

Seminararbeit: Lorawan

Tobias Sigmann

14. Mai 2019

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung in Lora	3
2	Aufbau eines Lora-Netzwerk	4
2.1	Gateway	4
2.2	Netzwerkbeitritt	6
3	Lora Funktionsweise	6
3.1	Schichtenmodell	6
3.2	Protokoll	7
3.3	Übertragungsart	7
3.3.1	Adaptive Data Rate	8
4	Notitz: protokoll/paket hierfor erklären	8
5	Lora Geräte Klassen	8
5.1	Klasse A	9
5.1.1	Uplink	9
5.1.2	Downlink	9
5.2	Klasse B	10
5.2.1	Klassenwechsel A nach B	11
5.2.2	Uplink	11
5.2.3	Downlink	12
5.3	Klasse C	12
6	Sicherheit	12
7	Live-Beispiel	13
8	Fazit	13
9	Sonstige quellen	13

Zusammenfassung

[Tec15]

[sem]

1 Einführung in Lora

Lora ist ein Low Power, Wide Area (LPWA) Netzwerkprotokoll und somit sehr gut für batteriebetriebene kabellose Geräte geeignet. Deswegen wird Lora auch oft im Internet of Things (IoT) Bereich verwendet. Mittels der bidirektionalen Kommunikation ist es möglich Daten und Befehle über weite Strecken zu übertragen. Leider leidet darunter die Geschwindigkeit, sodass sich Lora nicht als WLAN Ersatz eignet. Trotzdem können zwischen 0.3 und 50 kbps erreicht werden. In Europa werden 863 MHz bis 870 MHz verwendet. Allerdings variiert der Frequenzbereich für andere Kontinente. Je nach Bedingungen können so bis zu 20km entfernte Endgeräte erkannt und mit diesen kommuniziert werden. Es ist sogar möglich den Standort des Gerätes zu bestimmen.

Eine Alternative zu Lora ist Sigfox, hierauf werde ich nicht weiter eingehen. LoRaWAN 1.1

[Tec15](Optimiert für Batterie Kapazität(Teilnehmer) Reichweite, Kosten mehrjährige Batterielaufzeit, kleine Datenmengen, große Reichweite, LPWAN (Low Power WAN)

Kriterien für Lora: Netzwerk Architektur, Reichweite, Batterielaufzeit, Interferenzrobustheit, Anzahl Knoten, Sicherheit, bidirektionale Kommunikation, verschiedene Anwendungsunterstützung

Orientiert für Mobile Adressierbare Endgeräte)

[AVTP⁺17](alternativen: Sigfox, Ingenu, Dash7

Klassen Kompromiss zwischen Reichweite, Performance(Latenz/ Durchsatz) und Energiebedarf

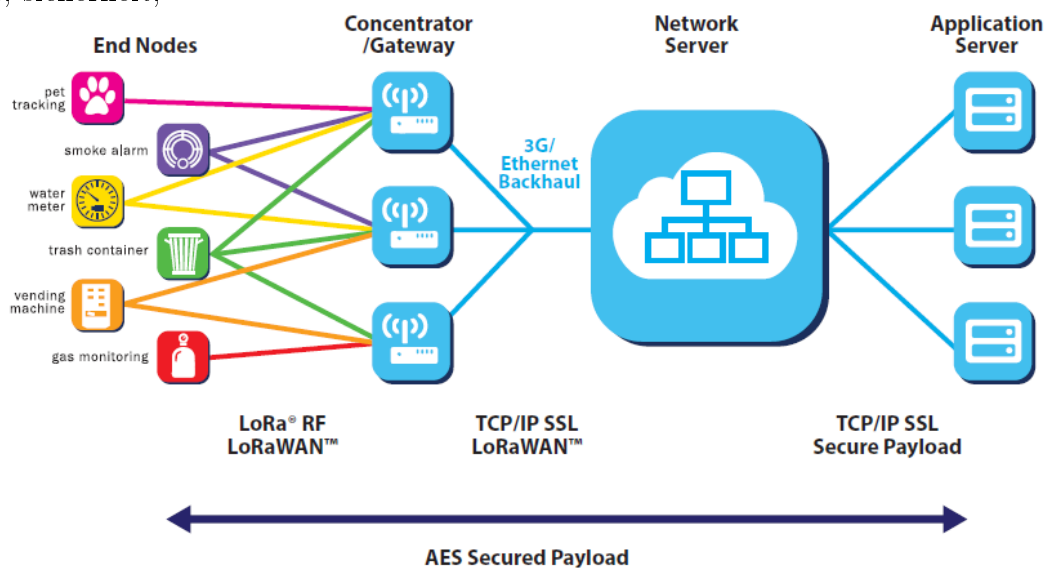
Energiesparend durch ADR (Adaptive Daten Rate))

Es wird folgen: Was ist lora, wo und wofür wird es benutzt, wie weit kann man senden und wie schnell...

2 Aufbau eines Lora-Netzwerk

Lora wird auch deswegen gerne für IoT-Geräte verwendet, weil der Netzwerkaufbau ermöglicht die über Lora verwendeten Daten im Internet abzurufen und so ohne weiteres das Gerät mit dem Internet zu verbinden. Um die von den End-Geräten gesendeten LoRa Pakete auf IP/TCP Pakete umzusetzen wird ein Gateway benötigt, das auf der einen Seite LoRa pakete empfängt/sendet und auf der anderen Seite TCP/IP Pakete verwendet. Das Gateway implementiert aber keinerlei Logic. Hierzu ist ein Netzwerkservers zuständig der durch die Gateways das Netzwerk kontrolliert und steuert. Gleichzeitig stellt er die Verbindung zu einem Applicationsserver her an den er die vom Gateway empfangenen Daten sendet und von dem auch Daten an die Endgeräte, wieder über das Gateway, gesendet werden. Diese Architektur wurde gewählt um die Laufzeit der End-Geräte, Anzahl der End-Geräte, Qualität des Signals und Sicherheit des Netzwerkes möglichst hoch zu halten.

[Tec15](Architektur hat großen Einfluss auf Batterie, Anzahl Teilnehmer, Qualität, Sicherheit,



2.1 Gateway

Das Teilnetz, das aus dem Gateway und mehreren LoRa-End-Geräten besteht, ist sternförmig aufgebaut. Jedes End-Gerät kommuniziert direkt mit dem Gateway. Diese Art der Kommunikation wird auch (Single-Hop-Connection) zu Deutsch

(Einfacher-Sprung-verbindung) genannt, da die Gesendeten Daten ohne umwege an das Gateway gesendet werden.

Ein Endgeräte kann gleichzeitig an mehreren Gateways senden. Der Netzwerkservers ist zuständig die Pakete auf Dublikate zu überprüfen und nur solche nur einmalig an die Applikation zu senden. Ein weiterer Vorteil ist das kein Handover nötig ist, da alle Gateways fähig sind die Daten des Endgeräts zu verarbeiten bzw. weiterzusenden.

Durch die Sernförmige Architektur des Netzes und die Fähigkeit von allen in der Reichweite befindlichen Endgeräte Daten zu empfangen, muss ein Gateway mit vielen End-Geräten kommuniziert. Da es nicht möglich ist mit jedem Gerät nacheinander zu kommunizieren, muss dies gleichzeitig geschehen. Hierzu werden adaptive Datenraten und Mehrkanal-Multi-Modem-Transceiver verwendet um eine hohe End-Geräteanzahl zu ermöglichen. Außerdem hängt die Anzahl der Teilnehmer davon ab wie geschickt die Kanäle gewählt wurden, welche Datenraten verwendet werden und wie lange gesendet werden muss um die Daten zu senden (man spricht auch von der "Time-On-Air").

Durch die genannten Eigenschaften der Gateways wird auch eine gute Skalierbarkeit erzielt. Dadurch kann ein neues Gateway die Anzahl der Knoten um das 6 bis 8-fach erhöhen.

[Tec15] (Meistens wird ein netzförmiges Netz aufgebaut. Knoten leiten Nachrichten weiter => größere Reichweite aber kompliziert, erlaubt weniger Teilnehmer und energieaufwändig).

Lora Sternförmig => Energie-effizient, Knoten senden direkt an Gateways. Gateways senden an Server, Server muss doppelte Pakete filtern, Sicherheitscheck, ACK über bestes Gateway senden, datenrate anpassen.

Keine Handover

Gateway müssen viele Geräte handeln da Stern. erreichen durch (adaptive Datenrate, multi channel/multi modem transive) mehrere Nachrichten auch verschiedenen Channels gleichzeitig empfangen

Wichtige Faktoren (anz. channels, datenrate(time on air), payload länge, Sendehäufigkeit)

Skaliert sehr gut => gemacht für große Nutzerzahlen Neues gateway kann

Knoten 6-8 x verbessern) [SOR17](Applikation Server -> Zentraler Server(leitend Pakete weiter) -> Gateway(wandelt lorawan in ip Pakete um) -> Endgerät/Knoten)

2.2 Netzwerkbeitritt

[SOR17](wei arten OTAA(Over the air activation), ABP(Activation by Personalization) Jedes gerät hat eine vorgegebene DevEUI (wie MAC adresse eines PCs), JoinEUI muss angegeben werden und adressiert den Join server)

Was
macht
der?

3 Lora Funktionsweise

wohin
da-

) [SOR17](Geschwindigkeit ist kompromiss zwischen abstand/geschw. die untersch freuenzen bze. geschwindigkeiten beeinflussen sich nicht gegeseitig => keine inteferenz) Die Datenrate ist einstellbar, jedoch wird die Reichweite bei höherer Datenrate gemindert. Ein Vorteil von Lora ist, das die einzelnen Datenraten nicht interferieren und so jedes Endgerät seine eigene Datenrate unabhängig von den anderen Verwenden kann. Außerdem wird die Datenrate und die Sendeleistung für jedes Gerät separat gesteuert (ADR, Adaptive Data Rate) [SOR17] [Tec15]()

mit?

3.1 Schichtenmodell

[Tec15](
Application
Lora MAC
MacOptions(Classes)
LoraModulation(Regionales ISB)) Lora: Long Range ist Physikalische schicht(gibt an wie die kabellose übertragung geschieht) LoraWan:protokoll das.

3.2 Protokoll

[SOR17](Mac commands werden benutzt um geräte zu steuern => frequenzen zu ändern, ... Application wird diese nie erhalten, läuft zwischen netzwerkserver und lora gerät ab. Verschlüsselt hier oder da. aufbau: 1byte command, x byte extra data. müssen vom empfanher acknolaged werden. Reihenfolge ist zu be<chten. Alle nahrichten in einem frame müssen auch in einem frame ack werden. => Macbuffer ermöglicht dies. Wenn buffer überleuft werden die ältesten ack.)

(Was

pas-

siert

mit

dem

rest?

3.3 Übertragungsart

[SOR17](Knoten können zu jeder Zeit, auf beliebigen Kanälen, beliebig schnell, beliebig lange senden, solange folgende regeln befolgt werden.

- Channels werden per Pseudozufallszahl geändert
- Sendezeit erfüllt die Regionalen Bestimmungen

)

[AVTP⁺17](Chrip Signal => Zeitliche Änderung in Trägerfrequenz(höhere Frequenz als Datenrate)(positiv chrip/negativ chrip)

Datensignal wird in Chrip Signal moduliert. Resultierende Signal ist breitbandiger als Datensignal. Maximale Datenrate auch mit Rauschen erreichbar.

Durch orthogonale SSspread Factor"mehrere Signale auf einem Chanel) [Tec15](normal FSK, schon sehr effcient. Lora "chirp spread spectrum odulation". Ist wie FSk aber größere Rechiweite, robuster. Stammt aus dem Militär/raumfahrt.Lora als erstes für kommerziellen billigen Einsatz.

Spread spectrum => signale sind Ortohonal für versch. spreizraten, fakto koreliert mit datenrate => verschiedene Datenraten auf einem Kanal

Nähere Geräte sind schneller => höhere Datenrate => kürzee übertragungsdauer und lassen somit merh zeit für andere, => bessere Batterielaufzeit. Deswegen sidn symetrische up/downlinks nötig.) Frequenzhopping, spread spectrum, code-channels

3.3.1 Adaptive Data Rate

[AVTP⁺17](Datenrate und Funkfrequenz(RF) werde passend zum Abstand angepasst

nahe Knoten => hohe Datenrate => kurze Sendezeit => weniger RF-Power kann nach Bedarf geändert werden
=> immer möglichst schnelle senden => weniger Energie
)

4 Notitz: protokoll/paket hierfor erklären

5 Lora Geräte Klassen

[SOR17](GGeräte müssen mindestens A können, alle die mehr können werden auch "high class End-Devices" genannt) Vielleicht zu klein => in anderes Kapitel stopfen. Bei mehrfacher übertrageung wird nicht erhöht

Die Endgeräte sind je nach Kommunikationsart/Protokoll Art in drei Klassen (A, B und C) unterteilt.

Jede Klasse hat 3 counter FCntUP(Pro uplink ++), FCNTDown(pro downlink auser port 0 => mach), AFCntDOWN(port ungleich 0 dann ++) (nur beschreiben wie diese grob funktionieren) Zähler sollen nicht flüchtig sein(Batteriewechseln kein reset) bei neuverbinden müssen alle counter auf 0 gesetzt werden. counter müssen auf beiden seiten glich gehalten werden(Synchron geführt) Wenn nachricht empfangen ist muss der darin enthaltenene counter größer sein als der eigene.

die Counter Werte sollen so weit wie möglich nur einam verwendet werden.

) [CB⁺17] [Tec15](Asynchrone Knoten wegen Batterie => Event/Scheduler gesteuert verwendet ALOHA

Normal Netze müssen sich synchronisieren und Nachrichten abrufen. Lora partiell nicht => laut GSMA 3 bis 5 fach effizienter)

zur besseren Anpassung/ Anpassung an Batterie

EU: 10 Kanäle (8: 250bps bis 5.5kbps) (1: FSK 50kbps) (high rate Lora

114kbps)

)

5.1 Klasse A

Klasse A zeichnet sich durch sehr geringer Stromverbrauch aus. Die Kommunikation kann bidirektionalen Stadtfinden, allerdings muss die Kommunikation von dem Endgeräte gestartet werden. Das bietet die Möglichkeit das das Endgerät, wenn keine Daten gesendet werden müssen, in einen sehr sparsamen Schlafmodus wechselt. Um das Endgeräte nicht zum aufwachen zu müssen, wurde auf einen "Hardbeat" ähnliches verzichtet. Das Endgerät kann so lange "schlafen" wie es möchte. Dadurch ist die Klasse A auch die potenziell Stromsparende Endgeräteklasse.

Das Endgerät startet die Kommunikation in dem es Daten an das Gateway sendet (uplink). Daraufhin hat das Gateway die Möglichkeit 2 mal Daten zum Endgeräte senden (downlink). Da die Kommunikation asynchron Stadtfinden wartet das Endgeräte bis es beide uplinks empfangen hat, gewünscht.

Um zu ermitteln, wann gesendet werden darf, wird das ALOHA-Protokoll verwendet. Da das Gateway nicht immer Daten an die Endgeräte senden kann, muss es diese zwischenspeichern um diese bei der nächsten Kommunikation zum senden. [SOR17] (Es wird zwischen up- / downlink unterschieden)

5.1.1 Uplink

[SOR17] (vom Knoten zum Gateway(1..n), Lora radio packet mode, (Preamble, PHDR, PHDR_CRC, PHYPayload, CRC(cyklische Redundanz Prüfung)))

5.1.2 Downlink

[SOR17] (radio packet explicit mode, vom Gateway(1) zum Knoten(1), ausgelöst vom Netzwerkserver, auch multikasts möglich, (Preamble, PHDR, PHDR_CRC, PHYPayload) Um Nachricht kurz zu halten kein CRC am ende, nach Receiver_Delay1 / Receiver_Delay2 kann empfangen werden (rx1, rx2))

Fenster müssen lange genug für Preamble auf bleiben=> wenn erkannt wird empfangen wenn nicht fenster weider zu. Es darf nur gesendet werden wenn beide fenster zu sind. Es ist auch erlabut andere protokole zu sprechen wenn nicht gesendet oder gehört wird.)

5.1.2.1 Rx1 [SOR17](Frequenz abhängig von Uplinkfrequenz, Datenrate abhängig on Uplinkdatenrate, wird nach Reciever_Delay 1 +/- 20 msec erwartet, Datenrate auch abhängig von Regionalen regeln, Standart: Datenrate = Uplinkdatenrate)

5.1.2.2 Rx2 [SOR17](feste Frequenz/Dtanetnrate, nach Delay2 +/- 20 msec, Frequenz/Datenrate mittels MAC änderbar) [SOR17](Öffnungslänge muss für Preamble ausreichen, nach RX1 + MIC und autentigitätscheck muss nicht zwingen RX2 geöffnet werden, Sender muss in einem der beiden Fenster stattfinden, Falls Downlink über beide Fenster => feames müsén gleich sein. Knoten dürfen nich während empfangen/ zwischen RX1 und RX2 senden, ender Protokolle dürfen gesprochen werden wenn gesendet werden darf)

5.2 Klasse B

Die Klasse B bietet bidirektionale Kommunikation mit einer deterministischem downlink Latenz. Um diese latenz zu gewährleisten, muss die Kommunikation Synchron ablaufen. Außerdem muss festgestellt werden, ob das Endgerät bzw das Gateway noch in Reichweite ist. Dies wird mittels einens periodischem "beacon"die zu festgelegten Zeitpunkten gesendet werde realisiert.

Die Latenz ist einstellbar und kann bis zu 128 Sekunden.

Obwohl das Endgerät durch die periodischen "beacons"nicht schalfen"kann, ist die Klasse B für den Batteriebetrieb gedacht. [SOR17](wird verwendet wenn mehr bedarf für empfangsfenster ist. Hierzu ist ein synchronsignal nötig=> zu bestimmten zeiten kann damit empfangen werden Gateway sended Beacon für synchrinsation. Um daten empfangen zu werden werden empfangsslots => pingslots verwendet, werden periodisch geöffneto und mittels beacon syn-

chronisiert. Normalerweise werde diese schnell geschlossen außer es wird etwas empfangen. Gateway dessen beacon benutzt wird, wird nach empfangsqualität ausgewählt. Wenn neuer/unbekannter Beacon von einem anderen Gateway empfangen wird, wird der netzwerkserver benachrichtet und dieser entscheidet welcher verwendet wird (passt rote an).

Das Netzwerk muss die standard ping-slot periode Datenrate und kanal kennen.

Um ein gerät auf klasse B zu kommen muss erst von Klasse A gewechselt werden.

Entgeräte müssen Netzwerkserver über position informieren. Dies kann über eine leere nachricht passieren oder eine normale (uplink).

Das beacon und die enthaltenen daten werden an die applikation geschickt. Der server kann den beacon auswerten. zwischen beacon und uplink wird random time verwendet um kolisionen zu verhindern. änderungen an ping-slot- periode .. muss mitgeteilt werden. Hierzu ist klasse A nötig => wechel zu A, wechel zu B. Nachschuen
wie ge-
nau

Beacon wird genutzt um clockdrift auszugleichen. Wenn kein beacon empfangen wird => Beaconless mode. Dieser wird bis zu 2 stunden beibehalten. Reines verlassen auf interne Uhr. Wenn beacon empfangen wird, wird zeit zurückgesetzt.) das
funk-
tio-
niert

5.2.1 Klassenwechsel A nach B

[SOR17](Endgerät fahrt LoRaWAN layer an. Layer sucht beacon. Mac command DeviceTimeReq um schneller bacon zu bekommen nutzen. Danach wird das ClassB feld auf 1 gesetzt. Bei den geöffneten fenstern wrd der maximal mögliche clockdrift berücksichtigt. Downlink läuft wie bei A ab.)

5.2.2 Uplink

[SOR17](Wie bei)

5.2.3 Downlink

[SOR17](wie bei A, Frequenzplan kann sich unterscheiden. Auch Multikasts möglich,)

5.2.3.1 Singelcast [SOR17]()

5.2.3.2 Multicast [SOR17](separate Adresse für Multicast festgelegt durch Layer oder manuell für Gruppenmulticast nicht für MAC geeignet,)

5.3 Klasse C

Um eine möglichst geringe/keine Latenz zu erzielen ist die Klasse C gemacht. Dies bedeutet aber auch, dass der Stromverbrauch am höchsten ist und somit nicht für den Batteriebetrieb geeignet. Das Gateway kann immer Daten senden außer wenn das Endgerät gerade Daten sendet. Hier sind Geschwindigkeiten von bis zu 50 Mb/s möglich.

Es ist auch möglich während des Betriebes eines Endgerätes die Klasse zu wechseln. Dies wird am häufigsten zwischen A und B getan/ ist nur zwischen A und B möglich. [SOR17](öffnet RX1 und RX2 Fenster wie in Klasse A. Immer wenn nicht gesendet wird oder RX1 offen ist, ist RX2 offen. Multicast ist auch möglich.)

6 Sicherheit

Lora bietet die end-to-end Sicherheit an, indem es die Signale zweimal verschlüsselt.

Die erste Verschlüsselung dient dazu, die gesendeten Daten vor eventuellen Mit Hörern zu verschlüsseln. Die Verschlüsselung geschieht mit einem 128-bit Network-Session-Key.

Die zweite Verschlüsselung wird bis zur endgültigen Weiterverarbeitung der Daten auf z.B. einen Server verwendet und ist ein 128-bit Application-Session-Key.

Das zur Verschlüsselung verwendete Protokoll ist AES. Auch zu Authentifizierung und zur Überprüfung der Integrität wird AES verwendet. [GAS17][Tec15](Applikationsverschlüsselung(schutz der Daten vor mitlesen) Netzwerk(Authentifizierung der Knoten) AFS, Key Exchange IEEE EU164) [SOR17](symmetrischer Schlüssel => nur einer benötigt, Sessionkey ist abgeleitet von Knoten-rootkey. JoinServer stellt Verbindung der Keys her.)

7 Live-Beispiel

wenn vorhanden.

8 Fazit

9 Sonstige Quellen

<https://lora-alliance.org/resource-hub> QuickStart für ein kleines Projekt: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/devices/node/quick-start.html#setup-arduino-ide>

Weitere Infos http://www.multitech.com/documents/publications/marketing-guides/lora_device_dev_guide_orange.pdf

Literatur

- [AVTP⁺17] ADELANTADO, FERRAN, XAVIER VILAJOSANA, PERE TUSET-PEIRO, BORJA MARTINEZ, JOAN MELIÀ-SEGUÍ und THOMAS WATTEYNE: *Understanding the Limits of LoRaWAN*. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8030482>, September 2017. Eingesehen am 09.04.2019.
- [CB⁺17] CHEONG, PHUI SAN, JOHAN BERGS, , CHRIS HAWINKEL und JEROEN FAMAHEY: *Comparison of LoRaWAN Classes and their Power Consumption*. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8240313>, November 2017. Eingesehen am 09.04.2019.
- [GAS17] GEMALTO, ACTILITY und SEMTECH: *LoRaWANTM SECURITY WHITE PAPER PREPARED FOR THE LoRa ALLIANCETM*. <https://lora-alliance.org/resource-hub/lora-alliance-security-whitepaper>, Februar 2017. Eingesehen am 09.04.2019.
- [sem] *Semtech*. <https://www.semtech.com/>. Eingesehen am 09.04.2019.
- [SOR17] SORNIN, N. (Herausgeber): *LoRaWANTM 1.1 Specification*. Lora-Alliance, <https://tools.ietf.org/pdf/rfc8376.pdf>, 1.1 Auflage, Oktober 2017. Eingesehen am 09.04.2019.
- [Tec15] TECHNICALMARKETINGWORKGROUP1: *A technical overview of LoRa® and LoRaWANTM*. <https://lora-alliance.org/resource-hub/what-lorawantm>, November 2015. Eingesehen am 09.04.2019.