräte, erhöht die Flexibilität bei der Antennenauslegung und ermöglicht mit demselben Modul der

Leistungsklasse 3 und derselben Antenne Datenraten von bis zu 20 bis 40 KBit/s. Die höhere effektive Datenrate verkürzt die Verbindungsdauer zum Satelliten und senkt so den Stromverbrauch. Das Leistungsprofil eines IoT-Geräts mit LEO-Anbindung entspricht in etwa dem von Cat. NB1 oder einer mittleren bis schwachen NB2-Abdeckung in einem terrestrischen Netz.

Aufgrund der geringeren Höhe umkreisen LEO-Satelliten die Erde schnell. Ein LEO-Satellit befindet sich daher pro Umlaufbahn nur wenige Minuten über einem bestimmten Standort. Dasselbe gilt für die Häufigkeit, mit der LEO-Satelliten für eine Bodenstation sichtbar sind, was die Kommunikation mit dem NTN-Core-Netz ermöglicht. Das bedeutet, dass die wenigen Satelliten und die einfache, transparente Architektur, die in GEO-Netzwerken verwendet werden, in LEO nicht funktionieren. Um eine kontinuierliche, globale Abdeckung zu gewährleisten, benötigt man eine Konstellation aus Dutzenden oder sogar Hunderten von Satelliten sowie eine Backhaul-Verbindung, die Daten durch die LEO-Konstellation weiterleitet, um Bodenstationen in Echtzeit zu erreichen. Bis dahin wird eine „Store-and-Forward“-Architektur verwendet.

Bei Store-and-Forward fungiert der Satellit als LTE-Basisstation bzw. eNB: Er verwaltet die Verbindung zu den IoT-Geräten und speichert deren Daten, bis sie an einen anderen Satelliten oder eine Bodenstation weitergeleitet werden können. Solange die 3GPP-NTN-LEO-Konstellationen noch im Aufbau sind, müssen IoT-Geräte mit lückenhafter Abdeckung rechnen, da nicht jederzeit ein Satellit verfügbar ist, und zudem mit längeren End-to-End-Latenzen zwischen Gerät und Cloud. Wegen ihres deutlich geringeren Stromverbrauchs eignen sich LEO-Netze besonders für Anwendungen, bei denen die erfassten Daten keine sofortige Reaktion über die Cloud oder das System erfordern.

Je mehr Satelliten in LEO-Konstellationen zum Einsatz kommen, desto geringer werden die Lücken in der Netzwerkverfügbarkeit sowie die End-to-End-Latenz, sodass man einen kontinuierlichen, globalen und latenzarmen Dienst für IoT-Geräte erhält.

Die Technik hinter der Technik

NTN eröffnet Entwicklern neue Möglichkeiten im Mobilfunk-IoT. Entscheidend ist jedoch, die Anwendungsfälle des Produkts genau zu prüfen und festzulegen, wo, wann und ob NTN einen echten Mehrwert bietet. Für manche Endprodukte ist NTN die einzige verfügbare Verbindung, für andere eine sinnvolle Erweiterung der Mobilfunkabdeckung. Wo terrestrische Netze gut ausgebaut sind,

bleiben sie die effizienteste Option. Wo diese Abdeckung fehlt, ist NTN jedoch eine wertvolle Alternative.

Viele terrestrische Netzbetreiber kooperieren bereits mit GEO- und LEO-NTN-Anbietern, um eine möglichst umfassende Lösung bereitzustellen. Nordic Semiconductor unterstützt Entwickler mit der passenden Technologie für unterschiedlichste Anwendungen. Mit dem SiP-Modul nRF9151 bietet das Unternehmen eine stromsparende, integrierte Lösung für terrestrische und nicht-terrestrische Datenanbindung. Das Modul unterstützt NB-IoT, LTE-M und DECT NR+, NTN folgt per künftigen Firmware-Update. Zur Ausstattung gehören ein dedizierter 64-MHz-Arm-Cortex-M33-Anwendungsprozessor mit 1 MB Flash und 256 KB RAM, ein Multimode-LTE-M/NB-IoT-Modem mit GNSS, Power Management und HF-Frontend – vollständig von Nordic entwickelt. Ergänzt wird das System durch das nRF Connect SDK und die nRF Cloud Services, die das Anwendungsdesign unterstützen.

Gleichzeitig arbeitet das Unternehmen mit mehreren NTN-Anbietern zusammen, darunter Iridium Communications, Skylo, Myriota, Omnispace und Gatehouse Satcom, um seinen Kunden kommerzielle Optionen für ihre NTN-Implementierungen auf Basis des SiP-Moduls nRF9151 anzubieten.

Unendliche Weiten

Das IoT, das noch vor zehn Jahren eine junge Technologie war, boomt heute. Die Zahl der vernetzten Geräte ist mittlerweile auf über 15 Mrd. gestiegen und wird sich laut dem Ericsson Mobility Report bis 2030 noch einmal verdoppeln. Parallel dazu ermöglichen Edge-Computing und die Integration von KI in bestimmten Anwendungen eine nahezu Echtzeit-Entscheidungsfindung, was die Latenzzeit und die Abhängigkeit von der Cloud reduziert.

Auch das mobilfunkbasierte IoT hat sich weiterentwickelt und ermöglicht nun Milliarden von Anwendungen mit hohem Datendurchsatz und geringer Latenz, wenn Kurzstreckenfunk keine praktikable Option ist. Nun dehnt es sich über Land, Luft und Meer hinaus in den Weltraum aus – über neue Netzwerkparadigmen wie NTN, die es Nutzern erstmals ermöglichen, kritische Anlagen oder lebenswichtige Infrastruktur zu verfolgen – ganz gleich, wo auf dem Planeten sie sich befinden. Das IoT hat seine letzte Grenze noch nicht erreicht, es steht erst am Anfang.

Referenz:

[1] „Global Supply Chain IoT Market“, Verified Market Research, 2024 ◀