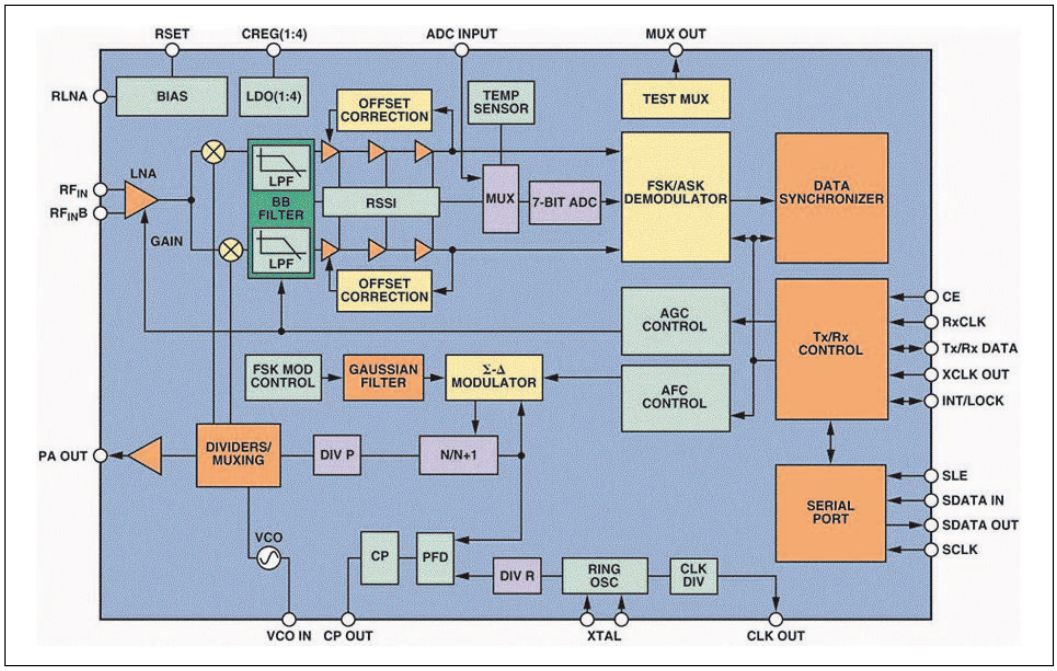
Short-Range Radio auf den Punkt gebracht

Ein Short-Range Radio oder Short-Range Device (SRD) ist in der Regel ein hochintegriertes Sende-/Empfangssystem (Transmitter + Receiver = Transceiver) auf einem einzigen Chip, ein vielseitiger Baustein, mit dem die Realisierung zahlreicher drahtloser Datenübertragungs-Applikationen gelingt.



Ein solches Kurzstrecken-Funksystem zu entwickeln, kann ein anspruchsvolles Ziel sein, auf dessen Weg durchaus einige Stolpersteine und Fallen lauern. Dieser Beitrag bringt Grundlagen und will helfen, Schwierigkeiten zu umgehen.

SDRs unterscheiden sich von anderen drahtlosen Devices, die etwa Bluetooth, Ultra-Wideband (UWB), WiFi oder ZigBee nutzen, durch ihre einfache Punkt-zu-Punkt oder Punkt-zu-Multipunkt-Verbindung. Es erfolgt also keine Vernetzung. Dennoch ist eine große Zahl von Anwendungen möglich, s. Kasten und Bild 1. Bitte beachten: Auch die obigen vernetzten Anwendungen und andere werden manchmal unter „Short-Range“ eingeordnet.

Ein digitales Kurzstrecken-Funksystem wird im Wesentlichen durch

- Funkfrequenz,
- Übertragungsprinzip (Ein- oder Zweiweg),
- Modulationsart,
- Übertragungsprotokoll,
- Antenne bzw. abgestrahlte Leistung,
- Stromversorgung und
- typische Reichweite

gekennzeichnet. Weiterhin sind die Kosten von hoher Bedeutung.

Eine breite Palette von Einchip-Transmittern, -Sendern und -Empfänger wird von verschiedenen Herstellern angeboten, wie der ADF7020, dessen Blockschaltung unser Aufmacherbild zeigt.

Wahl der Frequenz

Die Entwicklung hin zu immer höheren Frequenzen ist noch immer zu beobachten. Sie ist ganz einfach durch verbesserte Halbleitertechnologien möglich geworden. Höhere Bänder bieten mehr Kanalkapazität und sind bezüglich Ausbreitung einfacher kalkulierbar.

Die ISM-Bänder (s. Kasten) tragen den Hauptteil des Kurzstreckenfunks. In der Bundesrepublik Deutschland gilt u.a. auch der Bereich 149,995...150,005 MHz als ISM-Band. Rechtlich anders gestellt, aber oft mit einem ISM-Band verwechselt wird das SRD-Band von 863 bis 870 MHz, das europaweit exklusiv für Funkkommunikation mit kurzer Reichweite reserviert wurde. Für den internationalen Einsatz gibt es daher oft Geräte für wahlweise 433 MHz (ISM-Band Region 1), 868 MHz (SRD-Band Europa) oder 915 MHz (ISM-Band Region 2).

Doch wie soll man sich entscheiden, ob man vielleicht im 868/915-MHz-Bereich oder etwa bei 434 MHz arbeitet? Die Frequenzauswahl braucht Vorgaben, Bedingungen. Man zieht daher

SRD – die häufigsten Applikationen

- RFID
- Garagentüröffner
- Auto-Türschließanlage
- Reifendruckmessung
- Fernthermomenter
- drahtlose Sensor-Telemetrie
- ferngesteuertes Spielzeug
- Gebäudeautomation
- Sicherheitssysteme
- drahtloses Patienten-Monitoring
- industrielle Prozesskontrolle

Ing. Frank Sichla
Redaktion hf praxis

gleiche oder ähnliche Applikationen heran und setzt auf die dort verwendeten Frequenzen. Hierbei sollte man nicht vergessen, zu prüfen, ob modernste Spielarten nicht schon auf höheren Bändern arbeiten. Die meisten Einchip-Transceiver in Europa arbeiten bei 868 MHz sowie in den Bändern 2,4…2,5 GHz und 5,7...5,8 GHz. Besonders im Bereich 2,4…2,5 GHz sind lokale WiFi-Netzwerke ebenso angesiedelt wie Bluetooth, schnurlose Telefone, ZigBee, Mikrowellenöfen und andere Anwendungen. Dieses Band wird allerdings weltweit benutzt.

Die Frequenzbereiche sind in der Regel Funkdiensten auf primärer oder sekundärer Basis zugewiesen. Beispielsweise im 433-MHz-ISM-Band hat Amateurfunk Primärstatus. Sekundäre Anwendungen, wie DRDs, haben Störungen hinzunehmen. Bild 2 bringt eine Impression vom 433-MHz-ISM-Band in Deutschland. Es wird nicht mehr für neue Geräte verwendet. Bild 3 zeigt die Situation im 868/915-MHz-Bereich.

Insbesondere wenn man speziell für ISM gefertigte Chips nutzt, ist oft keine Genehmigung oder Lizenz erforderlich. Das fertige Produkt muss allerdings den ISM-Regeln entsprechen. Das häufigste Design-Problem liegt in einem ungünstigen Platinen-Layout. Der Entwickler sollte die Regeln kennen, die man beim Entwickeln einer HF-Platine anwenden muss.

Die Frequenzwahl kann sich auch darauf gründen, dass Schwierigkeiten und Einschränkungen, die sich bei bestimmten Frequenzen ergeben, umgangen werden. Hierzu zählen in erster Linie mögliche Störungen aus der unmittelbaren Umgebung. Oder die Tatsache, dass 868-MHz-Wellen Wände besser durchdringen als 2,4-GHz-Wellen. Weiter ist die frequenzabhängige Freiraumdämpfung (Streckendämpfung) zu beachten. Bild 4 zeigt diese für drei ISM-Bänder.

Ist eine Frequenz ins Auge gefasst, werden die sich daraus ergebenden Konsequenzen geprüft. Hierzu gehören z.B. die erforderliche Versorgungsleistung oder die Antennengröße.

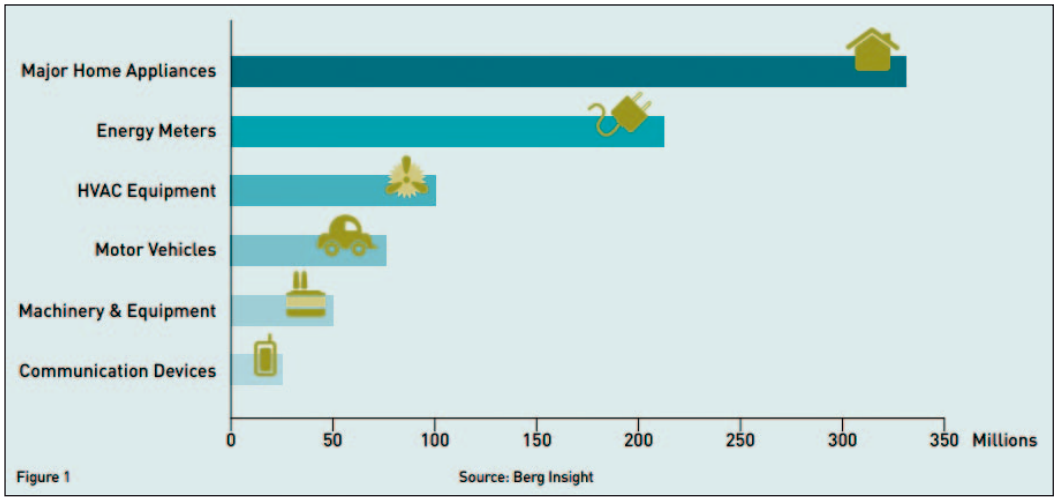


Bild 1: Marktüberblick

Übertragungsprinzip und Modulationsart

Oft wird nur eine Einwegkommunikation verlangt. Das sind die kleinen bekannten Anwendungen, wie Garagentoröffner oder Fahrzeugtüröffner. Demgegenüber wächst jedoch der Markt für Anwendungen mit Zweiwegkommunikation. Hier sorgen Rückmeldungen für eine erhöhte Sicherheit und Zuverlässigkeit. Nicht selten wurden ehemalige Einweg-Anwendungen zu Zweiweganwendungen weiterentwickelt.

Das Datenaufkommen, die Frequenz und die Verhältnisse auf der Übertragungsstrecke bestimmen die Modulationsart. Für die Analogübertragung haben sich die klassiche Amplitudenmodulation (AM) und die Winkelmodulation (Frequenzmodulation oder Phasenmodulation) bewährt. AM punktet mit dem Vorteil eines schwankenden Trägers, sodass eine effiziente Übertragung möglich ist. Ein FM-System erreicht ein gutes Signal/Rausch-Verhältnis auch bei recht hoher Modulationsfrequenz (Breitband-FM mit z.B. 200 kHz als Standard pro Kanal). Zu beachten bzw. von Vorteil ist hier die FM-Schwelle, diese Modulationsart ist nicht linear. Der Träger wird allerdings ständig mit voller Amplitude ausgesendet.

Eine bewährte digitale Modulationsart ist Amplitude-Shift Keying (ASK, Amplitudenumtastung). Man setzt sie vorteilhaft unter etwa 500 MHz ein. Weniger kritisch bezüglich der Frequenz und der Umgebung ist das Frequency-Shift Keying (FSK). Es bewährt sich daher in den neuen Reifendruck-Überwachungssystemen bei Fahrzeugen. Von Nachteil für die Energiebilanz ist die ständige Anwesenheit des Trägers. Im Frequenzbereich über 1 GHz ist oft die Modulationsart Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS, direkt erzeugtes Spreizspektrum) anzutreffen. Diese Modulationsart bietet eine hohe Nachbarkanal-Unterdrückung und kann sich gut gegen eine hohe Belegungsdichte im Übertragungsband behaupten. Im Gegensatz zu AFK und FSK ist der Hardware-Aufwand aber beachtlich.

Das Kommunikationsprotokoll

Bekanntlich ist ein Übertragungsprotokoll eine Vereinbarung, nach der die Datenübertragung zwischen zwei oder mehreren Parteien abläuft. Es umfasst die Regeln, die Syntax, Semantik und Synchronisation der Kommunikation und kann durch Hardware und/oder Software implementiert werden. Auf der untersten Ebene definiert ein Protokoll das Verhalten der Verbindungs-Hardware.

Übertragungsprotokolle unterscheiden sich stark in Zweck und Komplexität. Sie üben u.a. die Datenflusskontrolle aus (Handshaking), vereinbaren verschiedene Verbindungscha-

ISM-Bänder bis 6 GHz		
6,765... 6,795 MHz	A	SRD
13,553...13,567 MHz	B	SRD
26,957...27,283 MHz	B	SRD
40,66...40,70 MHz	B	SRD
433,05...434,79 MHz	A	SRD*
902...928 MHz	B	nur Region 2 (Nord- und Südamerika)
2,4...2,5 GHz	B	-
5,725...5,875 GHz	B	-
A: Genehmigung erforderlich, B: weitere Bereiche möglich		
* nur Region 1 (Europa, Afrika, Nachfolgestaaten UdSSR und Mongolei)		

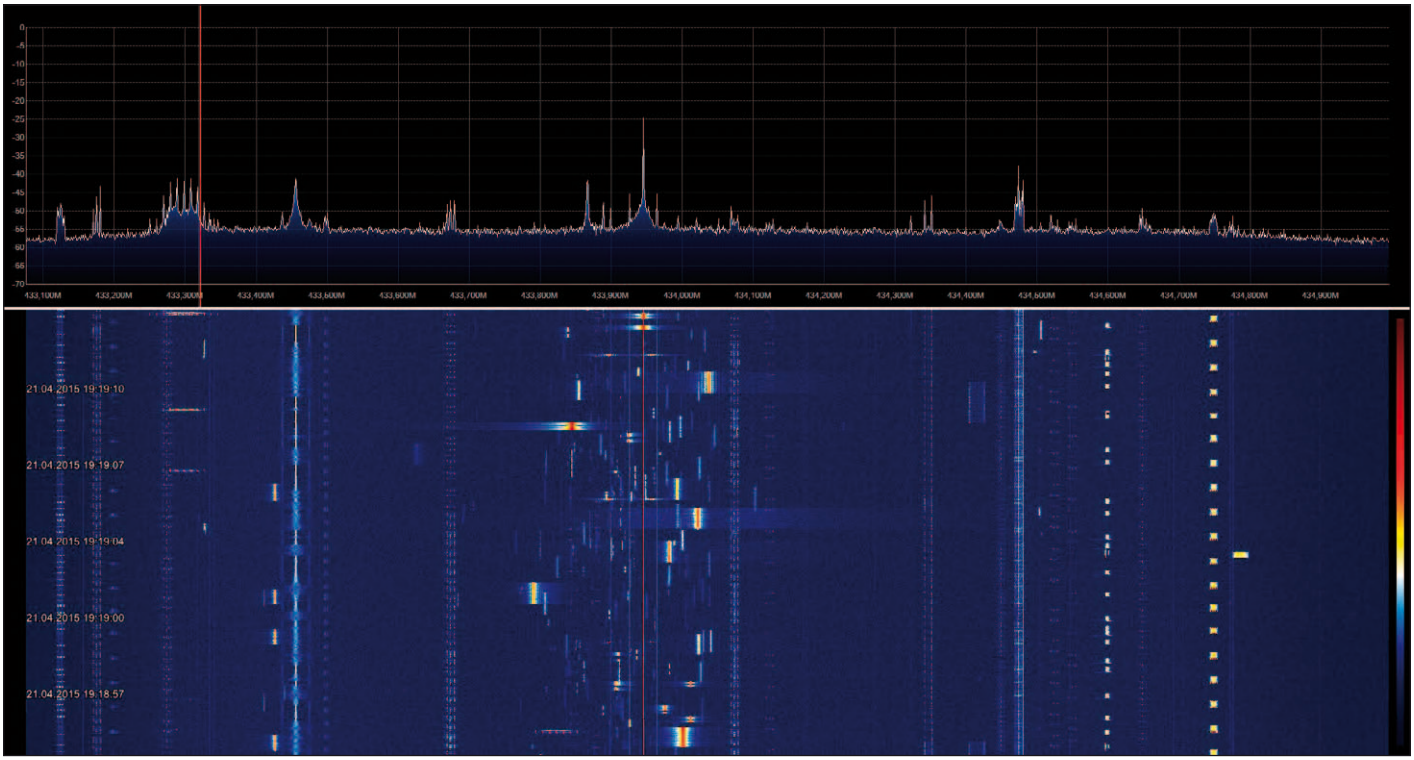


Bild 2: 433-MHz-Band-Spektrum in einer Großstadt (Quelle: Wikipedia)

rakteristiken, definieren, wie eine Botschaft beginnt, endet und formatiert ist, umfassen oft Fehlerkorrekturverfahren und definieren das Beendigen der Verbindung. Viele Kommunikationsprotokolle sind in den RFCs der Internet Engineering Task Force (IETF) beschrieben.

Für SRDs genügen die einfachsten Protokolle, da keine Vernetzung erfolgt. Die Auswahl des Übertragungsprotokolls ist praktisch an jeder beliebigen Stelle des Design-Prozesses denkbar. Hier wird dann u.a. die Struktur der Daten, die Art der Decodierung und die Form des Handshakings festgelegt. Außerdem zeigt sich, wie das System mit der Ressource Frequenz/Bandbreite umgeht. Für den Kurzstreckenfunk stehen einige Standardprotokolle zur Verfügung. Für die Auswahl entscheidend ist die Übertragungsart (Einweg/Zweiweg).

Short-Range Devices machen es möglich, eigene Protokolle einzusetzen. Die Übertragung von zu Packets zusammengestellten Bytes minimiert den Stromverbrauch. Das Protokoll kann eine Adresse nutzen, um einen bestimmten Punkt zu definieren. Mehrfachaussendung verbessert die Übertragungssicherheit.

Evaluation Boards, Protokoll-Software und Referenz-Designs werden von den Chip-Herstellern angeboten und erlauben die Entwicklung von Funkverbindungen in kurzer Zeit.

Vorteile von Lithiumbatterien (Li+)

- kompakte Größe
- hohe Energiedichte
- lange Lebensdauer (geringe Selbstentladung)
- hoher Spitzenstrom möglich
- großer Lager- und Betriebstemperaturbereich
- relativ stabile Spannung

Auswahl der Antenne

Das herausragende Kennzeichen von Funktechnik sind die Antennen, darin unterscheiden sich funktechnische Anendungen von rein elektronischen. Die Antenne mit ihren vielfältigen Kennwerten (s. Kasten) ist auch das bestimmende Element eines Senders oder Empfängers. Ihr Einfluss auf die Leistungsmerkmale des Übertragungssystems ist enorm. Es kommt nicht nur darauf an, den optimalen Grundtyp zu wählen, sondern auch nähere Ausgestaltung, Orientierung im Raum und Ankoppelung an Sender/Empfänger sind entscheidend für Übertragungssicherheit, Gesamteffizienz und Störungsproblematik.

Aufgrund ihrer hohen Bedeutung kann die Antenne durchaus wesentliche Eigenschaften des Systems bestimmen, wie Frequenz und Modulationsart.

Der Kurzstreckenfunk bedient sich verschiedener Antennenformen, stark vertreten sind kleine (magnetische) Loops, die direkt auf der Leiterplatte ausgeführt werden. Aber auch elektrische Antennen, wie Viertelwellen-Monopol und Halbwellen-Dipol, sind anzutreffen. In kurzer Entfernung, wenn sich das Fernfeld aufgebaut hat, strahlen diese Antennen ein elektromagnetisches Feld ab. Die Empfangsantenne reagiert je nach Typ stärker auf magnetischen oder elektrischen Feldanteil.

An erster Stelle bei der Antennenauswahl steht der verfügbare Platz. Ist dieser gering, ist eine hohe Funkfrequenz von Vorteil. Beim Short-Range Radio kann man grundsätzlich zwischen integrierten (internen) und externen (mit Kabel fest oder über Steckverbinder an Sender oder Empfänger gekoppelt) Antennen unterscheiden.

Bei Loops auf der Platine ist die Dielektrizitätskonstante des Materials zu beachten. Aus ihr resultiert ein Verkürzungsfaktor: Die Welle breitet sich nicht so schnell aus wie im Vakuum. Magnetantennen sind grundsätzlich weniger anfällig auf die Umgebung, beispielsweise auf die Annäherung einer Hand. Bei einer Monopolantenne hat die Ausgestaltung der Massefläche einen großen Einfluss auf die

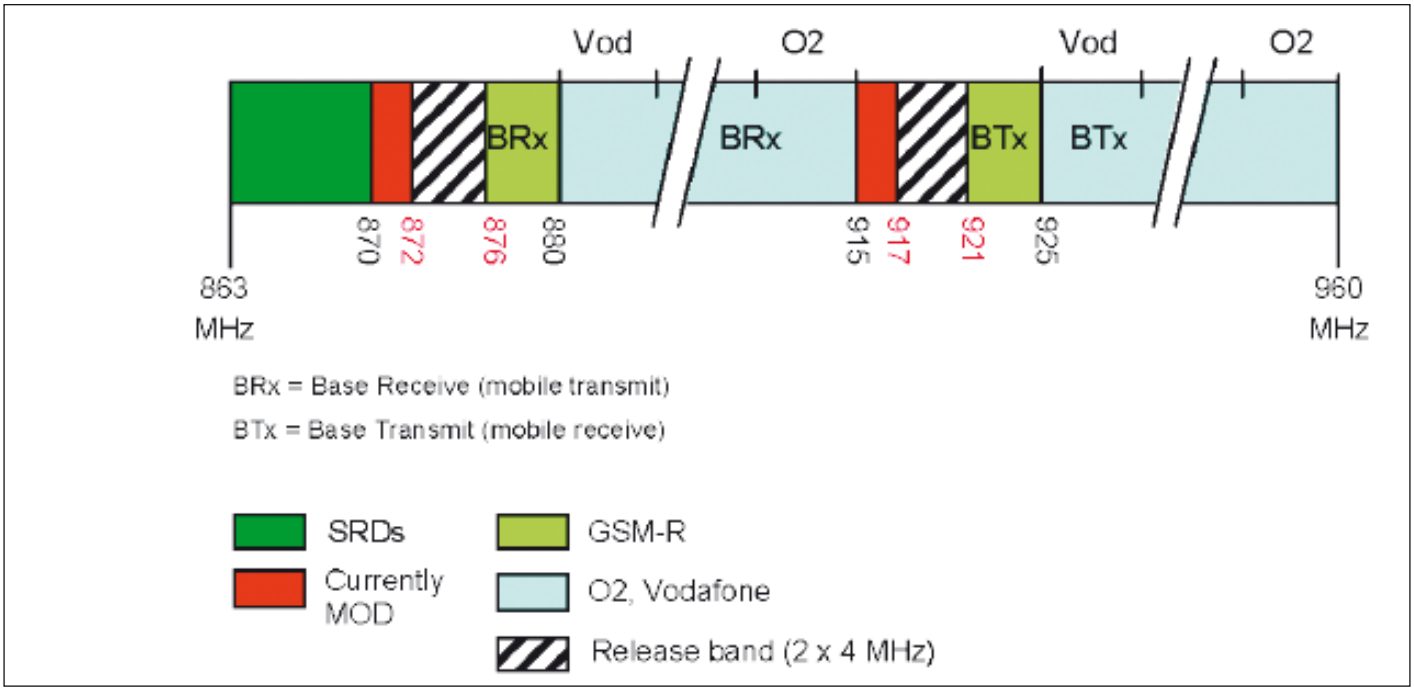


Bild 3: Funkdienste im 868/915-MHz-Bereich

Funktion, insbesondere auf das Richtdiagramm.

Short-Range-Transceiver liefern HF-Ausgangsleistungen in der Größenordnung von 1 mW (0 dBm) bis 100 mW (20 dBm). Die in Vorzugsrichtung abgestrahlte Leistung (effektive Strahlungsleistung bzw. Equivalent Isotropic Radiated Power, EIRP) erhält man durch Multiplikation mit dem Gewinn der Antenne. Beträgt der Sender-Output z.B. 3 dBm und der Gewinn 7 dBm, so folgt eine EIRP von 10 dBm (10 mW). Nur wenige externe Bauteile genügen, um die Antenne an den Transceiver anzupassen, egal, ob Loop, Viertelwellen-Monopol oder Halbwellen-Dipol.

Die beim Empfänger ankommende Leistung ist nicht nur von der Ausgangsleistung des Senders abhängig, sondern auch von Gewinn (Richtcharakteristik) und Ausrichtung der Antennen zueinander.

Zur Stromversorgung

Bei den Batterien und Akkus wurden in den letzten Jahrzehnten und Jahren Fortschritte erzielt, die sich in einer höheren Energiedichte und einer längeren Lebensdauer wiederspiegeln. Aktuell gibt es daher vielfältige Möglichkeiten zur Versorgung eines Kurzstrecken-Funksystems. Sie müssen nicht zwangsläufig eine Batterie nutzen, sondern können sich auch eines Busses (USB) bedienen. Bewährt haben sich wiederaufladbare Zellen (1,2 V), kleine Alkalinezellen (1,5 V) und Lithiumbatterien (3 V). Li+ Batterien bieten besonders viele Vorteile, s. Kasten. Zu beachten ist eine ungefähre Verdopplung des Innenwiderstands bei Abfall der Spannung auf 2,8 V.

Relativ neu ist die Energieernte. Bereits 2010 hat die ehemalige Firma Jennic eine Technik demonstriert, bei der nur 100 µJ an Energieernte von einem elektromechanischen Schalter ausreichen, um mehrere Funktelegramme in einem System zu übertragen. Verbraucht wird für 7 ms das Energieäquivalent von 7 mA bei 2 V entsprechend 100 µJ. Damit führte Jennic als erster Anbieter von drahtlosen µCs vor, dass ZigBee-Kommunikation mit einem so niedrigen Energieangebot möglich ist.

Die Batterielebensdauer stellt immer noch das Hauptproblem dar, besonders beim relativ stromintensiven Sender. Man sollte daher unbedingt auf den Wirkungsgrad der Senderendstufe schauen. Aber auch das gewählte Übertragungsprotokoll hat großen Einfluss auf die Energiebilanz. Darüberhinaus sollte die Batterielebensdauer unter weiteren Gesichtspunkten, wie Startup-Zeit, Mikrocontroller-Strombedarf, Verhältnis von Senden und Empfangen, Modulationsart oder Strombedarf im Standby/Sleep-Modus, betrachtet werden. Nicht zu vergessen ist die Selbstentladung. Sie hängt sehr von der Grundtechnologie der Batterie ab.

Die Reichweite

Hohe Datenraten verkürzen zwar die Sendezeit und sparen so Strom, schränken aber auch die Reichweite ein.

Für Kurzstrecken-Funksysteme mit ihren hohen und sehr hohen Frequenzen gilt die quasioptische Reichweite. Es gibt im Freien eine direkte Welle, die sich fast wie Licht ausbreitet. Im Gegensatz zu Licht werden jedoch auch Gegenden kurz hinter dem Horizont noch erreicht, wenn die abgestrahlte Leistung ausreichend ist. Ungefähr 1 km Reichweite ist praktisch das Maximum. Bei vielen Anwendungen genügen jedoch bereits etwa 10 m.

Die typische Reichweite hängt von einigen Faktoren ab, besonders von Frequenz, Sender-Ausgangsleistung, Antennengewinn und Empfängerempfindlichkeit. Auf den Gigahertz-Frequenzen haben im Inneren von Gebäuden reflektierende und dämpfende Objekte einen großen Einfluss

Wichtige Antennenkennwerte

- Absorptionsfläche (Wirkfläche)
- Richtfaktor und Gewinn
- Öffnungswinkel
- Polarisation
- Bandbreite (z.B. für SWR 2)
- Impedanz (Fußpunktwiderstand)
- Nebenkeulendämpfung
- Vorwärts/Rückwärts-Verhältnis
- Wirkungsgrad
- Abmessungen

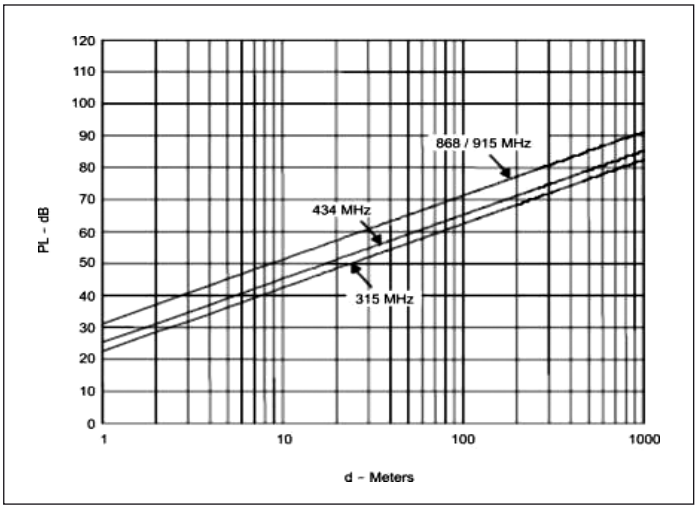


Bild 4: Verlauf der Freiraumdämpfung bei verschiedenen ISM-Bändern (Quelle: Matthew Loy/Iboun Sylla, Texas Instruments)

und außerhalb von Gebäuden die atmosphärischen Bedingungen. All diese Faktoren können vom Designer nicht vorausgesehen werden, er muss sich auf Erfahrungswerte stützen.

Die einfachste Steigerung der Reichweite gelingt zwar durch Erhöhung der Transmitter-Ausgangsleistung, ist jedoch aus Gründen der Energieeffizienz sowie wegen möglicher Störaussendungen problematisch. Leider wird diese simple Art der Reichweitensteigerung dennoch oft bevorzugt. Zu bedenken ist hier, dass ein PA-Wirkungsgrad sukzessive mit steigender Frequenz abfällt. Auf den höchsten Bändern braucht man also auch einen höheren Versorgungsstrom. Weiter steigen bei einfacher Ausgangsleistungserhöhung auch alle erzeugten unerwünschten Anteile (Sub-Harmonische oder Oberwellen) proportional an. Das könnte bestehende Vorschriften zur EMI (Electromagnetic Interference) verletzen.

Besser, aber auch anspruchsvoller ist es, sich näher mit der Antenne zu befassen und z.B. zu versuchen, deren Effizienz zu erhöhen. Die Richtwirkung einer Antenne wird grob durch Richtfaktor und Gewinn beschrieben. Der Richtfaktor geht von einer verlustlosen Antenne aus, der Gewinn ist der Richtfaktor, reduziert um die Antennenverluste. Besonders dann, wenn es sich um elektrisch verkürzte oder zwangsläufig in absorbierender Umgebung montierte Antennen handelt, können diese enorm sein. Die einfachsten Antennen der Kurzstrecken-Funksysteme bieten Wirkungsgrade im Bereich von nur 10 bis 30%.

Je empfindlicher der Empfänger, umso größer die mögliche Reichweite – eine ansonsten störarme Umgebung vorausgesetzt. Auch hier sollte das Thema Antenne nicht vernachlässigt werden. Eine gut bündelnde und effiziente Empfangsantenne mit der richtigen Bandbreite kann eine mittelmäßige Empfindlichkeit des elektronischen Teils des Empfängers ausgleichen. Je höher die Antenne(n) im Außenbereich, umso größer sollte die Reichweite sein. Wenn es um die Empfängerempfindlichkeit geht, sollte man wissen, dass ASK als Modulation hier eine gute Basis für einen hohen Wert darstellt. Je höher die Frequenz, umso wichtiger ist die Empfängerempfindlichkeit, da mit steigender Frequenz das Außenrauschen (das sogenannte Antennenrauschen) fällt. Auch die Datenrate hat einen beachtlichen Einfluss: Geringe Geschwindigkeiten sind mit besseren Empfindlichkeitswerten verbunden. SRDs beschränken sich daher auf geringe Geschwindigkeiten im Bereich 1 bis 10 kbit/s. Nur in Ausnahmefällen geht man über 100 kbit/s.

Last not least: die Kosten

Auch oder gerade im Bereich Short-Range Radio ist der Wettbewerbsdruck hoch, sodass Kostenüberlegungen sehr wichtig sind. Diese Funksysteme können fast nicht billig genug sein. Der Markt für integrierte Lösungen ist groß. Der Trend bei den Sende-ICs geht in Richtung Einfachheit. Obwohl die Anzahl der Pins relativ gering ist, genügt doch eine simple Peripherie, da die Hersteller schon integriert haben, was nur möglich ist. Es genügt ein Minimum an Anpass-Komponenten und ein einziger Entkoppelkondensator am Stromversorgungs-Pin. Das ermöglicht eine sehr kleine nur zweiseitig kupferkaschierte Platine. Trotzdem bleibt dem Designer eine recht hohe Flexibilität, um den Transmitter für seine Anwendung zu optimieren. Die Wahl der richtigen Entwicklungs-Software kann entscheidend sein nicht nur für den technischen, sondern auch für den wirtschaftlichen Erfolg (Beispiel s. Kasten).

FS

Typischer Aufbau eines Short-Range Transceivers

Ein typischer SRD Transceiver für 433/868/915 MHz enthält folgende Funktionsblöcke:

- Frequency Shift Keying (FSK)
- Gauß-Filter für FSK
- Amplitude Shift Keying (ASK)
- Gauß-Filter für On-Off Keying (OOK)
- Datenverarbeitung mit 0,3 bis 200 kbits/s
- Empfänger für mögliche Bit Error Rate (BER) von -107... -120 dBm
- Sender/Power Amplifier (PA) für -15 bis + 13 dBm

ADI SRD Design Studio

Diese Software wurde speziell für die Entwicklung von drahtlosen Short-Range-Systemen entwickelt. Das Tool erlaubt die Entwicklung und Optimierung solcher Systeme in kürzester Zeit. Die Realtime-Simulation vieler Parameters bei Nutzung der ADF7xxx-Familie von Transceivern und Transmittern ist möglich. Die Modulation kann sowohl im Zeit- als auch im Frequenzbereich dargestellt werden (Time und Frequency Domain). Weiterhin wird der allgemeine Entwicklungsprozess unterstützt durch Führung des Nutzers und Unterteilung des Prozesses in einzelne, gut überschaubare Schritte. Die Software ADI SRD Design Studio ist frei erhältlich von https://form.analog.com/Form_Pages/RFComms/SRD-DesignStudio.aspx.

Referenzen

Recommendation ITU-R SM.1896 (11/2011) Frequency ranges for global or regional harmonization of short-range devices

Report ITU-R SM.2153-3 (06/2012) Technical and operating parameters and spectrum use for short-range radiocommunication devices

Report ITU-R SM.2154 (09/2009) Short-range radiocommunication devices spectrum occupancy measurement techniques

Report ITU-R SM.2179 (09/2010) Short-range radiocommunication devices measurements

Report ITU-R SM.2210 (06/2011) Impact of emissions from short-range devices on radiocommunication services