

Drahtlose Sensornetzwerke – Herausforderungen und Lösungen

Obwohl stromsparende Sensoren und drahtlose Netzwerke allgegenwärtig sind, gibt es in der Realität nur wenige Beispiele für stromsparende drahtlose Sensornetzwerke. Dieser Beitrag zeigt wo die Probleme liegen und schlägt Lösungen vor.

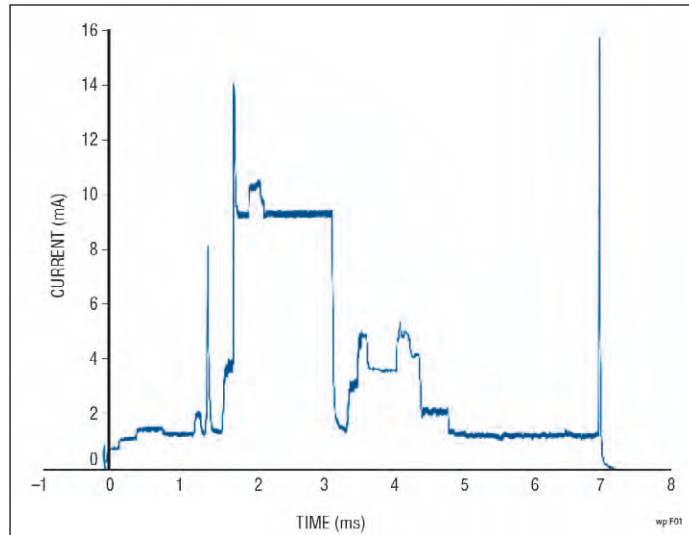


Bild 1: Benötigte Energie, um ein kurzes 802.15.4-Datenpaket zu übertragen und den Empfang zu bestätigen

Drahtlose Sensoren reduzieren die Installationskosten dramatisch und ermöglichen einen Zugriff auf Daten, wie er bislang unmöglich war oder nur sehr teuer zu realisieren. Die Sensoren sind zwar kleiner, preisgünstiger und stromsparender geworden, die Installationskosten konnten aber nicht Schritt halten. Die Kosten für die Verdrahtung in einem neuen Gebäude übertreffen z.B. die Kosten der Schalter um einiges. Auch die Kosten für die Installationserneuerung in bestehenden Gebäuden oder in Industrieanlagen können tausende von Euro betragen. Warum konnten trotzdem Wireless Sensor Netzwerke (WSNs) diese Märkte nicht dominieren? Zwei Faktoren ließen bislang WSNs ein Nischendasein fristen - die Funkreichweite und die Netzwerkuverlässigkeit.

Auswahl an Technologien

Idealerweise wünscht der Kunde Technologien, die preiswert sind, den beliebigen Einbau der Sensoren zulassen und die periodisch und zuverlässig die Daten mit geringer Latenz senden, und

den WSNs das Einsammeln der Sensordaten.

Satelliten und Mobilfunk arbeiten sehr gut in vielen Applikationen, haben aber die höchsten Kosten pro Datenpaket. Wechsel im Tarif können für den Kunden untragbar sein, obgleich die Serviceprovider für geringen Datenfluss eigene passende Zahlmodelle entwickeln. Die Funkabdeckung kann auch ein Problem darstellen. Für die Signale von Satelliten und von Mobiltelefonen kann es schwierig sein, ihren Weg aus stark bebauten Strukturen zu finden, und Sensoren können nicht mal schnell nach Draußen gehen und fragen: "Hörst du mich jetzt"? Für eine Applikation, die mit geringer Datenrate sendet (z.B. ein Datenpaket pro Tag) und dies bei bester Verbindungsqualität, macht jedoch Satellit oder Mobilfunk durchaus Sinn.

Wi-Fi (IEEE 802.11b, g) Sensoren sind breit verfügbar. Die Energiekosten für ein Wi-Fi-Paket sind viel günstiger als beim Mobilfunk, und es gibt keine monatlichen Gebühren. Verbindungsqualität und Abdeckung bleiben wesentliche Probleme, da die Anzahl der notwendigen Accesspoints für eine

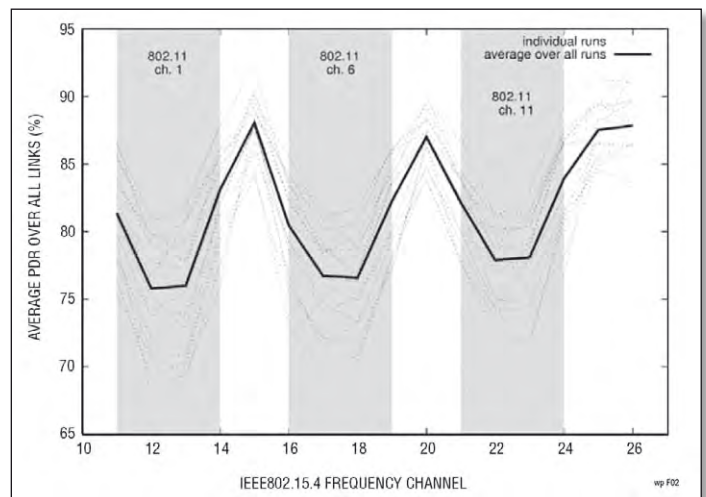


Bild 2 zeigt das durchschnittliche Datenübertragungsverhältnis als Funktion des Kanals über den gesendet wird.

Autoren:

Lance Doherty,
Systems Engineer
Jonathan Simon,

Systems Engineering Director
Thomas Watteyne,
Systems Engineer
Dust Networks Product Group
Linear Technology Corporation

zuverlässige Kommunikation mit fixen Sensoren höher einzuschätzen ist, als für ein normales Handytelefonat. Aber der Stromverbrauch von Wi-Fi ist für Batteriebetrieb immer noch zu hoch. Verbindungssicherheit und Abdeckung sind wesentliche Herausforderungen, da die Dichte an Accesspoints für eine zuverlässige Kommunikation mit einem stationären Sensor typischerweise hoch ist.

Bezugnehmend auf das OSI-Schichtenmodell, definiert der 802.15.4-Standard einen Physical Layer (PHY) und die Medium Access Control (MAC) Layer für stromsparenden Kurzstreckenbetrieb und so passend für WSNs.

IEEE 802.15.4 ist die Basis für verschiedene proprietäre und auf Standards beruhenden Protokollen wie ZigBee nicht synchrone Einkanal-Netzwerke und WirelessHART1 zeitsynchrone Multikanal-Netzwerke. Verwendet man den LTC5800-IPM802.15.4 Mote-on-Chip von Linear Technology, um einige Bytes an Sensordaten mit Routing, Verschlüsselung und anderen Headern zu senden, wird eine Batterieladung von unter 30 μC benötigt, einschließlich einer Übertragungsquittung, welche die sichere Übertragung bestätigt (Bild 1).

Maschennetzwerke

Die drahtlose Übertragung ist von Natur aus nicht so zuverlässig. Es gibt zwei besonders störende Phänomene: Interferenz und Mehrwegeausbreitung. Arbeiten zwei Sender auf demselben Kanal, werden sich die Signale gegenseitig beeinträchtigen und müssen nochmals gesendet werden, was Zeit und Energie kostet. Interferenz kann auch innerhalb des Netzwerkes auftreten, wenn die Medium-access-Technologie nicht nach Priorität abarbeitet. Das ist besonders ein Problem, wenn der Empfänger zwei Sender hört aber nicht jeden für sich, das nennt man "hidden terminal problem," und kann nur durch kollisionsfreie Übertragung gelöst werden.

Interferenz kann auch durch benachbarte Netzwerke entstehen, die im selben Funkband arbeiten oder von anderen Funkapplikationen, die auf derselben Frequenz arbeiten. Diese „externe“ Interferenz gibt es besonders im lizenzfreien 2,400 bis 2,485 GHz Instrumentation, Scientific und Medical (ISM) Band, indem sich auch Wi-Fi, Bluetooth und 802.15.4 tummeln.

Bild 2 zeigt 45 Funkknoten nach 802.15.4 in einem Büro, die 12 Millionen Pakete austauschen, die gleichzeitig über 16 Kanäle nach 802.15.4 übertragen werden. Es zeigt das durchschnittliche Datenübertragungsverhältnis als Funktion des Kanals über den gesendet wird; ein Kanal wird von Wi-Fi überlappt und hat dadurch ein niedriges Übertragungsverhältnis.

Das zweite Phänomen ist Fading (Schwund) durch Mehrwegeausbreitung oder Multipath Fading (Bild 3). Multipath Fading kann eine erfolgreiche Übertragung verhindern, sogar dann, wenn Sichtverbindung vorliegt. Es geschieht, wenn Gegenstände (Wände, Türen, Personen) zu Reflexionen führen und die Signale mit unterschiedlicher Laufzeit eintreffen. Bei starken Interferenzen kann Fading von 20 bis 30 dB auftreten. Multipath Fading hängt von der Übertragungsfrequenz ab, vom Ort des Senders, von benachbarten Objekten – eine Vorhersage darüber ist deshalb praktisch unmöglich.

Da sich Objekte auch bewegen, ändert sich der Multipatheffekt, und es ist fraglich, ob eine funktionierende Verbindung auch wirklich immer von Bestand ist.

Bild 4 zeigt das Datenübertragungsverhältnis einer Funkstrecke zwischen zwei Sensoren, gemessen über 26 Tage und für jeden der 16 verwendeten Kanäle. Es gibt Unterschiede zwischen Arbeitstag und Wochenende. Und zu jeder Zeit sind Kanäle brauchbar, andere nicht gut und weitere variieren stark. Kanal 17, der generell gut ist, zeigt auch eine Periode,

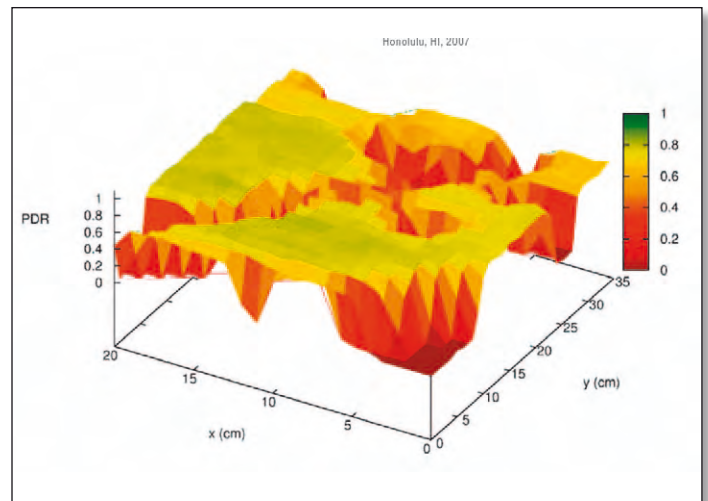


Bild 3: Multipath Fading kann eine erfolgreiche Übertragung verhindern, sogar dann, wenn Sichtverbindung vorliegt.

in der keine Daten empfangen werden. Alle Pfade im Netzwerk zeigen ein einheitliches Verhalten, aber mit unterschiedlicher Kanalperformance, und nicht jeder Kanal ist an jeder Stelle im Netzwerk gleich gut.2

Wegen Interferenzen und Multipathfading ist es deshalb wesentlich, Kanal- und Raum-Diversity einzurichten. In einem Maschennetzwerk können Sensoren-Datenpakete von gleichberechtigten Teilnehmern übertragen werden, erweitern so die Reichweite des Netzwerkes weit über die einer Punkt-zu-Punkt-Verbindung hinaus. Auch sind sie unempfindlicher gegen Übertragungsfehler als diese. Verwen-

det man Time Division Multiple Access (TDMA) mildert dies Kollisionen und ermöglicht eine berechenbare Skalierung von Netzwerken.

Verschieden Protokolle sind für Sensornetzwerke verfügbar: 802.11s für Wi-Fi, außerdem verschiedene ad-hoc-Routingprotokolle, die in ZigBee und Linear Technologys Time Synchronized Mesh Protocol zum Einsatz kommen und die Basis der WirelessHART- und 802.15.4e-Standards bilden.

Lösungen

Hauptauswahlkriterien für den Zuschlag für die WSN-Technologie sind Gesamtkosten und

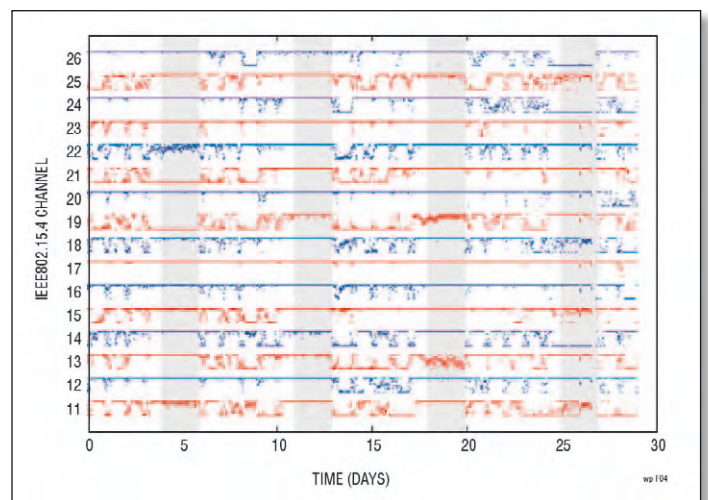


Bild 4: Das Datenübertragungsverhältnis einer drahtlosen Verbindung, wie es sich über die Zeit entwickelt

Flexibilität. Wireless Technologien reduzieren die Installationskosten dramatisch, verglichen zu verdrahteten Lösungen. Die während der angezielten Lebensdauer notwendigen Batteriewechsel erhöhen aber diese Gesamtkosten. Die Protokolle müssen auch so ausgelegt sein, dass sie eine Skalierung in Sachen Dichte und Gesamtzahl der Sensoren zulassen und Interferenzen tolerieren, damit kein Sensorknoten verloren geht.

WSNs müssen so ausgelegt sein, dass sie in allen Umgebungen Linklayer Packet Delivery Ratios (PDR, Datenübertragungsverhältnis) bis herunter zu 50% liefern.

Für Industrieapplikationen ist dieses Ziel mindestens 99,9% der generierten Daten; fehlende Daten können eine teure Alarmierung auslösen. Zweitens muss das System einen bestimmten Datendurchsatz je Sekunde unterstützen. Drittens sind die empfangenen Datenpakete nur nützlich, wenn sie innerhalb einer gewissen Latenzzeit empfangen werden.

Applikationen

Linears Dust Networks SmartMesh-Produkte beinhalten Bauteile nach Wireless HART und auch 6LoWPAN-konforme IPv6 Produkte, die 802.15.4 entsprechen. So bietet man die zuverlässigsten und sparsamsten WSN-Lösungen auf dem Markt. Die winzigen Dust Eterna-Bauteile der LTC5800-Familie sind Single Chip Bausteine mit Cortex-M3 μ P, Speicher und Peripherie (Bild 5). Sie sind der derzeit sparsamste 802.15.4-Funk. Designer integrieren diese Winzlinge in ihr Sensorgehäuse, und können sich dann auf den sicheren und optimalen Netzwerkbetrieb verlassen, der die Sensordaten zur Applikation bringt. Dust Manager ermöglichen die elegante Skalierung von zehn bis tausenden Komponenten, die Daten bereitstellen und Schnittstellen zum Netzwerk bieten. Beide Produktfamilien bilden ein hochzuverlässiges Multihop-Maschen-Netzwerk

für jede konfigurierbare Datenrate. Sie lösen viele WSN Probleme. Im Folgenden einige Beispiele, die Dust-Komponenten und Manager verwenden:

Parken – Streetline3 ist ein intelligenter Parkplatzanbieter, der in Echtzeit die Verfügbarkeit von Parkplätzen übermittelt. Die Detektoren sind unter dem Parkplatz bündig im Pflaster angebracht. Das Problem ist, dass so die Antenne im Untergrund ist und durch das Fahrzeug abgedeckt wird. Deshalb ist Raumdiversity notwendig, um unterschiedliche Fahrzeugpositionen zu beherrschen. Streetline installiert Repeater erhöht an Straßenlaternen, um eine Sichtverbindung zu den verdeckten Sensoren herzustellen. Diese Repeater bilden ein Multi-hop-Maschennetzwerk, um die Besetzt-Daten zu einem lokalen Netzwerkmanager zu übermitteln, der sie in einer Stadt-übergreifenden Datenbank zusammenfasst und an Kunden und die Verwaltung weiterleitet. Wireless Technologie ist für diese Applikation entscheidend,

da es unmöglich ist, Kabel zu jedem Parkplatz zu legen. Außerdem verringert heutzutage die stromsparenden Funk-Technologie die Anzahl der notwendigen Batteriewechsel.

Energie Monitoring – Vigilent4 bietet intelligente Energiemanagementsysteme für Inhaus-Anwendungen wie Datenverarbeitungszentralen, wo eine Umgebungstemperatursteuerung entscheidend ist. Eine punktuelle Temperaturerhöhung kann Geräte beschädigen, und auf der anderen Seite läuft die Klimaanlage ohne Grund andauernd und verbraucht unnötig Energie. Projektplaner wollen aber bestehende Netzwerke nicht verwenden, deshalb hat Vigilent drahtlose Lösungen im Programm, die den normalen Betrieb nicht stören. Da auch die Sicherheit eine Rolle spielt, ist ein drahtloses Protokoll erforderlich, das eine End-to-End-Verschlüsselung aller Datenpakete und zusätzliche Sicherheit dem Netzwerkmanager bereitstellt. Im Datenzentrum ist eine hohe Dichte an Sensoren erforderlich, des-

halb hat Vigilent Erfolg mit der Installation von multiplen und sich überlappenden Netzwerken, um die erforderliche Anzahl von Sensoren unterzubringen.

Schlussbemerkung

Mehrkanalige zeitsynchrone Maschennetzwerke auf Basis von 802.15.4-Funkverbindungen adressieren die meisten Herausforderungen beim Aufbau von flexiblen, zuverlässigen drahtlosen Sensornetzwerken mit geringem Leistungsbedarf.

Referenzen

1. http://www.hartcomm.org/hcf/documents/documents_spec_list.html
2. L. Doherty, W. Lindsay, J. Simon, K. Pister, "Channel-Specific Wireless Sensor Network Path Analysis," Proc. ICCCN '07, Honolulu, HI, 2007.
3. <http://www.streetline.com/>
4. <http://www.vigilent.com/>

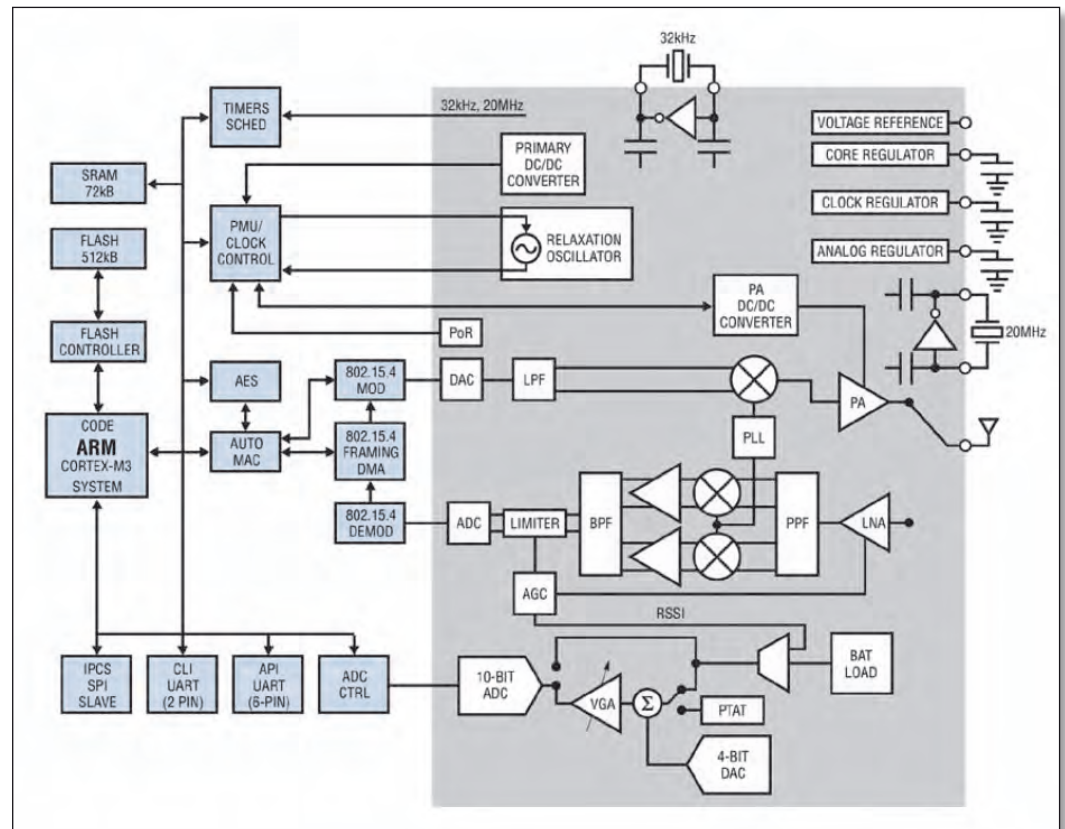


Bild 5: Blockdiagramm des LTC5800