

Bluetooth Low Energy - Funktionsweise und Einordnung in den Bereich der IOT Kommunikationsprotokolle

Thomas Randl
Fakultät für Informatik

WS 2019/20

In dieser Arbeit wird der Aufbau und die Funktionsweise der Funktechnik Bluetooth Low Energy (BLE) erläutert. Dabei wird zuerst der Protokollstack im Bezug auf die einzelnen Layer und die BLE spezifischen Profile betrachtet. Anschließend wird genauer auf die Kommunikation zwischen den einzelnen Verbindungspartnern eingegangen. Dabei wird insbesondere erklärt, welche Schritte notwendig sind um Datenpakete zu übertragen. Des Weiteren wird erläutert, wie der Verbindungsaufbau zwischen den Kommunikationspartnern abläuft und welche Rollen die jeweiligen Partner dabei einnehmen. Nachdem die Funktionsweise erläutert wurde, wird das „Featureset“ von BLE erklärt und mit aktuellen Internet of Things (IOT) Protokollen verglichen. Anhand der erarbeiteten Informationen wird dann am konkreten Beispiel der „iBeacons“ erläutert, wie BLE in der Praxis Anwendung findet.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Ein Abschnitt der Einleitung	4
2	Technische Grundlagen und Implementierungen	4
2.1	Beispiele für Implementierungen	4
2.2	Hardware	6
2.3	Frequenzbereich	6
3	Funktionsweise Bluetooth Low Energy	6
3.1	Protokollstack	6
3.1.1	Physical Layer	7
3.1.2	Linked Layer	9
3.1.3	Profile	9
3.2	Kommunikation	9
3.2.1	Advertisement	9
3.2.2	Verbindung	9
3.2.3	Datenaustausch	9
3.3	Featureset (Kosten, Reichweite, Energieverbrauch, etc... am Titel muss ich noch schrauben)	9
4	Anwendungsbeispiel iBeacon	9
4.1	Funktionsweise	9
4.2	Kommunikation	9
5	Vergleich mit anderen Kommunikationsprotokollen	9
5.1	ZigBee	9
6	Fazit	9
A	Erster Abschnitt des Anhangs	10

Abkürzungsverzeichnis

BLE	Bluetooth Low Energy
HCI	Host Controller Interface
IOT	Internet of Things
ISM	Industrial, Scientific, and Medical
RSSI	Received Signal Strength Indication
SIG	Special Interest Group

(a) Originalbild

(b) erweitertes Bild

Abbildung 1: Beispiel eines Augmented Reality Systems: es folgt eine Beschreibung (Bilder aus [Sch01])

Sequence	ARTS	wman	stcams	ARTVZ	ARTSUZ
# Frames	190	40	400	270	190
# relative movements	17955	780	79800	36315	17955
# movements after pre-sel.	14336	623	37915	21788	14343
min. angle in seq.	0.233°	5.95°	0.154°	0.00000171°	0.0388°
max. angle in seq.	81.7°	180°	47.3°	80.3°	80.9°
min. angle after pre-sel.	12.9°	21.1°	17.3°	16.3°	12.9°
max. angle after pre-sel.	81.7°	161°	47.3°	80.3°	80.9°

Tabelle 1: Datenselektion für verschiedene Testdatensätze.

1 Einleitung

1.1 Ein Abschnitt der Einleitung

Einen Überblick findet man z. B. in [Aue00].

Ein Beispiel wird in Abb. 1 gezeigt. Das verwendete Objekt ist in Abb. 1a dargestellt, das Ergebnis in Abb. 1b.

Eine Formel

$$f(x) = \frac{1}{3}x + 5, \quad x \in \mathbb{R}. \quad (1)$$

Und noch eine:

$$\mathbf{M} = \mathbf{A}\mathbf{x}\pi, \quad \mathbf{A} \in \mathbb{R}^{2 \times 2}, \mathbf{x} \in \mathbb{R}^2. \quad (2)$$

Tabelle 1 gibt einen Überblick über XYZ.

2 Technische Grundlagen und Implementierungen

Im folgenden Kapitel wird ein Überblick über die zentralsten BLE Anwendungen gegeben. Zusätzlich wird die Hardwareebene im Bezug auf die physikalischen Voraussetzungen und die genutzten Frequenzbereiche näher betrachtet.

2.1 Beispiele für Implementierungen

Im einundzwanzigsten Jahrhundert steigt die Verwendung von Geräten, welche drahtlos mit einem Empfangsgerät kommunizieren können. Vor allem die Einführung des Smartphones hat an diesem Punkt die drahtlose Kommunikation vorangetrieben. Nutzer wollen viele Funktionen zur Verfügung gestellt bekommen, um den persönlichen Alltag einfacher gestalten zu können.

Schon vor der Einführung des Smartphones war das Kommunikationsprotokoll „Bluetooth“ auf Mobiltelefonen verfügbar. Dabei wurde es hauptsächlich zum Datentransfer zwischen zwei Bluetoothfähigen Endgeräten verwendet. Das Hauptproblem, welches der Nutzer dabei erfahren musste, ist, dass diese Form der Datenübertragung sehr viel Zeit in Anspruch genommen hat. Dies lässt sich auf die geringe Datenmenge zurückführen, die pro Paket möglich ist.

Nachdem das Smartphone immer mehr an Beliebtheit gewonnen hat und sich der Begriff des IOT entwickelt hat, reagierte die Bluetooth Special Interest Group (SIG), indem sie ein Protokoll erarbeiteten, welches einen möglichst geringen Stromverbrauch, eine geringe Bandbreite und niedrige Komplexität bietet [Tow14, Seite 1].

Mit der Einführung von BLE kam die Möglichkeit kleine Datensignale zwischen Geräten auszutauschen. Ein aktuell sehr bekanntes Beispiel sind dabei sogenannte „Smartwatches“. Diese bieten neben der Möglichkeit die Uhrzeit bereitzustellen viele weitere Funktionen, wie beispielsweise die Steuerung von Telefongesprächen, oder die Fernsteuerung der Musikkwiedergabe. Der Nutzer erhält durch ein derartiges Gerät die Möglichkeit, sein Smartphone in gewissen Bereichen fernzusteuern.

Beinahe jeder Mensch in der heutigen Zeit besitzt und nutzt ein Smartphone. Jedes Smartphone ist dabei mit einer Bluetoothschnittstelle ausgestattet. Dieser Sachverhalt liefert die Möglichkeit, nicht nur eine „Smartwatch“ mit dem Smartphone zu verbinden, sondern jegliches Empfangsgerät, welches der Nutzer benötigen könnte. Besonders beliebt sind dabei Fitnessgeräte, die dem Nutzer Informationen über sein Fitnesslevel liefern.

Allerdings liefert der Sachverhalt, dass beinahe jeder Nutzer Bluetooth nutzt auch andere „Usecases“. Mit sogenannten „Beacons“ (siehe Kapitel 4) kann man beispielsweise mit einem Smartphone Informationen von einem oder mehreren „Beacons“ erfassen und in einer App oder im Browser gesammelt aufbereitet anzeigen. Ein „Beacon“ ist ein BLE Gerät, welches ausschließlich Informationen sendet. So kann man beispielsweise in einem Raum mit mehreren solchen Geräten stehen und Informationen über verschiedene Lebensmittel, oder deren Preise erhalten. Mit dieser Möglichkeit kann ein Nutzer noch besser und zielgerichteter mit sachdienlichen Informationen versorgt werden.

Sollte man die Absicht haben, ein eigenes Gerät zu entwickeln, welches mittels BLE kommuniziert, gibt es mehrere Anbieter für Hardwarekomponenten für verschiedene Anwendungsfälle. Besonders nennenswert sind dabei die Firmen „Nordic“ und „Texas Instruments“.

Die Firma „Nordic“, welche Komponenten für verschiedenste Kommunikationsprotokolle anbietet, ist Mitglied bei der Bluetooth SIG und hat einen signifikanten Beitrag zum Fortschritt von BLE beigetragen. Sie war auch eine der ersten Firmen, die günstige BLE Komponenten auf den Markt gebracht haben [Tow14, Seite 75].

Die Firma „Texas Instruments“ hingegen war als erstes dazu in der Lage, ein BLE

fähiges Peripheriegerät auf den Markt zu bringen. Zusätzlich ist „Texas Instruments“ als einiger Anbieter „Feature complete“. Das heißt, dass die Geräte den kompletten Funktionsumfang des BLE Stacks anbieten [Tow14, Seite 79].

2.2 Hardware

2.3 Frequenzbereich

Da BLE ein Teil des Bluetoothstacks ist, sind die physikalischen Eigenschaften, die sowohl hinter Bluetooth Klassik, als auch BLE stecken identisch. Der Frequenzbereich, indem Bluetooth sendet ist dementsprechend auch der selbe. Allerdings gibt es einen Unterschied, was die Kanäle angeht, in denen gesendet wird.

Der Frequenzbereich in dem sich Bluetooth bewegt liegt zwischen 2,4GHz und 2,4835GHz auf dem Industrial, Scientific, and Medical (ISM) Band [Tow14, Seite 16]. Diesen Bereich teilt sich Bluetooth mit einigen anderen Kommunikationsprotokollen, weshalb es zwischen den Protokollen zu Kollisionen bei der Übertragung kommen kann. Aus diesem Grund teilt Bluetooth seinen Bereich in mehrere Kanäle auf. Bei Bluetooth Klassik ist der Frequenzbereich in insgesamt 79 Kanäle unterteilt [Sau18, Seite 410]. BLE teilt den Bereich allerdings nur in 40 Kanäle auf [Tow14, Seite 16]. Daraus resultiert, dass die Kanäle bei BLE doppelt so groß sind wie bei Bluetooth Klassik. Der Grund für diese Kanalunterteilung ist das sogenannte „Frequency Hopping“, welches unter Kapitel 3.1.1 näher betrachtet wird.

3 Funktionsweise Bluetooth Low Energy

Im nachfolgenden Kapitel wird nun auf die Softwareseitigen Aspekte des BLE Stacks eingegangen. Dabei finden die Architektur und die Kommunikation besondere Beachtung. Zusätzlich wird ein Überblick geboten, welche Möglichkeiten diese Technologie dem Nutzer bietet.

3.1 Protokollstack

In Abbildung 2 ist der Protokollstack von BLE zu sehen. Dabei sind die drei Ebenen „Controller“, „Host“ und „Application“ zu erkennen. Auf der untersten Ebene liegt der „Controller“, in welchem das „Physical Layer“ und das „Linked Layer“ enthalten sind. Zwischen „Host und „Controller“ liegt das sogenannte Host Controller Interface (HCI), welches die Schnittstelle zwischen den beiden Kommunikationspartnern darstellt. Im „Host“ wiederum befinden sich sämtliche Protokolle und Profile, die notwendig sind, um Kommunikation zu ermöglichen. An der Spitze des Protokollstacks befindet sich die „Applikation“ in der die Logik und Nutzerschnittstelle des aktuellen Anwendungsfalls

liegt [Tow14, 15]. Wie diese einzelnen Komponenten funktionieren und untereinander kommunizieren ist in den nachfolgenden Abschnitten erläutert.

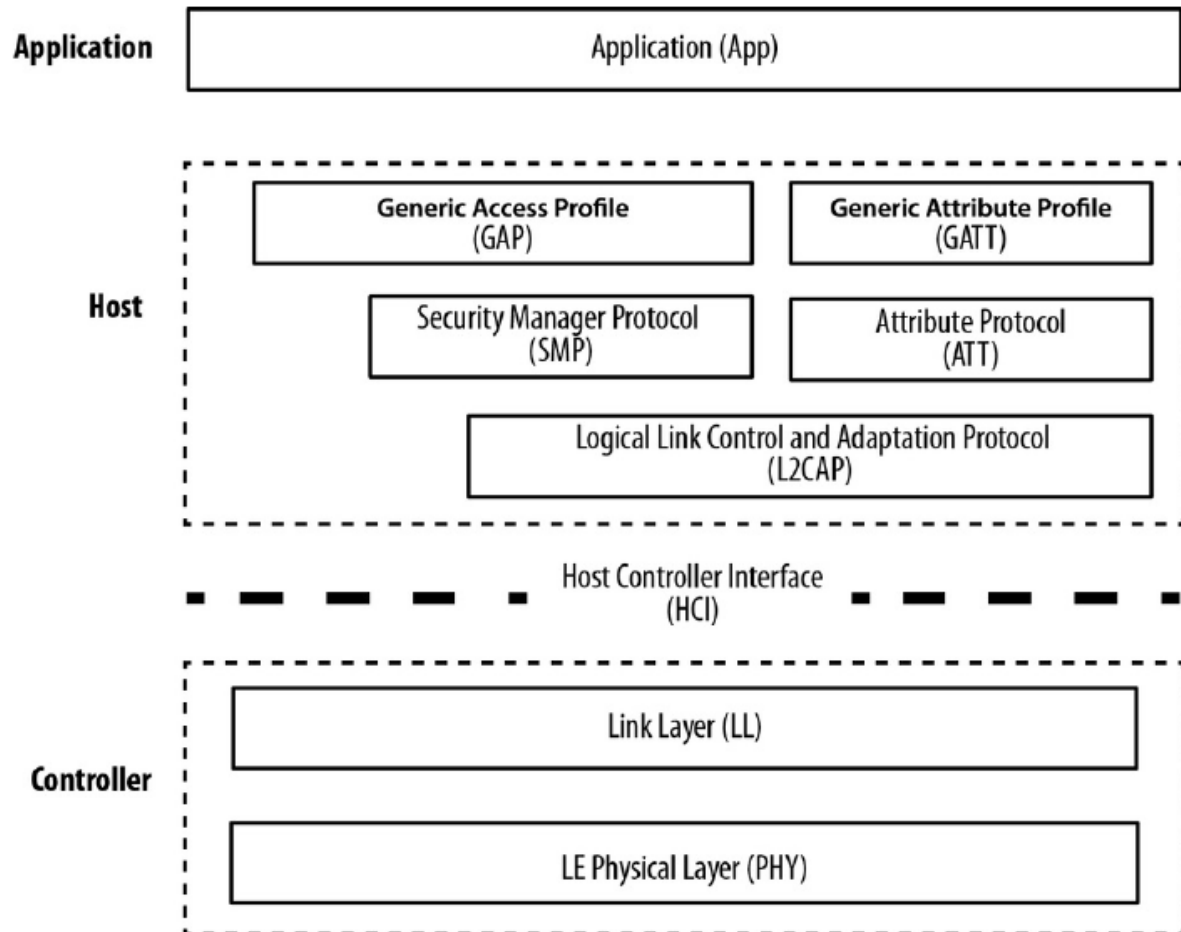


Abbildung 2: BLE Protokollstack [Tow14, Seite 16]

3.1.1 Physical Layer

Das sogenannte „Physical Layer“ bildet die Basis der Kommunikation bei allen digitalen Geräten. In dieser Schicht werden digitale Signale, also Bitfolgen, in analoge Signale umgewandelt. Dieser Vorgang wird zum Senden von Nachrichten über eine physikalische Schnittstelle benötigt. Die Rückübersetzung in eine digitale Bitfolge wird ebenfalls im „Physical Layer“ erledigt [Tow14, Seite 16]. Als physikalisches Medium bieten sich dabei eine Vielzahl von Möglichkeiten, wie beispielsweise Magnetismus, Strom, oder Licht [Tan14, Seite 95 - 101].

Bei BLE ist besagte physikalische Schnittstelle die Luft. BLE nutzt in dieser wie in Kapitel 2.3 einen definierten Frequenzbereich um Nachrichten zu übertragen. Dabei belegt BLE nur einen sehr kleinen Bereich des verfügbaren Spektrums. Insgesamt

ist der verfügbare Frequenzbereich in etwa 30.000GHz groß. In ihm werden unter anderem Radiowellen, Fernsehübertragungen, Satellitensignale und viele andere Signale transportiert [Tan14, Seite 107]. Im Frequenzbereich in dem BLE übertragen wird befinden sich trotz des großen Spektrums einige konkurrierende Technologien, wie beispielsweise „Wireless LAN“ [Tow14, Seite 17]. Aus diesem Grund verwendet Bluetooth im allgemeinen das sogenannte „Frequency Hopping Spread Spectrum“. Dafür wird der verfügbare Frequenzbereich im Fall von BLE in 40 Kanäle aufgeteilt. Von diesen werden drei Kanäle zum „Advertisment“, also zur Bekanntmachung, verwendet. Über diese gibt sich ein Gerät zu erkennen, welches bereit zum Verbinden ist. Ein suchendes Gerät wiederum überprüft ausschließlich diese drei Kanäle nach verfügbaren Geräten. Die restlichen 37 Kanäle werden anschließend für die Übertragung verwendet. Dabei wird zu Beginn des Datenaustausches eine Sprungfrequenz vereinbart, welche daher für jede neue Verbindung voneinander abweicht. Nachdem die Verbindungsinformationen vereinbart wurden, beginnt der Datenaustausch. Hierbei wechseln sämtliche Kommunikationspartner nach der vereinbarten Zeit die Kanäle aufgrund der Berechnung in Formel 3 [Tow14, Seite 17].

$$Kanal = (aktuellerKanal + Sprungfrequenz) \mod 37 \quad (3)$$

Sollte dennoch ein Paket bei der Übertragung verloren gehen, wird dieses nach sofortigem Kanalwechsel erneut übertragen. Sollte es mehrfach zu Problemen mit einem oder mehreren Kanälen kommen führt Bluetooth eine Kanalabschätzung durch. Dabei wird eine „Channel Bitmap“ mit Kanälen erzeugt, welche eine hohe Interferenz aufweisen. Diese werden anschließend für die laufende Verbindung gesperrt. Um festzulegen, ob ein Kanal blockiert ist, gibt es drei Möglichkeiten:

1. Received Signal Strength Indication (RSSI)
2. Eine hohe Paketfehlerrate
3. Informationen eines Endgerätes mit Zugriff auf konkurrierende Funktechnologien

Welche dieser Optionen verwendet wird ist allerdings vom Standard nicht vorgeschrieben und kann deshalb selbstständig definiert werden [Sau18, Seite 411].

3.1.2 Linked Layer

3.1.3 Profile

3.2 Kommunikation

3.2.1 Advertisement

3.2.2 Verbindung

3.2.3 Datenaustausch

**3.3 Featureset (Kosten, Reichweite, Energieverbrauch, etc... am
Titel muss ich noch schrauben)**

4 Anwendungsbeispiel iBeacon

4.1 Funktionsweise

4.2 Kommunikation

5 Vergleich mit anderen Kommunikationsprotokollen

5.1 ZigBee

6 Fazit

A Erster Abschnitt des Anhangs

In diesem Anhang wird ...

Literatur

- [Aue00] T. Auer. *Hybrid Tracking for Augmented Reality*. Dissertation, Technische Universität Graz, Graz, Austria, 2000.
- [Sau18] M. Sauter. LTE-Advanced Pro, UMTS, HSPA, GSM, GPRS, Wireless LAN und Bluetooth. In *Grundkurs Mobile Kommunikationssysteme*, Bd. 7, S. 410. Springer Vieweg, Wiesbaden (Deutschland), 2018.
- [Sch01] J. Schmidt, I. Scholz und H. Niemann. Placing Arbitrary Objects in a Real Scene Using a Color Cube for Pose Estimation. In B. Radig und S. Florczyk, Hg., *Pattern Recognition, 23rd DAGM Symposium*, Bd. 2191 von *Lecture Notes in Computer Science*, S. 421–428. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2001.
- [Tan14] A. Tanenbaum und D. Wetherall. In *Computer Networks*, Bd. 5, S. 95 – 104. Pearson, Harlow (Vereinigtes Koenigreich), 2014.
- [Tow14] K. Townsend, C. Cufi, Akiba und R.Davidson. Tools and techniques for lowpower networking. In *Getting Started with Bluetooth Low Energy*, S. 1, 15 – 1, 75, 79. O’Reilly Media Inc., Sebastopol (Vereinigte Staaten von Amerika), 2014.