

Die Zukunft hat mit LoRa begonnen

Low-Power-Netze für das Internet der Dinge

Viktor Kostic,
Ronald Janke

Das Internet der Dinge (IoT – Internet of Things) vernetzt „Gegenstände“ intelligent miteinander. Sie werden somit zu smarten Gegenständen, die befähigt werden, online und unabhängig Informationen auszutauschen, sich zu steuern und Aktionen auszulösen. Damit das IoT die nötige Akzeptanz findet, werden zwei Voraussetzungen wichtig. Als Basis für das IoT wird eine Netzinfrastruktur benötigt, die in der Lage ist, die Vielzahl an „Dingen“ wirkungsvoll in ein Netz einzubinden. Genauso wichtig sind aber die Dienste und Applikationen, die für den Endverbraucher den eigentlichen Mehrwert darstellen. Mit den gängigen Funktechniken lassen sich diese zwei Grundvoraussetzungen für die Akzeptanz des Internet der Dinge aber nicht umfassend erreichen. Low-Power-Netze bieten einen Ausweg.

Keine der bereits vorhandenen Kommunikationsinfrastrukturen ist für das Internet der Dinge so geeignet wie sogenannte Low-Power-Netze (LPWAN). Mit diesen lassen sich insbesondere autonome Geräte verbinden, die geringe Datenmengen austauschen und dabei auf einen geringen Energieverbrauch angewiesen sind. Die energieeffiziente, sichere und kostengünstige Funktechnik LoRaWAN eignet sich für eine Vielfalt von Anwendungsfällen. Sie basiert auf dem offenen Industriestandard LoRa (*Bild 1*) und wird von der Non-Profit-Organisation LoRa Alliance spezifiziert.

Vorteile bei Reichweite und Bandbreite

LoRaWAN nutzt freie Frequenzbänder aus den lizenzfreien ISM-Bändern. In Europa sind das die Bänder im Bereich 868 und 433 MHz. Durch Verwendung von Frequenzspreizung ist die Technik nahezu immun gegen Störstrahlung. Die Reichweiten zwischen Sender und Empfänger betragen je nach Umgebung und Bebauung zwischen 2 und 15 km. Das System hat eine hohe Sensibilität von -137 dBm. Damit bietet die Technik eine höhere Durchdringung bis tief in Gebäude und Kellerräume hinein, was die Verfügbarkeit des Netzes erhöht.

Die Kommunikation zwischen den Endgeräten und den sog. Gateways erfolgt auf verschiedenen Frequenzkanälen mit unterschiedlichen Datenraten. Die Datenraten reichen von 0,3 bis 50 kbit/s. Zur Maximierung der Batterielebensdauer und der Steuerung der Gesamtnetzkapazität, steuert das LoRaWAN die Datenrate und den HF-Ausgang mittels adaptiver Datenrate (ADR) für jedes Endgerät einzeln. Nach dem LoRa-Standard gibt es drei verschiedene Klassen von Endgeräten (www.lora-alliance.org/What-Is-LoRa/Technology).

Die Endgeräte der Class A sind für das Internet der Dinge besonders interessant, da sie unabhängig von äußerer Stromzufuhr betrieben werden können. Sie befinden sich ohne äußerliche Trigger (Temperatur, Druck, Bewegung, Feuchte usw.) in einem batterie-schonenden Schlafzustand. Nur beim Senden wird ein aktiver Zustand mit höherem Energiebedarf eingenommen. Während dieser Zeit kann dann zum Endgerät kommuniziert werden.

Die Endgeräte senden demnach nur eine einfache Information oder eine Zustandsänderung und können so sehr einfach gehalten werden. Zusammen mit dem Funkchip sind die Module wegen ihrer Einfachheit daher günstig, eine wesentliche Voraussetzung zur Deckung des hohen Bedarfs.

Vom Sensor zur Cloud

Die LoRa-Architektur besteht aus Endgeräten (Sensoren und Aktoren), Gateways und dem Network Server. Die Gateways sind mit dem Network Server verbunden, während Endgeräte zu einem oder mehreren Gateways kommunizieren. Der Network Server verfügt über standardisierte Schnittstellen (z.B. REST, CoAO, MQTT) in Richtung der Anwendungsseite, womit die Anbindung von Cloud-Applikationen einfach ermöglicht wird. Damit eröffnen sich Möglichkeiten für eine Vielfalt von Anwendungen. Mit einfachen Sensoren, an beliebigen, netzunabhängigen Orten, können Informationen gewonnen werden, die bisher technisch kaum oder gar nicht ermittelt werden konnten.

LoRa-fähige Sensoren sind bereits am Markt verfügbar bzw. bestehende Sensorik kann durch die Sensorhersteller durch Tausch des Funkmoduls einfach für LoRa umgebaut werden. Weiterhin gibt es bereits einige Zertifi-

Viktor Kostic ist Business Development Manager, Ronald Janke arbeitet als Senior Manager, New Business & Technology bei der Telent GmbH in Backnang

zierungsstellen, bei der Sensorhersteller ihre Produkte für LoRaWAN zertifizieren lassen können.

Auf Basis eines LoRaWAN-Netzes können zukünftig – unverkabelt und ohne Aufwand – vor allem Statusinformationen ausgetauscht, verglichen und bewertet werden. Das bildet – oft in Verbindung mit anderen Informationsdiensten – die Grundlage für einen ganzen Kosmos neuer Services und Apps, wie z.B. Tracking-Dienste, die Nachverfolgung von Haustieren, Wertgegenständen oder auch von Containern für Wertstoffe. Intelligente Briefkästen, die melden, ob Post angekommen ist, oder Mülleimer, die ihren Befüllungsstatus kommunizieren, gehören ebenfalls dazu.

Weitere wichtige Anwendungen für Unternehmen können sein:

- Übertragung von Füllständen oder eines Betriebsmodus von verstreut liegenden Anlagen;
- Übertragung von Messdaten für die Forschung oder von Zählerstandsmeldungen von Heizungen und Wasseruhren;
- Parkplatzmanagementsysteme, die mit Sensoren erkennen, ob ein Auto auf der Parkfläche steht oder nicht.

In einigen Modellstädten wurden bereits Smart-City-Projekte realisiert, bei denen z.B. über den Füllstand von

Müllbehältern die Routen für die Müllfahrzeuge berechnet und diese schließlich an die Navigationsgeräte der Müllfahrzeuge gesendet werden. Das Einsparungspotential ist erheblich, auch sinkt der CO₂-Ausstoß durch die drastisch reduzierte Anzahl an Fahrten und Wegeoptimierungen. Zum Schutz eigener Ressourcen können z.B. Wertstoffcontainer, Kabeltrommeln usw. mit einem smarten Sensor gegen Diebstahl gesichert werden. Der LoRa-basierte Bewegungsmelder ist im Ruhezustand, solange die Trommel oder der Container nicht bewegt wird, und sendet seine Daten nur dann, wenn der überwachte Gegenstand seine Position ändert.

Endgeräte mit Plug & Play ins IoT einbinden

Die unglaubliche Menge an Sensoren, die sich in einem LoRaWAN-Netz befinden, müssen, um Engpässe zu vermeiden, mit einem möglichst einfa-

chen Prozess aktiviert werden können, der sog. Zero-Touch-Aktivierung. Zwei Verfahren gibt es dafür:

- Over the Air Activation (OTAA);
- Activation by Personalization (ABP).



Bild 1: Mit LoRa, der Low-Power-Netztechnik für das Internet der Dinge, ist man fit für die unterschiedlichsten Anwendungen

Beim OTAA-Verfahren muss das Endgerät vom Sensorhersteller vorkonfiguriert sein. Mit einem eindeutigen Device Identifier (DevEUI), einem Application Identifier (AppEUI) und einem AES-128-bit-Schlüssel (AppKey) meldet sich das Endgerät am Netz. Da das Endgerät noch keinen Network Identifier besitzt, erfolgt die spezifische Netzzuordnung durch den Network Server in einem sog. Joint Process. Sobald die eindeutige Netzzuordnung erfolgt ist, kann das End-

gerät Daten mit einer verschlüsselten Netzkenung (zweifache AES-128-Verschlüsselung) über das Netz senden. Beim ABP-Verfahren ist das Gerät bereits so weit für den Netzzugang vorkonfiguriert, dass der Aktivierungsprozess im Gegensatz zum erwähnten OTAA-Verfahren in einem Schritt durchgeführt werden kann. Das heißt, das Endgerät wird beim Herstellungsprozess mit allen Parametern vorprogrammiert. Auch hier werden die Nutzdaten zweifach verschlüsselt sicher übertragen.

Weil beim OTAA-Verfahren keine Personalisierung der Endgeräte mit einem Netzschlüssel erfolgt, kann Roaming zwischen unterschiedlichen Netzen ermöglicht werden. Die Details der Roaming-Verfahren sind zurzeit noch in der Spezifizierung bei der LoRa Alliance. Nach Roadmap wird es zwei Verfahren geben – ein passives Roaming und ein sog. Handover-Roaming. Diese Verfahren werden mit der LoRaWAN-Version 1.1 fertig definiert sein. Bei Beiden sind keine technischen Änderungen in den Endgeräten notwendig. So können schon heute Endgeräte mit LoRaWAN-Version 1.01 ohne Bedenken ausgerollt werden, weil neue Funktionalitäten des darauf folgenden Standards 1.1 ohne Änderungen bei den Endgeräten genutzt werden können.

Gute technische Eigenschaften für robuste Netze

Die Nutzung der lizenzfreien ISM-Bänder, die bereits heute von zahlreichen Anwendungen verwendet werden, legen den Verdacht nahe, dass Anwendungen im ISM-Band störanfällig sein könnten. Um hier potenzielle Interferenzen mit anderen Anwendungen zu vermeiden, hat die LoRa-Spezifikation technische Eigenschaften implementiert, die es ermöglichen, ein robustes Netz zu bauen, das immun gegen Störeinflüsse ist und dabei ein hohes Maß an Netzstabilität bietet.

Eine große Stärke des LoRaWAN ist seine bemerkenswerte Reichweite. Bei LoS-Verbindungen (Line of Sight) wurden schon Entfernungen von bis zu 40 km erreicht und dies bei äußerst geringer Sendeleistung. Damit

eine robuste, störunanfällige Verbindung möglich wird, hat die Firma Semtech beispielsweise ein speziell geeignetes Modulationsverfahren entwickelt.

Modulation

Um Interferenzen zu vermeiden, nutzt das LoRaWAN-Protokoll ein patentier-

Wasseruhr bis zu 15 Jahre mit einer Standardbatterie zuverlässig die Verbrauchsdaten übermitteln kann.

Adaptive Datenraten (ADR)

Der LoRaWAN Network Server managt individuell für jedes Endgerät die Datenraten im Sinne von ADR und die Signalstärke in Abhängigkeit von der

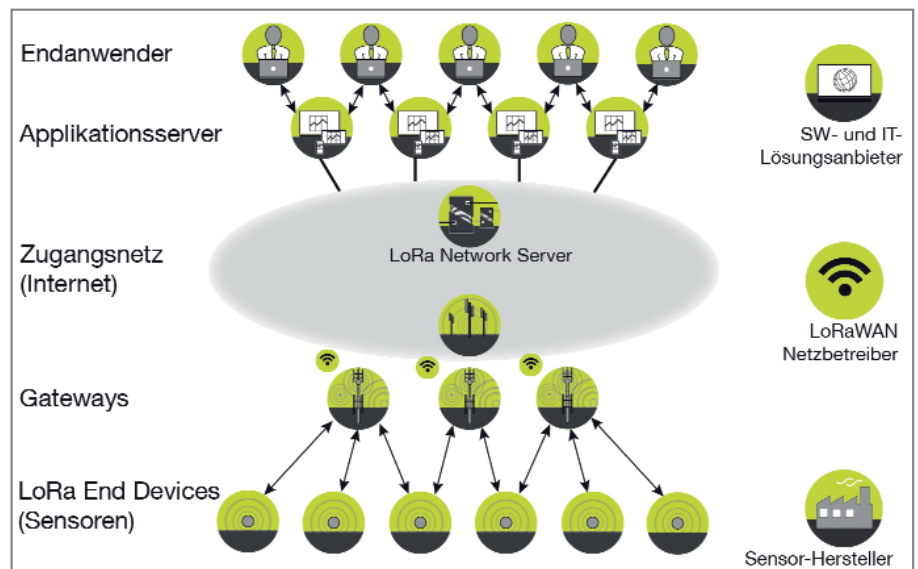


Bild 2: Prinzipielle Struktur des LoRa-Ökosystems

tes Modulationsverfahren. Das sogenannte Chirp-Spread-Spektrum (CSS) ermöglicht durch die Nutzung von Spreizfaktoren (SF 7-12) eine zuverlässige Funkverbindung, auch in lizenzfreien Funkbändern.

Dieser sich daraus ergebende Vorteil hat jedoch zur Konsequenz, dass nur sehr geringe Datenraten erzielt werden können. Ein LoRa-Paket kann daher maximal 59 byte an Nutzdaten übertragen. Für das Einsatzgebiet IoT ist dies jedoch kein wesentlicher Nachteil, da IoT-Anwendungen nur wenige Bytes an Daten benötigen.

Empfindlichkeit

Mit der bereits erwähnten hohen Sensibilität des LoRa-Standards (-137 dBm) wird eine deutlich höhere Durchdringung als bei anderen Funkstandards erreicht. Das LoRa-Funkmodul der Wasseruhr im Keller sendet noch sicher und zuverlässig seine Daten an die Abrechnungszentrale, während das Smartphone schon lange keinen Empfang mehr verzeichnet. Der Stromverbrauch des LoRa-Funkmoduls ist dabei so gering, dass die

Entfernung zum Gateway. Damit ist jederzeit gewährleistet, dass optimale Bedingungen hinsichtlich schnellstmöglicher Datenrate, bestmöglicher Netzkapazität und geringem Energieverbrauch im Netz herrschen.

Hohe Energieeffizienz und Datensicherheit

Der Energieverbrauch eines Sensors beträgt lediglich 10 mA beim Datentransfer und nur 100 nA beim Ruhestrom. Damit ist – je nach Anwendungsfall – ein Batteriebetrieb von zwei bis 15 Jahren möglich.

Ein weiteres wichtiges Kriterium für den Erfolg und die Akzeptanz des Internet der Dinge ist die Sicherheit und Vertraulichkeit der transportierten Daten. Durch eine doppelte AES-128-Verschlüsselung und die Spezifikationen der LoRa-Architektur ist die Datenkommunikation im Netz abhörsicher. Dabei werden die Daten in zwei Ebenen verschlüsselt: ein einheitlicher Netzschlüssel (AES 128) für die Netzebene und ein weiterer Netzschlüssel (AES 128) für die Applikationsebene.

Smart-City-Konzepte und Industrie 4.0 effizient umsetzen

Die Digitalisierung erfasst viele Bereiche in Wirtschaft und Gesellschaft. Erfolgreiche Konzepte für Smart City und Industrie 4.0 ergeben sich aus einer intelligenten Verknüpfung der Anforderungen und Bedarfe mit den verschiedensten Techniken, Lösungen und Geräten. Daraus ergibt sich ein enormes Potenzial an Möglichkeiten, Aufgaben effizient und unter Einbeziehung unterschiedlichster Informationen zu erfüllen.

Die LoRaWAN-Technik kann dazu einen signifikanten Beitrag leisten. Eine einfache Einbindung in bestehende Infrastrukturen und Applikationen bietet einen Mehrwert, der schnelle und pragmatische Ansätze ermöglicht. Beispielsweise können tausende Endgeräte – verteilt in einer Stadt – die Luftqualität messen und so ein viel realistischeres Bild der Umweltsituation übermitteln, als dies mit den bisher nur wenigen, aber sehr teuren Messstationen möglich ist. Mit den bisherigen Methoden lässt sich vieles nicht erfassen. Das IoT erlaubt es darüber hinaus, weitere Daten in einer Big-Data-Anwendung zu kombinieren. So lassen sich z.B. Verkehrsdaten mit den Umweltdaten verknüpfen und in Korrelation auswerten.

Diese Paarung an Eigenschaften, schmalbandig mit wenigen Bytes an

Nutzdaten, ein robustes energiesparendes Modulationsverfahren mit einer Sensitivität, das sogar einen Empfang unterhalb des natürlichen Rauschens ermöglicht, sind in Summe der technische Durchbruch für die Anforderungen der IoT-Welt von morgen.

Ein weiteres Beispiel ist das oben bereits erwähnte Müllabfuhrmanagement. Dort wird die bisherige Müllabfuhr in eine moderne und zeitgemäße smarte Stadtreinigung überführt. Die Müllbehälter von Städten und Kommunen sind hierfür z.B. mit Sensoren ausgestattet, die über den jeweiligen Füllzustand Auskunft geben. Diese Daten werden an ein Managementsystem übertragen, das auf dieser Grundlage die Routen für die Müllfahrzeuge berechnet und sie schließlich an die Navigationsgeräte der Müllautos sendet.

Am Beispiel eines Fußballländerspiels kann gut gezeigt werden, wie die Daten der Mülleimerfüllstände mit Daten des Wetterdienstes und dem Veranstaltungskalender verknüpft werden können. Bei Prognose von schönem Wetter ist zu erwarten, dass sich Fans am Hauptbahnhof treffen – und die Abfallbehälter sind jetzt schon viertelvoll. Dann sollte am Abend dringend noch einmal geleert werden. Bei schlechtem Wetter hingegen reisen die Fans später an und fahren direkt ins Stadion. Die Behälter am Bahnhof füllen sich also kaum weiter; das Müll-

fahrzeug kann auf dem Betriebshof bleiben. Außer es wird gegen Ende des Spiels vielleicht noch Twitter in die Analyse einbezogen. Auch wenn es nur eine ganz inoffizielle „#Siegerparty vor dem #Hauptbahnhof“ ist – vielleicht sollte doch noch ein Fahrzeug ausrücken.

Dieses Beispiel zeigt, wie sich mithilfe des Internet der Dinge Ressourcen optimiert planen und wirtschaftlich effizient einsetzen lassen.

Fazit

Wie das Internet der Dinge die Welt von morgen verändern wird, kann derzeit niemand konkret voraussagen. Dass die Welt dadurch verändert wird, aber schon. Durch die LoRaWAN-Funktechnik werden neue, bisher technisch nicht denkbare Anwendungen ermöglicht.

In Deutschland gibt es bereits einige interessante Projekte, die auf lokale Netzinfrastrukturen aufsetzen. Diese Netze gilt es nun weiter auszubauen. Auf dem diesjährigen All Members Meeting der LoRa Alliance in München hat der Netzbetreiber Netzikon, eine Tochtergesellschaft der Telent GmbH, die Errichtung und den Betrieb eines hocheffizienten und ressourcenschonenden IoT-Funknetzes in Deutschland bekannt gegeben. Der Netzstart ist bereits in ausgewählten Ballungsgebieten erfolgt. (bk)