

Erweiterung der Ausbildungsinhalte im Kontext des Wireless Network and Computer/Communications Lab im FG IoT Engineering

Fachgebiet Entwicklung von Systemen für das Internet-of-Things

Prof. (Jun.-Prof.) Dr. Florian Klingler

Motivation:

Das Wireless Network and Computer/Communications Lab (WNC Labs) am neu gegründeten Fachgebiet IoT Engineering (Entwicklung von Systemen für das Internet of Things) befasst sich mit effizienter Kommunikation von drahtlosen Netzwerken im Kontext von IoT sowie anderen Anwendungsdomänen, z.B. Fahrzeugnetze, Drohnen-/ und LEO-Satelliten-Kommunikation. Bereits an der Universität Paderborn konnten in diesem Bereich zahlreiche wichtige Themenbereiche bearbeitet werden, z.B.:

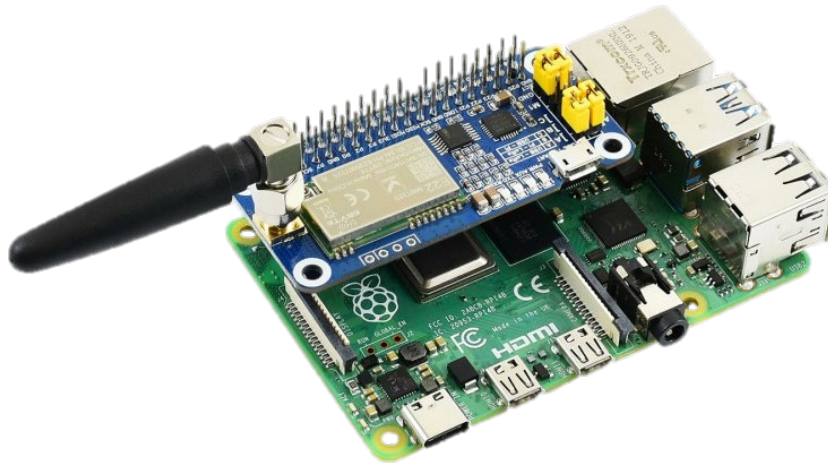
- Kopplung von Funkkanälen zwischen Simulation und realer Welt in einer Hardware-in-the-Loop (HiL)-Umgebung.
- Prototypische Implementierung einer IEEE 802.11 WLAN-Toolbox zur Leistungsbeurteilung von Drahtlosnetzwerken im Bereich 2.4 und 5 GHz sowie IEEE 802.11ad 60 GHz.
- Jamming-Attacken auf IEEE 802.11 Unicast-Frames zum selektiven und gezielten Triggern des exponential Backoff Algorithmus auf entfernten Knoten
- Evaluation der Performance von IEEE 802.11p im Bereich landwirtschaftlicher Umgebungen
- LoRa und LoRaWAN basierte Simulationsstudie zur effizienten Netzwerkprotokollentwicklung eines verteilten Waldbranderkennungssystems
- Prototypische Implementierung und experimentelle Evaluierung des verteilten Waldbranderkennungssystems
- Entwicklung eines verteilten Krisenkommunikationssystems basierend auf Raspberry Pis, LoRa und LoRaWAN sowie IEEE 802.11 WLAN.

Die durch unsere Forschungen gewonnenen Erfahrungen konnten bisher nur in eingeschränktem Rahmen an Studierende weitergegeben werden. Ausnahmen waren vereinzelte Teamprojekte sowie Abschlussarbeiten. Jedoch haben insbesondere die studentischen Arbeiten im Kontext von Bachelor- und Masterarbeiten sowie Teamprojekten und generell meine Lehrveranstaltungen gezeigt, dass seitens der Studierenden ein sehr großes Interesse bezüglich der oben angeführten Themenbereiche besteht.

Aktueller Stand:

Im Wintersemester 2022/23 haben wir an der Universität Paderborn am Fachgebiet Rechnernetze ein Teamprojekt im Bachelorstudiengang Computer Engineering mit mehreren Studierenden durchgeführt, welche ein Krisenkommunikationssystem basierend auf Raspberry Pis und Lora Shields entworfen sowie prototypisch implementiert und evaluiert haben. Die Arbeiten zu diesem Projekt fußten vorrangig auf Vorarbeiten der Teamprojekte der vorhergehenden beiden Jahre, bei welchen ein verteiltes Waldbranderkennungssystem zum einen simulativ (WS 2020/21) sowie prototypisch anhand von Raspberry Pis und LoRa Modulen (WS 2021/22) erarbeitet, implementiert sowie evaluiert wurde.

Parallel gibt es laufende Abschlussarbeiten (Bachelor sowie Master), welche sich zum einen mit Fairness beim Medienzugriff in einer verteilten HiL-Architektur im Kontext von IEEE 802.11 und gekoppelten Funkkanälen beschäftigt. Zum anderen befassen sich diese Arbeiten mit der Modellierung von 5G basierter Kommunikation zur Entwicklung einer Toolbox auf GNU/Linux Basis, um die gewonnen Leistungsparameter aus Simulationsstudien in einem Realnetzwerk in Echtzeit darzustellen. Motivation dafür ist die resiliente und reproduzierbare Modellierung der Performance von Drahtlosnetzwerken, um die Entwicklung von effizienten Kommunikationsprotokollen zu ermöglichen und wissenschaftlich fundiert untersuchen zu können.



Ziele:

Der praktischen Anwendung der vorgestellten Konzepte und Systeme steht ein Problem entgegen:

Aktuelle Hardware, die im Zuge des Umzugs von der Universität Paderborn an die TU Ilmenau und Neugestaltung des FG IoT Engineering hier an der TU Ilmenau, übernommen oder angeschafft wird, ist in einer zu geringen Stückzahl vorhanden, um diese effektiv zur Ausgestaltung in der Lehre und dem Aufbau eines gezielten Ausbildungskonzeptes zu verwenden.

Des Weiteren muss die Hardware (Embedded Systems, Drahtlosmodule, Zubehör) in einer ausreichenden Menge vorhanden sein, um auch größer angelegte Experimente und Versuchsaufbauten zu gewährleisten. Beispielsweise bei der Entwicklung von Protokollen zum Multi-Hop-Forwarding im Bereich Krisenkommunikation und der Implementierung auf realen Systemen muss eine gewisse Anzahl von Knoten im Netzwerk vorhanden sein, um (a) die Effizienz der entworfenen Ansätze beurteilen zu können, sowie (b) um einer größeren Anzahl von Studierenden auch parallel die Möglichkeit zu geben, an den Systemen zu arbeiten. Dies hat bei entsprechender Verfügbarkeit auch darauf positiven Einfluss, diese Studierenden später für potentielle Doktorand:innen-Stellen zu motivieren.

Um diese Schwierigkeiten zu überwinden und den Studierenden auch das praktische Arbeiten mit Drahtlossystemen im Kontext von IoT zu vermitteln, sind folgende Anschaffungen geplant:

1.) Bereitstellung von zusätzlichen eingebetteten Systemen inkl. LoRa-Kommunikation für die Lehre:

Auf Basis der eingesetzten Hardware in unseren LoRa-Projekten (siehe oben) sollen weitere Systeme angeschafft werden, damit die FG IoT Engineering Teamprojekte sowie Abschluss-

arbeiten in diesem Kontext anbieten kann. Dies fördert insbesondere auch den wissenschaftlichen Nachwuchs, da die angebotenen Projekte und Arbeiten in der Lehre immer einen starken Forschungsbezug zum FG IoT Engineering darstellen.

2.) Bereitstellung von zusätzlichen Systemen für Arbeiten an IEEE 802.11 WLAN:

In der Vergangenheit wurden am Fachgebiet zahlreiche Arbeiten in Bezug zu IEEE 802.11 WLAN durchgeführt (siehe oben) und diese größtenteils als OpenSource-Software der Research-Community zur Verfügung gestellt [2]. Dies hat insofern Resonanz gefunden, als dass viele weitere Arbeiten auf unseren Forschungen aufbauen [3, 4]. Erwähnenswert ist hier das OpenC2X Projekt unter meiner Betreuung, welches die erste OpenSource-Implementierung des ETSI ITS-G5 Netzwerk Stacks für Fahrzeugkommunikation darstellt, und neben gängigen Embedded Systemen mit IEEE 802 WLAN auf 5.9 GHz auch handelsübliche TP Link WLAN -Router (WDR3600, WDR4300) unterstützt. Diese Unterstützung wurde später im Rahmen einer Bachelorarbeit unter meiner Betreuung entwickelt.

[2] <https://fklingler.net/software/>

[3] <https://harrisonsand.com/posts/802-11p-v2x-hunting/>

[4] <https://github.com/florianklingler/OpenC2X-standalone/network/members>

Um weitere Arbeiten in diesem Kontext durchzuführen, ist die Anschaffung weiterer Systeme unumgänglich. Zum einen, damit mehrere Studierende parallel an verschiedenen Fragestellungen arbeiten können, zum anderen aber auch um größere Feldtests und Experimente durchführen zu können. Reine simulationsbasierte Arbeiten sind in diesem Bereich nur eingeschränkt sinnvoll, da Simulationsmodelle zum Teil zu sehr von einem realen System abstrahieren. Des Weiteren gibt die Arbeit an realen Prototypen den Studierenden einen besseren Einblick in das Gesamtkonzept und erlaubt eine tiefere Erfassung der Lerninhalte. Auch werden Studierende dadurch besser in Ihrem Lernziel unterstützt, und es dient der Steigerung der Motivation, mit realen Systemen zu arbeiten.

Ausbildungskonzept:

Im Rahmen der praktischen studentischen Arbeiten sollen zu den regulären Lehrveranstaltungen am FG IoT Engineering (für das SS 2023 ☞ Drahtlose Eingebettete Systeme) in Zukunft auch Entwicklungsaspekte und Optimierungsaufgabenstellungen in das Lehrkonzept mit aufgenommen werden und diese in Form von Teamprojekten und Abschlussarbeiten angeboten.

Es ist geplant, die Teamprojekte (genauere Planung, wie sich diese anhand geeigneter Veranstaltungen in das Lehrkonzept der Fakultät integrieren lassen, erfolgt noch) als ein-semestrige Lehrveranstaltung bzw. als Projektgruppe über zwei Semester hinweg anzubieten. Studierende sollen dabei den gesamten Entwicklungsprozess durchlaufen: Systemanalyse (Anforderungsanalyse sowie Machbarkeitsstudie), Systementwurf, Detailentwurf, Validierung und Optimierung.

Das reale System kann in diesem Fall den Studierenden helfen, ihr Design zu validieren und das Ergebnis ihrer Entwurflösungen praktisch zu testen und im Hinblick einer detaillierten Leistungsanalyse zu bewerten.

Basierend auf den Vorarbeiten, welche wir an der Universität Paderborn angefertigt haben, sollen die Studierenden insbesondere an folgenden Teilaspekten ihr Wissen anhand praktischer Arbeiten vertiefen:

- Entwicklung und Erweiterung eines LoRa-basierten Krisenkommunikationssystems auf Basis eines verteilten Netzwerks

- Studierende befassen sich hierbei mit der Entwicklung eines Netzwerkstacks auf Basis von LoRa, bei welchem sie die einzelnen Schichten des ISO/OSI Modells genauer betrachten. Die verwendete Hardware erlaubt, anstatt direkt mittels Unix Sockets auf Netzwerkfunktionalität des Betriebssystems zurückzugreifen, einen direkten Zugang zur Hardware. Dabei müssen die Studierenden insbesondere Wissen zum Link Layer (Framing, Medienzugriff, Multiplexing), Networking Layer (Adressierung, Routing), und Transport Layer (End-to-End, Congestion Control) erwerben. Dieses Wissen hilft den Studierenden, Kommunikationssysteme und ihre speziellen Eigenschaften im Kontext von IoT-Systemen (Energieeffizienz, Resilienz, knappe Kanalkapazität von LoRa) umfassend zu verstehen und deren Spezifika in der Protokollentwicklung zu berücksichtigen.
 - Als weiteren Schritt planen und implementieren Studierende eine verteilte Netzwerkarchitektur, um Daten basierend auf deren Informationsgehalt an die entsprechenden Knoten im Netzwerk weiterzuleiten. Hierbei stellt die Lehrveranstaltung „Drahtlose Eingebettete Systeme“ (Bachelor) der FG IoT Engineering hilfreiches Vorwissen bereit, um die gelernten Konzepte zur Informationsweiterleitung (Ad Hoc Routing, Information Centric Networking) sowie zur energieeffizienten Kommunikation in praktischen Systemen anzuwenden.
 - Aus der Perspektive eines Gesamtsystems erstellen Studierende in dem Projekt auch eine Benutzeroberfläche, oder integrieren mobile Geräte/Smartphones in das System, um ein verteiltes Krisenkommunikationsmedium basierend auf einem Chatsystem im Kontext von LoRa zu entwerfen.
- Die geplante Anschaffung von zusätzlichen LoRa-Systemen kann auch für weitere Projekte in diesem Bereich verwendet werden: z.B. Erweiterung des verteilten Waldbranderkennungssystems um Eigenschaften zur Messung von Umwelteinflüssen, Wetter und Regen. Oder der Entwurf von Systemen um Smart Gardening und Smart Farming zu unterstützen: Das Netzwerk erfasst wichtige Parameter zur Bewässerung, Düngung und dem Erhalt von Pflanzen. Hierbei sind auch Kooperationen mit anderen Fachgebieten vorstellbar, welche sich dem Thema Sensorik widmen. Dies würde sich ideal mit den Arbeiten in unserem FG IoT Engineering ergänzen, bei welchem wir in diesem Bereich mit Arbeiten zu In-Network Processing unterstützen können.
 - In einem anderen Teilbereich der Arbeiten am FG IoT Engineering können Studierende die anzuschaffenden WLAN-basierten Embedded Systems (APU + WLAN Karten) verwenden, um detaillierte Erkenntnisse über das Kommunikationsverhalten von IEEE 802.11 WLAN zu erhalten. In der Vergangenheit haben wir mit diesen Systemen studentische Arbeiten durchgeführt, die z.B. die Kopplung von Funkkanälen von Simulation und realer Welt ermöglichen. Mittels der eingesetzten Komponenten ist es möglich, die genauen Eigenschaften der Funkmodule zu verändern, indem der WLAN Treiber ath9k modifiziert wird. Dadurch ergibt sich eine Vielzahl neuer Möglichkeiten, wie diese Systeme in der Lehre verwendet werden können: z.B. Erarbeitung und Implementierung von Architekturen eines verteilten Netzwerks, um Edge-Computing Mechanismen zu unterstützen, In-Network Processing, oder aber auch die Verknüpfung mit Systemen für LoRa Kommunikation (siehe oben).
 - In meinen bisherigen Lehrveranstaltungen an der Universität Paderborn habe ich immer auch Anknüpfungspunkte zu aktuellen Forschungstätigkeiten gegeben und Teilaspekte dazu in Teamprojekten bearbeiten lassen. Mithilfe von zusätzlichen

Systemen können Studierende selbst mit der Hardware experimentieren und erhalten dadurch ein besseres Verständnis der vermittelten Lehrinhalte.

- In Abschlussarbeiten sind oftmals zwei oder mehrere dieser Systeme gleichzeitig notwendig, z.B. bei der Kopplung von Funkkanälen in Echtzeit sind dies vier Systeme – Empfänger, Sender, Generator der Interferenz, sowie Gerät welches den Funkkanal in der realen Welt verwendet. In zukünftigen Arbeiten werden am Fachgebiet Medienzugriffssysteme entwickelt, um die Fairness von MAC von Kommunikationssystemen im HiL-Kontext weiter zu verbessern.
- Im Rahmen von Projektgruppen sollen die angeschafften Systeme auch verwendet werden, um offene Fragestellungen im Bereich Vehicular Networking zu bearbeiten, insbesondere in Bezug auf Details zum Kommunikationsverhalten, Kanalmodelle, Leistungsbewertung, etc. In diesem Kontext sollen Studierende auch an Systemen für Vulnerable Road Users (VRU) arbeiten – ein neues Arbeitsgebiet im Bereich Vehicular Networking welches aber speziell auf die Bedürfnisse von Radfahrenden Personen und andere Verkehrsteilnehmer eingeht. Hierzu sollen geeignete Netzwerkarchitekturen, Protokolle und Anwendungen entwickelt werden, um Cooperative Awareness für VRUs zu ermöglichen. Diesbezüglich ist neben dem System zur Kommunikation an sich (APU + WLAN Karten) auch ein GPS Empfänger notwendig, welcher sich speziell parametrieren lässt, um auch sehr feingranulare Positionsbestimmungen zuzulassen. Dies ist möglich, da spezielle GPS-Empfänger (der Firma u-blox) die Informationen mehrerer Positionierungssysteme miteinander verknüpfen können. In der Vergangenheit wurden mit diesen Geräten sehr gute Erfahrungen gemacht.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass mit der zusätzlichen Hardware (Embedded Systems mit WLAN) sowie Raspberry Pi mit LoRa-Modulen die Lehraktivitäten am Fachgebiet IoT Engineering ausgebaut und für Studierende attraktiver gemacht werden sollen. Dies hilft insbesondere, um (a) interessierte Studierende für die TU Ilmenau als Studien- und Forschungsstandort zu gewinnen, und (b) den wissenschaftlichen Nachwuchs gezielt für die eigenen Forschungsarbeiten zu fördern.

Wir danken deshalb dem Förderverein der Fakultät für die Unterstützung des Fachgebiets IoT Engineering, um den Ausbau des „Wireless Network and Computer/Communications“ Lab voranzutreiben.