

Bluetooth-Mesh im Parkhaus

Parkplatzmanagement mit der Mesh-Technologie von Bluetooth 5

Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurde eine günstige, kompakte und vielfältig erweiterbare Lösung zur Anzeige freier Parkplätze in Tiefgaragen entwickelt. Das Resultat ist ein eleganter Demonstrator, der die Möglichkeiten einer Kombination aus den bestehenden Low-Power- und den neuen Mesh-Funktionalitäten von Bluetooth 5 aufzeigt.

» Simon Gubler und Nehar Acifi

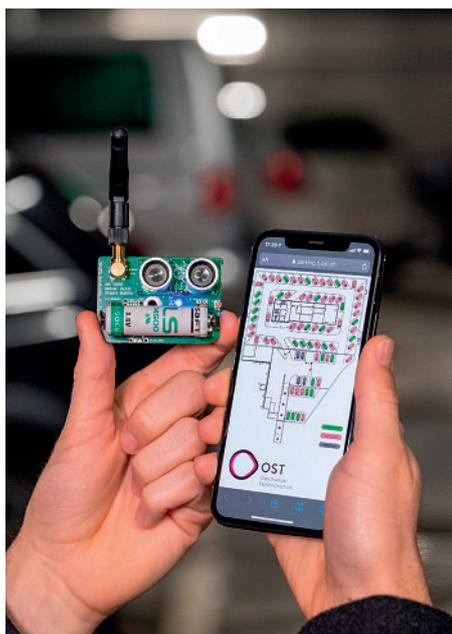


Abbildung 1: Low-Power-Node (LPN) und die dazugehörige Webseite.

Die Parkgarage am Rapperswiler Campus der OST Ostschweizer Fachhochschule (ehemalige HSR Hochschule für Technik in Rapperswil) bietet rund 75 Parkplätze und wird täglich rege genutzt. Die Garage verfügt an den Barrieren über ein Zählsystem, das die Anzahl freier Parkplätze bestimmt. Bei der Einfahrt wird jeweils angezeigt, ob noch Parkplätze frei sind oder ob die Garage bereits komplett besetzt ist. Gerade in Stosszeiten funktioniert dieses System jedoch oftmals nicht zuverlässig genug und zeigt den Status falsch an.

Im Rahmen einer Abschlussarbeit in Elek-

trotechnik wurden die beiden Bachelorstudierenden Simon Gubler und Nehar Acifi damit beauftragt, ein alternatives System zu entwickeln. Dieses sollte zuverlässig und wartungsarm sein und auf der neuen Mesh-Technologie von Bluetooth 5 basieren. Die genauen Standorte der freien Parkplätze sollten auf einer mobilfähigen Website dargestellt werden.

Eckpfeiler des Netzwerks sind relaisähnliche Friend-Nodes

Aus energietechnischen Gründen wurde bewusst auf eine Leuchtanzeige über den Parkplätzen verzichtet. Das Parkhaus ist ohnehin übersichtlich genug, sodass auf diese Funktionalität verzichtet werden kann. Letztlich besteht das Endprodukt aus mehreren batteriebetriebenen Sensorstationen, sogenannten Low-Power-Nodes (LPNs), welche die jeweiligen Parkplatzbelegungen feststellen und diese über das Netzwerk an ein Gateway (Zentrale) weiterleiten. Die Eckpfeiler des Netzwerks sind relaisähnliche Friend-Nodes (FNs), die es ermöglichen, grössere Distanzen zu überwinden und Nachrichten zwischenspeichern, bis die adressierten LPNs aus ihrem Ruhezustand kurz aufwachen. Am Ende stellt die Gateway-Station den Zugang zu einem Webserver her, der die aktualisierte Website bereitstellt.

Aus diesem interdisziplinären Projekt gingen bereits weit entwickelte Prototypen hervor, die in einer Testphase erfolgreich erprobt wurden. Zudem illustriert es die Vorteile dieses mächtigen und universell einsetzbaren Frameworks, das sich aus der Kombination der Low-Power- und Mesh-Funktionalitäten von Bluetooth 5 ergibt.

Bluetooth 5: Low-Power- und Mesh-Funktionalitäten

Basierend auf der älteren Version Bluetooth Low Energy (BLE) ermöglicht der Bluetooth 5 Standard unter anderem neue Mesh-Funktionalitäten. Meshing bezeichnet die Möglichkeit der sogenannten Many-to-Many-Kommunikation, auch bekannt als Concurrent Multicasting. Während frühere Versionen nur Einzelverbindungen (One-to-One-Kommunikation) oder Broadcasting (One-to-Many-Kommunikation) ermöglichten, können über das Mesh nun mehrere Teilnehmer mit mehreren Teilnehmern gleichzeitig kommunizieren. Auf diese Weise können beispielsweise Sensor-Nodes ihre Messdaten über mehrere Pfade und über weite Strecken an einen Server senden, ohne selbst grosse Sendeleistungen erbringen zu müssen.

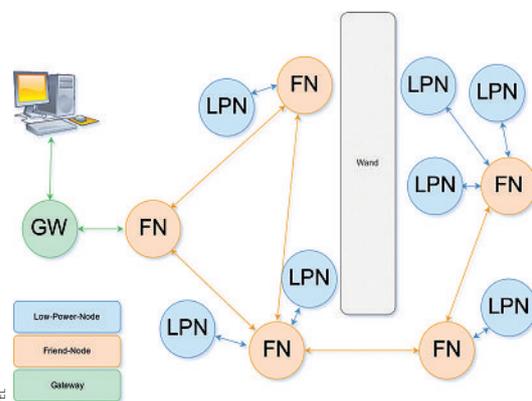


Abbildung 2: Bluetooth 5 Mesh aus Low-Power-Nodes (LPNs), Friend-Nodes (FNs) und Gateway (GW).



Abbildung 3: Fertiger LPN mit offenen Sensoren – es könnten jedoch auch wasserdichte, geschlossene Einheiten eingesetzt werden.

Ein Bluetooth-Mesh beinhaltet, wie in Abbildung 2 illustriert, typischerweise die folgenden drei Arten von Teilnehmern:

- **Low-Power-Nodes (LPNs):** Diese Teilnehmer weisen meist einen oder mehrere Sensoren auf, die bestimmte Messungen ausführen, oder nehmen Userinteraktionen wie das Drücken einer Taste entgegen. Sie befinden sich die meiste Zeit in einem Ruhezustand und erwachen jeweils nur kurz für ihre Aufgaben und die darauffolgende Übermittlung an den zugehörigen Friend-Node (FN). Da ein LPN dank der Mesh-Technologie nur periodisch seine Nachrichten bei einem Friend-Node abfragt, anstatt ständig auf Empfang zu sein, braucht er im Ruhezustand sehr wenig Energie. Dies ist bezeichnend für das Low-Power-Feature und ermöglicht es, die LPN mit einer Batterie oder sogar komplett autark (das heisst via Energy-Harvesting) betreiben zu können.
- **Friend-Node (FN):** Auch diese Teilnehmer können Messaufgaben ausführen, sie spannen aber insbesondere das Netzwerk auf und dienen als Relaisstationen für die LPNs: Möchte ein LPN eine Nachricht an die Zentrale (Gateway) senden, hat jedoch dazu selbst keine direkte Verbindung, dienen die FNs als Relais und leiten die Daten weiter. Soll umgekehrt eine Nachricht an einen LPN übermittelt werden, wird sie vom zugehörigen FN so lange zurückgehalten, bis der adressierte

LPN erwacht und die Botschaft abfragt. Da ein FN mehrere Verbindungen zu LPNs und FNs aufweisen kann und ständig empfangsbereit sein muss, lässt er sich üblicherweise nicht mit einer Batterie betreiben.

- **Gateway (GW):** Dieses Gerät agiert als Schnittstelle zwischen dem Mesh-Netzwerk und einem Computer oder Server, der dann allenfalls eine Verbindung zum Internet herstellt.

Mesh-basiertes Parkplatzmanagement

Die als LPN konfigurierten Parksensoren werden in Sensorreichweite bei jedem Parkplatz montiert (üblicherweise darüber). Ein LPN erwacht jeweils alle 15 Sekunden und eruiert mithilfe einer Ultraschallabstandsmessung, ob sich der Status der Parkplatzbelegung verändert hat, das heisst ob der Parkplatz noch immer frei oder inzwischen besetzt ist. Bei einer Statusänderung wird eine entsprechende Nachricht via Mesh-Netzwerk an das Gateway übermittelt. Zur Sicherheit sendet jeder LPN seinen Status periodisch in längeren Zeitabständen erneut, um die Korrektheit der Daten sicherstellen und auch auf sporadisch belegten Parkplätzen einen Ausfall detektieren zu können. Das Gateway (GW) leitet die Daten dann via UART an einen Raspberry Pi weiter, der anschliessend die Informationen auf der Website anzeigt.

Ist das Gateway nicht in direkter Reichweite vom LPN, kommen die Friend-Nodes (FNs) zum Einsatz. Sie bilden das eigentliche

Mesh und erweitern das Netzwerk dort, wo Lücken oder Hindernisse sind. Um die Funktionalität des Systems selbst bei einem Ausfall eines FNs zu gewährleisten, wird eine gewisse Redundanz eingebaut und die FNs werden so verteilt, dass sich die zugehörigen LPNs noch nahe genug am nächsten FN befinden. So wird die Gefahr minimiert, dass es einen Unterbruch im Mesh gibt. Um die Verbindungen der FNs untereinander und zum Gateway möglichst zuverlässig zu gestalten, sollten sie sich in direkter Sichtlinie befinden. Des Weiteren gibt es auch noch den kombinierten Fall FN+, in dem ein Friend-Node zusätzlich zu seiner Relais-Tätigkeit auch noch die Detektion einer Parkbelegung ausführt. Dazu wird er direkt bei einem Parkplatz montiert und ebenfalls mit einer Ultraschalleinheit ausgestattet.

Die Friend-Nodes sind anders als die LPNs nicht batteriebetrieben, da sie ständig für Bluetooth-Nachrichten empfangsbereit sein müssen. Die einzige Ausnahme ist der Test-Friend-Node (TFN), ein batteriebetriebener, mobiler Friend-Node. Dieser hilft beim Auf-

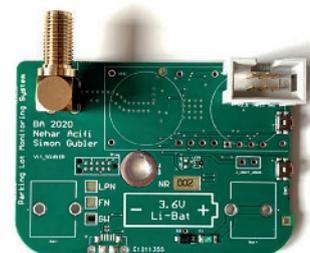
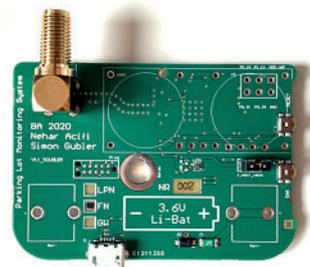


Abbildung 4: Drei der fünf möglichen Konfigurationen: LPN, FN, GW.

bau eines neuen Netzes oder bei Tests vor der fixen Installation.

Eine 5-in-1-Lösung

Um all diese Geräte möglichst einfach und günstig zu halten, wurde eine 5-in-1-Lösung entwickelt: Als Basis für alle fünf Geräte dient ein einziges, kompaktes und multifunktionales PCB. Zur Kostensenkung wurde es nur zweilagig gehalten. Dank verschiedener Bestückungsvarianten können damit die fünf verschiedenen Teilnehmertypen implementiert werden (LPN, GW, FN, FN+ und TFN). Abbildung 4 zeigt Beispiele der Konfigurationsarten.

Gehäuse im 3D-Druckverfahren selbst hergestellt

Die Umsetzung des Bluetooth-Meshes wurde mit dem nRF-52840-Chip von Nordic Semiconductor realisiert. Dieser kleine und günstige Chip ist für die gesamte Bluetooth-Kommunikation zuständig und kommt mit wenig Peripherie aus. Er beinhaltet ausserdem eine Distribution eines ARM Cortex M4, auf welcher die entwickelte Firmware läuft.

Für alle fünf Node-Typen wurden von den Studierenden funktionale Gehäuse entwickelt, die ohne Schrauben verschliessbar sind und damit einen einfachen Batteriewechsel ermöglichen. Sie wurden an der Hochschule im 3D-Druckverfahren hergestellt.

Low-Power-Feature

Aus der Tabelle 1 kann entnommen werden, welche Batterielaufzeiten mit dem Low-Power-Feature erreicht werden können: Die durchschnittliche Stromaufnahme kann drastisch gesenkt werden, wenn im Gegensatz zum Friend-Node kein lückenloser Empfang von Bluetooth-Nachrichten gewährleistet werden muss. Die theoretischen Werte können unter anderem durch Anpassungen der Software bezüglich Intervallen von Lebenszeichen (sogenanntes Heart-Beat-Signal) erreicht werden. Die Batterielaufzeiten sind jeweils für die

verbaute Lithium-Batterie (3.6 V, 2300 mAh) berechnet.

Damit ist auch aufgezeigt, weshalb die Friend-Nodes für den fixen Betrieb über eine kabelgebundene Energiequelle anstelle einer Batterie versorgt werden müssen (Stromaufnahme bei FN, TFN und auch Gateway gleich, bei FN+ sogar noch etwas höher). Die Laufzeit von gut einer Woche beim batteriebetriebenen Test-Friend-Node ist für mögliche Testzwecke jedoch ausreichend.

Webseite

Um die ausgewerteten Sensordaten visualisieren zu können, wurde eine Webseite auf der Basis von HTML5, PHP und einer SQL-Datenbank erstellt. Python-Skripts sind für die Aktualisierung und für das Abfragen der Datenbank zuständig. Sie kommunizieren via SQL-Befehlen mit der Datenbank und via UART mit dem Gateway.

Die Webseite ist für die Anzeige auf Computern sowie mobilen Geräten (Abbildung 5) optimiert: Der Grundriss der Garage und die farbig eingezeichneten Parkfelder bestehen aus skalierbaren Vektorgrafiken, die unabhängig von der Bildschirmgröße und insbesondere auch auf Mobiltelefonen immer scharf dargestellt werden. Die SQL-Datenbank wird automatisch alle zwei Sekunden nach Zustandsänderungen abgefragt, damit immer aktuelle Daten angezeigt werden. Dank eines jQuery-Skripts werden auf der Website nur diejenigen Parkfelder aktualisiert, bei denen in der Datenbank eine Zustandsänderung stattgefunden hat. Dadurch erfolgt die Aktualisierung sehr schnell und das erneute Darstellen der Elemente ist nicht wahrnehmbar.

Zusammenfassung

Bluetooth 5 ermöglicht mit der Kombination aus Low-Power- und Mesh-Funktionalitäten ein vielseitiges Framework, das eine Grundlage für verschiedenste Applikationen bietet. Das hier entstandene System zeichnet sich durch seine Kompaktheit und hohe Zuverlässigkeit aus; bei der Entwicklung wurde auch ein besonderes Augenmerk auf einfache Einrichtung und Erweiterung sowie auf benutzerfreundliche Handhabung gelegt. ⚡

Geräte	Durchschnittliche Stromaufnahme	Batterielaufzeit
Low-Power-Node (erreicht)	130 µA	ca. 2 Jahre
Low-Power-Node (theoretisch)	<10 µA	>15 Jahre
Test-Friend-Node	12 mA	ca. 8 Tage

Tabelle 1: Stromaufnahme von Low-Power-Node und Test-Friend-Node.

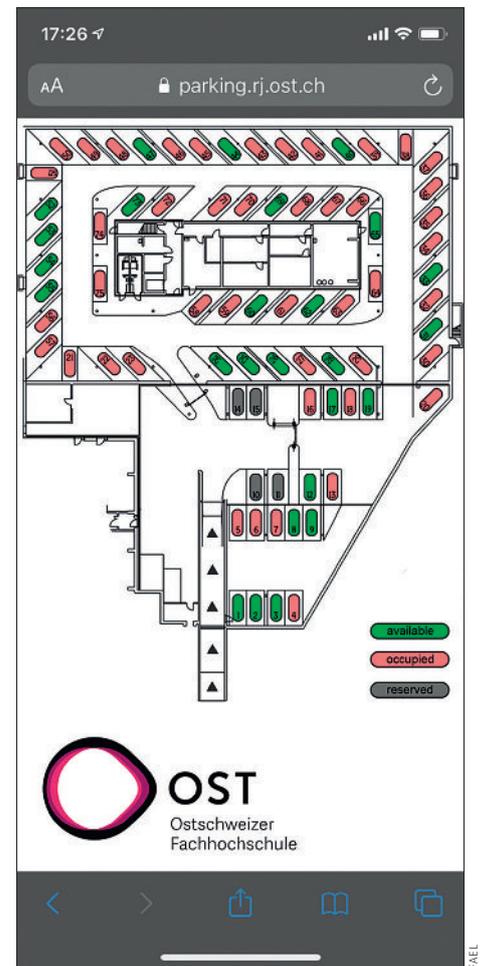


Abbildung 5: Ansicht der Parkplatzbelegung auf einem Smartphone.

igkeit aus; bei der Entwicklung wurde auch ein besonderes Augenmerk auf einfache Einrichtung und Erweiterung sowie auf benutzerfreundliche Handhabung gelegt. ⚡

FAEL Kompakt

FAEL: Swiss Engineering Fachgruppe für Elektronik & Informatik

Mitglieder: 1038

Gründung: 1978

Präsident: Michael Giger, Dipl. Ing. FH

Kontakt: Fachgruppe Elektronik und Informatik, 8000 Zürich, Michael Giger, Tel. 079 473 60 40

Infoservice

Heinz Mathis

ICOM – OST Ostschweizer Fachhochschule

heinz.mathis@ost.ch

icom.hsr.ch