

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Internet věcí na platformě STM32

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Josef BALEK**
Osobní číslo: **E15N0018P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Internet věcí na platformě STM32**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s problematikou "Internet věcí" (IoT).
2. Proveďte rešerši dostupných komunikačních sítí pro tuto oblast v ČR a zhodnoďte jejich výhody/nevýhody.
3. Seznamte se s vývojovým modulem od ST a rozšiřujícím modulem využívající komunikační síť LoRa.
4. Vyberte vhodný IoT model pro aplikaci komunikační sítě LoRa a na několika vývojových modulech tento model realizujte.
5. Vytvořené technické a programové prostředky podrobně popište.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **Pinker, J., Mikroprocesory a mikropočítače**
2. **Herout, P., Učebnice jazyka C - 1. díl**
3. **Hanák, J., Programování v jazyce C**
4. **Internetové zdroje**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jaroslav Freisleben, Ph.D.**

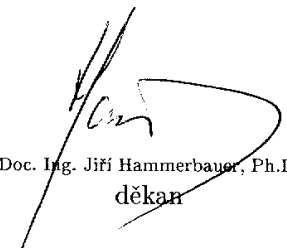
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Konzultant diplomové práce: **Ing. Jaroslav Bečka**

Microcontroller Application Support Engineer

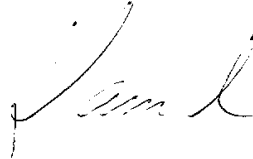
Datum zadání diplomové práce: **14. října 2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **19. května 2017**



Doc. Ing. Jiri Hammerbauer, Ph.D.
děkan

L.S.



Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2016

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na ověření funkce LoRa vývojové sady vyrobené společností STMicroelectronics a na zmapování bezdrátových sítí používaných v České republice. Pro ověření funkce bylo vybráno zjišťování přítomnosti osob na pracovním místě pomocí akcelerometru a gyroskopu. Komunikace je ověřena pomocí sítě LoRa spravované společností RVTech s.r.o. a aplikace naprogramované v programovacím jazyce Java.

Klíčová slova

detekce osob, internet věcí, Java, LoRa, mikrokontrolér, vývojová sada

Abstract

Diplomatic thesis is focused on LoRa development kits from STMicroelectronics. Next thesis topic is overview of wireless networks used in the Czech Republic. Kit function is checked by the application for detection of persons. Application use the accelerometer and the gyroscope sensors. Communication is checked with LoRa network provided by RVTech s.r.o. and with the Java application.

Key words

detection of persons, Internet of things, Java, LoRa, microcontroller, development kit

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 18.5.2017

Josef Balek

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Jaroslavu Freislebenovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a vedení mé práce. Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří pomáhali s gramatickou kontrolou práce a také všem kteří mne podporovali při jejím vytváření i při samotném studiu.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
1 TECHNOLOGIE PRO IOT	12
1.1 BEZDRÁTOVÁ KOMUNIKACE	12
1.1.1 <i>LoRa</i>	14
1.1.2 <i>SIGFOX</i>	15
1.1.3 <i>ZigBee</i>	16
1.1.4 <i>Wi-Fi</i>	16
1.1.5 <i>Bluetooth</i>	16
1.1.6 <i>GSM</i>	17
1.2 POROVNÁNÍ KOMUNIKAČNÍCH SÍTÍ	17
1.3 INFRASTRUKTURA PRO IOT	18
1.4 MIKROKONTROLÉRY	18
1.4.1 <i>Architektura ARM</i>	19
1.4.2 <i>Architektura x86</i>	19
1.4.3 <i>Architektura AVR</i>	19
1.5 SOFTWARE	19
1.5.1 <i>Programovací prostředí</i>	20
1.5.2 <i>Bezpečnost</i>	20
1.5.3 <i>Softwarový řetězec pro internet věci</i>	21

1.6	MODEL INTERNETU VĚCÍ	22
1.7	SENZORY PRO DETEKCI OSOB	24
2	VLASTNÍ REALIZACE	30
2.1	ZVOLENÝ MODEL INTERNETU VĚCÍ.....	30
2.2	HARDWARE	30
2.2.1	<i>Mikrokontroléry.....</i>	<i>31</i>
2.2.2	<i>Bezdrátový modul</i>	<i>32</i>
2.2.3	<i>Senzory</i>	<i>33</i>
2.3	SOFTWARE	34
2.3.1	<i>Program obsluhy senzorů a řízení bezdrátové komunikace</i>	<i>34</i>
2.3.2	<i>Aplikace pro zobrazení dat.....</i>	<i>36</i>
2.4	OVĚŘENÍ FUNKCE	43
	ZÁVĚR	45
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	46
	SEZNAM OBRÁZKŮ	50
	PŘÍLOHY	1

Úvod

Problematika internetu věcí se zabývá radiovými komunikacemi, mikrokontroléry a senzorovou technikou. Její rozvoj začal v nedávné minulosti. Díky rozvoji techniky se staly systémy schopné bezdrátové komunikace velmi dostupné a zároveň jejich spotřeba je přijatelná pro dlouhodobou činnost na baterie. Tyto systémy se vyskytují napříč všemi obory a slouží jak k dosažení trvalé udržitelnosti, tak ke zlepšení životní úrovně.

Základní myšlenka těchto technologií je v připojování dříve nezávislých zařízení k počítačové síti. S rozvojem internetu věcí se také rozvíjí bezdrátové komunikace. Proběhl vývoj komunikačních sítí, které jsou pro tento účel určené. Jedná se o bezdrátová připojení s velmi malou přenosovou rychlostí v řádu jednotek až desítek kilobitů za sekundu, velkým dosahem od jednotek kilometrů v husté zástavbě, až po desítky kilometrů při přímé viditelnosti a v neposlední řadě také možností fungovat se značným počtem zařízení při malém nároku na napájení. Tím tvoří opak současných bezdrátových sítí, které jsou zaměřené především na co nejvyšší přenosovou rychlost, ale svým rozsahem a množstvím připojených zařízení jsou velmi omezené

Seznam symbolů a zkratk

Zkratka	Anglický význam	Český význam
6LoWPAN	IPv6 Low power wireless personal area network	Nízkovýkonová síť s IPv6
bps	Bite per second	Bit za sekundu
CISC	Complete instruction set computing	Kompletní instrukční sada
DevEUI	Device unique identifier	Unikátní identifikace zařízení
Gbps	Gigabite per second	Gigabit za sekundu
GSM	Global Systém for Mobile communication	Globální systém pro mobilní komunikaci
IoT	Internet of Things	Internet věcí
kbps	Kilobite per second	Kilobit za sekundu
LPWAN	Low Power Wide Area Network	Rozsáhlá nízkovýkonová síť
M2M	Machine to machine	Mezi stroji
Mbps	Megabite per second	Megabit za sekundu
MQTT	Message queue telemetry transport	Přenos zpráv telemetrie
Msps	Mega sample per second	Milion vzorků za sekundu
P2P	Peer to peer	Klient-klient
PIR	Passiv infrared sensor	Pasivní infračervený senzor
RISC	Reduced instruction set computing	Redukovaná instrukční sada
WLAN	Wireless local area network	Lokální bezdrátová síť
WNAN	Wireless neighborhood area network	Bezdrátová síť v okolí
WPAN	Wireless personal area network	Osobní bezdrátová síť
WWAN	Wireless wide area network	Rozsáhlá bezdrátová síť

1 Technologie pro IoT

Tato část se zabývá popisem technologií a zařízení, která se používají pro internet věcí. Samotný pojem internet věcí pak slouží k označení jednoduchých zařízení, která jsou propojena pomocí komunikačních sítí. Zařízení pak umožňují získávání různých dat či vzdálené ovládání přístrojů nebo osvětlení.

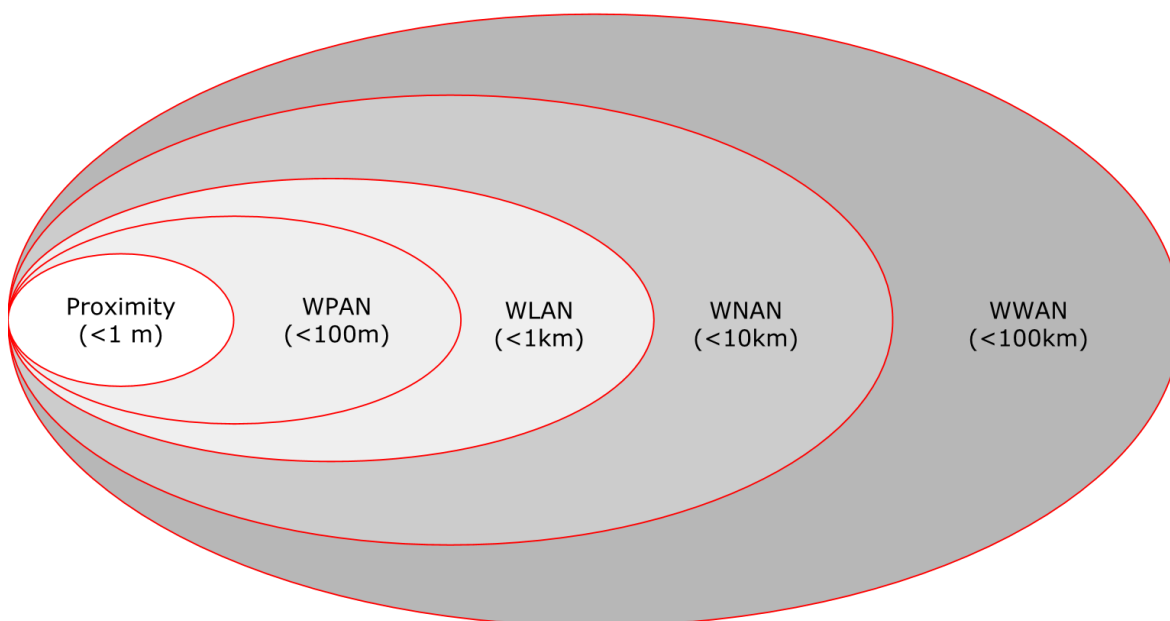
Základ internetu věcí tvoří zařízení složená z mikrokontrolérů doplněných o řadu přídatných systémů. Ty spojuje infrastruktura počítačových sítí se servery pro ukládání nebo zpracování dat. Přídatné systémy jsou senzory sloužící ke sběru fyzikálně chemických dat nebo akční členy konající požadovanou akci. Následující kapitoly se zabývají těmito technologiemi a jejich využitím v internetu věcí. Řeší také jejich výhody, nevýhody a bezpečnostní rizika, která připojování zařízení k internetu přináší.

1.1 Bezdrátová komunikace

Bezdrátová komunikace pro internet věcí je prováděna na různých kmitočtech od stovek MHz po jednotky GHz. Používané jsou různé druhy komunikačních systémů. Bezdrátovou komunikaci lze rozdělit podle výkonu na nízkovýkonovou a standartní. Mezi nízkovýkonové bezdrátové sítě, označované jako LPWAN nebo 6LoWPAN, patří SIGFOX, ZigBee, LoRa, Bluetooth LE a další. Ostatní využívají standartních bezdrátových technologií, jako jsou Wi-Fi, Bluetooth a GSM. [1]

Tab. 1.1 Rozdělení bezdrátových technologií dle dosahu [1]

Proximity	WPAN	WLAN	WNAN	WWAN
NFC	Bluetooth LE	802.11a/b/g/n/ac	Wi-SUN	2G/3G/4G
RFID	ZigBee	802.11af	ZigBee-NAN	LTE
	Thead	802.11ah		5G
	Z-Wave	802.11p		SigFox
	WirelesHART			LoRa
	ISA100.11a			Telensa
				PTC



Obr. 1.1 Přehled dosahu bezdrátových technologií, inspirováno [1]

Nízkovýkonové sítě jsou speciálně navrženy pro minimální spotřebu energie. Jejich rychlost se pohybuje maximálně ve stovkách kbps. Zásadní výhodou těchto sítí je v nízkém nároku na výkon a velkém dosahu v řádu kilometrů v zastavěné oblasti, až po desítky kilometrů v případě přímé viditelnosti. Díky své nízké spotřebě jsou schopné dlouhodobého provozu na baterie. Další výhodou je možnost připojení velkého počtu koncových zařízení k jedné základnové stanici.

Opakem k nízkovýkonovým sítím tvoří standardní bezdrátové technologie jako jsou Wi-Fi a GSM. Přenosové rychlosti těchto technologií dosahují jednotek až stovek Mbps, výjimečně dosahují i rychlostí přes jednotky Gbps. Tyto technologie jsou méně odolné vůči rušení a hůře pracují ve velkých počtech. Jejich dosah v husté zástavbě dosahuje desítek až stovek metrů a jejich spotřeba je výrazně vyšší než u sítí speciálně vytvořených pro nízké výkony a přenosové rychlosti.

1.1.1 LoRa

Technologie vyvinuta speciálně pro komunikaci na velké vzdálenosti. Název je odvozen z anglického „Long Range“ (dlouhý dosah). Zároveň je určena pro nízkou spotřebu elektrické energie a tím možnost dlouhodobé funkce při bateriovém napájení. Dalšími cíli této technologie je velká kapacita připojených zařízení a nízká cena. Při komunikaci se využívá rozmítaná modulace. Tato modulace umožňuje přenos na velké vzdálenosti a zároveň funguje s nízkou spotřebou. Další využití této modulace je ve vojenské technice a vesmírných programech, kde je nezbytné vysílat na velké vzdálenosti. [2] [3]

Architektura sítě LoRa je v uspořádání do hvězdy. Jednotlivé uzly jsou připojeny do sítě veřejných nebo privátních. Jednotlivé buňky mohou být velikosti několika kilometrů v zastavěné oblasti, až po stovky kilometrů ve volném prostředí. [3]

Jednotlivé uzly sítě LoRa mohou pracovat ve třech různých režimech:

- A. Režim označovaný jako „Class A“ umožňuje obousměrnou komunikaci a má nejmenší spotřebu energie. Nevýhodou je, že komunikace ze základnové stanice do zařízení může být prováděna pouze po provedení komunikace ze zařízení do základnové stanice.
- B. Režim „Class B“ opět podporuje obousměrný provoz. Rozdíl oproti Class A je v pravidelném naplánovaném přenosu ze základnové stanice do zařízení. To umožňuje příjem, i pokud nebylo předtím vysíláno.
- C. Režim „Class C“ má největší spotřebu, protože provádí příjem ze základnové stanice téměř nepřetržitě. Příjem je přerušen pouze pokud zařízení vysílá.

Síť LoRa může pracovat také s různou velikostí protokolu. Jednoduchý obsahuje pouze základní vrstvu pro komunikaci. Jeho označení je pouze LoRa. Vhodné použití pro tento protokol jsou komunikace typu P2P. Složitější implementace je označena jako LoRaWAN a obsahuje i vrstvu pro síťovou komunikaci. Tak je umožněno připojení k různým základnovým stanicím a systém funguje podobně jako nynější mobilní síť. [4]

Sítě LoRa pracují na různých kmitočtech, dle oblasti používání. V Evropě je nelicencované kmitočtové pásmo v oblasti okolo 868 MHz. Proto technologie LoRa využívá frekvence v rozmezí 867 MHz až 869 MHz. Frekvence pro Severní Ameriku jsou v oblasti okolo 915 MHz. Celé frekvenční pásmo je od 902 MHz až po 928 MHz. Frekvence pro zbylé oblasti zatím nejsou oficiálně definovány.

Tab. 1.2 Zařízením vysílaný datový tok v síti LoRa, převzato z [3]

Třída datového toku	Konfigurace	Bitový tok [bps]
0	LoRa: SF12 / 125 kHz	250
1	LoRa: SF11 / 125 kHz	440
2	LoRa: SF10 / 125 kHz	980
3	LoRa: SF9 / 125 kHz	1760
4	LoRa: SF8 / 125 kHz	3125
5	LoRa: SF7 / 125 kHz	5470
6	LoRa: SF7 / 250 kHz	11000
7	FSK: 50 kbps	50000
8 ... 15		

V České republice je možné vysílat na pásmu od 863 MHz do 870 MHz. Maximální povolený vysílací výkon je 25 mW. Klíčovací poměr vysílání musí být menší, maximálně roven 0,1 %. [5]

1.1.2 SIGFOX

SIGFOX je velmi nenáročná síť s malým datovým tokem. Každé zařízení může vyslat pouze 140 zpráv za den a každá zpráva má velikost 12 bajtů. To je přibližně 12 bajtů každých 10 minut. Datový přenos je o rychlosti 100 bps. Dosah sítě je přibližně 2 km v zastavěné oblasti. Dosah mimo zastavěnou oblast se blíží ke 40 km. SIGFOX je standard patentovaný jednou společností. Proto jsou všechny sítě na standardu SIGFOX provozovány přímo společností Sigfox nebo jejími partnery. Bezdrátová komunikace probíhá na frekvencích v pásmu okolo 868 MHz. [6]

1.1.3 ZigBee

Zařízení s bezdrátovou komunikací ZigBee komunikují podle standardu IEEE 802.15.4 na frekvencích v nelicencovaném pásmu v okolí 2,4 GHz. Technologie podporuje topologie do hvězdy, stromu a smíšenou topologii. Maximální datový tok je 250 kbps. Dosah technologie se pohybuje od 10 do 100 m. Platforma je volná, a proto zařízení pro ZigBee vyrábí řada výrobců. Zaměření této technologie je především na domácí automatizaci. V průmyslu se používají pro monitorování výrobních procesů nebo ovládání a automatizaci dodávky a využití energie a vody. [7]

1.1.4 Wi-Fi

Jedna z nejrychlejších bezdrátových technologií. Ve standardu IEEE 802.11ac je Wi-Fi schopna přenášet rychlostí přes 1 Gbps. V připravovaných standardech IEEE 802.11ad a 802.11ax dokonce okolo 5 Gbps. Nevýhodou technologie Wi-Fi je jen omezený dosah, který dosahuje stovek metrů při přímé viditelnosti, ale v zástavbě klesá až na jednotky metrů. Tyto systémy používají vyšší frekvence, které hůře prostupují zástavbou a zároveň nejsou odolné vůči rušení, kvůli maximálnímu využívání frekvenčního pásma pro přenosovou rychlost. V internetu věcí jsou tyto sítě používány k bezdrátové komunikaci, kde je nutné přenášet velké množství dat. Pro velkou spotřebu jsou zařízení napájena ze sítě. [8]

Komunikace systémem Wi-Fi probíhá v různých frekvenčních pásmech. Nejběžnější je použití pásma okolo 2,4 GHz a pásma 5 GHz. Další používaná pásma jsou licencovaná okolo 3,7 GHz a nelicencovaná v okolí 60 GHz. [9]

1.1.5 Bluetooth

Technologie Bluetooth a její standard LE z anglického „Low Energy“ je další bezdrátovou technologií pro IoT. Nevýhodou technologie Bluetooth je její krátký dosah. Systémy Bluetooth pracují na frekvencích okolo 2,4 GHz. Bluetooth verze 5 je nejnovější verzí, která zvyšuje oproti předchozí verzi dosah na čtyřnásobek (~100 m). Přenosová rychlost se zvýšila na dvojnásobek, se zvýšením velikosti zprávy na čtyřnásobek (255 B). Přenosová rychlost v LE režimu dosahuje až 2 Mbps. [10] [11] [12 stránky 166-169]

1.1.6 GSM

Celulární technologie GSM je určena k mobilnímu příjmu a vysílání dat. Pokrytí technologií GSM je prováděno v licencovaných pásmech a jednotlivé vysílače spravují různí poskytovatelé. V městské zástavbě díky velké hustotě zařízení a členitosti prostředí je použito malých buněk s rozlohou menší než kilometr čtvereční. Interiéry některých budov jsou dokonce vybaveny vlastními miniaturními buňkami. [13]

Technologie pracuje na různých frekvenčních pásmech. Základní pásma jsou 850, 900, 1800 a 1900 MHz. Další pásma pro vysokorychlostní technologie jsou 450, 700, 800, 1700, 2100, 2500 a 2600 MHz. GSM dosahuje maximální rychlosti přenosu 10 Gbps s nejmodernější technologií 5G. [13]

1.2 Porovnání komunikačních sítí

Tab. 1.3 Porovnání komunikačních sítí

Sít'	Výhody	Nevýhody
Bluetooth	Velká přenosová rychlost	Nízký dosah Velká spotřeba
Bluetooth LE	Nízká spotřeba	Nízký dosah
GSM	Velký datový tok (10 Gbps) Dobré pokrytí	Nízký dosah Velká spotřeba
LoRa	Velký dosah (2 až 40 km) Nízká spotřeba Otevřená platforma	Nízký datový tok (50 kbps)
SigFox	Velký dosah (2 až 40 km) Nízká spotřeba	Nízký datový tok (100 bps) Malý počet zpráv (140/den) Uzavřená platforma
Wi-Fi	Velký datový tok (5 Gbps)	Nízký dosah v zástavbě Velká spotřeba
ZigBee	Nízká spotřeba Otevřená platforma	Krátký dosah (10 až 100 m) Nízký datový tok (250 kbps)

Tabulka Tab. 1.3 Porovnání komunikačních sítí porovnává jednotlivé komunikační sítě. Pro každý typ sítě jsou zhodnoceny její výhody a nevýhody.

Pro aplikace, které potřebují pouze malé datové přenosy, je nejlepší technologie LoRa. Technologie má vysoký dosah, nízkou spotřebu energie a pracuje na otevřené platformě. Alternativou technologie LoRa je technologie ZigBee, která má podobné vlastnosti, pouze její dosah je omezený jen na poměrně krátké vzdálenosti. Podobně je na tom i platforma Bluetooth LE. Další možností je technologie SigFox, která má podobné vlastnosti jako LoRa. Pouze její přenosová rychlost je velmi nízká, navíc je možné přenést jenom malé množství zpráv. Poslední nevýhodou je uzavřená platforma.

Další technologie jsou vhodné spíše pro zařízení s vyššími datovými toky. Vysokorychlostní technologie vede GSM. Nejmodernější technologie GSM dosahují rychlostí až 10 Gbps. Zároveň technologie pokrývá téměř celou republiku. Její nevýhodou je kratší dosah jednotlivých vysílačů. Další je bezdrátové rozhraní Wi-Fi. To dosahuje rychlostí až 5 Gbps a jeho dosah je stovky metrů.

1.3 Infrastruktura pro IoT

Samotný internet věcí nefunguje bez potřebné infrastruktury. Kromě základní komunikace mezi uzly a sítí, tvoří infrastrukturu i klasické počítačové sítě. Data z internetu věcí, nashromážděná jednotlivými koncovými zařízeními, se ukládají anebo zpracovávají servery. To umožňuje vzdálený přístup k datům pomocí webových prohlížečů nebo aplikací v počítači, anebo mobilním zařízení. Ke komunikaci mezi sítí a uživatelem slouží MQTT protokol. Více o MQTT níže v kapitole *1.5.3 Softwarový řetězec komunikace pro IoT*.

1.4 Mikrokontroléry

Kapitola popisující jednotlivé architektury mikrokontrolérů a rozdíly mezi nimi. Mikrokontrolery jsou základem koncových zařízení, sbírají data z jednotlivých senzorů a řídí jednotlivé akční členy v IoT. Zároveň slouží k řízení modulů pro bezdrátovou nebo drátovou komunikaci s okolní sítí IoT.

1.4.1 Architektura ARM

ARM je jedna z nejrozšířenějších architektur mikrokontrolérů v oblasti mobilních zařízení a spotřební elektroniky. Instrukční sada této architektury je typu RISC. Architekturu lze dále dělit podle určení od nízkovýkonových úsporných zařízení, až po vysoko výkonové čipy v dnešních mobilních zařízeních. Architektura je používána pro funkci od jednotek MHz, až po jednotky GHz. Pro internet věci a sběr dat ze senzorů se používají nejpomalejší a zároveň nejúspornější mikrokontroléry architektury M0+. Ty jsou optimalizované pro přerušovaný provoz a funkci na baterie. Architektura ARM je základem pro řadu vývojových platform. Mezi nejznámější patří Raspberry, BeagleBone nebo STM32. To jsou 32 bitové mikrokontrolery od společnosti STmicroelectronic. [14]

1.4.2 Architektura x86

Nejrozšířenější architektura v oblasti počítačové techniky. Instrukční sada architektury je typu CISC. Dělí se dále na x86-32 a x86-64, která se převážně používá. Rozdíl v jednotlivých architekturách je v rozdílné instrukční sadě. Instrukční sada s označením 64 odpovídá délce adresy 64 bitů a tím umožňuje adresaci paměti větších než 4 GB. Do segmentu IoT se dostávají především nejúspornější zástupci. Využití této architektury pro internet věci je především v náročnějších aplikacích s potřebou většího výpočetního výkonu. [15]

1.4.3 Architektura AVR

Navržena společností Atmel. Tato architektura je základem pro 8 a 32 bitové mikrokontroléry. Je alternativou architektury ARM. Instrukční sada mikrokontrolérů je typu RISC. Architektura je speciálně navržena pro snadné programování pomocí jazyka C nebo assembler. Tento typ architektury je základem pro vývojovou platformu Arduino. [16]

1.5 Software

Software užívaný v oblasti internetu věcí jsou programovací prostředí pro tvorbu programů pro mikrokontroléry a aplikací pro zpracování dat nashromážděných pomocí senzorů. Oblast se také zabývá bezpečností přenosu dat mezi jednotlivými částmi systému, a nakonec také samotnými programy a aplikacemi vytvořenými těmito prostředími.

1.5.1 Programovací prostředí

Pro programování mikrokontrolérů se využívají speciální programová prostředí. Programování je prováděno ovšem obvykle ve standardním jazyce C/C++. Tato prostředí umožňují, krom samotného programování, také ověření funkce, krokování a nahrání programu do mikrokontroléru. Příkladem takovýchto prostředí je například Keil Mikrovision nebo Systém Workbench pro STM32. Další možností jsou internetová programovací prostředí jako například mBed. Tato prostředí umožňují kompilaci kódu přímo na internetu a stažený soubor se strojovým kódem je pouze zkopírován do mikrokontroléru, který je zobrazen v systému jako disková jednotka. Keil Mikrovision je komplexní prostředí určené k programování mikrokontrolérů. Umožňuje velmi podrobné nastavení. Prostředí je volně dostupné, ale jeho licence je omezena na malé programy do 10 kb. Výjimku tvoří například řada mikrokontrolérů L0 a F0 od STM, pro které je licence uvolněna a je možné vytvářet libovolně velký program. [17].

Druhou skupinu programových prostředí tvoří programová prostředí zaměřená na aplikace pro zpracování dat. Tyto aplikace je možné programovat v programových prostředích podporujících například jazyk Java, Python, C nebo C#. Takové prostředí jsou například Visualstudio, Eclipse nebo NetBeans. Další možností je využití Javascriptu a použití aplikací na internetu. [18].

Java aplikace využívají pro komunikaci mezi zařízeními protokol MQTT vyvinutý společností IBM. Tento protokol je již implementován do knihoven, jako je například knihovna Eclipse Paho, což usnadňuje a urychluje tvorbu aplikací komunikujících pomocí tohoto protokolu. Příkladem prostředí pro programování Java aplikací je NetBean. To je volně dostupný software od společnosti Oracle. Kromě Javy umožňuje programovat i v jiných programovacích jazycích jako jsou Javascript, PHP, C a C++.

1.5.2 Bezpečnost

Bezpečnost systému pro získávání dat je zajištěna třemi způsoby. Jednak je nutná znalost adresy, na kterou zařízení publikují. Adresa je označena jako AppEUI (unikátní identifikace aplikace). Dále je nutno zadat správné jméno a heslo pro připojení ke komunikaci se systémem spravujícím základnové stanice komunikační sítě.

Poslední ochranou je interpretace dat. Jednotlivá data jsou publikována zařízeními pomocí zdrojového kódu, který je poté překládán do informací srozumitelných uživatelům. MQTT komunikace například používá reprezentaci dat pomocí Base64 datového typu. To umožňuje 3 znaky o velikosti jeden bajt zaznamenat jako čtyři znaky z ASCII tabulky skládající se z velkých a malých písmen, číslic, lomenu a plus. Tak je zajištěno, že je možné data přímo převádět na textové zprávy. V opačném případě by byl problém s netisknutelnými znaky, především s nulou, která je používána jako znak pro ukončení řetězce. [3]

Další zabezpečení obsahuje komunikace mezi uzly a základnovou stanicí. Tato komunikace obsahuje šifrování za pomoci klíčů uložených v mikrokontroléru a v serveru spravujícím komunikaci. Tyto klíče jsou především DevEUI (unikátní identifikace zařízení) a AppEUI. Šifrování má zabraňovat odposlouchávání přenosu a snadnému dekódování dat. [3]

1.5.3 Softwarový řetězec pro internet věci

Ke komunikaci mezi zařízeními je využíváno MQTT protokolu. Tento komunikační protokol umožňuje komunikaci M2M (z anglického machine to machine), neboli přístroj s přístrojem. Po připojení pomocí přihlašovacího jména a hesla je možné odesílat a přijímat datové zprávy. To umožňuje aplikacím získávat data ze serveru, anebo naopak publikovat data na server, který pak zajistí komunikaci s uzly. [19] [20]

- A. Jednotlivé uzly jsou obsluhovány programem, který umožňuje uzlům vysílání nebo přijímání zpráv ze základnových stanic sítě. Tento program také obstarává komunikaci mikrokontroléru s jednotlivými senzory a akčními členy.
- B. Dalším článkem řetězce je program užívaný pro ukládání, případně přeposílání, dat získaných ze sensorů. Tento program také zajišťuje zpětnou komunikaci ze sítě do uzlů.
- C. Poslední softwarová součást slouží k publikaci nebo získávání dat z programu obsluhujícího základnové stanice. Tento program umožňuje jak přijímání, tak vysílání zpráv pro jednotlivé uzly nebo celé aplikace.

1.6 Model internetu věcí

Různá odvětví internetu věcí se zabývají rozdílnými modely. Jednotlivé modely jsou zaměřeny na různá odvětví průmyslu, obchodu, ochrany životního prostředí, zemědělství nebo zdravotnictví. [21]

Mezi různé modely například patří zaměření na [21]:

- města a jejich efektivitu
- životní prostředí a kontrolu jeho kvality
- měření
- bezpečnost a ochrana osob a majetku
- obchod
- logistiku
- průmyslové ovládání
- zemědělství
- chov zvířat
- domácí automatizaci
- zdravotní péči

Jednotlivé modely se navzájem prolínají. Měření je obvykle součástí většiny modelů, ale je to i samostatný model v případě, kdy se internet věcí specializuje na měření různých fyzikálních veličin v průmyslových aplikacích. Společným cílem všech modelů je zvýšení efektivity využívání energií a zlepšení životní úrovně společnosti. [21]

Model internetu věcí se zaměřením na zlepšení infrastruktury ve městě a lepší řízení dopravy. Dále se model pokouší o snižování spotřeby energií a kontroly úrovně odpadů v odpadkových kontejnerech. Důležité je měření škodlivých záření a hluku. [21]

Internet věcí zabývající se životním prostředím se především stará o měření koncentrací škodlivých plynů a pevných částic. Dále detekci lesních požárů nebo zemětřesení. Nakonec je možné i měření výšky sněhové pokrývky. [21]

Měřením se zabývá další model. Měřit je možné průtoky v potrubí, úroveň hladiny v nádržích anebo také energetickou spotřebu a spotřebu vody. [21]

Bezpečnost osob a ochrana majetku je další model. Zjišťovány jsou úrovně radiace, nebezpečných plynů a výbušných plynů. Další možností je kontrola přítomnosti kapalin v citlivých prostorech, jako jsou sklady, datová centra a citlivé části staveb, kde by docházelo ke korozi a poškozování statiky. [21]

V obchodu je internet věcí využíván k managementu dodavatelského řetězce, monitorování skladových zásob, zpracování plateb na základě využívání veřejných dopravních prostředků, kontrola oběhu zboží v regálech a skladech anebo pro automatické doplňování zásob. [21]

V logistice se model internetu věcí zaměřuje na kontrolu kvality podmínek při přepravě zboží, lokaci zboží ve velkých skladech či přístavech a kontrole dopravy lékařského, cenného nebo nebezpečného zboží. [21]

V průmyslu má internet věcí široké uplatnění. Přístroje mohou sami provádět vlastní diagnostiku a přivolat potřebnou obsluhu nebo servis. Jednotlivé přístroje mohou navzájem komunikovat a předávat si informace o výrobcích. Je možné kontrolovat kvalitu ochranné atmosféry při skladování materiálu a zboží. [21]

V zemědělství je možné kontrolovat kvalitu půdy, rostlin a mikroklima ve sklenících, nebo řídit zavlažování na základě předpovědi počasí či měřit vlhkost a teplotu kompostu. [21]

Chov zvířat je zaměřen na monitorování a lokaci chovaných zvířat a měření přítomnosti toxických plynů v chovných prostorech. [21]

Model pro domácí automatizaci se zabývá spotřebou energií a vody, vzdáleným ovládáním spotřebičů, měření teploty, tlaku vlhkosti nebo ovládání vytápění a ventilace. [21]

Zdravotní péče se stará o vzdálené měření stavu pacientů, detekci pádu u starších osob, nebo u pacientů s omezenou možností pohybu, měření intenzity UV záření a následné varování před vystavením osob jeho nebezpečným hodnotám v určitém čase. [21]

1.7 Senzory pro detekci osob

Komunikace se senzory probíhá pomocí sériových rozhraní, případně za použití standardních binárních vstupů. Další možností je přímé využívání převodníků v mikrokontroléru. Senzory detekují vlastnosti okolního prostředí a přítomnost různých objektů ve svém okolí.

První možností detekce osob je pasivní infračervený senzor označovaný jako PIR. Senzor snímá změny infračervené radiace způsobené pohybem osob. Záření emitované lidmi je o vlnové délce přibližně 9 až 10 μm . PIR senzory jsou vyráběny pro detekci těchto vlnových délek. Samotný senzor je překryt průsvitnými plastovými Fresnelovými čočkami. Tyto čočky umožňují směřování infračerveného záření do oblasti senzoru a zvyšují tím jeho dosah. Zároveň jsou tyto čočky vyrobeny tak, že propouští pouze infračervené záření a odfiltrují záření viditelné. Samotný senzor je vybaven dalším filtrem, který propustí pouze oblast vlnových délek okolo člověkem vysílané radiace. Tyto hodnoty jsou asi 8 až 14 μm . Za filtrem je senzorický materiál. Senzorickým materiálem je obvykle lithium, tantal nebo feroelektrická keramika. K senzorickému materiálu je připojen zesilovač. Pro senzory s digitálním výstupem je použit komparátor. [22]

Výhody PIR čidel:

- jednoduchost
- nízké náklady na snímací zařízení a zařízení pro zpracování dat

Nevýhody PIR čidel:

- nelze určit počet lidí
- možnost zaznamenání pohybu jiných objektů

Druhou možností je detekce osob pomocí kamerových systémů. Kamerové systémy umožňují snímání obrazu a následné zpracování. Při zpracování je prováděna detekce přítomnosti osob pomocí výpočetních algoritmů. Algoritmy umožňují i počítání osob, které jsou přítomné v záběru kamery. [23]

Výhody kamerových systémů:

- přesné rozlišení osob včetně počtu
- lze zaznamenat osoby na obraze
- při vhodném umístění lze identifikovat umístění osob

Nevýhody kamerových systémů:

- technologicky složité vyhodnocování a je nutný velký výpočetní výkon
- vysoké náklady na snímací zařízení a zpracování dat
- možné omezování osobní svobody vytvářením obrazového záznamu

Třetím způsobem je detekce osob pomocí radaru. Radarový systém je schopen podobně jako kamerový, pomocí algoritmu detekovat osoby. Jelikož systém funguje na principu odrazu elektromagnetického vlnění, funguje i při snížené viditelnosti nebo nepříznivém počasí. [24]

Výhody radarových systémů:

- přesné rozlišení počtu osob
- lze detekovat i při snížené viditelnosti a nepříznivém počasí
- lokalizace osob v prostoru

Nevýhody radarových systémů:

- technologicky složité vyhodnocování a je nutný velký výpočetní výkon
- vysoké náklady na snímací zařízení a zpracování dat

Čtvrtou možností je použití optických nebo ultrazvukových senzorů. Optické a ultrazvukové senzory fungují na principu vysílače a přijímače.

Vysílače emitují světelné záření, které dopadá na přijímač. Pokud je záření přerušeno, snímač detekuje změnu. Pokud je přijímač a vysílač v jednom zařízení, detekuje se naopak odraz záření od objektu. Zdrojem může být jakýkoliv zdroj světla, který je možné odlišit od světla denního. Je možné využívat stíny při denním světle bez použití zdroje světla. Při přítomnosti osob dochází k zastínění a je detekována jejich přítomnost. Při použití snímačů na bázi odrazu dochází k odrazu pouze při průchodu, a proto paprsek naopak dopadá na přijímač.

Ultrazvukové senzory fungují na principu vysílače emitujícího mechanické kmity na frekvencích vyšších, než je slyšitelné pásmo pro člověka. Pokud je v určitém dosahu překážka, ultrazvukové vlnění se odrazí. Vyhodnotit lze přibližnou vzdálenost předmětu, od kterého se vlnění odrazilo. [25]

Výhody ultrazvukových a optických senzorů:

- jednoduchost řešení
- nízké náklady na snímací zařízení a zařízení pro zpracování dat
- lze detekovat více osob za použití většího počtu senzorů

Nevýhody ultrazvukových a optických senzorů:

- velmi omezený prostor detekce
- obtížná montáž na pracovní místo
- možné neúmyslné zkreslení dat cizím předmětem

Pátý způsob detekce je užitím tenzometrických senzorů. Senzory jsou schopné zachytit mechanické napětí vytvářené přítomnými lidmi na okolní objekty. Převážně na podlahu, židle, křesla nebo jiný nábytek vystavený zatížením způsobeným osobami. Pomocí změny impedance je spočteno, jak velké je zatížení a lze tedy detekovat přítomnost osob.

Výhody tenzometrických senzorů:

- jednoduchost
- nízké náklady na snímací zařízení a zařízení pro zpracování dat
- možnost rozlišit více osob v prostoru při použití většího počtu snímačů

Nevýhody tenzometrických senzorů:

- detekce pouze v případě interakce s předmětem se senzory
- možnost zaznamenání zatížení nezpůsobeného přítomností osob
- je nutná montáž na místo, kde působí tlakové síly.

Šestým způsobem je detekce osob za pomoci akcelerometrů a gyroskopů. Pohyb osob je možné detekovat senzory zrychlení, ať už lineárního anebo točivého. Tyto senzory zaznamenají například pohyb židle, na které osoba sedí. Pomocí algoritmu se vyhodnotí, zda se osoba hýbá, nebo zda je to jen rušení.

Výhody akcelerometrických a gyroskopických senzorů:

- jednoduchost
- nízké náklady na snímací zařízení a zařízení pro zpracování dat
- možnost rozlišit více osob v prostoru při použití většího počtu senzorů
- nízká spotřeba energie

Nevýhody akcelerometrických a gyroskopických senzorů:

- detekce pouze v případě interakce s předmětem se senzory
- možnost zaznamenání pohybu způsobeného otřesy

Následující tabulka porovnává výhody a nevýhody odlišných možností detekce osob na pracovišti. Výhody a nevýhody jsou zjednodušeny pro větší přehlednost tabulky.

Tab. 1.4 Porovnání různých způsobů detekce osob

Způsob detekce	Výhody	Nevýhody
PIR čidla	Jednoduché Nízké náklady	Nelze určit počet osob Možnost zachycení jiných objektů
Kamerové systémy	Lze spočítat přítomné osoby Lokalizace umístění osob Možnost záznamu	Složité vyhodnocování Nákladný systém
Radar	Rozlišení počtu osob Možnost detekce při špatných podmínkách Lokalizace umístění osob	Složité vyhodnocování Nákladný systém
Optické a ultrazvukové senzory	Jednoduché Nízké náklady Lze detekovat více osob	Velmi omezený prostor detekce Obtížná montáž Možnost zkreslení cizím předmětem
Tenzometrické senzory	Jednoduché Nízké náklady Možné rozlišení osob Nízká spotřeba energie	Nutnost interakce s předmětem Možnost zkreslení zatížení jiným předmětem Nutno montovat na místo kde působí síly
Akcelerometry a gyroskopy	Jednoduché Nízké náklady Lze detekovat více osob Nízká spotřeba energie	Nutnost interakce s předmětem Možnost zaznamenání pohybu nezpůsobeného osobou

Pro účel detekce osob nakonec vyšel jako nejlepší způsob využívající akcelerometrické a gyroskopické senzory. Tyto senzory umožňují nejjednodušší instalaci na pracovní místo. Lze je umístit libovolně na pracovní židli. Senzory také fungují při minimální spotřebě energie a zároveň zpracování dat ze sensorů není výpočetně náročné.

Další v pořadí jsou tenzometrické senzory. Ty jsou srovnatelně jednoduché jako senzory akcelerometrické a gyroskopické, ovšem jejich nevýhodou je nutnost umístit je na speciální místo na pracovníkově židli.

Senzory optické a ultrazvukové jsou v pořadí třetí pro jejich větší spotřebu energie, protože je nutné stále vysílat. Zároveň jsou snadno zmateny cizím předmětem, který tam pracovník může – i neúmyslně – zanechat. Jejich výhodou je spíše pro použití jako detekce průchodu, nebo přítomnosti v nějakém prostoru, než detekce pracovníků na svém místě.

PIR čidla nevyhovují svojí větší konstrukcí a nemožností detekovat jednotlivá místa ve větších prostorech. Jsou spíše vhodná pro detekci přítomnosti osob v místnosti pro osvětlení nebo zabezpečovací techniku nežli pro detekci jednotlivých pracovníků.

Ostatní možnosti nevyhovují především svojí komplexností a složitostí detekce osob na základě algoritmů. To je pro takové aplikace neekonomické a příliš energeticky náročné. Kamerové systémy by mohly dokonce být považovány za neetické z pohledu zaměstnanců.

2 Vlastní realizace

Tato část práce se zabývá vlastním řešením problému internetu věcí. Jednotlivé části se zaměřují na hardwarové a softwarové prostředky. Především na bezdrátový přenos pomocí sítě LoRa, ale také na sběr, vyhodnocování a vizualizace naměřených dat.

2.1 Zvolený model internetu věcí

Následující kapitola se zabývá zvoleným modelem internetu věcí. Prvotním námětem byla detekce osob na pracovišti. Detekce by probíhala na jednotlivých pracovních místech. Tak by bylo možné zjistit, zda se osoba nachází ve své kanceláři, nebo na svém pracovním místě. Zároveň by systém nevytvářel žádný audiovizuální záznam a nenarušoval by tak soukromí osob. Zobrazování poslední informace o přítomnosti osoby na pracovišti by probíhalo buď pomocí grafického zobrazovacího panelu, anebo aplikace v počítači.

Hardware umožňuje doplnit funkci detekce osob i o různé informace o okolním prostředí. Tak lze zjišťovat teplotu, tlak a vlhkost na daném pracovním místě. Tím by bylo možné například odhalit zapomenutá otevřená okna nebo přetopené místnosti v nepřítomnosti pracovníků a ušetřit tím náklady na energie.

2.2 Hardware

V této kapitole je podrobně popsán hardware, který byl použit při tvorbě diplomové práce. Především mikrokontroléry architektury ARM a bezdrátové moduly sítě LoRa. Pro testování byly používány vývojové a rozšiřující desky od společnosti STmicroelectronics a rozšiřující deska od společnosti Semtech.

Pro testování sloužily vývojové sady Nucleo LRWAN1 a B-L72Z-LRWAN1 společně s rozšiřující senzorovou deskou X-NUCLEO-IKS01A1. Vývojová sada Nucleo LRWAN1 obsahuje Nucleo-L073RZ vývojovou desku a SX1276MB1MAS rozšiřující bezdrátový modul. Vývojová deska je osazena mikrokontrolérem STM32L073RZ. Vývojová sada B-L072Z-LRWAN1 obsahuje vývojovou desku s Murata modulem CMWX1ZZABZ-091. V modulu je integrovaný mikrokontrolér STM32L072CZ a SX1276 bezdrátový transceiver.

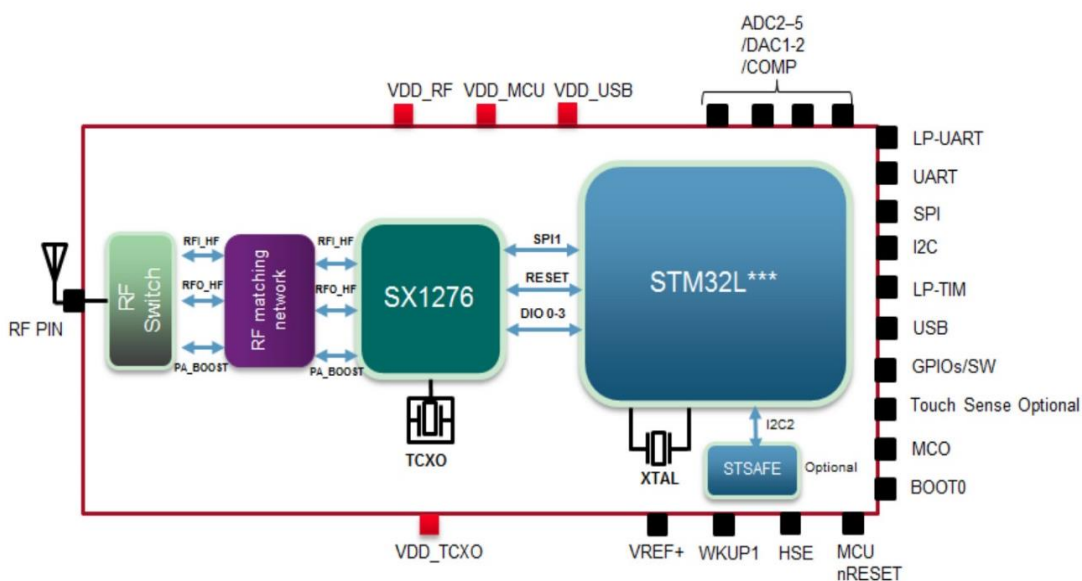
2.2.1 Mikrokontroléry

Prvním použitým zařízením je STM32L073RZ, což je mikrokontrolér s architekturou ARM M0+ pro nízkovýkonové aplikace od společnosti STmicroelectronics. Architektura je postavena na 32 bitové RISC instrukční sadě. Operační frekvence jádra mikrokontroleru je 32 MHz. Mikrokontrolér má tři různé paměti. První je 192 kb flash paměť programu. Další je 6 kb EEPROM pro ukládání dat. Poslední část tvoří 20 kb paměti typu RAM. Pro zpracování analogových signálů je mikrokontrolér vybaven dvanáctibitovým analogově digitálním převodníkem se vzorkovací frekvencí 1,14 Msps. Z digitálních rozhraní mikrokontrolér disponuje rozhraními SPI, I2C a UART. Mikrokontrolér má budič pro LCD zobrazovače. [26]

Druhé zařízení, které bylo použito je STM32L072CZ, což je také mikrokontrolér od společnosti STmicroelectronics. Vlastnosti tohoto modelu jsou totožné s mikrokontrolerem STM32L073RZ, pouze tento model není vybaven budičem pro LCD zobrazovače. [27]

2.2.2 Bezdrátový modul

Pro bezdrátovou komunikaci slouží LoRaWAN bezdrátový modul SX1276 MB1MAS od společnosti Semtech. Ten umožňuje komunikaci na frekvenčním pásmu 868 MHz. Modul je buď na samostatné rozšiřující desce, nebo přímo součástí jednoho čipu s mikrokontrolérem. Kombinaci mikrokontroléru STM32L072CZ a bezdrátového modulu s označením SX1276 vyrábí společnost Murata pod označením SCMWX1ZZABZ-091. [28] [29]



Obr. 2.1 Modul spojující bezdrátovou komunikaci s mikrokontrolérem [25]



Obr. 2.2 Fotografie modulu murata, převzato z [30]

2.2.3 Senzory

Za účelem detekce osob byl použit akcelerometrický a gyroskopický senzor. Ostatní senzory pouze monitorují okolní prostředí. Senzory jsou součástí rozšiřující desky X-NUCLEO-IKS01A1. Deska obsahuje čtyři senzory. Pro danou problematiku byly použity 3 následující senzory [31] [32] [33]:

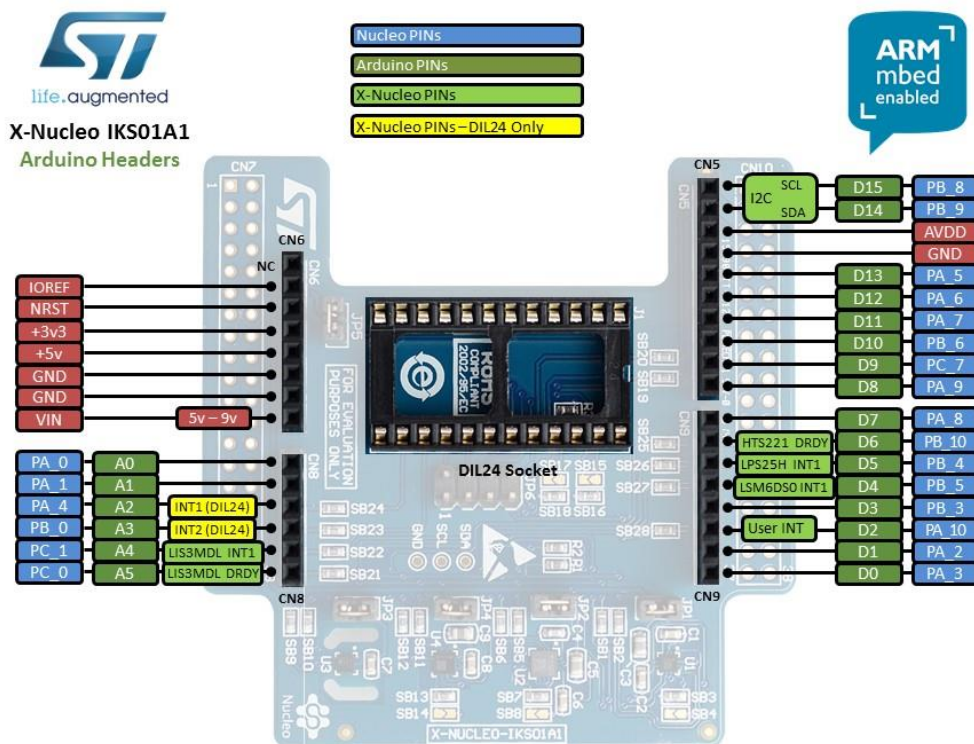
- Akcelerometrický a gyroskopický senzor
- Senzor teploty a vlhkosti
- Senzor tlaku

První z nich je LSM6DS0, což je akcelerometrický a gyroskopický senzor. Ten slouží k měření šesti různých hodnot. Tři hodnoty jsou zrychlení v osách X, Y a Z. Další tři hodnoty jsou úhlové zrychlení ve směru X, Y a Z. Z těchto hodnot je poté vyhodnoceno, zda se daný předmět hýbe. Rozsahy senzoru je možné nastavit v rozmezí ± 2 , ± 4 , ± 8 a ± 16 g pro akcelerometr. Gyroskop podporuje tři rozsahy, konkrétně ± 245 , 500 a 2000 $^{\circ}/s$. Senzor umožňuje měření pomocí sběrnic I2C a SPI. [31]

Dalším senzorem je HTS221, to je senzor teploty a vlhkosti. Senzor také umožňuje měření pomocí sběrnic I2C a SPI. Přesnost měření teploty udávaná výrobcem je $\pm 0,5$ $^{\circ}C$ na rozsahu od +15 až do +40 $^{\circ}C$. Přesnost měření vlhkosti je udávána $\pm 3,5$ % relativní vlhkosti na rozsahu od 20 do 80 %. [32]

Posledním použitým senzorem je LPS25HB, který měří tlak. Senzor také umožňuje získat data o teplotě. I tento senzor disponuje rozhraními I2C a SPI. Umožňuje měřit tlak v rozsahu od 260 do 1260 hPa. V módu s vysokým rozlišením měří na dvě desetinná místa. [33]

Čtvrtý senzor na rozšiřující desce je magnetometrický senzor LIS3MDL. Tento senzor pro aplikaci nebyl použit.



Obr. 2.3 Senzorový modul, převzato z [34]

2.3 Software

Následuje kapitola popisující software, který byl vytvořen pro potřebu zjišťování přítomnosti osob na pracovišti a také za účelem následného zobrazování zjištěných dat. Kapitola také popisuje knihovny, které byly k jeho vytvoření použity. Je rozdělena do dvou podkapitol, kde jedna se zabývá programem pro řízení mikrokontroléru a druhá se zaměřuje na aplikaci pro zobrazení výsledků sběru dat.

2.3.1 Program obsluhy senzorů a řízení bezdrátové komunikace

Tento program je nahrán v paměti mikrokontroléru a řídí jeho veškerou činnost. K programování bylo využito programovací prostředí Keil, které je popsáno výše v kapitole 1.5.1 Programovací prostředí.

Program byl napsán za pomoci jazyka C, přičemž byly použity knihovny od výrobce STmicroelectronics. První z knihoven je knihovna pro bezdrátovou komunikaci využívající LoRa bezdrátového modulu. Knihovna je od výrobce označena jako STM32CubeExpansion_LRWAN. Knihovna je naprogramována tak, aby fungovala s různými vývojovými deskami od společnosti STmicroelectronics. Knihovna umožňuje použití obou vývojových sad popsanych výše v kapitole 2.2 *Hardware*. Podle otevřeného projektu je pak příkazy pro preprocesor vybrán zdrojový kód pro daný mikrokontrolér a pro použitý bezdrátový modul. Pomocí příkazů pro preprocesor je také možné vybrat vhodné frekvenční pásmo a zdrojový kód dle oblasti, kde je zařízení používáno. V našem případě je to oblast EU868, což znamená Evropu na frekvenčním pásmu 868 MHz. Druhá knihovna je k rozšiřující desce X-NUCLEO-IKS01A1, kde jsou všechny funkce potřebné k získávání dat ze všech čtyřech senzorů osazených na desce, a také další knihovny pro senzory, které je možné osadit do rozšiřujícího konektoru DIL24. Knihovny jsou naprogramovány tak, že samy vyberou dostupný senzor, a tak usnadňují vývoj nových aplikací.

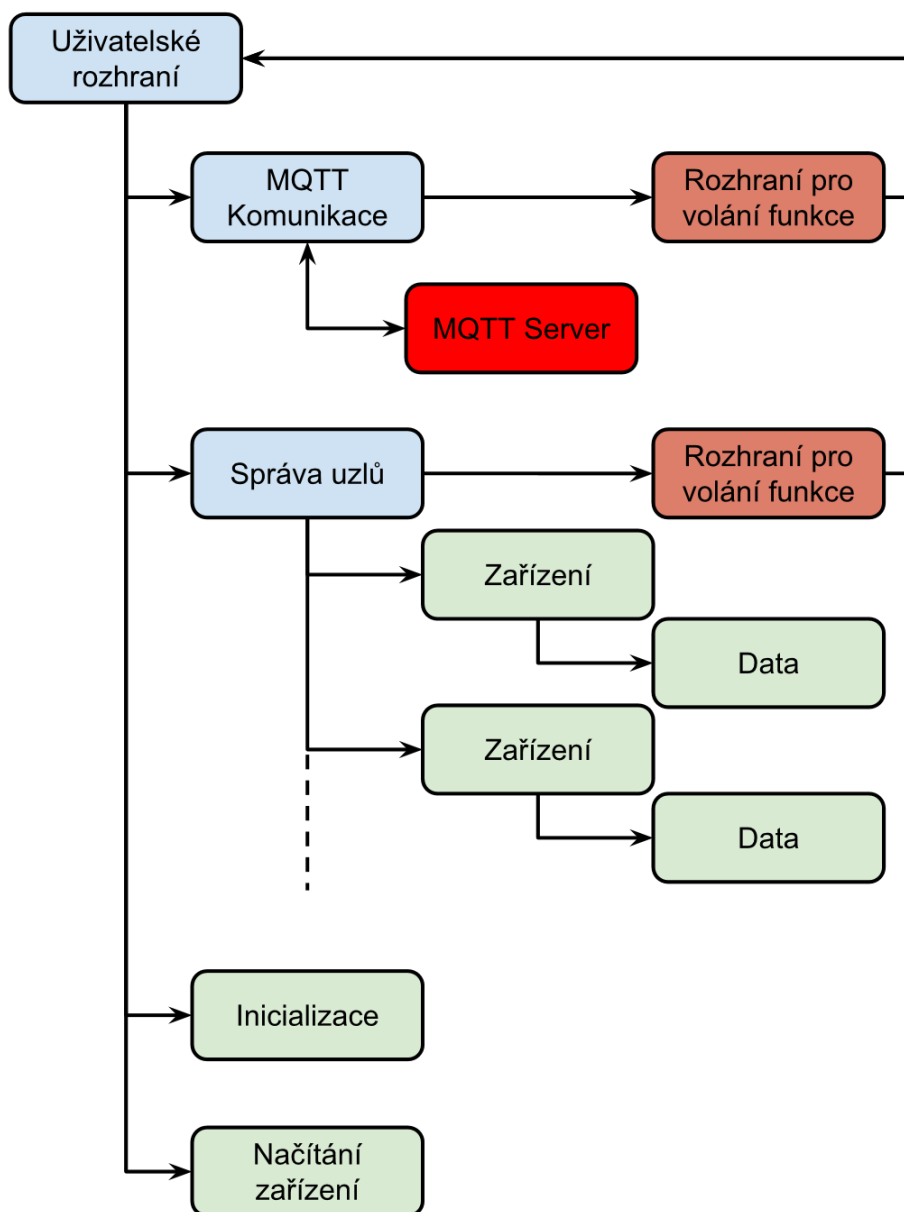
Program funguje v nekonečné smyčce, před kterou dochází k inicializaci bezdrátového modulu, senzorů a různých součástí samotného mikrokontroléru. Před smyčkou je také volána funkce pro detekci pohybu, která inicializuje a spouští časovač pro volání přerušení. Při běhu programu dochází každou sekundu k přerušení, kdy z akcelerometrického a gyroskopického senzoru jsou získána data a je rozhodnuto, zda se vyskytl pohyb. Detekce je založena na odchylce od klidové hodnoty u obou senzorů.

2.3.2 Aplikace pro zobrazení dat

Následující odstavce se zabývají aplikací pro zobrazování dat. Tuto aplikaci je možné spustit na jakémkoliv počítači podporujícím Javu 8. Aplikace byla vytvořena pomocí vývojového prostředí NetBeans, které je popsáno výše v kapitole *1.5.1 Programovací prostředí*.

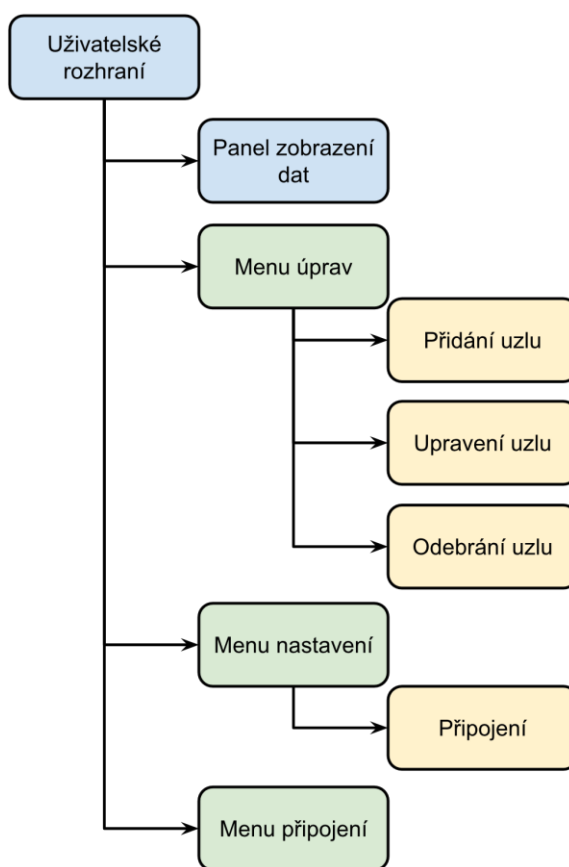
Aplikace je vytvořena pomocí programovacího jazyka Java. Jejím účelem je zobrazovat poslední čas předpokládané přítomnosti osoby na svém pracovním místě a zároveň naměřená data z jednotlivých senzorů snímajících okolní teplotu, vlhkost a tlak. Aplikace je vytvořena pomocí knihovny Swing, která obsahuje návrh grafického prostředí. Dále je použita knihovna Eclipse Paho, která obsahuje MQTT komunikaci.

Na další straně je obrázek *Obr. 2.4 Struktura aplikace Java*, na kterém je vidět diagram funkce aplikace pro zobrazování dat z koncových zařízení. Aplikace funguje tak, že spouští uživatelské rozhraní, které dále spouští programová vlákna pro správu zařízení a pro správu MQTT komunikace (modře). Programová vlákna pro MQTT komunikaci nezávisle komunikují s MQTT serverem (červeně), který spravuje distributor sítě LoRa. Vlákno pro správu zařízení získá z vlákna uživatelského rozhraní zprávy z MQTT serveru, které jsou dle adres jednotlivých zařízení (zeleně) uloženy do datových polí (zeleně). Zároveň vlákna volají rozhraní (hnědě) pro volání funkcí v uživatelském rozhraní. Uživatelské rozhraní poté přes správu uzlů a jednotlivé zařízení může získat data a zobrazit je uživateli. Počet zařízení je proměnlivý podle toho, kolik jich je použito pro danou aplikaci. Pro ukládání a nahrávání dat o zařízeních a přihlašovacích údajů pro MQTT server slouží dvě třídy zobrazené dole na obrázku (zeleně). Údaje o zařízeních a přihlašovací údaje jsou uloženy v XML souborech pro jejich snadné ukládání při vypnutí aplikace. Soubory je také možné jednoduše upravit i v případě, že aplikace je vypnuta.



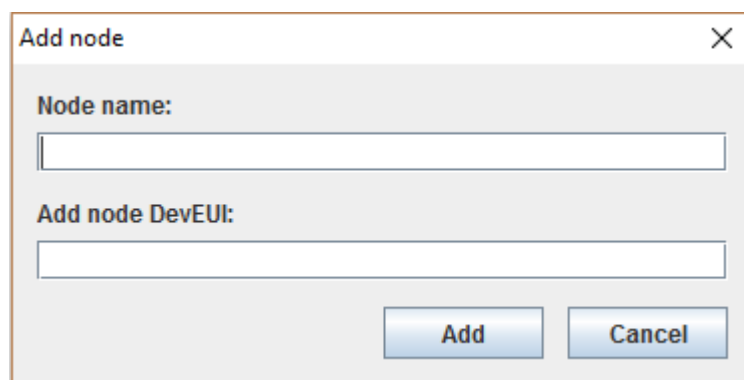
Obr. 2.4 Struktura aplikace Java

Na následujícím obrázku, *Obr. 2.5 Struktura uživatelského prostředí*, je diagram funkce uživatelského rozhraní. Základem uživatelského rozhraní (modře) je panel zobrazující data (modře). Nahoře na panelu jsou poté roletová menu pro úpravu a nastavení aplikace (zeleně). Z menu pro úpravu je možné vyvolat další okna pro přidání, upravení a odebrání uzlu (žlutě). V menu nastavení (zeleně) je možné vyvolat okno pro nastavení bezdrátové komunikace (žlutě). V nastavení jsou jednotlivé údaje důležité pro připojení. První dva údaje jsou přihlašovací jméno a heslo pro připojení k MQTT serveru. Dále adresa serveru označovaná jako „broker“ a poslední pole je označené jako „topic“ což je adresa LoRa aplikace na serveru. Tu je možné zjistit ze stránek správce MQTT serveru.



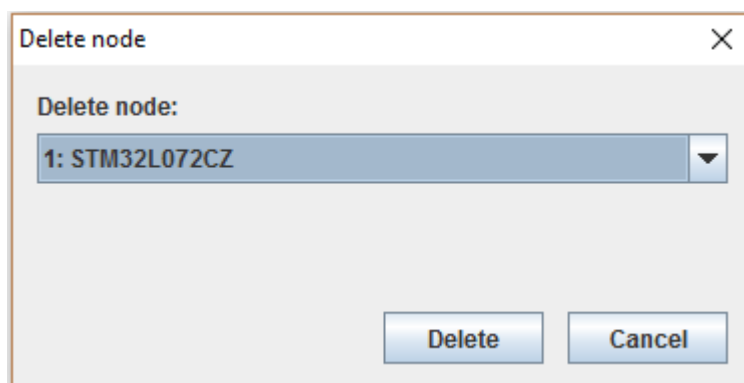
Obr. 2.5 Struktura uživatelského prostředí

Následující obrázky zobrazují jednotlivá okna pro úpravu jména a identifikátoru zařízení, upravování a odebírání zařízení z databáze programu.



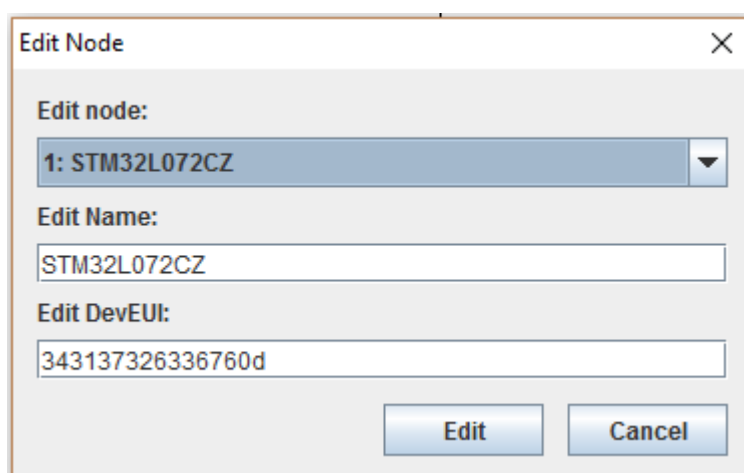
The 'Add node' dialog box features a title bar with a close button (X). Below the title bar, there are two text input fields. The first is labeled 'Node name:' and the second is labeled 'Add node DevEUI:'. At the bottom right of the dialog, there are two buttons: 'Add' and 'Cancel'.

Obr. 2.6 Přidání zařízení do aplikace



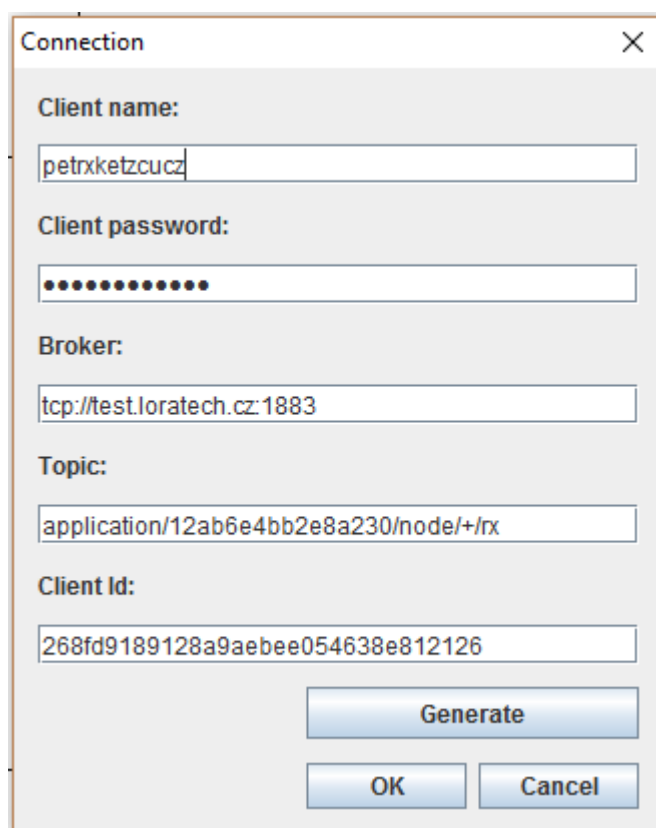
The 'Delete node' dialog box has a title bar with a close button (X). Below the title bar, there is a dropdown menu labeled 'Delete node:' with the selected item '1: STM32L072CZ'. At the bottom right, there are two buttons: 'Delete' and 'Cancel'.

Obr. 2.7 Odebrání zařízení z aplikace



The 'Edit Node' dialog box has a title bar with a close button (X). Below the title bar, there is a dropdown menu labeled 'Edit node:' with the selected item '1: STM32L072CZ'. Below the dropdown menu, there are two text input fields: 'Edit Name:' containing 'STM32L072CZ' and 'Edit DevEUI:' containing '343137326336760d'. At the bottom right, there are two buttons: 'Edit' and 'Cancel'.

Obr. 2.8 Upravení údajů o zařízení v aplikaci



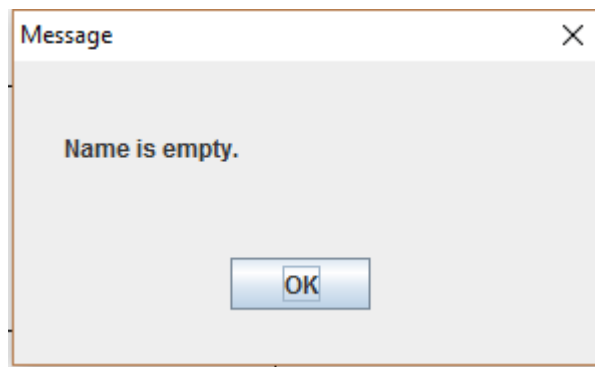
The image shows a 'Connection' dialog box with the following fields and buttons:

- Client name:** petrxketzcucz
- Client password:** (masked with 10 dots)
- Broker:** tcp://test.loratech.cz:1883
- Topic:** application/12ab6e4bb2e8a230/node/+/rx
- Client Id:** 268fd9189128a9aebee054638e812126
- Buttons:** Generate, OK, Cancel

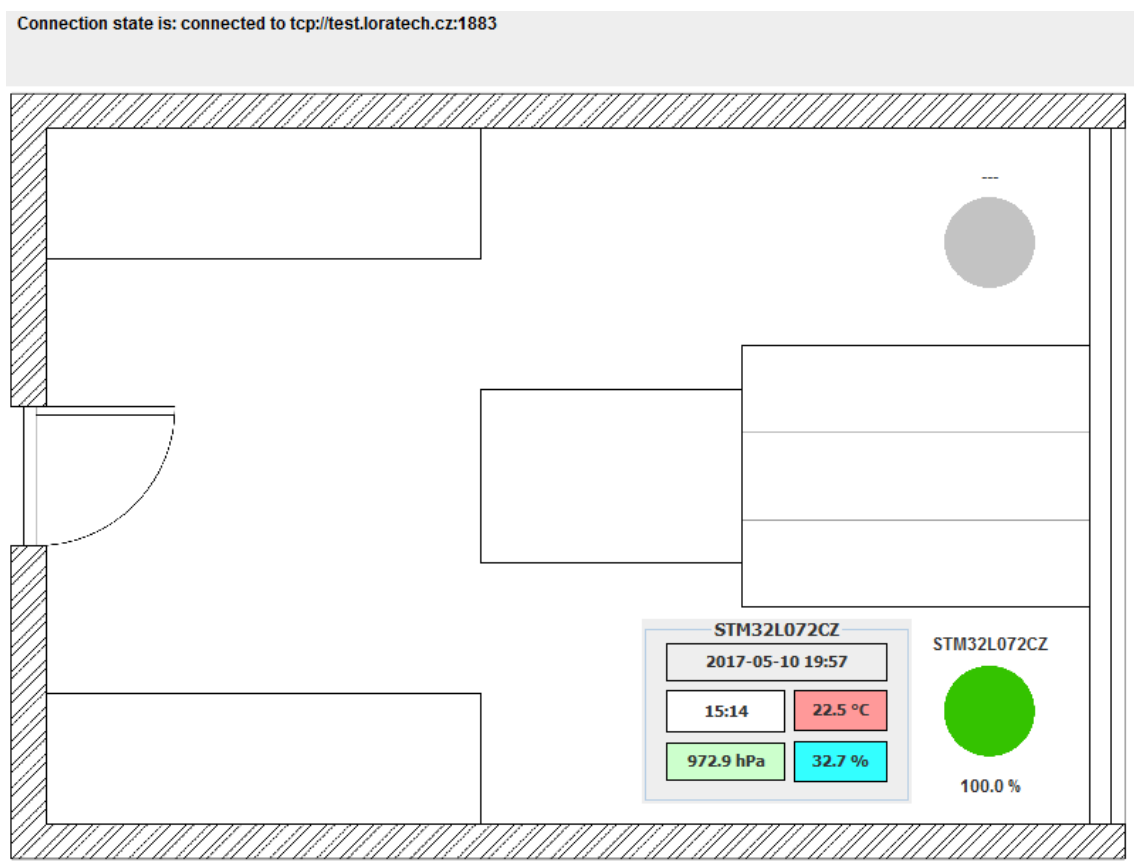
Obr. 2.9 Nastavení přihlašovacích údajů, adres a identifikátoru klienta

Na obrázku výše je zobrazeno okno pro nastavení připojení k MQTT serveru. V nastavení je možné změnit jméno uživatele a uživatelské heslo. Heslo není z bezpečnostních důvodů zobrazováno, ale jak je zvykem, zobrazí se pouze počet teček reprezentujících počet znaků hesla. Je možné změnit adresu serveru MQTT, ke kterému se bude aplikace připojovat. Nakonec je možné upravit adresu aplikace na serveru. Nechybí také možnost generovat nový klientský identifikátor, který je nutný pro připojování k MQTT serveru.

Další obrázek zobrazuje okno upozornění, které dá uživateli zprávu, pokud zadá některý údaj špatně. Například zadá příliš dlouhý identifikátor zařízení nebo zadá jméno, které je již použito.



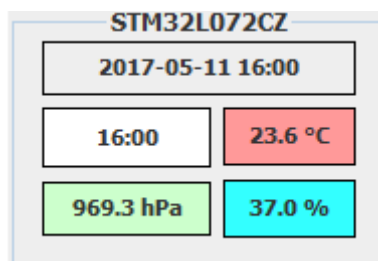
Obr. 2.10 Okno chybové zprávy



Obr. 2.11 Panel zobrazení aplikace

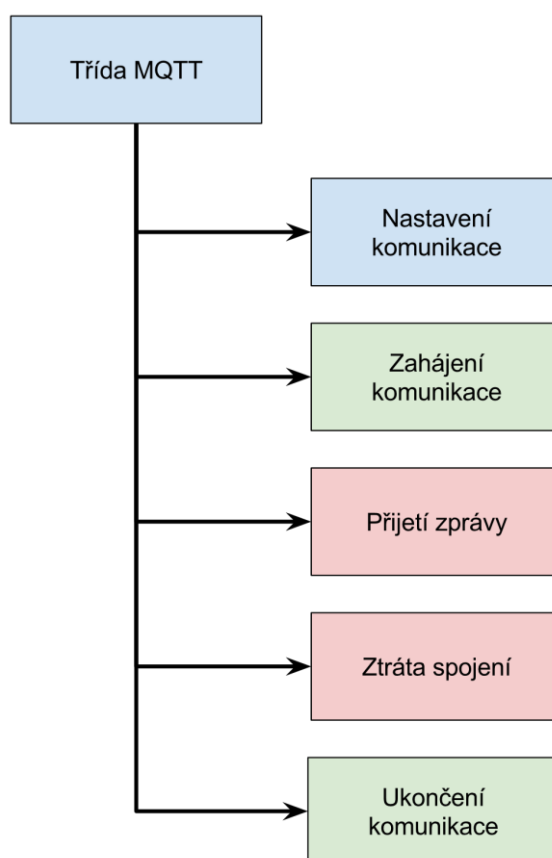
Předchozí obrázek, *Obr. 2.11 Panel zobrazení aplikace*, ukazuje hlavní panel aplikace. Na panelu je vidět náčrtek půdorysu kanceláře. V kanceláři jsou vyznačeny dva body reprezentující pracovníky. Po najetí myši na bod se zobrazí detaily. Ty obsahují úroveň baterie, která se zobrazí pod bodem reprezentujícím pracovníka a panel s informacemi o poslední přijaté zprávě. Detail panelu se nachází na obrázku dále. Nahoře na panelu

je poslední čas, kdy byla zpráva přijata. Vlevo uprostřed je poslední čas, kdy byl zaznamenán pohyb. Vpravo uprostřed je poslední zaznamenaná teplota. Dole zleva je zobrazen naměřený tlak a vpravo poté relativní vlhkost. Samotný bod reprezentující pracovníka mění barvu mezi červenou, zelenou a šedou. Červená znamená, že nebyl tento den zaznamenán pohyb. Zelená označuje, že byl zaznamenán pohyb a šedá, že nebyla přijata žádná zpráva. Poslední čas zaznamenaného pohybu pak změní barvu pozadí na červenou a zobrazí se upozornění, že nebyl zaznamenán pohyb.



Obr. 2.12 Detail panelu s údaji o zařízení

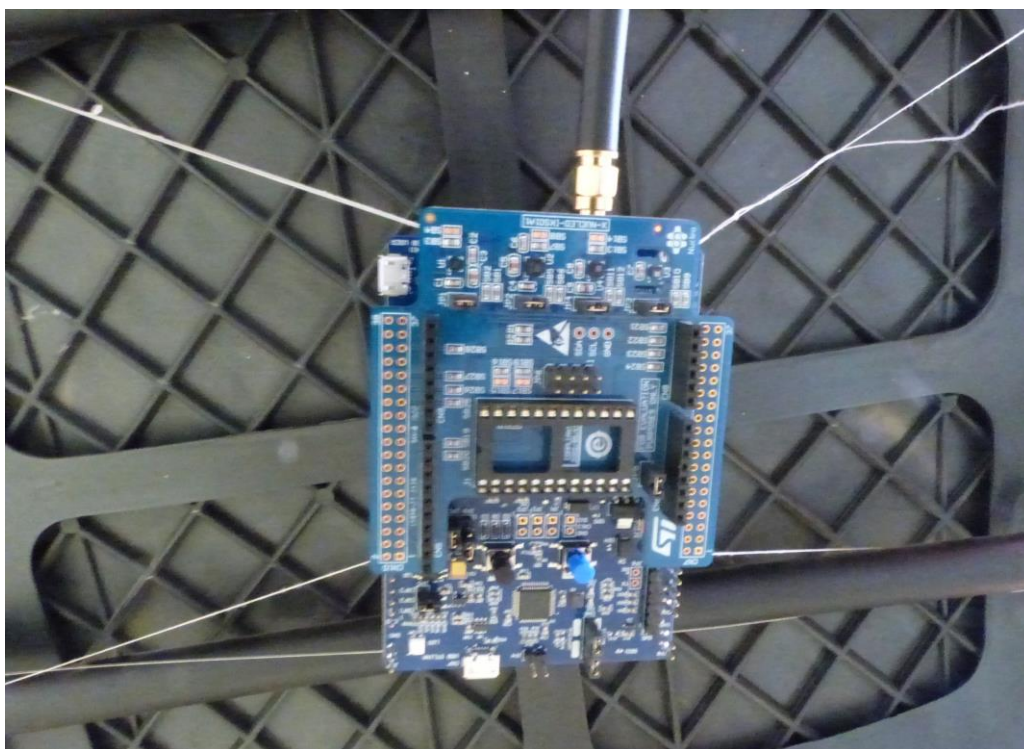
Následující obrázek, *Obr. 2.13 Struktura třídy pro MQTT komunikaci*, zobrazuje strukturu jedné z nejdůležitějších tříd v aplikaci. Třída zabezpečuje komunikaci s MQTT serverem. První funkce (modře) nastaví parametry komunikace. Poté je již možné pustit funkci pro zahájení komunikace (zeleně), která se připojí k serveru MQTT a vytvoří vlákna programu pro přijímání zpráv a ověřování komunikace se serverem. Při příjmu zprávy je volána funkce (červeně), která zprávu rozdělí na adresu zařízení a data. K těmto hodnotám ještě přidá aktuální datum a čas. Další funkce (červeně) je volána, pokud dojde ke ztrátě spojení. Tato funkce pouze pomocí rozhraní volá funkci v uživatelském rozhraní, která zabezpečí zobrazení informace o ztrátě spojení a umožní opětovné připojení. Poslední funkce (zeleně) slouží k ukončení komunikace. Při jejím úspěšném ukončení dojde k ukončení všech vláken programu vytvořených funkcí pro zahájení komunikace.



Obr. 2.13 Struktura třídy pro MQTT komunikaci

2.4 Ověření funkce

Ověření funkce hardwaru probíhalo nejdříve na vývojové sadě Nucleo LR-WAN1, která je popsána výše v kapitole 2.2 *Hardware*. Pro komunikaci byla použita knihovna STM32CubeExpansion-LRWAN verze 1.0.1, která ovšem nefungovala správně. Při spuštění zařízení vysílalo přibližně každých 15 minut a nebylo možné to ovlivnit ani změnou nastavení. Poté výrobce knihovnu aktualizovat na verzi 1.1.0, která již fungovala. Mikrokontrolér vysílal dle zvoleného časového údaje a také při pokusu o připojení prováděl pokusy v rychlém časovém sledu. Druhá vývojová sada B-L072Z-LRWAN1 fungovala bez problému. Připojení bylo možné provádět i na větší vzdálenost než u první sady, která fungovala jen v blízkosti základnové stanice. Pro aktivování napájení na baterie nebo druhého USB je nutné odpájet jeden z SMD rezistorů označený v návodu k vývojové desce.



Obr. 2.14 Zařízení nainstalované na židli

Aplikace pro zpracování a zobrazení dat ze senzorů získává data a zobrazuje aktuální hodnoty. Zároveň aplikace ukládá naměřené hodnoty do CSV souboru.

Tab. 2.1 Příklad počátku souboru s naměřenými daty

Time	Temperature [°C]	Humidity [%]	Pressure [hPa]	Movement
12.5.2017 13:52	23,7	55,5	971,0	true
12.5.2017 13:55	23,8	56,0	971,1	true
12.5.2017 13:57	23,7	56,1	971,1	true
12.5.2017 14:00	23,7	55,6	971,0	true
12.5.2017 14:02	23,8	55,1	971,0	false
12.5.2017 14:05	23,7	55,0	971,1	false

Závěr

Cílem diplomové práce bylo zmapovat bezdrátové sítě v České republice a navrhnout vhodný model internetu věcí pro otestování komunikace pomocí bezdrátových modulů LoRa. Pro testování jsem tedy vybral zjišťování přítomnosti osob za pomoci akcelerometrů a gyroskopů.

Při práci jsem narazil na problémy s původní vývojovou sadou od společnosti STMicroelectronics a také na špatnou funkčnost prvních verzí knihoven poskytovaných výrobcem. Přes problémy s původními vývojovými sadami a knihovny se nakonec povedlo navázat spojení i na větší vzdálenost. Pomocí mikrokontroléru a čipu pro bezdrátovou komunikaci byly přenášeny hodnoty naměřených veličin o stavu okolního prostředí a zároveň detekována přítomnost osob. Především však bylo docíleno získávání a zpracování dat z MQTT serveru s pomocí Java aplikace. Aplikace data o pohybu zobrazovala jak v grafické podobě, tak pomocí času posledního zaznamenaného pohybu. Důležitým milníkem bylo umožnění rozdělení a uložení dat naměřených a odeslaných mikrokontrolérem. Data bylo nutné dekodovat z textového formátu base64 do jednotlivých bajtů a ty byly použity dle odpovídající velikosti odesílané veličiny. Velikost veličiny byla jeden či dva bajty. Ukládání dat probíhalo exportem do CSV souboru pro jejich snadné zpracování pomocí tabulkového procesoru.

Další rozvoj práce by byl možný ve zobrazení aplikace pro ukládání a zpracování dat, aby ji bylo možné používat i na jiné aplikace se sítí LoRa. Konkrétní aplikace by se dala rozšířit o celkový přehled všech pracovišť a detaily jednotlivých kanceláří s možností svolání pracovníků pomocí zvukových signálů.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] **Vojáček, Antonín.** Základní úvod do oblasti internetu věcí (IoT). *automatizace hw*. [Online] 16. září 2016. [Citace: 12. prosinec 2016.]
<http://automatizace.hw.cz/zakladni-uvod-do-oblasti-internetu-veci-iot.html>.
- [2] **Semtech.** LoRaWAN. *Semtech*. [Online] červen 2016. [Citace: 12. prosinec 2016.]
http://www.semtech.com/wireless-rf/iot/LoRaWAN101_final.pdf.
- [3] **LoRa Alliance.** LoRaWan 1.0.1 Specification. *zendesk*. [Online] listopad 2015.
[Citace: 14. prosinec 2016.] <https://enablingsupport.zendesk.com/hc/en-us/articles/205928502-LoRaWan-1-0-1-specification>.
- [4] **Libelium.** LoRa vs LoRaWAN. *Libelium*. [Online] [Citace: 15. květen 2017.]
<http://www.libelium.com/development/waspmote/documentation/lora-vs-lorawan/>.
- [5] **Český telekomunikační úřad.** Využívání vymezených radiových kmitočtů. *Český telekomunikační úřad*. [Online] [Citace: 15. květen 2017.]
<http://www.ctu.cz/vyuzivani-vymezenych-radiovyeh-kmitoctu>.
- [6] **Telit.** LE51-868-S. *Telit*. [Online] [Citace: 30. duben 2017.]
http://www.telit.com/fileadmin/user_upload/media/products/short_range/LE51-868-S/Telit_LE51-868_S_Datasheet.pdf.
- [7] **Zigbee Alliance.** Zigbee. *Zigbee Alliance*. [Online] [Citace: 30. duben 2017.]
<http://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/zigbee/>.
- [8] **Cisco.** 802.11ac: The Fifth Generation of Wi-Fi Technical White Paper. *Cisco*. [Online] 27. březen 2014. [Citace: 12. prosinec 2016.]
http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-3600-series/white_paper_c11-713103.html.
- [9] **Baoyong Chi, Lixue Kuang, Haikun Jia.** A 60-GHz wireless transceiver with dual-mode power amplifier for IEEE 802.11ad in 65nm CMOS. *IEEE*. [Online] 21. červenec 2016. [Citace: 12. prosinec 2016.]
<http://ieeexplore.ieee.org/document/7516975/>. 978-1-4799-8485-5.

- [10] **Shinill Chang, Hyunchol Shin.** Design considerations for bluetooth low energy CMOS RF transceivers for IoT. *IEEE*. [Online] 20. říjen 2016. [Citace: 12. prosinec 2016.] <http://ieeexplore.ieee.org/document/7601307/>. ISBN 978-1-4673-8801-6.
- [11] **Sims, Gary.** The truth about Bluetooth 5 – Gary explains. *Android authority*. [Online] 14. duben 2017. [Citace: 17. květen 2017.] <http://www.androidauthority.com/whats-favorite-htc-u11-feature-poll-week-772560/>.
- [12] **Bluetooth Sig.** Bluetooth core 5 specification. *Bluetooth*. [Online] 6. prosinec 2016. [Citace: 6. květen 2017.] <https://www.bluetooth.com/specifications/adopted-specifications>.
- [13] **WorldTimeZone.com.** GSM. *WorldTimeZone.com*. [Online] [Citace: 30. duben 2017.] <http://www.worldtimezone.com/gsm.html>.
- [14] **ARM.** [Online] [Citace: 17. květen 2017.] <https://www.arm.com/products/processors/instruction-set-architectures/index.php>.
- [15] **Moravské přístroje.** Co umí 64 bitový operační systém a jaké verze ovladačů zvolit? *Moravské přístroje, CCD kamery pro astronomii*. [Online] [Citace: 17. květen 2017.] <http://www.gxccd.com/art?id=452&lang=405>.
- [16] **Atmel.** Atmel AVR 8-bit and 32-bit Microcontrollers. *Atmel*. [Online] [Citace: 1. květen 2017.] <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/default.aspx>.
- [17] **Arm Group.** Download products. *Keil*. [Online] [Citace: 8. květen 2017.] <http://www.keil.com/download/product/>.
- [18] **Oracle.** IDE 8.2 Download. *NetBeans*. [Online] [Citace: 8. květen 2017.] <https://netbeans.org/downloads/>.
- [19] **MQTT.org.** Frequently asked questions. *MQTT*. [Online] [Citace: 3. květen 2017.] <http://mqtt.org/faq>.

- [20] **Bin Tang, Chun.** Explore MQTT and the Internet of Things service on IBM Bluemix. *IBM*. [Online] 18. únor 2015. [Citace: 3. květen 2017.]
<https://www.ibm.com/developerworks/cloud/library/cl-mqtt-bluemix-iot-node-red-app/>.
- [21] **Libelium.** 50 Sensor Applications for a Smarter World. *Libelium*. [Online] [Citace: 27. duben 2017.]
http://www.libelium.com/resources/top_50_iot_sensor_applications_ranking/.
- [22] **Mathur, Abhimanyu.** Insight - Learn the Working of a Motion Sensor or PIR Sensor. *Engineers Garage*. [Online] [Citace: 14. duben 2017.]
<https://www.engineersgarage.com/insight/how-motion-pir-sensor-works?page=1>.
- [23] **Xu, Fengliang a Fujimura, Kikuo.** Human detection using depth and gray images. *IEEE*. [Online] 4. srpen 2003. [Citace: 7. květen 2017.]
<http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1217910/>. ISBN 0-7695-1971-7.
- [24] **Geopraevent.** People radar. *Geopraevent*. [Online] [Citace: 1. květen 2017.]
<http://www.geopraevent.ch/technologies/radar-people-detection/?lang=en>.
- [25] **Pepperl+Fuchs.** Ultrasonic Sensors. *Pepperl+Fuchs*. [Online] [Citace: 17. květen 2017.] https://www.pepperl-fuchs.us/usa/en/classid_182.htm.
- [26] **STmicroelectronics.** STM32L073RZ. *STMicroelectronics*. [Online] [Citace: 24. duben 2017.] <http://www.st.com/en/microcontrollers/stm32l073rz.html>.
- [27] **STmicroelectronics.** STM32L072CZ. *STmicroelectronics*. [Online] [Citace: 28. duben 2017.] <http://www.st.com/en/microcontrollers/stm32l072cz.html>.
- [28] **Semtech.** Semtech SX1276. *Semtech*. [Online] [Citace: 29. duben 2017.]
<http://www.semtech.com/wireless-rf/rf-transceivers/sx1276/>.
- [29] **Murata.** *Murata*. [Online] [Citace: 29. duben 2017.]
http://wireless.murata.com/RFM/data/type_abz.pdf.

- [30] **Murata**. Media. *Murata*. [Online] [Citace: 16. květen 2017.]
<http://wireless.murata.com/media/catalog/product/cache/3/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/t/y/typeabz.jpg>.
- [31] **STmicroelectronics**. LSM6DS0. *STmicroelectronics*. [Online] [Citace: 2. květen 2017.] <http://www.st.com/en/mems-and-sensors/lsm6ds0.html>.
- [32] **STmicroelectronics**. HTS221. *STmicroelectronics*. [Online] [Citace: 2. květen 2017.] <http://www.st.com/en/mems-and-sensors/hts221.html>.
- [33] **STmicroelectronics**. LPS25HB. *STmicroelectronics*. [Online] [Citace: 2. květen 2017.] http://www.st.com/content/st_com/en/products/mems-and-sensors/pressure-sensors/lps25hb.html.
- [34] **mbed**. X Nucleo IKSA01A1 pinout. *mbed*. [Online] [Citace: 12. duben 2017.]
https://developer.mbed.org/media/components/pinouts/X_Nucleo_IKS01A1_mbed_pinout_v1.jpg.

Seznam obrázků

OBR. 1.1 PŘEHLED DOSAHU BEZDRÁTOVÝCH TECHNOLOGIÍ, INSPIROVÁNO [1]	13
OBR. 2.1 MODUL SPOJUJÍCÍ BEZDRÁTOVOU KOMUNIKACI S MIKROKONTROLÉREM [25].....	32
OBR. 2.2 FOTOGRAFIE MODULU MURATA, PŘEVZATO Z [30]	32
OBR. 2.3 SENZOROVÝ MODUL, PŘEVZATO Z [34].....	34
OBR. 2.4 STRUKTURA APLIKACE JAVA.....	37
OBR. 2.5 STRUKTURA UŽIVATELSKÉHO PROSTŘEDÍ.....	38
OBR. 2.6 PŘIDÁNÍ ZAŘÍZENÍ DO APLIKACE	39
OBR. 2.7 ODEBRÁNÍ ZAŘÍZENÍ Z APLIKACE	39
OBR. 2.8 UPRAVENÍ ÚDAJŮ O ZAŘÍZENÍ V APLIKACI	39
OBR. 2.9 NASTAVENÍ PŘIHLAŠOVACÍCH ÚDAJŮ, ADRES A IDENTIFIKÁTORU KLIENTA	40
OBR. 2.10 OKNO CHYBOVÉ ZPRÁVY	41
OBR. 2.11 PANEL ZOBRAZENÍ APLIKACE	41
OBR. 2.12 DETAIL PANELU S ÚDAJI O ZAŘÍZENÍ	42
OBR. 2.13 STRUKTURA TŘÍDY PRO MQTT KOMUNIKACI.....	43
OBR. 2.14 ZAŘÍZENÍ NAINSTALOVANÉ NA ŽIDLÍ	44

Přílohy

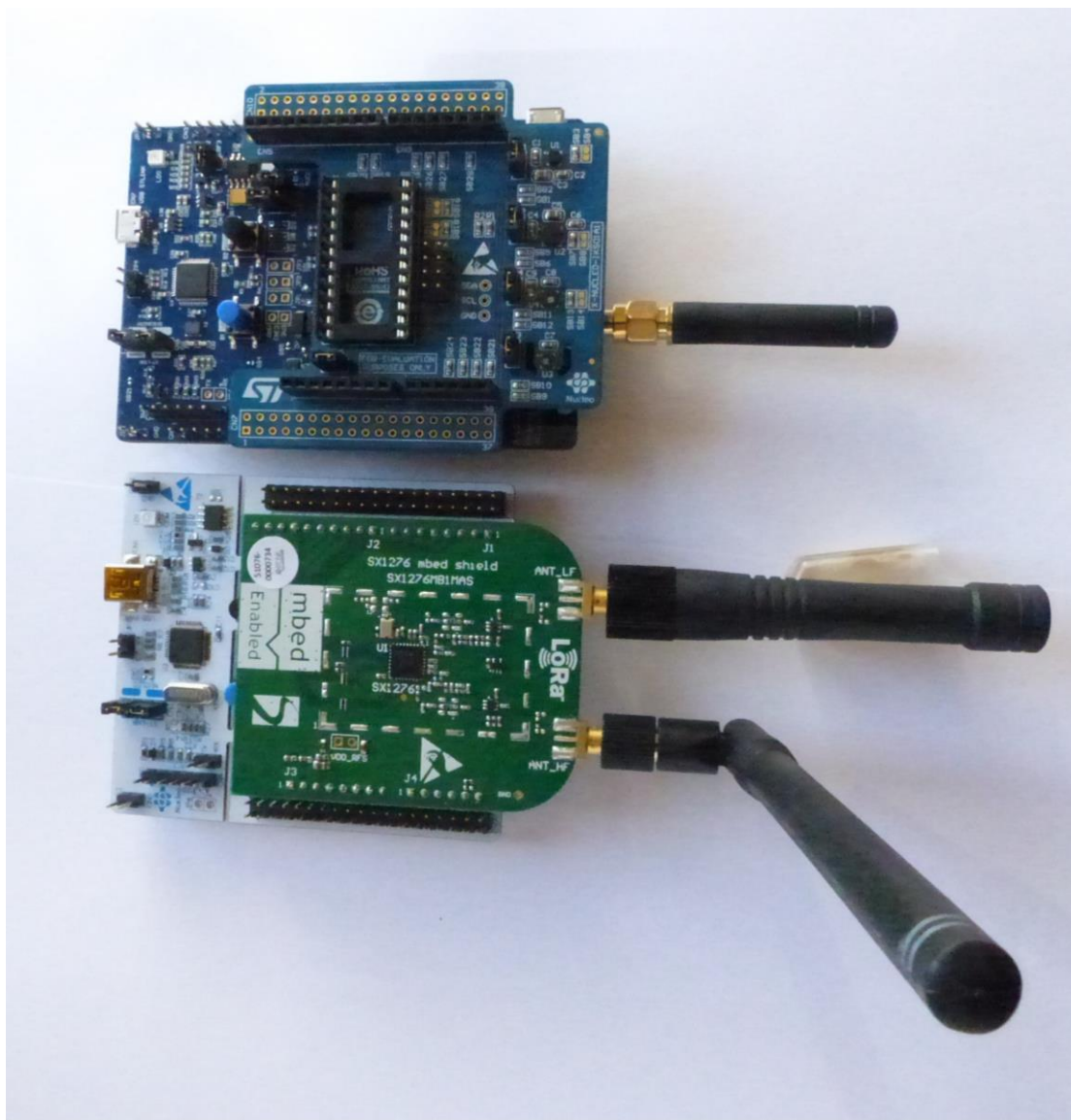
Příloha A – Fotografie zařízení

Příloha B – Vývojové diagramy programu pro zjišťování pohybu

Příloha C – Vývojový diagram funkce detekce pohybu

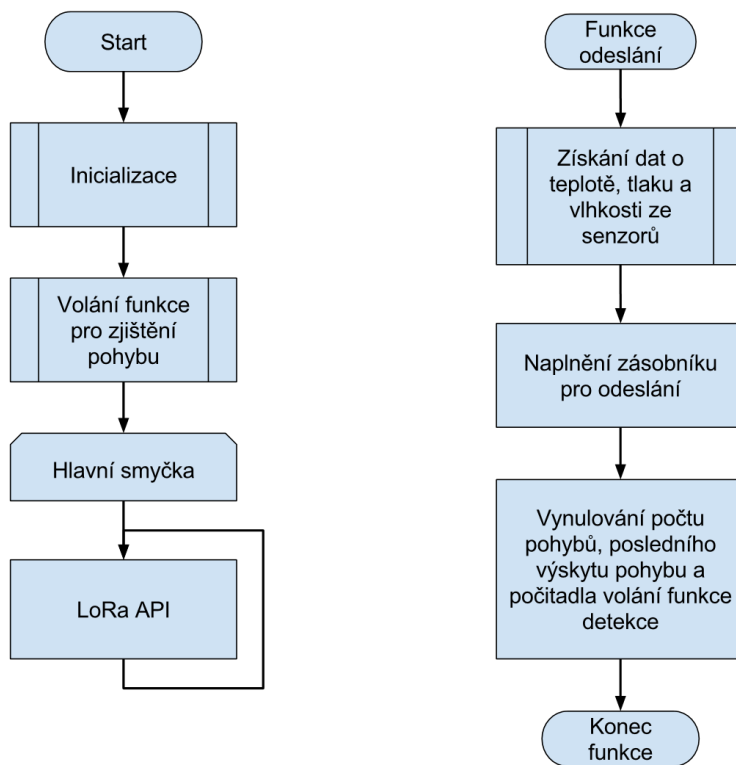
Příloha D – SD karta obsahující:

- Elektronickou podobu diplomové práce
- Program pro mikrokontrolér
- Aplikaci v jazyce Java

Příloha A:

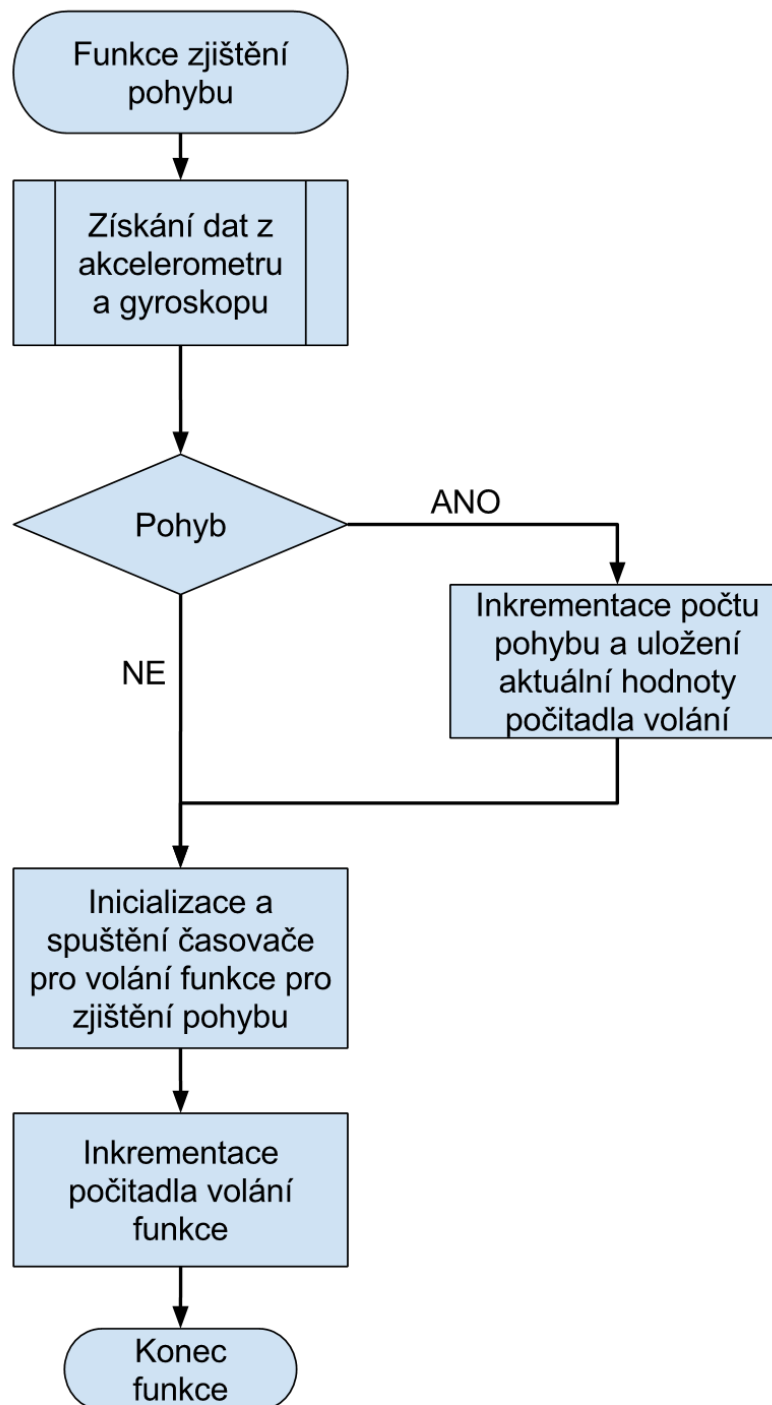
Nahoře na fotografii je vývojová sada B-L072z-LRWAN1 se sensorovým modulem, dole poté sada Nucleo-LRWAN1 obsahující desku s mikrokontrolerem a s komunikačním modulem.

Příloha B:



Vývojový diagram programu pro zjišťování polohy a odesílání dat pomocí LoRa bezdrátového modulu.

Příloha C:



Vývojový diagram funkce pro zjišťování pohybu.