

Vergleich des Energieverbrauches der Protokolle Z-Wave und Zigbee

David Brodski

Betreuer: Christoph Soellner

Seminar Sensorknoten: Betrieb, Netze und Anwendungen SS2010

Lehrstuhl Netzarchitekturen und Netzdienste, Lehrstuhl Betriebssysteme und Systemarchitektur

Fakultät für Informatik, Technische Universität München

Email: brodski@in.tum.de

KURZFASSUNG

Sensornetzwerke sind bei der Überwachung und Steuerung von Anlagen und Gebäuden eine große Hilfe. Jedoch ist es nicht immer möglich die dafür notwendige Stromversorgung bereitzustellen, sodass die Knoten mit Batterie betrieben werden müssen. In diesem Text geht es daher um die Energiesparmaßnahmen von Zigbee und Z-Wave. Angesprochen wird der Protokollaufbau, das Routing und die Gerätetypen mit Fokus auf die Möglichkeiten zum Stromsparen. Im zweiten Teil werden die beiden Funktechniken verglichen und die Batterielaufzeiten mit verschiedenen Batterietypen abgeschätzt. Eine Auswahl der richtigen Technologie für ein Sensornetz kann anschließend anhand der beigelegten Tabellen gemacht werden.

Schlüsselworte

ZigBee, Z-Wave, Energie

1. EINLEITUNG

Gebäudeautomatisierung wird in Zukunft eine immer wichtigere Rolle spielen. Dennoch sind bei späterem Einbau in ein Gebäude meist nicht die nötigen Kabel vorhanden. Dort sind dann verschiedene Funktechniken die einzige Möglichkeit, die anfallenden Daten zu transportieren. Da Strom nicht immer vorhanden ist, ist es oft notwendig, die Sensor- und Aktor-Knoten über Batterie zu versorgen. Ein Vergleich der verschiedenen Techniken ist daher wichtig, um die richtige Technik für das gewünschte Einsatzgebiet zu finden. Diese Arbeit besteht aus drei Teilen, im ersten Teil wird Zigbee vorgestellt, im zweiten Z-Wave. Der dritte Teil beinhaltet einen direkten Vergleich der beiden Funktechniken in verschiedenen Szenarien und mit verschiedenen Batterien.

2. FUNKTECHNIKEN IM VERGLEICH

In den zwei folgenden Abschnitten möchte werden zwei Funktechniken vorstellen, welche bei Sensornetzen Verwendung finden. Besonderes Augenmerk soll dabei auf die Energiesparmöglichkeiten dieser Funktechniken liegen. Spezielle Protokolldetails sind im folgenden also nur in Energiesparangelegenheiten zu finden.

2.1 Zigbee

Zigbee ist ein Kurzstreckenfunkverfahren, welches ein Wireless Personal Area Network (WPAN) implementiert. Es ist ausgelegt für eine Energie effiziente Datenübertragung von kleinen Datenmengen mit maximal 250 Kbit/s. Es baut

dabei auf IEEE Standard 802.15.4 auf und kann in den 868/915 MHz und im 2,4 GHz Band betrieben werden. Im 868/915 MHz Band kann dabei entweder mittels „Direct Sequence Spread Spectrum“ (DSSS) und dem „Binary Phase Shift Keying“ (BPSK), mittels DSSS und „Offset Quadrature Phase Shift Keying“ (O-QPSK) oder mittels „Parallel Sequence Spread Spectrum“ (PSSS) und „Amplitude Shift Keying“ (ASK) gearbeitet werden. Im 2,4 GHz Band wird mit DSSS und O-QPSK gearbeitet. Eine Implementierung des ebenfalls möglichen Frequenzsprungverfahrens (FHSS), wie sie bei Bluetooth verwendet wird, ist im IEEE 802.15.4 Standard nicht vorgesehen, da dafür eine längere Synchronisation notwendig wird.[6, Seite 57 bis 60]

2.1.1 Rahmen- und Datenformat bei der Übertragung

Auf den Ebene eins bis vier des OSI-Referenzmodells wird bestimmt, wie Daten einer Anwendung über das physikalische Medium versendet werden. Bei jedem Übergang von einer höheren Schicht auf eine niedrigere, werden dabei die Daten in einen Rahmen verpackt welcher zusätzliche Steuereinformationen enthält. Jeder Rahmen vergrößert das Paket und trägt somit einen wesentlichen Anteil an der Sendezeit und somit am Stromverbrauch bei. Ein Paket kann bei Zigbee maximal 133 Bytes groß sein, minimal 16 Bytes. Der Aufbau eines Paketes sieht folgendermaßen aus:

Physikalische Schicht (Schicht eins):

- 4 Byte Präambel
- 1 Byte Start Of Frame (SOF)
- 1 Byte Paketlänge (letztes Bit für Erweiterungen reserviert)

MAC Schicht (Schicht zwei)

- 2 Byte Frame Control - Steuerfeld für Art des Paketes
- 1 Byte Sequenznummer
- 4 bis 20 Byte Adressinformationen / PAN Nummer
- n Byte Nutzdaten
- 2 Byte Frame Check Sequenz (FCS) enthält eine CRC

Der minimale Overhead beträgt somit auf Ebene eins und zwei 12% bei kurzem Header (118 Byte Nutzdaten, 15 Byte Header) und 24% bei langem Header (31 Byte). Errechnen lässt es sich aus der Summe der Header Byte geteilt durch die maximal Länge eines Paketes.

Um auf einem Knoten mehrere Applikationen gleichzeitig getrennten Netzwerkzugriff zu ermöglichen, steht der so genannte „Applikation Support Sublayer“ (APS) bereit. Er befindet sich innerhalb der Nutzdaten der MAC Schicht und bietet eine Infrastrukturkonzept ähnlich der Ports bei UDP und TCP.

Netzwerk Schicht (Schicht drei)

- 1 Byte Frame Control
- 0-1 Byte Destination Endpoint
- 0-2 Byte Group Adresse
- 2 Byte Cluster Identifier
- 2 Byte Profile Identifier
- 1 Byte Source Endpoint
- 1 Byte APS Counter
- 0-n Byte Extended Header
- n Byte Nutzdaten

Nach Schicht drei beträgt der Overhead somit bereits mindestens 22 Byte und macht somit 17% eines Paketes mit 133 Byte aus oder mindestens 20% mehr muss gesendet werden. Bei einem Paket mit langem Header, d.h. alle zusätzlichen Bytes im Paket werden benützt (41 Byte Header) steigt der Overhead auf 31% an oder 45% an zusätzlichen Daten muss mitgesendet werden.

Zusammenfassend bedeutet dies, dass bei Ausnutzung der vollen Paketgröße, eine Anwendung mindestens 20% länger übertragen muss, als es die Datenrate vermuten lässt. Natürlich kann es durch Störungen oder Versenden von kleineren Paketen zu noch größeren Einbrüchen in der Datenrate kommen.[6, Seite 66 / 67]

2.1.2 Gerätetypen bei Zigbee

Im Zigbee Standard sind zwei Gerätetypen definiert. Da sie sich in der Hardware unterscheiden muss die Wahl des richtigen Typen bereits beim Entwurf der Anwendung berücksichtigt werden.[6, Seite 67]

Full Function Device. Ein Full Function Device (FFD) kann jede Rolle in einem Zigbee Netzwerk erfüllen und ist somit in jede Topologie einsetzbar. Als Koordinator kann es ein neues Netzwerk erstellen.

Reduced Function Device. Ein Reduced Function Device (RDF) besitzt weniger Rechenleistung und weniger Speicher und ist somit billiger herzustellen. Jedoch ist ein RDF nur in einer Stern-Topologie einsetzbar, da es einen Router (siehe 2.1.3) zum Versenden von Daten an andere Knoten braucht.

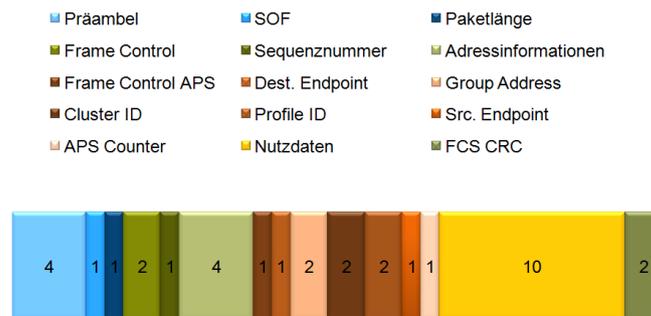


Abbildung 1: Zigbee-Paket mit 10 Byte Nutzdaten

2.1.3 Geräterollen bei Zigbee

In einem Zigbeenetzwerk kann ein Knoten einer der drei folgenden Rollen übernehmen, welche durch die Programmierung festgelegt wird:[6, Seite 84 - 87]

Der ZigBee Koordinator. In jedem ZigBee Netzwerk muss es genau einen Koordinator (ZigBee Coordinator - ZC) geben, welcher auf einem FFD Knoten läuft. Er hat folgende Aufgaben:

- Er startet ein neues ZigBee Netzwerk, indem er das Frequenzband scannt und den Kanal wählt, auf dem am wenigsten Störungen anzutreffen sind. Anschließend legt er die Identifikationsnummer des Netzwerkes fest (PAN ID) und startet damit das Netzwerk.
- Er erlaubt anderen Knoten dem Netzwerk beizutreten. Dazu teilt der Koordinator dem beitretenden Knoten eine temporäre 16 Bit Adresse zu. Die Kommunikation geschieht hierbei direkt mit dem Koordinator oder einem zwischengeschalteten Router (siehe 2.1.4).
- Er kann ein so genanntes „Trust Center“ beinhalten, welches Sicherheitseinstellungen und Schlüssellisten der Knoten verwaltet.
- Er kann auch als Router arbeiten (siehe 2.1.3)
- Er kann die selben Funktionen anbieten wie jeder Endpunkt, z.B. Steuerung einer Lampe

Da der Koordinator immer vorhanden sein muss, wenn ein Knoten dem Netzwerk beitreten will, ist der Koordinator in der Zigbee Spezifikation als nicht batteriebetriebener Knoten definiert. Natürlich muss der Koordinator das erste Gerät sein, welches in einem Netzwerk angeschaltet wird. Sobald alle Knoten dem Netzwerk beigetreten sind und sich der Zustand des Netzwerkes von der Aufbauphase in die normale Arbeitsphase gekommen ist, spielt der Koordinator keine wichtige Rolle mehr. Theoretisch könnte er somit ausfallen, da es jedoch noch keine standardisierte Methode zum Wiedereingliedern eines Koordinators gibt, würde der Koordinator nach dem Wiedereinschalten ein eigenes Netzwerk bilden.

Der Zigbee Router. Der Zigbee Router (ZR) oder auch „PAN Koordinator“ hat hauptsächlich die Aufgabe, Pakete im Netzwerk weiterzuleiten, um die Reichweite des Zigbee Netzwerkes zu erhöhen. Dazu meldet er sich zunächst am Netzwerk an und kann anschließend anderen Knoten die Möglichkeit bieten Daten über ihn zu senden. Falls diese sich noch nicht am Netzwerk angemeldet haben, können diese sich über ihn anmelden. Anschließend bekommen sie eine Adresse zugewiesen, welche diese Knoten eindeutig als seine Subnodes identifiziert. Dies ist wichtig, damit das Routing richtig funktioniert. Natürlich kann der Router auch eigene Anwendungen, wie z.B. Messsensoren, bereitstellen. Da der Router Pakete weiterleiten muss, muss er immer empfangsbereit sein. Daher ist er in der ZigBee Spezifikation als netzbetrieben ausgeführt. Batteriebetriebene Router werden zwar immer wieder angesprochen, sind aber mangels des noch nicht unterstützten Beacon-Enabled-Modus (siehe 2.1.5) in der Zigbee Spezifikation nicht vorgesehen.

Der Zigbee Endknoten. Ein Endknoten, genannt Zigbee End Device (ZED), im ZigBee Netzwerk trägt die eigentliche Funktionalität des Zigbeenetzes. Sie müssen keine Funktionalität des Routings und Managements bereitstellen und können damit auf RFD - Reduced Function Devices laufen. Daher müssen sie keinerlei netzwerkbetreffenden Informationen speichern, welches zu weniger Speicher- und Rechenbedarf führt. Daher sind sie wesentlich billiger herzustellen. Es gibt von ihnen typischerweise wesentlich mehr als von Routern bzw. Koordinatoren.

Zigbee-Endknoten können entweder immer empfangsbereit oder nur periodisch aktiv sein. Dies wird über den Hardwareparameter „RxOnWhenIdle“ festgelegt, welcher somit für einen Großteil der Energieeinsparungen zuständig ist. Falls „RxOnWhenIdle = false“ gesetzt wurde, kann über einen weiteren Parameter die Schlafphasen-Zeit in einem großen Bereich eingestellt werden. Wenn ein Knoten sich in einer Schlafphase befindet, werden Nachrichten, welche an ihn gesendet werden, beim nächsten näheren Router zwischengespeichert. Dieser muss somit eine Liste der Stromspar- und PollingEinstellungen und einen Puffer für Nachrichten besitzen.

2.1.4 Topologien

Durch Ausnutzung der Gerätetypen kann es zwei verschiedene Topologien auf der MAC-Ebene geben:

Stern. In einer sternförmigen Netzwerktopologie kommunizieren Endknoten über einen PAN-Koordinator um andere Endknoten zu erreichen. Dieser muss ein FFD sein, da RFDs nicht die nötige Hardware besitzt. Als Endknoten können sowohl FFDs als auch RFDs dienen.

Peer-to-Peer. In einer Peer-to-Peer (P2P) Topologie kommuniziert jeder Knoten direkt mit dem Empfänger, solange dieser sich in Funkreichweite befindet. Prinzipbedingt können somit an einer P2P Topologie nur FFDs teilnehmen. Diese Topologie entspricht einer voll vermaschten Topologie, wird aber bei ZigBee nicht so genannt. Die Aufgabe

eines PAN Koordinators übernimmt eine der Stationen.[6, Seite 68]

Zudem können beide Topologien gemischt werden. Hierbei ist zu beachten, dass RFDs nur über einen PAN Koordinator Zugang zu einer P2P Topologie erhalten können. Eine beliebte Mischtopologie ist die Baumstruktur welche auch im Routingprotokoll eine Rolle spielt.

2.1.5 Energiesparmöglichkeit Beacon-Enabled Modus

Speziell zum Betrieb von batteriebetriebenen Routern wurde der Beacon-Enabled Modus entwickelt. Er sorgt dafür, dass sich die Endknoten, welche nach der Schlafphase nicht mehr synchron arbeiten, anschließen wieder synchron sind. Zusätzlich werden mit dem Beacon-Enabled Modus zwei neue Hardware - Konfigurationsparameter eingeführt, die „mac-BeaconOrder“ (BO) welche die Schlafzeit zwischen zwei Beacons regelt, und die „Superframe Order“ (SO), welche die aktive Zeit innerhalb zwei aufeinander folgender Beacons regelt. Die Zeiten können jeweils zwischen 16ms und 252s geregelt werden. Er wurde nach [6] noch nicht in den Standard aufgenommen. In den Berechnungen in 2.3 wird mit dem Beacon-Mode gerechnet, da ohne ihn die Batterien in den Routern weniger als eine Woche halten.[6, Seite 78]

2.2 Z-Wave

Z-Wave wurde speziell für die Heimautomatisierung entwickelt. Beispiele hierfür sind die Steuerung von Lampen, Türschlösser und Hifi Equipment. Nicht vorgesehen sind dagegen Streaming Applications. Da Z-Wave ein proprietärer Standard ist, ist die Beschaffung der Protokollspezifikationen im Internet nur bedingt möglich. Die originalen Spezifikationen sind über die Z-Wave Alliance nur nach dem Unterschreiben einer NDA und dem Beitritt zu eben dieser, zu bekommen. Der Mitgliedsbeitrag beträgt 2500\$ im Jahr. Z-Wave sendet im 900MHz ISM Band auf den Frequenzen 908.42MHz (USA), 868.42MHz (Europa), 919.82MHz (Hong Kong), 921.42MHz (Australien/Neuseeland). Die Daten werden mittels Gaussian Frequency Shift Keying (GFSK) übertragen welches durch die Glättung der Frequenzübergänge die Oberwellenanteile verringert und somit die Spektralbreite begrenzt. Die Übertragungsrate liegt bei 9.600 bit/s oder 40 kbit/s [11], wegen Regulierungsaufgaben ist der Betrieb in Europa auf 1% Aktivität (duty cycle) bei 25mW beschränkt [6, Seite 51], in der USA ist dagegen der Betrieb nur mit 1mW erlaubt, dort jedoch ohne „duty cycle“ Beschränkung.[10]

2.2.1 Übertragung der Daten

Die Daten werden bei Z-Wave Manchester kodiert gesendet, dabei werden diese in 8 Bit Blocks aufgeteilt und das „Most Significant Bit“ als erstes gesendet. Der Manchester Code sorgt dabei für eine gleichstromfreie Übertragung und die Möglichkeit der Taktrückgewinnung beim Empfänger.

Auf der MAC Ebene sieht ein Paket folgendermaßen aus:

- 1 Byte Präambel
- 1 Byte Start of Frame (SOF)

- bis zu 64 Byte Daten
- 1 Byte End of Frame (EOF)

Da in dem mir vorliegenden Dokumenten leider keine genauen Informationen zu der Anzahl der Bytes vorliegen, sind die Byteangaben nur eine Interpretation der Grafik in [8, Kapitel 4 - Seite 7].

Der Transfer Layer beinhaltet die Informationen welche der Routing Layer zum Routen benötigt. Ein Paket des Transfer Layers besitzt folgende Informationen:

- 4 Byte Home ID
- 1 Byte Absender ID
- 1 Byte Frame Header
- 1 Byte Länge (bezieht sich sehr wahrscheinlich nur auf den Datenteil des Paketes)
- 1 Byte Ziel ID bei Singlecast; 1 - 232 Byte Ziel IDs für 1 - 232 Ziele bei Multicast; FFh bei Broadcast
- n Byte Daten
- 1 Byte Checksumme

Singlecast Pakete können hierbei ein Transfer Ack anfordern, welches einen erfolgreichen Empfang des Paketes bei dem nächsten Knoten signalisiert. Dieses besitzt hierbei die Nutzdatenlänge null. Zusätzlich zu einem Transfer Ack gibt es ein Routing Ack welches ein erfolgreiches Ankommen des Paketes beim Ziel signalisiert. Wie bereits auf der MAC Ebene sind die Bytelängen nur Schätzungen, die aus Zeichnungen in [7, Seite 9] und [5, Grafik 2] entnommen sind. Die Anwendungsschicht des Netzwerkes ist zuständig für die Dekodierung und Ausführung von Kommandos. Der Anwendungsteil sieht folgendermaßen aus:

- 1 Byte Application command class; 0 - 1Fh Z-Wave Protokoll, 20h - FFh Anwendung
- 1 Byte Application command
- n Byte Kommando Parameter / Daten

Insgesamt ergibt sich somit ein Header von 14 Byte, in welchem aber schon ein Kommando gesendet werden kann, daraus folgt dass der minimale Overhead eines Paketes bei 21% liegt (67 Byte maximale Paketlänge).

2.2.2 Gerätetypen

Z-Wave kennt zwei grundsätzliche Arten von Geräten, Controller und Slaves. Controller organisieren das Netzwerk und initialisieren auszuführende Kommandos. Nur Controller besitzen eine Routingtabelle. Slaves hingegen führen Kommandos aus und antworten auf diese. Beide Gerätearten können Daten weiterleiten falls es keine direkte Verbindung zwischen den kommunizierenden Knoten gibt, Slaves müssen dies aber speziell unterstützen (siehe 2.2.4).

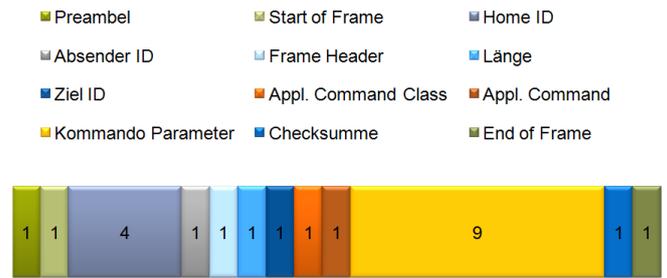


Abbildung 2: Z-Wave-Paket mit 10 Byte Nutzdaten

2.2.3 Geräterollen eines Controllers

Ein Z-Wave Controller kann im Netzwerk verschiedene Aufgaben erledigen. Der erste Controller im Netzwerk ist immer automatisch der „Master“ Controller. Er kann Knoten ins Netzwerk bringen oder diese vom Netzwerk ausschließen, dadurch hat er immer die aktuellsten Informationen über die Netzwerktopologie. Controller welche später hinzugefügt werden, werden „secondary“ Controller genannt. Sie können jedoch nicht wie der Master Controller neue Knoten ins Netzwerk einbinden. Des Weiteren gibt es noch sechs spezielle Arten von Controllern. [7, Seite 3 bis 5]

Portable Controller. Ein „Portable Controller“ ist ein Controller welcher seine Position im Z-Wave Netzwerk ändern kann. Er besitzt spezielle Mechanismen, um seine eigene Position im Netzwerk zu bestimmen und dadurch die kürzeste Route für die Daten zu wählen. Ein Beispiel hierfür wäre eine Fernbedienung.

Static Controller. Ein „Static Controller“ ist das Gegenteil eines portablen Controllers, er darf seine Position nicht ändern. Vorteil hiervon ist, dass routende Slaves immer sicher sein können, dass dieser in Empfangsreichweite ist, um Statusinformationen zu empfangen. Typischerweise ist ein statischer Controller ein secondary Controller. Beispiel hierfür wäre ein fest eingebautes Steuerpult.

Static Update Controller. In einem Z-Wave Netzwerk gibt es optional einen „Static Update Controller“ (SUC). Dieser bekommt Updates von Routinginformationen vom primären Controller und kann diese anschließend an andere Knoten weitergeben. Ein „Static Update Controller“ wird vom primären Controller bestimmt, es darf in einem Netzwerk immer nur einen geben.

SUC ID Server. Der „SUC ID Server“ (SIS) ist eine Erweiterung des SUC (siehe 2.2.3). Der SIS ermöglicht es anderen Controllern weitere Knoten ins Netzwerk aufzunehmen oder auszuschließen. Diese werden dann Inclusion Controller genannt und können im Namen des SIS Routingupdates erstellen. Um Eineindeutigkeit der Routinginformationen sicherzustellen, werden diese entweder mittels Timestamp

der Hinzufüge-/Entfernung oder des Updates vom SIS gekennzeichnet.

Installer Controller. Ein „Installer Controller“ ist ein portabler Controller, welcher weiterführende Diagnosefunktionen bereitstellt. Meist ist dies ein Controller, welcher von Installateuren zur Einrichtung des Netzwerkes genutzt wird.

Bridge Controller. Ein „Bridge Controller“ ist ein erweiterter statischer Controller. Er stellt Funktionen bereit, welche eine Kopplung des Z-Wave Netzes mit anderen Netzen erlaubt. Dafür speichert er Informationen zu den Knoten und kann 128 virtuelle Slaves kontrollieren. Ein virtueller Slave dient zur Repräsentation eines Knoten von einem anderen Netzwerk in das Z-Wave Netzwerk. Beispiel für einen „Bridge Controller“ ist ein Z-Wave - ZigBee Router.

2.2.4 Geräterollen eines Slaves

Slaves sind die Knoten in einem Z-Wave Netzwerk, welche die Anweisungen entgegennehmen und ausführen. Sie können nicht von selbst einen Datentransfer initialisieren. Ein Beispiel für einen Slave ist ein Dimmer. Zusätzlich gibt es noch vier spezielle Slave Arten:[7, Seite 5/6]

Routing Slave. Ein „Routing Slave“ besitzt die selben Funktionen wie ein normaler Slave, kann zusätzlich aber auch unaufgefordert Nachrichten an andere Knoten im Netzwerk schicken. Dazu besitzt er einen Speicher für statische Routen zu anderen Knoten welche die Nachrichten empfangen sollen. Wenn ein „Routing Slave“ mit einer Batterie betrieben wird, ist dieser dabei selber nicht in Routen anderer Knoten enthalten, andernfalls kann er Pakete bei Bedarf weiterleiten. Beispiele hierfür sind Temperaturfühler oder Bewegungsmelder, da diese selbständig Nachrichten initialisieren müssen.

Frequently Listening Routing Slave. Ein „Frequently Listening Routing Slave“ (FLiRS) ist ein „Routing Slave“ der mit Batterie betrieben wird. Um Strom zu sparen, wacht der Slave periodisch auf und versucht ein „wake up beam“ zu empfangen, welches anzeigt, dass Daten für ihn vorhanden sind. Beispiel hierfür wäre eine drahtlose Klingel.

Enhanced Slave. Ein „Enhanced Slave“ ist ein um ein EEPROM und eine Echtzeituhr erweiterter „Routing Slave“. Eine Anwendung hierfür könnte zum Beispiel eine Wetterstation sein.

Zensor Net Routing Slave. Ein „Zensor Net Routing Slave“ ist ein FLiRS Knoten mit zwei speziellen zusätzlichen Funktionen. Zum einen kann er sich in ein „Zensor Net“ integrieren, zum anderen besitzt er die nötigen Funktionen, um Nachrichten im „Zensor Net“ zu verbreiten. Dies ist in 2.2.6 genauer beschrieben.

2.2.5 Topologien

In Z-Wave wird nicht wie bei ZigBee eine Unterscheidung zwischen verschiedenen Topologien gemacht. Während der Einrichtung des Netzwerkes werden die möglichen Netzwerkpfade zwischen den Geräten ermittelt und anschließend an die Controller und „Routing Slave“ verteilt, welche anschließend mittels Source Routing Pakete versenden können. Die genaue Topologie des Netzwerkes spielt hierbei keine Rolle, da nur versucht wird, ein vermaschtes Netzwerk so zu erstellen, dass jeder Knoten erreichbar ist. Weiterhin wird versucht, Netzwerkpfade möglichst nicht über batteriebetriebene Knoten zu legen, sodass diese eine länger Laufzeit besitzen.

2.2.6 Energiesparmöglichkeit ZENSOR NET

Das „Zensor Net“ ist eine Erweiterung von Z-Wave, welche speziell auf die Bedürfnisse von batteriebetriebenen Sensornetzwerken zurechtgeschnitten ist. Zensor Net bietet zum Stromsparen drei Techniken an, den „Zensor Net Beam“, das „Zensor Net Binding“ und das „Zensor Net Flooding“.[8, Seite 15 bis 21]

Zensor Net Beam. Die „Zensor Net Beam“-Technik ist dafür zuständig, schlafenden Knoten anzuzeigen, dass Nachrichten für sie vorhanden sind. Dafür wird vom Sender ein „Beam“ über einen längeren Zeitraum gesendet. Ein Knoten mit FLiRS oder Zensor Net Technik wacht je nach Einstellung alle 250ms oder 1000ms für 4,5ms auf. Falls in dieser Zeit solch ein Beam erkannt wird, bleibt der Knoten im aktiven Zustand und kann die Nachricht, welche am Ende des Beams gesendet wird, empfangen. Falls der Knoten einen genauen Timer zum Aufwachen (WUT) besitzt, kann zusätzlich Energie gespart werden, indem der Empfänger die im Beam enthaltenden Zeitinformationen auswertet. Er kann sich so erneut schlafen legen, um zum Zeitpunkt der Daten wieder aufzuwachen und diese dann zu empfangen. Die Aufwachzeiten sind 250ms und 1000ms und decken die meisten Einsatzszenarien ab. Gründe für eine 250ms Aufwachzeit sind Anwendungen, bei denen der Benutzer eine direkte Rückmeldung erwartet, Beispiel hierfür ist eine Türklingel. Nachteil ist, dass eine 250ms Aufwachzeit 4 mal mehr Energie verbraucht als ein 1000ms Aufwachzeit. Anwendung für eine 1000ms Aufwachzeit sind zum Beispiel Langzeitmessungen mit Sensoren, bei denen die Verzögerung keine Auswirkungen hat, wie es bei Rauchmeldern der Fall ist.[8, Seite 15 bis 20]

Zensor Net Binding. Das „Zensor Net Binding“ sorgt dafür das alle Knoten, welche „Zensor Net“ unterstützen, sich gegenseitig kennen. Dies ist wichtig um sicherzustellen, dass beim Routing von Paketen der letzte Router „Beaming“ unterstützt. Weiterhin wird mit „Zensor Net Binding“ eine weitere Home ID an teilnehmende Knoten verteilt, sodass diese dann beim „Zensor Net Flooding“ wissen, dass sie das Paket weiterleiten sollen.[8, Seite 20]

Zensor Net Flooding. „Zensor Net Flooding“ ist ein Mechanismus um wichtige Nachrichten mit hoher Sicherheit an ihr Ziel zu bekommen. Wichtig ist dies bei sicherheitskritischen Aufgaben wie Rauchmeldern. „Zensor Net Flooding“

ding“ stellt hierbei sicher, dass der Ausfall von Knoten, sei es durch Strommangel oder das diese entfernt wurden, sich nicht negativ auswirkt. Ein spezieller Routing-Algorithmus, eine „Frame Flooding ID“ und ein „Hop Count“ stellen dabei sicher, dass es zu keiner Verstopfung im Netz kommt und normale Z-Wave Knoten noch Daten senden können.[8, Seite 20/21]

2.3 Vergleich der Funktechniken

Im Folgenden sollen nun verschiedene Szenarien durchgespielt werden, um aufzuzeigen, welche Technik in welcher Situation am Besten geeignet ist. Im Voraus ist dazu zu sagen, dass hier Abschätzungen gemacht werden, bei denen versucht wurde, einen möglichst breiten Bereich abzustecken. Alle Werte sind Werte, welche bei der Übertragung der Daten mit der Besten zur Verfügung stehenden Methode der jeweiligen Funktechnik und bei vollständig eingerichtetem Netzwerk zustande kommen können. In allen Szenarien senden die Knoten von sich aus die neuen Daten, es ist keine Steuerkommunikation notwendig. Als Repräsentanten wurden XBee® 802.15.4 (Series 1)[3] für ZigBee und das ZM2102[11] Hardware-Modul für Z-Wave gewählt

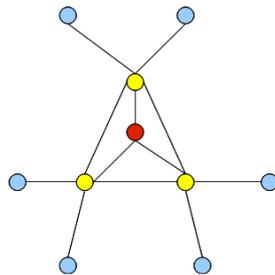


Abbildung 3:
Anordnung der Knoten im Testnetz

Der Netzwerkaufbau ist dabei folgendermaßen (siehe auch Abbildung 3):

- alle Aufbauten besitzen 10 Knoten
- ein Knoten in der Mitte (rot)
- 3 Knoten jeweils in Reichweite des mittleren und der anderen Beiden (gelb)
- 6 Knoten paarweise erreichbar über die 3 Knoten (blau)

Die Konfigurationen sind:

1. Feste Installation in einem Gebäude
 - 4 Knoten mit Stromversorgung; in der Mitte (rot, gelb)
 - 6 Knoten batteriebetrieben (blau)

Dieser Aufbau entspricht z.B. einer Fabrik mit Temperatursensoren außen und Maschinen in der Mitte.
2. Feste Installation in einem Gebäude 2
 - 1 Knoten mit Stromversorgung; in der Mitte (rot)
 - 9 Knoten batteriebetrieben (gelb, blau)

Entspricht z.B. einer Steueranlage für eine Heizung in einem Gebäude mit Bedieneinheit in der Mitte. Die Routerknoten müssen nun die Daten von 3 Knoten senden und von 2 Knoten empfangen.

3. Feste Installation ohne externen Strom. Entspricht z.B. einer Messanlage für Temperatur in einem Wald.

Der Unterschied zwischen den Konfigurationen ist also, dass Router in 2 und 3 auch mit Batterie betrieben werden. In den Tabellen werden nur die Änderungen zu den vorherigen Konfigurationen gezeigt, die Slaves aus Konfiguration 1 verbrauchen in Konfiguration 2 weiterhin den in Konfiguration 1 berechnet.

Die Szenarien sind:

1. Szenario hohe Datenrate:
Durchgehend werden viele Daten gesendet, z.B. Audioüberwachung oder größere Messanlage mit Echtzeiterfassung - Pro Knoten 3 kbit/s.
2. Szenario mittlere Datenrate:
Regelmäßig werden größere Datenpakete versendet, z.B. mehrere Sensoren an jedem Knoten - Pro Knoten 1 Paket pro Sekunde mit 40 Bit.
3. Szenario niedrige Datenrate:
Selten werden kleine Datenpakete gesendet, z.B. ein Sensor für Temperatur / Schalter pro Knoten.- Pro Knoten 1 Paket pro Stunde.

Als Stromversorgung kommen folgende Batterien vor (siehe Tabelle 1 und 2), diese sind Mittelwerte der möglichen Batterietypen um eine ungefähre Einordnung der Batterien zu ermöglichen. Bei wiederaufladbaren Batterien wurde eine Energie von 1800mAh bei 3V = 5,4Wh angesetzt. Da unterschiedliche Batterien bei unterschiedlichen Spannungen arbeiten, müssen im konkreten Fall noch Wandlerverluste eingerechnet werden. Da sich diese je nach Aufwand der Schaltung stark unterscheiden, werden hier keine Wandlerverluste eingerechnet. Ein weiteres Problem von Batterien ist, dass sie bei großer Belastung weniger Energie abgeben können. Man kennt dies von den Taschenlampen, die nach ein bisschen Abwarten wieder funktionieren. Da die Funkanwendungen aber höchstens Strom im Bereich von 0.1C, d.h. einem Zehntel der Nennkapazität, brauchen, spielt dies hier keine Rolle. Hersteller von Batterien geben die Kapazität bei 0,1C Entladungsstrom an. Der Wirkungsgrad gibt an wie gut aufgenommene Energie wieder abgegeben werden kann, dies ist interessant, falls als Stromversorgung erneuerbare Energiequellen genutzt werden sollen, dort ist auch der Innenwiderstand mit inbegriffen. Quelle für die Daten sind [1], [2], [4] und auf Wikipedia die englischen Seiten der jeweiligen Batterien. Zum Berechnen der Laufzeiten wurde ein vereinfachter Ansatz gewählt, welcher auf der Formel für die Annuitätendarlehen mit Zinseszins beruht (siehe [9]). Noch mal als Warnung, diese Berechnungen hier können nur als grobe Abschätzung zur Wahl eines Batterietypen angesehen werden, bei einem Einsatzgebiet im Freien im Bereich von 5 bis 20C° schwanken die Selbstentladungsraten bereits um bis zu dem Faktor 10.

2.3.1 Erklärungen zu den Tabellen

Jede der Tabellen 3, 4 und 5 beinhaltet die Auswertung zu den drei Szenarien in der entsprechenden Konfiguration. Jedes Szenario besitzt eine zweigeteilte Tabelle. Der obere Teil

Typ	Kapazität	Gewicht	Selbstentladung
2 * AAA	2,6 W	22g	1%
2 * AA	5,6 W	44g	1%

Tabelle 1: Nicht wiederaufladbare Batterien

Typ	Blei Akku	NiCd	NiMh
Größe in cm^3	80 cm^3	54 cm^3	24 cm^3
Gewicht in g	135g	77g	60g
Selbstentladung im Monat	8%	15%	30%
Wirkungsgrad	70%	80%	65%
Energiedichte Wh/kg	40	70	90
Energiedichte Wh/l	67	100	220

Typ	Lithium-Ion	Li-Polymer
Größe in cm^3	17 cm^3	18 cm^3
Gewicht in g	31g	30g
Selbstentladung im Monat	8%	5%
Wirkungsgrad	90%	90%
Energiedichte Wh/kg	170	180
Energiedichte Wh/l	305	300

Tabelle 2: wiederaufladbare Batterien mit 1,8Ah bei 3V [1][2][4]

beinhaltet allgemeine Informationen wie Paketlänge, Paketzahl in einem Sendevorgang, die Zeit zwischen zwei Sendevorgängen, Overhead, die Sendezeit eines Sendevorgangs und den gemittelten Stromverbrauch. Mit Hilfe dieser Informationen ist es möglich die Laufzeit nicht aufgelisteter Batterien abzuschätzen. Zudem kann man über die Paketlänge das Szenario auswählen, welches dem gewünschten Einsatzgebiet am besten entspricht. Im unteren Teil sind die jeweiligen Laufzeiten der Batterietypen in Monaten aufgelistet. Anzumerken zu Tabelle 4 und 5 ist noch, dass die Reaktionszeit bei ZigBee beim 3 Szenario bei 5 Minuten liegt, sodass die neuen Messwerte erst nach 5 Minuten beim Kontroller ankommen. Gut zu sehen ist, dass Z-Wave durch den kleineren Overhead Bandbreite spart, im Besonderen zu sehen in Szenario 3, Konfiguration 1. Durch die niedrigere Datenrate und die kürzeren Schlafphasen der Router im Gegensatz zu Zigbee, schneidet es aber dann schlechter in den anderen beiden Konfigurationen ab. Natürlich setzt dies eine funktionierenden Beacon-Mode beim Zigbee voraus.

3. FAZIT UND AUSBLICK

Z-Wave und Zigbee sind zwei brauchbare Funktechniken, Zigbee sticht durch die größere Übertragungsrate, Z-Wave durch den weniger genutzten Frequenzbereich heraus. Zudem scheint Z-Wave bei den Routingmechanismen besser aufgestellt zu sein, ZigBee bei dem Beacon-Mode, der durch Schlafphasen von mehr als 2 Minuten große Einsparungen möglich macht. Der Unterschied der beiden Funktechniken zeigt sich vor allem bei Langzeitanwendungen, bei denen die richtige Stromversorgung aber auch wichtigere Rolle spielt, da Selbstentladung dort einen großen Anteil besitzt. Die Auswahl der richtigen Funktechnologie muss mit Blick auf die Anwendung ausgewählt werden, keine der beiden Standards ist in allen Situationen die optimale Wahl.

4. LITERATUR

- [1] batteryholders.org. alkaline batteries. http://www.batteryholders.org/alkaline_batteries.shtml,

Nov. 2007.

- [2] I. Buchmann. Welches ist die beste Batterie? <http://www.batteryuniversity.com/partone-3-german.htm>, July 2003.
- [3] DIGI SERVICE AND SUPPORT. Product Datasheet. http://www.digi.com/pdf/ds_xbeemultipointmodules.pdf, 2008.
- [4] M. Frehner. Akkulexikon. <http://www.funkcom.ch/akkuinfos.htm>, Nov. 2007.
- [5] M. T. Galeev. Catching the Z-Wave. http://www.embedded.com/columns/technicalinsights/193101000?_requestid=119705, Oct. 2006.
- [6] A. S. Gerald Kupris. *ZigBee: Datenfunk mit IEEE 802.15.4 und ZigBee*. Franzis Verlag GmbH, Gruber Str. 46a; D - 85586 Poing, 2007.
- [7] JFR. Z-Wave Protocol Overview (SDS10243). <http://www.eilhk.com/en/product/Datasheet/Zensys/SDS10243-2-Z-WaveProtocolOverview.pdf>, Apr. 2006.
- [8] A. J. F. SML. Z-Wave Node Type Overview and Network Installation Guide (INS10244). <http://support.zen-sys.com/modules/iaCM-DocMan/download.php?get=2747d12409c4070fe4e8e8f715030afe>, Dec. 2008.
- [9] Stargamer - Wikipedia. Annuitätendarlehen. http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Annuit%C3%A4tendarlehen&stableid=74840084#Bestimmung_der_Laufzeit, May 2010.
- [10] Wikipedia. Z-Wave. <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Z-Wave&oldid=374626805>, July 2010.
- [11] Zensys A/S. ZM2102 Datasheet; Integrated Z-Wave RF Module. <http://www.eilhk.com/en/product/Datasheet/Zensys/DSH10229-11%20-%20Datasheet,%20ZM2102%20Z-Wave%20Module.pdf>, 2008.

Szenario 1	ZigBee	Z-Wave
Paketlänge in Bit	3000	3000
Paketzahl	28	57
Zeit zw. Sendungen in s	1	1
Gesamtbit	7928	9384
Overhead in %	62%	68%
Übertragungszeit in s	3,17E-02	2,35E-01
Stromverbrauch in mA	1,4367	8,4475
2*AAA in Monaten	0,8	0,3
2*AA	1,8	0,3
Blei Akku	1,6	0,3
NiCd	1,4	0,3
NiMh	1,2	0,2
Litium-Ion	1,6	0,3
Litiumpolymer	1,6	0,3
Szenario 2	ZigBee	Z-Wave
Paketlänge in Bit	40	40
Paketzahl	1	1
Zeit zw. Sendungen in s	1	1
Gesamtbit	216	152
Overhead in %	81%	74%
Übertragungszeit in s	8,64E-04	3,80E-03
Stromverbrauch in mA	0,0489	0,1393
2*AAA in Monaten	21,9	8,2
2*AA	42,3	17,0
Blei Akku	19,5	10,7
NiCd	13,3	8,0
NiMh	7,8	5,2
Litium-Ion	19,5	10,7
Litiumpolymer	24,7	12,5
Szenario 3	ZigBee	Z-Wave
Paketlänge in Bit	40	40
Paketzahl	1	1
Zeit zw. Sendungen in s	3600	3600
Gesamtbit	216	152
Overhead in %	81%	74%
Übertragungszeit in s	8,64E-04	3,80E-03
Stromverbrauch in mA	0,0100	0,0029
2*AAA in Monaten	78,5	163,6
2*AA	127,1	229,1
Blei Akku	36,5	51,0
NiCd	22,5	30,0
NiMh	12,1	15,6
Litium-Ion	36,5	51,0
Litiumpolymer	50,7	74,0

Tabelle 3: Konfiguration 1, Laufzeit der Knoten

Szenario 1	ZigBee	Z-Wave
Paketlänge in Bit	15000	15000
Paketzahl	136	284
Zeit zw. Sendungen in s	1	1
Gesamtbit	38936	46808
Overhead in %	61%	68%
Übertragungszeit in s	1,56E-01	1,17E+00
Stromverbrauch in mA	7,0169	42,1268
2*AAA in Monaten	0,2	0,0
2*AA	0,4	0,1
Blei Akku	0,3	0,1
NiCd	0,3	0,1
NiMh	0,3	0,0
Litium-Ion	0,3	0,1
Litiumpolymer	0,3	0,1
Szenario 2	ZigBee	Z-Wave
Paketlänge in Bit	200	200
Paketzahl	4	5
Zeit zw. Sendungen in s	1	1
Gesamtbit	904	760
Overhead in %	78%	74%
Übertragungszeit in s	3,62E-03	1,90E-02
Stromverbrauch in mA	0,3354	0,6865
2*AAA in Monaten	3,5	1,7
2*AA	7,4	3,7
Blei Akku	5,6	3,1
NiCd	4,6	2,7
NiMh	3,3	2,1
Litium-Ion	5,6	3,1
Litiumpolymer	6,2	3,3
Szenario 3	ZigBee	Z-Wave
Paketlänge in Bit	200	200
Paketzahl	4	5
Zeit zw. Sendungen in s	3600	3600
Gesamtbit	904	760
Overhead in %	78%	74%
Übertragungszeit in s	3,62E-03	1,90E-02
Stromverbrauch in mA	0,0141	0,1062
2*AAA in Monaten	61,2	10,7
2*AA	103,6	21,7
Blei Akku	32,6	12,7
NiCd	20,4	9,3
NiMh	11,2	5,9
Litium-Ion	32,6	12,7
Litiumpolymer	44,6	15,2

Tabelle 4: Konfiguration 2, Stromverbrauch der Router

Szenario 1	ZigBee	Z-Wave
Paketlänge in Bit	27000	27000
Paketzahl	254	516
Zeit zw. Sendungen in s	1	1
Gesamtbit	71704	84792
Overhead in %	62%	68%
Übertragungszeit in s	2,87E-01	2,12E+00
Stromverbrauch in mA	12,9139	76,3100
2*AAA in Monaten	0,1	0,0
2*AA	0,2	0,0
Blei Akku	0,2	0,0
NiCd	0,2	0,0
NiMh	0,2	0,0
Litium-Ion	0,2	0,0
Litiumpolymer	0,2	0,0
Szenario 2	ZigBee	Z-Wave
Paketlänge in Bit	360	360
Paketzahl	11	12
Zeit zw. Sendungen in s	1	1
Gesamtbit	2296	1704
Overhead in %	84%	79%
Übertragungszeit in s	9,18E-03	4,26E-02
Stromverbrauch in mA	0,8365	1,5360
2*AAA in Monaten	1,4	0,8
2*AA	3,0	1,7
Blei Akku	2,6	1,5
NiCd	2,3	1,3
NiMh	1,8	1,1
Litium-Ion	2,6	1,5
Litiumpolymer	2,7	1,5
Szenario 3	ZigBee	Z-Wave
Paketlänge in Bit	360	360
Paketzahl	11	12
Zeit zw. Sendungen in s	3600	3600
Gesamtbit	2296	1704
Overhead in %	84%	79%
Übertragungszeit in s	9,18E-03	4,26E-02
Stromverbrauch in mA	0,0144	0,1064
2*AAA in Monaten	60,4	10,7
2*AA	102,3	21,7
Blei Akku	32,4	12,7
NiCd	20,3	9,3
NiMh	11,1	5,8
Litium-Ion	32,4	12,7
Litiumpolymer	44,2	15,1

Tabelle 5: Konfiguration 3, Stromverbrauch Kon-troller