



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Senzorické řešení chytré domácnosti s automatickou diagnostikou komunikace

Autor:
Patrik NACHTMANN

Vedoucí práce:
Ing. Martin BULÍN, MSc.

Závěrečná práce k získání akademického titulu *Bakalář (Bc.)*
v oboru Systémy pro identifikaci, bezpečnost a komunikaci

Katedra kybernetiky

20. května 2020

Prohlášení

Překládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím odborné literatury a pramenů, jejichž úplný seznam je její součástí.

V Plzni dne 20. května 2020

.....

Patrik NACHTMANN

„When Henry Ford made cheap, reliable cars, people said, ‘Nah, what’s wrong with a horse?’ That was a huge bet he made, and it worked.“

Elon Musk

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA

Abstrakt

Fakulta aplikovaných věd

Katedra kybernetiky

Bakalář (Bc.)

Patrik NACHTMANN

Senzorické řešení chytré domácnosti s automatickou diagnostikou komunikace

Cílem této bakalářské práce je zkonstruovat senzory postavené na mikročipu *ESP8266*, naprogramovat systém automatické diagnostiky komunikace za účelem detekce chyb a jiných anomálií a data vizuálně zobrazit. Prvním krokem je otestování čidel vhodných pro využití v chytré domácnosti a následná konstrukce fyzických obvodů. Dále je potřeba zprovoznit komunikaci vybraných čidel s mikrokontrolérem *ESP8266* a pomocí protokolu *MQTT* zajistit komunikaci senzorů s webovým rozhraním. Významnou částí tohoto projektu je systém automatické diagnostiky, který je založen na principech strojového učení a pomocí klasifikátorů detekuje anomálie. Výstupem tohoto projektu je grafická vizualizace naměřených dat ve formě webové stránky, která poskytuje kromě hodnot měřených veličin informace o stavu jednotlivých čidel.

Smart home sensory system with an automatic communication diagnostics

The aim of the bachelor thesis is to construct a few *ESP8266*-based sensors and to develop a tool for an automatic communication diagnostics and outlier detection. The first step is to choose specific sensors and test them in order to determine their suitability for this project. For each of them is built an integrated circuit and developed a communication channel between microchips and the *MQTT* server. The key part of the project is an autonomous diagnostic system based on the principles of unsupervised machine learning, which classifies the sensory data in order to detect anomalies. The outcome of this project is a graphical visualisation which is implemented through a web page. The web page provides an organized summary of all measured quantities and gives an overview of conditions of each sensors.

Klíčová slova

Internet věcí, chytrá domácnost, senzor, mikročip, ESP8266, Raspberry Pi, diagnostika komunikace, detekce anomálií, Isolation Forest, webová vizualizace

Keywords

Internet of things, smart home, sensor, microchip, ESP8266, Rapberry Pi, communication diagnostics, anomaly detection, Isolation Forest, web visualisation

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Martinu Bulínovi, MSc. za odborné konzultace a trpělivost v průběhu celého projektu. Především za hodnotné rady a poznámky v průběhu návrhu řešení a následnou cennou zpětnou vazbu při psaní této práce.

Dále děkuji panu Ing. Janu Švecovi, Ph.D za nápady při tvorbě zadání této práce.

Obsah

| | |
|---|------------|
| Abstrakt | iii |
| 1 Úvod | 1 |
| 2 Hardwarové komponenty | 5 |
| 2.1 Mikročip ESP8266 | 6 |
| 2.2 Senzory | 12 |
| 2.2.1 Teplotní čidlo DS18B20 | 12 |
| 2.2.2 Vlhkoměr DHT11 | 13 |
| 2.2.3 Čidlo intenzity osvětlení TSL2591 | 15 |
| 2.2.4 Čidlo barometrického tlaku a teploty BME280 | 16 |
| 2.2.5 Pohybové čidlo AM312 | 17 |
| 2.2.6 Magnetické čidlo LS311B38 | 18 |
| 2.3 Raspberry Pi | 19 |
| 3 Síťová komunikace a databáze | 22 |
| 3.1 Protokol MQTT | 23 |
| 3.1.1 Struktura zpráv | 24 |
| 3.1.2 Hierarchie zpráv | 26 |
| 3.2 Ukládání dat do databáze | 27 |
| 3.3 Webserver | 27 |
| 4 Diagnostika a detekce anomálií | 30 |
| 4.1 Detekce chyb na úrovni mikročipu | 33 |
| 4.2 Kontrola periodicity zpráv na serveru | 34 |
| 4.3 Detekce anomálí využitím klasifikátoru | 35 |
| 4.3.1 Klasifikace času neperiodických zpráv (1D veličiny) . . | 36 |
| 4.3.2 Klasifikace naměřených hodnot v daném čase u periodických zpráv (2D veličiny) | 38 |
| 5 Webové rozhraní | 42 |
| 5.1 Programování frontendu | 42 |
| 5.2 Overview | 43 |
| 5.3 Analytics | 44 |
| 5.4 About | 47 |
| 6 Závěr | 49 |
| Literatura | 50 |
| A1 Grafy | 51 |
| A2 Struktura repozitáře | 56 |

Seznam obrázků

| | | |
|------|---|----|
| 2.1 | Vztahy mezi použitým hardwarem a měřenými veličinami | 5 |
| 2.2 | Vývojová platforma NodeMCU s modulem ESP8266 | 6 |
| 2.3 | Diagram odesílání zpráv na základě vzniku události | 8 |
| 2.4 | Diagram periodicky opakovaného odesílání zpráv | 9 |
| 2.5 | Diagram architektury kódu na microchipu ESP8266 | 10 |
| 2.6 | Schéma obvodu platformy NodeMCU, dvou čidel DS18B20 a led diody na plošném spoji | 13 |
| 2.7 | Fyzická realizace senzoru s moduly DS18B20 a DHT11 | 13 |
| 2.8 | Schéma obvodu platformy NodeMCU, modulu DHT11 a led diody na plošném spoji | 14 |
| 2.9 | Schéma obvodu platformy NodeMCU, modulu TSL2591 a led diody na plošném spoji | 15 |
| 2.10 | Fyzická realizace senzoru s modulem TSL2591 | 16 |
| 2.11 | Schéma obvodu platformy NodeMCU, modulu BME280 a led diody na plošném spoji | 16 |
| 2.12 | Fyzická realizace senzoru s modulem BME280 | 17 |
| 2.13 | Schéma obvodu platformy NodeMCU, modulu AM312, led diody a externího bzučáku na plošném spoji | 18 |
| 2.14 | Fyzická realizace senzoru s modulem AM312 | 18 |
| 2.15 | Schéma obvodu platformy NodeMCU, magnetického kon- taktu LS311B38 a led diody na plošném spoji | 19 |
| 2.16 | Fyzická realizace senzoru s magnetickým kontaktem LS311B38 | 19 |
| 2.17 | Jednočipový počítač Raspberry Pi 4 Model B | 20 |
| 3.1 | Rozložení jednotlivých komponent a schéma datových toků v celém projektu | 23 |
| 3.2 | Princip komunikace přes MQTT protokol | 24 |
| 3.3 | Schéma procesů s popisy portů běžících na Raspberry Pi . . | 28 |
| 3.4 | Diagram architektury kódu backendu na Raspberry Pi . . . | 28 |
| 4.1 | Hierarchie subsystémů diagnostiky a detekce anomálií . . . | 30 |
| 4.2 | Struktura a popis všech úrovní diagnostického systému . . | 31 |
| 4.3 | Markovův řetězec popisující přechody mezi jednotlivými stavami senzorů | 33 |
| 4.4 | Výstupy subsystému detekce chyb na úrovni mikročipu ESP8266 | 33 |
| 4.5 | Zobrazení ve webové vizualizaci v případě chyby senzoru . . | 34 |
| 4.6 | Výstupy subsystému kontroly periodicity příchozích zpráv . | 35 |
| 4.7 | Výstupy subsystému klasifikace z natrénovaného modelu u 1D veličin | 37 |
| 4.8 | Graf popisující získané skóre pomocí klasifikace z natréno- vaného modelu pro status okna | 37 |

| | | |
|------|--|----|
| 4.9 | Výstupy subsystému klasifikace z natrénovaného modelu u 2D veličin | 39 |
| 4.10 | Graf popisující získané skóre pomocí klasifikace z natréno- vaného modelu pro intenzitu osvětlení v místnosti | 40 |
| 5.1 | Stránka Overview ve webovém rozhraní | 43 |
| 5.2 | Detail dlaždice na stránce Overview | 44 |
| 5.3 | Zobrazení všech ikon popisujících stavy senzoru | 44 |
| 5.4 | Stránka Analytics ve webovém rozhraní | 45 |
| 5.5 | Proces výběru z předvoleb a specifikace zobrazení dat | 46 |
| 5.6 | Popis jednotlivých dlaždic na stránce Analytics | 47 |
| 5.7 | Stránka About ve webovém rozhraní | 48 |
| A1.1 | Graf popisující získané skóre pomocí klasifikace z natréno- vaného modelu pro status dveří | 51 |
| A1.2 | Graf popisující získané skóre pomocí klasifikace z natréno- vaného modelu pro pohyb v místnosti | 52 |
| A1.3 | Graf popisující získané skóre pomocí klasifikace z natréno- vaného modelu pro venkovní teplotu | 53 |
| A1.4 | Graf popisující získané skóre pomocí klasifikace z natréno- vaného modelu pro vnitřní teplotu | 54 |
| A1.5 | Graf popisující získané skóre pomocí klasifikace z natréno- vaného modelu pro vlhkost v místnosti | 54 |
| A1.6 | Graf popisující získané skóre pomocí klasifikace z natréno- vaného modelu pro intenzitu osvětlení v místnosti | 55 |

Seznam tabulek

| | | |
|-----|--|----|
| 3.1 | Atributy zprávy odesílané z mikročipu na broker | 26 |
| 3.2 | Výčet všech topiců, do kterých jsou odesílány zprávy | 26 |

Použité zkratky a termíny

| | |
|----------------|---|
| IoT | Internet of Things (internet věcí) |
| RPi | Raspberry Pi |
| ESP8266 | Použitý mikročip (mikrokontrolér) |
| NodeMCU | Vývojová platforma s čipem ESP8266 |
| Čidlo | Komponenta k mikročipu (např.: vlhkoměr DHT11) |
| Senzor | Celek skládající se z mikročipu a čidla (např.: obvod ESP8266 + DHT11) |

Kapitola 1

Úvod

Využití moderních technologií v domácnosti otevří možnosti monitorování a ovládání domácího prostředí a jeho okolí dříve nevýdanými způsoby. Chytrá domácnost reaguje skrze systém automatického řízení na potřeby uživatele a pomocí efektivního nakládání s energiemi snižuje provozní náklady. Mezi vlastnosti inteligentního domu patří především zajištění komfortu pro jeho obyvatele a ekonomická efektivita. Centrem chytré domácnosti je komplexní systém, který sbírá lokálně měřená data a na základě těchto dat automatizuje provoz v domácnosti. Tento řídící systém se stará například o centrální řízení teploty v domě, zabezpečení objektu nebo o automatické ovládání osvětlení. Hlavní využití této centrálně řízené domácnosti spočívá v autonomii - inteligentní dům rozhoduje na základě uživatelského nastavení a dat a ke svému fungování nepotřebuje aktivní zásahy od uživatele. Tento projekt se zaměřuje na jeden z aspektů inteligentního domu - na konstrukci chytrých senzorů a následné zpracování naměřených dat.

Díky chytrým senzorům, které monitorují fyzikální veličiny v domácnosti a jejím okolí, je možné vzdáleně kontrolovat jednotlivé sekce v inteligenrním domě, optimalizovat provozní náklady a zvýšit zabezpečení objektu. Naměřené hodnoty lze ukládat, sledovat jejich vývoj v čase a na základě klasifikace predikovat budoucí vývoj a detekovat anomálie.

Cílem této práce je sestrojit funkční model chytré domácnosti, který svým zaměřením a funkčností odpovídá realitě a má konkrétní reálné aplikace. Tento model se skládá z několika senzorů měřících různé fyzikální veličiny a řídícího systému. Významnou část toho projektu tvoří systém automatické diagnostiky komunikace, který využívá principů strojového učení a na základě klasifikace poskytuje další informace o senzorech a měřených veličinách. Celý projekt je uživateli zpřístupněný přes webové rozhraní, které přehledně poskytuje všechny dostupné informace.

Cíle práce

Cíle této práce jsou následující.

1. Otestovat funkcionality senzorů vhodných pro využití v projektu chytré domácnosti.
2. Zajistit fyzické zapojení vybraných senzorů a jejich komunikaci s mikročipem ESP8266.

3. Pomocí protokolu MQTT zprovoznit komunikaci vybraných čidel s webovým rozhraním pro vzdálené monitorování.
4. Navrhnout systém automatické diagnostiky MQTT zpráv s cílem detekce výpadků senzorů a jiných anomalií.

Současný stav řešené problematiky

Jednou ze stěžejních částí této práce je systém automatické diagnostiky, jehož primárním úkolem je detektovat chyby a anomálie. Detekce anomalií je proces, jehož účelem je identifikovat neočekávané prvky v množině dat. Tyto neočekávané prvky jsou charakterizovány výchylkami od normy ostatních dat. Pro umožnění detekce anomalií musejí být naplněny dva předpoklady:

1. Neočekávané události (hodnoty) se v datech vyskytují výjimečně.
2. Neočekávané hodnoty se od standardních dat odlišují významně.

Tím, že se neočekávané hodnoty od ostatních dat podstatně odlišují a vyskytují se jen výjimečně, je možné tyto anomálie spolehlivě detektovat. V problematice detekce anomalií se rozlišují dvě základní situace:

- V množině trénovacích dat jsou přítomny anomálie, které jsou definovány jako prvky ležící daleko od ostatních dat; Algoritmus pro detekci výchylek ignoruje tyto přítomné anomálie a snaží se zaměřit na oblasti, kde je nejvíce dat (tato situace se nazývá *Outlier Detection*).
- Trénovací data nejsou znečištěna anomáliemi a algoritmus rozhoduje o tom, zda nové prvky korespondují s trénovací množinou nebo zda se jedná o anomálie (tato klasifikace je nazývána *Novelty Detection*).

Detekce anomalií má v reálném světě četné využití skrze obory jako je bankovnictví, medicína nebo automatická výroba. V objemných databázích je často velmi složité objevit opakující se vzory a identifikovat anomálie, proto se uchylujeme k použití algoritmů strojového učení. V současné době je k dispozici řada algoritmů, které slouží k detekci anomalií. Několik příkladů je uvedeno níže.

- *Robust Covariance* je algoritmus založený na předpokladu, že sledovaná data mají známé rozložení (například Gaussovske) a že je možné odhadnout tvar tohoto rozložení; Na základě elipsy, která prochází centrálními daty jsou za anomálie označeny prvky, které leží za hranicí této elipsy.
- Algoritmus *One-Class SVM* vyžaduje výběr středu z množiny dat a zvolení parametrů pro definování hranice; Za anomálie jsou označeny prvky, které se nacházejí za hranicí.
- *Local Outlier Factor* je algoritmus, který na základě úrovně abnormálnosti (velikost odchylky) vypočítává skóre, které přiřazuje jednotlivým prvkům; Skóre je vypočítáváno v závislosti na počtu sousedních prvků v okolí.
- V tomto projektu je pro detekci anomalií využitý algoritmus *Isolation Forest*, jehož historie sahá do roku 2008.

Algoritmus Isolation Forest

Isolation Forest [1] je algoritmus založený na strojovém učení, který detekuje anomálie tím, že identifikuje a izoluje neočekávané hodnoty od ostatních dat. Tento algoritmus nepotřebuje předem definovanou množinu dat, která je brána jako bezchybná a vzorová. Ostatní algoritmy vyžadují trénovací množinu dat, ve které se nevyskytují žádné anomálie a za anomálie považují data, která jsou mimo předem učenou normovanou množinu dat. Isolation Forest detekuje anomálie bez předem definované množiny normálních dat na základě dvou výše zmíněných předpokladů. Mezi klíčové vlastnosti algoritmu Isolation Forest patří:

1. Nízké nároky na výpočetní paměť a rychlosť detekce
2. Schopnosť zpracovávat mnohodimenzionální data bez další informace o typu dat (algoritmus nepotřebuje vědět jaký typ dat zpracovává).
3. V trénovacích datech mohou nebo nemusejí být přítomny anomálie.

Princip detekce anomálií algoritmu Isolation Forest spočívá v přiřazení číselného skóre všem datům v množině dat. Na množině trénovacích dat je natrénován model, který následně klasifikuje nově příchozí vzorky - na základě číselného skóre provádí rozhodnutí, zda daný prvek koresponduje s natrénovaným modelem nebo zda se jedná o anomálii. Klasifikace (rozhodnutí) probíhá podle následující rozhodovací funkce:

$$f(x) = \begin{cases} \text{if } S > 0 & \text{sample } ok \\ \text{if } S \leq 0 & \text{sample } outlier, \end{cases}$$

kde S je hodnota číselného skóre. Po přiřazení skóre vzorkům v množině dat jsou za anomálie označena data, jejichž hodnoty přesáhnou předem určený práh (práh je zde nula). Pokud je skóre vzorku kladné, vzorek koresponduje s natrénovaným modelem a je v pořadku - nejedná se o anomálii. Pokud je skóre záporné, daný vzorek je považován za tzv. *outlier* - neodpovídá natrénovanému modelu a je označen za anomálii.

Schopnosť algoritmu zpracovávat a vyhodnocovat data bez předchozí znalosti obsahu dat je klíčová pro klasifikaci různých druhů veličin. V tomto projektu jsou pro algoritmus Isolation Forest data formována dvěma způsoby:

- jednodimenzionálně: [timestamp] - obsah dat je tvořen jedním atributem, který je klasifikován; Zde je klasifikován čas odeslání zprávy.
- dvoudimenzionálně: [timestamp, value] - obsah dat je tvořen dvěma atributy; Zde je klasifikována hodnota měřené veličiny v daném časovém okamžiku.

Klasifikace jedno- a dvoudimenzionálních dat je popsána v kapitole Kap. 4. Algoritmus Isolation Forest je vhodný pro klasifikaci obou typů veličin a jeho hlavní výhodou jsou nízké nároky na výpočetní paměť a rychlosť detekce anomálií. Anomálií je v tomto projektu:

- Hodnota měřené veličiny, která se v daném časovém okamžiku výrazně odlišuje od ostatních hodnot v množině dat.

- Událost, která vznikla v čase, kdy je vznik této události nepravděpodobný.

Obsah práce

Práce se skládá z šesti kapitol a svou strukturou odpovídá standardu vědeckých publikací.

V první kapitole jsou popsány aktuální trendy v oblasti chytré domácnosti, základní principy detekce anomalií a stručně vystížené cíle tohoto projektu.

V Kap. 2 je popsán veškerý použitý hardware a na schématech zobrazená konstrukce jednotlivých senzorů v projektu chytré domácnosti. Tato část dále popisuje programování sítové komunikace mikročipu *ESP8266* se serverem a využití počítače *Raspberry Pi*.

V Kap. 3 jsou znázorněny datové toky v celém projektu a popsán komunikační protokol *MQTT*. Tato kapitola je věnována vysvětlení principu přenosu dat po síti a jejich ukládání do databáze.

Systém automatické diagnostiky a detekce anomalií je popsán v Kap. 4. Tato kapitola je rozdělena do tří částí podle úrovně diagnostického systému. Je zde popsána detekce chyb na úrovni mikročipu ESP8266, systém kontroly periodicity příchozích zpráv a použití klasifikátoru pro detekci anomalií v měřených datech.

Vizualizace veškerých naměřených dat a stavu senzorů je ukázána v Kap. 5.

V příloze A1 jsou uvedeny ukázky grafů, které jsou vygenerovány na základě reálných dat pomocí natrénovaných modelů pro jednotlivé veličiny.

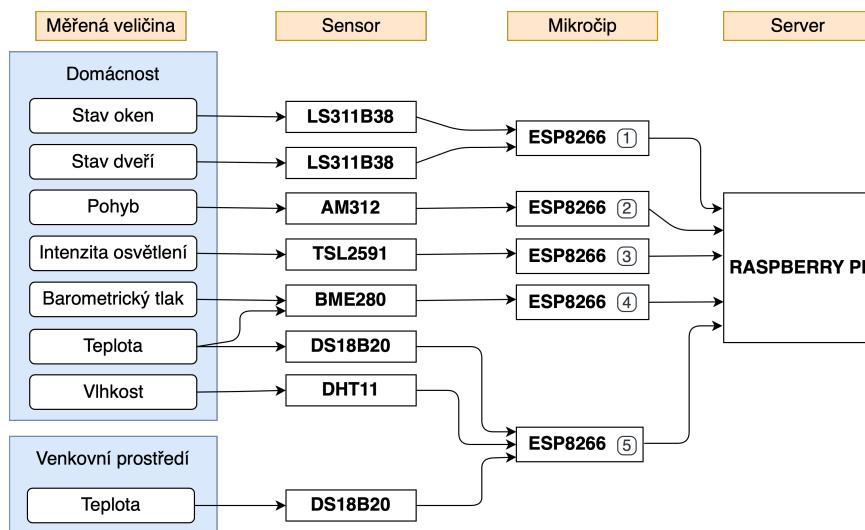
V příloze A2 je zobrazena adresářová struktura repozitáře v projektu chytré domácnosti.

Kapitola 2

Hardware komponenty

V této kapitole je popsán veškerý použitý hardware v projektu senzorického řešení chytré domácnosti. V projektu je využito 5 mikročipů ESP8266, 8 čidel pro měření fyzikálních veličin a jeden počítač Raspberry Pi.

Měřené fyzikální veličiny lze rozdělit do dvou základních kategorií - veličiny, které jsou měřeny uvnitř domácnosti v rámci místnosti a veličiny ve venkovním prostředí. Mezi veličiny měřené uvnitř místnosti patří teplota, vlhkost, intenzita osvětlení, stav dveří a oken a barometrický tlak. V místnosti je dále monitorován pohyb osob. Ve venkovním prostředí je měřena teplota. Na Obr. 2.1 je zobrazen použitý hardware v závislosti na měřených veličinách.



OBRÁZEK 2.1: Vztahy mezi použitým hardwarem a měřenými veličinami

Ve snaze o co nejfektivnější využití hardwaru může jeden mikročip číst data z několika čidel. Tento přístup se využívá hlavně u čidel teploty a vlhkosti a u čidel pro monitorování stavu oken a dveří. U ostatních senzorů je zpravidla využitý jeden mikročip pro čtení dat z jednoho specifického čidla. Využitelnost jednoho mikročipu pro více čidel je závislá zejména na fyzickém umístění senzoru (např.: pohybový senzor musí být umístěn v rohu místnosti, kde není vhodné současně měřit jiné veličiny) a na výpočetní náročnosti. Jeden mikročip často zvládne načítat data pouze z jednoho čidla.

2.1 Mikročip ESP8266

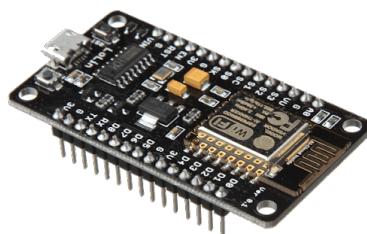
Základním stavebním prvkem senzorů v tomto projektu je mikročip *ESP8266*. Existuje celá řada mírně odlišných mikrokontrolérů založených na tomto modulu, v principu se ale jedná o velmi levný mikročip s procesorem o frekvenci 80 Hz, flash pamětí typicky od 512 KiB do 4 MiB, 16 vstupně-výstupními piny a podporou sběrnic SPI, I²C a I²S. [12]

Vlastnosti mikročipu

Hlavní předností tohoto čipu je podpora Wi-Fi standardu IEEE 802.11 b/g/n. K mikročipu stačí kabelově přivést pouze napájení a veškerá komunikace může probíhat bezdrátově po místní síti. Tím odpadá nutnost předem připravené kabeláže v domě a rozšířují se možnosti využití i v méně dostupných prostorech. Tento druh mikročipu byl zvolen hlavně kvůli kompatibilitě s celou řadou čidel, podpoře několika programovacích jazyků a v neposlední řadě kvůli široce rozšířené komunitě a dostupnosti nejrůznějších návodů pro DIY projekty.

Vývojové platformy

Vývojové desky s mikročipem ESP8266 jsou vyráběny v několika provedeních. V projektu senzorického řešení chytré domácnosti jsem využil výhradně vývojovou platformu *NodeMCU* (na Obr. 2.2). Tato platforma je přizpůsobena pro pohodlnou komunikaci s mikročipem ESP8266 pomocí sériové linky. Platforma disponuje USB konektorem a vývody GPIO pinů. USB konektor slouží k napájení a zároveň k přenosu dat do paměti mikročipu. Pro zapojení externích komponent a vytváření obvodů lze pohodlně využít breadboard¹ a propojovací kably. Ve fázi vytváření prototypu tedy není nutné pájet.



OBRÁZEK 2.2: Vývojová platforma NodeMCU s modulem
ESP8266

Firmware mikročipu

Po zakoupení vývojové platformy je prvně potřeba nahrát aktuální firmware do flash paměti mikročipu. Před nahráním firmwaru je nutné nainstalovat ovladač pro komunikaci s USB rozhraním na desce. NodeMCU zpravidla

¹Nepájivé kontaktní pole. Komponenta, která umožňuje sestavit prototyp obvodu a je vhodná pro první experimentování.

vyžaduje ovladač CP2102 (alternativně CH340). Pro nahrání samotného firmware do mikročipu jsem zvolil nástroj *esptool.py*. [4] Esptool je program postavený na Pythonu, který umí načíst informace o připojeném mikročipu, vymazat flash paměť, nahrát nový firmware a případně zálohovat flash paměť.

Vývojové prostředí

Veškerá komunikace s čipem probíhá po USB rozhraní a je založena na principu nahrání skriptů do paměti čipu a následném restartování pro spuštění programu. Jakkoliv změna kódu znamená vymazání původního skriptu z paměti čipu a následném nahrání nového skriptu. Tato skutečnost mírně ztěžuje ladění kódu a odchytávání chyb, ale samotný skript pro mikrokontrolér nebývá příliš dlouhý a k ladění kódu lze efektivně využít příkazovou řádku. Pro ukládání skriptů do mikročipu je potřeba vhodný nástroj pro přístup do adresářové části paměti na čipu. Jedním z těchto nástrojů je *Mpfshell*. [5] Mpfshehell je balíček postavený na Pythonu, který umožňuje editaci souborů uložených v paměti (nahrávání, mazání, vytváření složek apod.) a zpřístupňuje příkazovou řádku na mikročipu. Právě příkazová řádka je zásadní pro rychlé spuštění kódu a odladění chyb, je možné v ní přímo psát části kódu nebo spouštět jednotlivé skripty bez nutnosti restartu.

Programování mikročipu

Samotné ESP8266 může být programováno v několika jazycích, předně v Arduino IDE, MicroPythonu nebo LUA. V tomto projektu jsou všechny mikrokontroléry programovány v jazyce MicroPython. V rámci sjednocení programovacích jazyků v celém projektu jsem vybral MicroPython právě z důvodu univerzálnosti. MicroPython vychází z Pythonu 3 a je přímo přizpůsoben pro programování mikrokontrolérů. Další části projektu (například backend webové vizualizace nebo klasifikátor dat) jsou postaveny na Pythonu 3, proto se MicroPython v rámci zachování jednotné struktury jeví jako logická volba. Nespornou výhodou tohoto jazyku je velká podpora v rámci komunity a množství návodů a knihoven pro komunikaci s jednotlivými čidly.

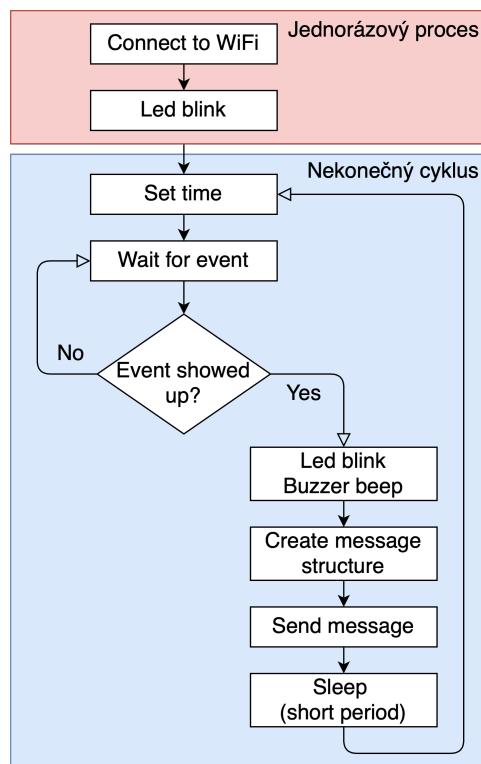
Odesílání dat z mikročipu

V senzorech pro chytrou domácnost se uplatňují 2 základní přístupy odesílání dat na server. První je založen na odeslání zprávy na základě vzniku události a druhý přístup odesílá zprávy pravidelně s předem zvolenou periodou odesílání. V obou případech se po zapnutí senzoru mikročip nejprve připojí k Wi-Fi a problkne led dioadami. Tento proces proběhne jednorázově a pak senzor přejde do stavu, kdy je připraven načítat data ze senzorů a publikovat zprávy.

Odesílání zpráv na základě vzniku události

Odesílání zpráv ze senzoru na server na základě vzniku události používá senzor pro detekci pohybu v místnosti a senzor pro monitorování stavu oken a dveří. Tento přístup je popsán v diagramu na Obr. 2.3. V nekonečném cyklu,

do kterého se senzor dostane po připojení k internetu, se prvně sesynchronizuje čas se světovým časem pomocí protokolu NTP². Po synchronizaci senzor čeká, dokud se neobjeví událost, kterou má zaznamenat. Touto událostí je například otevření či zavření okna nebo dveří a nebo pohyb člověka v místnosti. V momentě, kdy událost nastane, čidlo problikne externí led diodou (v případě pohybového čidla se pro indikaci zapne ještě externí bzučák) a přejede do fáze vytváření zprávy. Po vytvoření struktury zprávy, která sestává z několika atributů (více v Kap. 3.1), se senzor připojí k MQTT brokeru a odešle zprávu. Po odeslání zprávy se uspí na 3 vteřiny a celý cyklus se opakuje. Uspání je v programu spíše jako preventivní opatření, aby se kód nežádaným způsobem nezacyklil. V případě pohybového senzoru je krátké uspání vhodné také pro to, aby čidlo neposílalo zbytečně moc zpráv, když v místnosti detekuje pohyb. Šetří se tím vytíženosť sítě a pro účel detekce pohybu není nutné odesílat informaci několikrát za vteřinu.



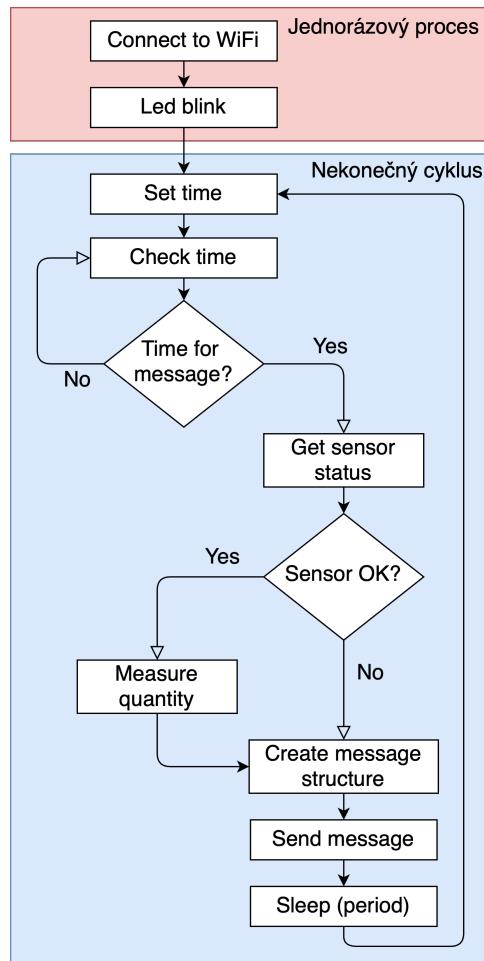
OBRÁZEK 2.3: Diagram odesílání zpráv na základě vzniku události

Periodické odesílání zpráv

Pravidelné odesílání zpráv s předem danou frekvencí odesílání používají všechny ostatní senzory měřící veličiny, u kterých je vhodné měření po určité době opakovat. Jde o čidla vnitřní a venkovní teploty, vlhkosti, intenzity osvětlení a barometrického tlaku. U těchto senzorů je vhodné měření fyzičkálních veličin opakovat za účelem získání dostatečného množství dat pro následné trénování modelů a pro zajištění neustálé aktuálnosti hodnot ve webové vizualizaci. Vstupními parametry toho přístupu je perioda odesílání dat a určení okamžiku, ve kterém má proběhnout odeslání dat. V případě

²Network Time Protocol - protokol pro synchronizaci času po internetu

senzorů pro chytrou domácnost je perioda odesílání 1 minuta a okamžik, kdy se posílají data je vždy ve 30. vteřině (např.: po sobě jdoucí sekvence dat odeslaná v časech 14:25:30, 14:26:30, 14:27:30, ...). Minutová perioda odesílání dat je kompromis mezi dostatečným množstvím dat a vytížeností výpočetní techniky (vytíženost přenosové sítě, množství potřebné kapacity pro ukládání těchto dat, opotřebení čidel vlivem neustálého načítání dat apod.). Odesílání dat každou minutu vytvoří 1440 vzorků dat za 24 hodin. Po několika dnech sbírání dat už lze z tohoto množství dat počítat statistiky a trénovat klasifikátory. Specifická volba odesílání dat ve 30. vteřině je spíše návrhové rozhodnutí, které sjednocuje odesílání dat ze všech senzorů ve stejném okamžiku. Přístup periodického odesílání dat je popsán v diagramu na Obr. 2.4.



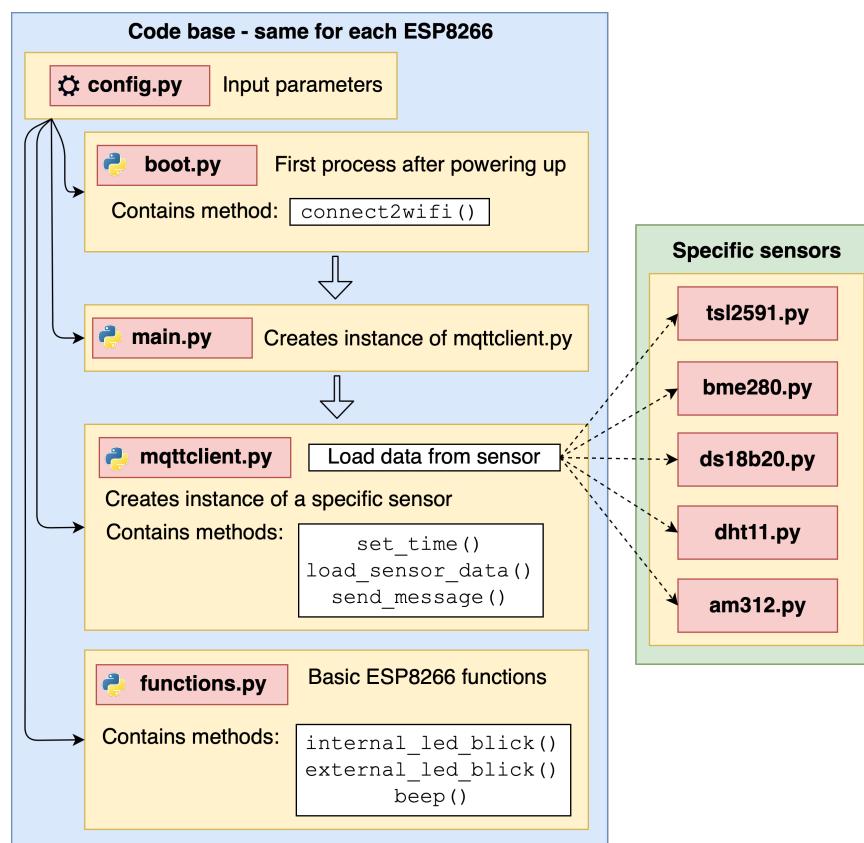
OBRÁZEK 2.4: Diagram periodicky opakovaného odesílání zpráv

V nekonečném cyklu, do kterého se senzor dostane po připojení k Wi-Fi, se nejdříve sesynchronizují vnitřní hodiny mikročipu se světovým časem pomocí protokolu NTP. Následně senzor čeká v cyklu na okamžik, kdy má odeslat zprávu (30. vteřina každé minuty). V momentě, kdy je podmínka splněna a je čas na zprávu, mikročip zjistí status senzoru a načte data (zjištění statusu čidla je přímo spojeno s načtením dat - pokud se podaří načíst data z čidla, status čidla je "OK", pokud dojde k chybě při pokusu o načtení dat, status čidla je "ERROR"). Více o detekci chyb na úrovni mikročipu v Kap. 4.1). Po

načtení dat z čidla se vytvoří struktura zprávy (více o struktuře zprávy v Kap. 3.1) a zpráva se odešle na MQTT broker. Po odeslání se senzor uspí na čas $t - 10[\text{sec}]$, kde t je perioda odesílání. Například pro periodu odesílání 1 minuta se senzor uspí na 50 vteřin. Zbylých 10 vteřin, kdy senzor nespí, je určeno pro proces načtení dat ze senzoru (např.: u teplotního senzoru, který načítá data z několika čidel tento proces trvá v průměru 3 až 4 vteřiny), vytvoření zprávy a odeslání zprávy.

Architektura kódu na mikročipu

Architektura kódu všech senzorů sestává ze stejného jádra. Při návrhu programu pro mikročipy byl kláden důraz na objektovou strukturu programování a co nejuniverzálnější využití. Proto je základ programu pro všechny senzory stejný a liší se jen komunikací s konkrétním čidlem. Tímto přístupem se podařilo sjednotit verze kódu ve všech senzorech a hlavně umožnit rychlé přidání dalších senzorů v budoucnu. Pokud bych do chytré domácnosti chtěl přidat další senzor, který bude měřit jinou fyzikální veličinu, nemusím programovat celou logiku senzoru znova nebo složitě vytrhávat části jinde použitého kódu, ale použiji stávající program, který pouze doplním o implementaci komunikace s konkrétním čidlem. Vizuální pohled na architekturu kódu na mikročipu je na Obr. 2.5.



OBRÁZEK 2.5: Diagram architektury kódu na microchipu
ESP8266

Struktura kódu pro mikročip ESP8266 se skládá z 6 souborů - *boot.py*,

main.py, *mqttclient.py*, *functions.py*, jednoho skriptu pro komunikaci s čidlem a jednoho konfiguračního souboru. Skripty *boot.py* a *main.py* jsou pevně dané programovacím jazykem MicroPython.

- *config.py*

V souboru *config.py* jsou nadefinovány vstupní parametry konkrétního senzoru. Jsou zde uloženy přístupové údaje pro připojení k Wi-Fi, parametry pro MQTT komunikaci a označení GPIO pinů podle reálného využití (mikročip a čidlo je napájené na plošném spoji a využití GPIO je pevně dané touto fyzickou realizací). Všechny parametry jsou uloženy v tomto konfiguračním souboru a zbytek kódu pouze odkazuje na tyto parametry.

- *boot.py*

Skript *boot.py* se po zapnutí mikrokontroléru spustí vždy jako první nezávisle na jakémkoliv jiném souboru. V tomto skriptu dochází k připojení k místní Wi-Fi síti. Po úspěšném připojení k síti senzor čtyřikrát zabliká interní led a následně i externí led diodou pro vizuální kontrolu.

- *main.py*

Druhým skriptem, který naběhne ihned po *boot.py* je *main.py*. Toto pořadí spuštění skriptů je pevně stanovené programovacím jazykem. Ve skriptu *main.py* se vytvoří instance třídy `MQTTClient`.

- *mqttclient.py*

Tato třída je v podstatě jádrem celého programu pro mikročip. Dochází zde k synchronizaci vnitřních hodin se světovým časem, načítání dat z čidla, vytváření struktury zprávy a publikování zprávy. Ve třídě `MQTTClient` se vytvoří instance třídy konkrétního čidla, která obstarává veškerou komunikaci s čidlem. Třída `MQTTClient` je tedy pro všechny mikročipy stejná, jednotlivé mikročipy se liší jen třídou pro komunikaci s konkrétním čidlem.

- *functions.py*

Soubor *functions.py* obsahuje obecné funkce mikročipu ESP8266. Umožňuje zapnutí interní a externí led diody a zapnutí externího bzučáku. Funkce jsou napsané univerzálně a načítají vstupní parametry ze souboru *config.py*. Z konfiguračního souboru se načítá například číslo GPIO pinu externí led diody - každý senzor může mít externí led diodu umístěnou na jiném GPIO pinu, kvůli využití místa na plošném spoji, ale metoda pro rozsvícení diody je vždy stejná.

Soubory *tsl2591.py*, *bme280.py*, *ds18b20.py*, *dht11.py* a *am312.py* jsou skripty pro komunikaci s konkrétním čidly a mikročip obsahuje vždy jen ten komunikační skript, který pro obsluhu svého čidla potřebuje.

Využitím objektově orientovaného programování a implementací konfiguračních souborů bylo dosaženo maximální univerzálnosti a přehlednosti kódu skrze všechny senzory v chytré domácnosti. Hlavní výhodou tohoto přístupu je snadná rozšiřitelnost kódu v budoucnu a díky udržení jedné vývojové větve

je na každém mikročipu možné snadno aktualizovat kód. Díky konfiguračnímu souboru je možné měnit vstupní parametry bez nutnosti zásahu do samotného kódu.

2.2 Senzory

V projektu chytré domácnosti bylo použito celkem 7 typů čidel pro měření fyzikálních veličin. Mezi tyto čidla patří teplotní čidlo *DS18B20*, vlhkoměr *DHT11*, čidlo intenzity osvětlení *TSL2591*, čidlo barometrického tlaku a teploty *BME280*, pohybové čidlo *AM312* a magnetické čidlo pro monitorování stavu oken a dveří *LS311B38*. Tyto fyzikální veličiny mají z pohledu chytré domácnosti význam pro automatizaci, zajištění bezpečnosti objektu a přehled o podmírkách uvnitř domu a okolí. Data z těchto senzorů jsou následně využita pro trénovaní modelů, klasifikaci jednotlivých hodnot a pro predikci měřených hodnot. Konkrétní senzory byly vybrány na základě kompromisu mezi cenou, funkčností a přesností měření.

Postup fyzické realizace čidel

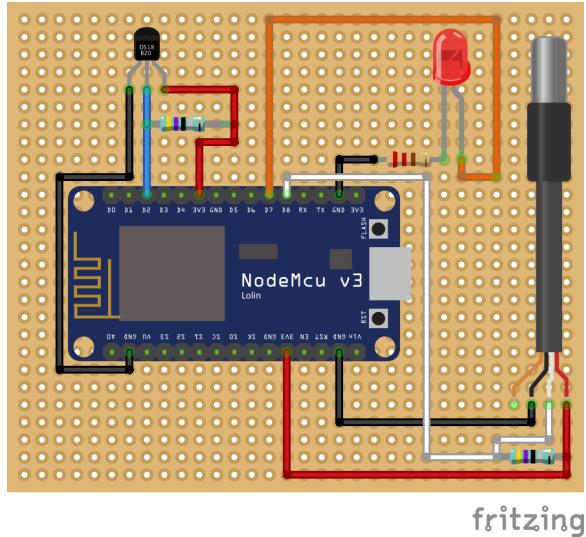
Prvním krokem při návrhu chytrých čidel je stanovení fyzikálních veličin, které chceme sledovat a otestovat spolehlivost čidel pro měření těchto veličin. Po vybrání konkrétních senzorů následuje sestrojení prototypu - zapojení obvodu na breadboardu. Po vytvoření funkčního obvodu může začít experimentování a ladění kódu pro načítání dat z čidla. Po úspěšném naprogramování komunikace s čidlem jsem přešel k vytvoření pevného fyzického obvodu napájením jednotlivých součástí na plošný spoj. Tento plošný spoj má nespornou výhodu ve své životnosti a odolnosti, na rozdíl od obvodu na breadboardu, kde se kabely mohou vlivem neopatrnosti vypojovat. Ke každému senzoru jsem přidal červenou externí led diodu pro indikaci různých změn a stavů. Uživatel v podstatě nemá žádný jiný způsob vizuální kontroly funkčnosti senzoru. Led diodu využívám jako signalizaci při úspěšném připojení k Wi-Fi a jako signalizaci odeslání zprávy. Vždy, když senzor odešle zprávu, dioda jednou blikne.

2.2.1 Teplotní čidlo DS18B20

Teplotní čidlo Dallas DS18B20 se vyrábí ve více provedení, v projektu chytré domácnosti jsou použity 2 čidla, jedno v klasickém provedení pro měření vnitřní teploty a jedno voděodolné pro měření venkovní teploty. Rozsah měření tohoto čidla je od -55°C do $+125^{\circ}\text{C}$ s přesností $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ v mezích od -10°C do $+85^{\circ}\text{C}$. Doba nutná pro konverzi 12 bitové hodnoty teploty do digitálního čísla je 750 ms. Datová komunikace probíhá přes rozhraní One-Wire a pro přenos dat je využitý jeden pin. Každé čidlo DS18B20 má svoji unikátní 64 bitovou sériovou adresu. Díky tomu je umožněno vytvořit One-Wire obvod s několika čidly, které jsou připojeny k jednomu digitálnímu GPIO pinu a pomocí toho sériového čísla lze čidlo snadno identifikovat při programování komunikace čidla s mikročipem. [10]

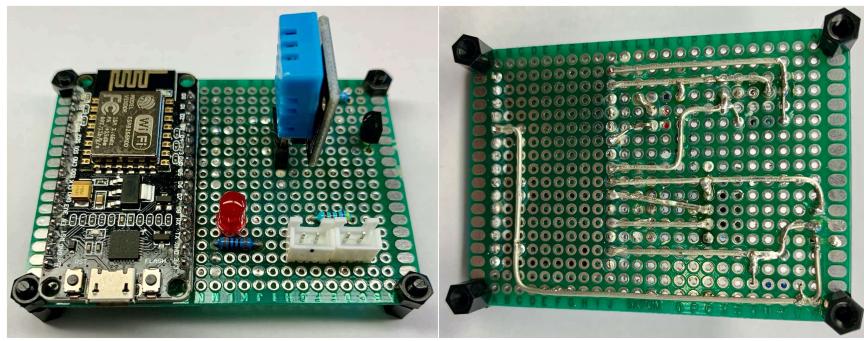
Čidlo je k mikročipu připojeno třemi dráty - jeden drát pro napájení, jeden pro uzemnění a jeden pro datovou komunikaci. Napájecí drát je na ESP8266 připájen k pinu 3,3V, zemnící drát ke GND a datová linka je připájena k digitálnímu pinu D4. Do obvodu je potřeba připojit rezistor s odporem

$4,7k\ \Omega$, který spojuje datový a napájecí drát. Schéma zapojení obou čidel DS18B20 je zobrazeno na Obr. 2.6.



OBRÁZEK 2.6: Schéma obvodu platformy NodeMCU, dvou čidel DS18B20 a led diody na plošném spoji

Čidlo DS18B20 se osvědčilo přesností měření a důvěryhodností naměřených hodnot. Při prvotním testování jsem zapojil najednou více těchto čidel blízko sebe a naměřené hodnoty ze všech čidel se lišily v rámci desetin stupně. V projektu chytré domácnosti jsou hodnoty teplot zaokrouhlovány na 2 desetinná místa, tudíž přesnost v rámci desetin dostačuje a odchyly jsou zanedbatelné. V tomto projektu jsou teplotní čidla DS18B20 a vlhkostní snímač DHT11 z důvodu efektivního využití hardwaru a stejněmu umístění v místnosti připojeny k jednomu mikročipu ESP8266. Senzor skládající se z jedné platformy NodeMCU, jednoho vnitřního čidla DS18B20, jednoho venkovního čidla DS18B20, jednoho vlhkoměru DHT11 a externí led diody je umístěn v rohu místnosti. Venkovní čidlo má 1 m dlouhý kabel a je umístěno za oknem. Na Obr. 2.7 je vyfocena fyzická realizace zkonstruovaného senzoru.



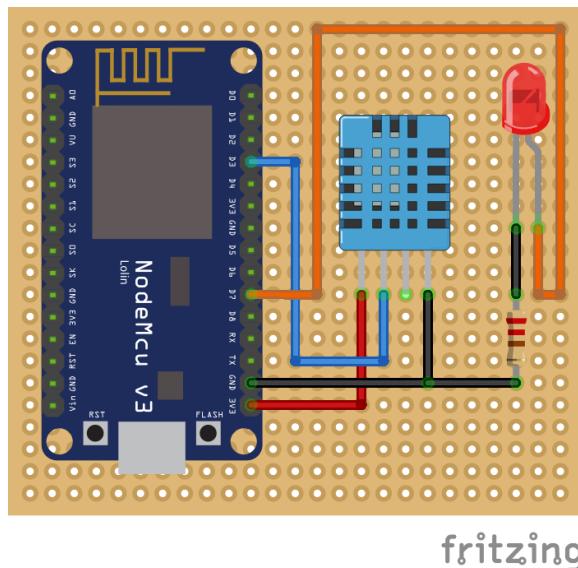
OBRÁZEK 2.7: Fyzická realizace senzoru s moduly DS18B20 a DHT11

2.2.2 Vlhkoměr DHT11

Modul DHT11 je určen pro měření vlhkosti a teploty uvnitř místnosti. Měřit teplotu umožňuje v rozmezí od $0\ ^\circ\text{C}$ do $+50\ ^\circ\text{C}$ s přesností $\pm 2,0\ ^\circ\text{C}$.

Z důvodu menšího rozsahu měření a hlavně nižší přesnosti je toto čidlo v projektu chytré domácnosti používáno pouze pro měření vlhkosti. Vnitřní vlhkost je měřena v rozmezí 20 % až 80 % s přesností $\pm 5\%$. [9] Chyba měření vlhkosti také není zcela zanedbatelná, nicméně pro základní představu o vlhkosti v místnosti postačuje. Často nezáleží na konkrétní hodnotě vlhkosti, ale spíše na změně této hodnoty v průběhu dne. Pokud je například celý den domácnost bez přítomnosti lidí, drží se vlhkost celý den na stejně hodnotě. Po příchodu člověka do místnosti se hodnota vlhkosti zvýší (sice mírně v rámci jednotek procent, ale s touto informací už je možné dále pracovat).

Čidlo DHT11 je k mikročipu připojeno třemi dráty - jeden drát pro napájení, jeden pro uzemnění a jeden pro přenos dat. Modul vyžaduje napětí v rozmezí 3,0 V až 5,5 V. Po zavedení napětí k modulu je před měřením vyžadováno minimálně 1 vteřinu počkat na kalibraci čidla. Tuto prodlevu je nutné brát v úvahu při každém načítání dat z čidla. Ze zkušenosti s komunikací s čidlem DHT11 raději používám 2 vteřinovou pauzu, při kratším intervalu se často stávalo, že čidlo nestihlo odpovědět a kód spadl do chyby. Metoda pro čtení hodnot z čidla DHT11 vrací hodnotu v procentech zaokrouhlenou na celá čísla. Schéma zapojení modulu DHT11 a vývojové platformy NodeMCU je zobrazeno na Obr. 2.8.



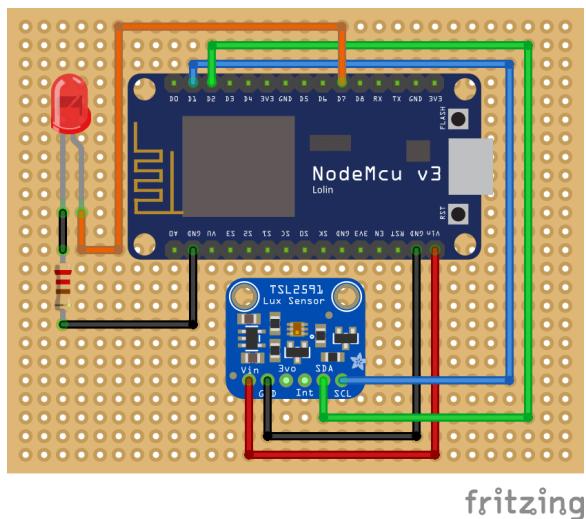
OBRÁZEK 2.8: Schéma obvodu platformy NodeMCU, modulu DHT11 a led diody na plošném spoji

Fotografie fyzické realizace senzoru využívající modul DHT11 je na Obr. 2.7. Modul DHT11 není úmyslně připájen přímo k plošnému spoji, ale je připojen přes konektor na desce. Během několika měsíců testovacího provozu přestalo fungovat jedno čidlo DHT11 a muselo být nahrazeno za jiné. Díky připojení přes dutinkovou lištu byla výměna modulu záležitostí několika vteřin. Tato výměna senzoru probíhá za provozu bez nutnosti restartu senzoru, senzor pomocí automatické detekce chyb pozná nefunkční čidlo a po výměně za nový kus sám naběhne do režimu čtení hodnot z modulu (více v Kap. 4.1).

2.2.3 Čidlo intenzity osvětlení TSL2591

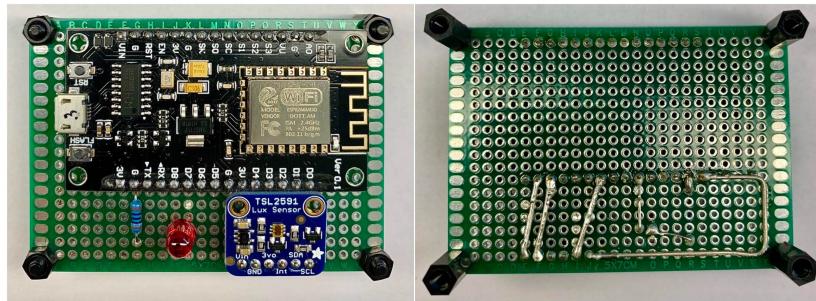
TSL2591 je čidlo sloužící pro měření intenzity osvětlení, které konvertuje intenzitu světla do digitálního výstupu přenášeného sběrnicí I²C. Výstupem modulu je hodnota intenzity osvětlení v jednotce lux s přesností na 4 desetinná místa. Toto čidlo je jedno z nejdražších v projektu chytré domácnosti, ale nabízí víceméně dokonalé rozpoznání intenzity osvětlení od 188 μ Lux do 88 000 Lux. [3] Hodnota s přesností na 4 desetinná místa je zaokrouhlována na celá čísla, protože větší přesnost není vyžadována. Intenzita osvětlení v místnosti během dne se mění řádově o stovky luxů, v noci je osvětlení blízké 0 lux, přes den v rozmezí přibližně 30 až 500 lux a na přímém slunci je to několik desítek tisíc lux. Modul garantuje přesnost měření v teplotních podmínkách od -30 °C do +80 °C. Rozsah napájení desky s čidlem TSL2591 je od 3,3 V do 5,0 V. Velkou předností tohoto čidla je přítomnost diod pro měření infračerveného, celospektrálního a viditelného světla.

Každý modul TSL2591 má svou unikátní 7 bitovou adresu a komunikace s mikročipem ESP8266 probíhá přes I²C sběrnici. K čidlu je přivedeno napájení z 3,3 V výstupu na mikročipu, dále je uzemněno GND drátem a I²C komunikaci (výstupy SDA a SCL) s mikrokontrolérem zajišťují digitální GPIO piny D1 a D2. Schéma zapojení čidla TSL2591, platformy NodeMCU a externí led diody je zobrazeno na Obr. 2.9.



OBRÁZEK 2.9: Schéma obvodu platformy NodeMCU, modulu TSL2591 a led diody na plošném spoji

Modul TSL2591 se během testování v projektu chytré domácnosti osvědčil pro svou kvalitu zpracování, přesnost naměřených hodnot, neobvykle velký rozsah měření a spolehlivost. Datová komunikace s tímto čidlem je výpočetně náročná, proto je použitý jeden samostatný mikročip ESP8266 pro obsluhu jen tohoto modulu. Fotografie zkonstruovaného senzoru je na Obr. 2.10.



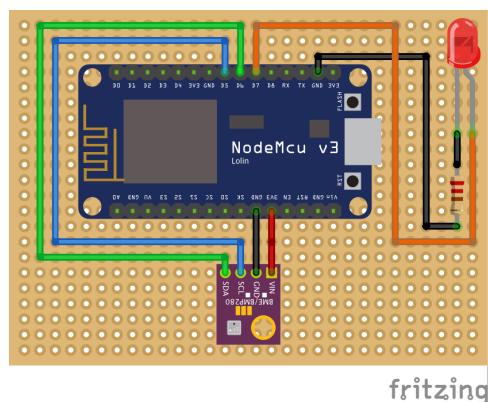
OBRÁZEK 2.10: Fyzická realizace senzoru s modulem TSL2591

2.2.4 Čidlo barometrického tlaku a teploty BME280

Modul BME280 od výrobce BOSH slouží k měření vnitřní teploty a barometrického tlaku. Čidlo je schopno měřit okolní teplotu v rozmezí -40 °C do +85 °C a barometrický tlak v rozsahu 300 hPa až 1100 hPa. [8] Hodnoty teploty jsou měřeny s přesností ± 1 °C a hodnoty barometrického tlaku s přesností ± 1 Pa. Modul vrací zkonzervovanou hodnotu obou veličin s rozlišením na 2 desetinná místa.

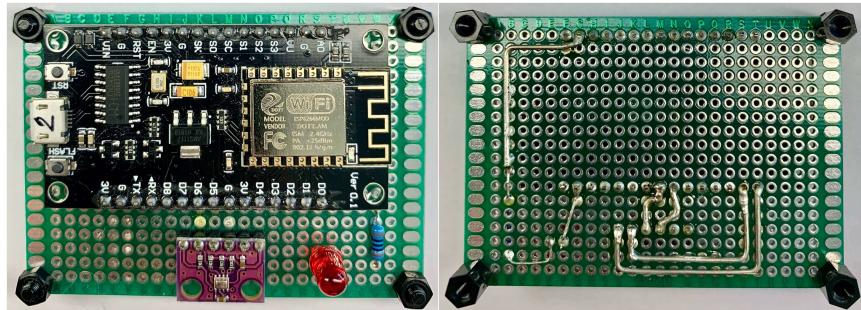
Při porovnání naměřených hodnot teploty z čidla BME280 a z DS18B20 jsem zjistil, že hodnoty se liší v průměru o méně než 0,5 °C. Tento rozdíl je pro účely chytré domácnosti zanedbatelný a lze tedy předpokládat, že hodnoty teploty v místnosti jsou velmi přesné a čidlo DS18B20 pro běžné použití dostačuje, přestože je několikanásobně levnější, než modul BME280. Hodnoty barometrického tlaku je vhodné monitorovat s přesností na 2 desetinná místa, protože tato veličina se v místnosti v průběhu dne mění jen v minimálních mezích, za několik měsíců měření to průměrně bylo od 970 hPa do 980 hPa.

Komunikace s mikrokontrolérem probíhá po I²C sběrnici. Reakční doba modulu od požadavku na změření hodnoty k odeslání hodnoty činí 1 vteřinu. S tímto zpožděním je opět nutno počítat při každém načítání hodnot. Kvůli výpočetní náročnosti při komunikaci s modulem a velikosti knihovny ovlaďače čidla je v tomto projektu využitý jeden samostatný mikročip ESP8266, který obsluhuje pouze toto čidlo. Schéma zapojení čidla BME280, platformy NodeMCU a externí led diody je zobrazeno na Obr. 2.11.



OBRÁZEK 2.11: Schéma obvodu platformy NodeMCU, modulu BME280 a led diody na plošném spoji

Modul je k mikročipu ESP8266 připojen čtyřmi dráty - na výstup 3,3V pro napájení, GND pro uzemnění a dva digitální piny D5 a D6, které obstarávají přenos dat po sběrnici. Rozsah napájení desky s modulem BME280 je od 1,8 do 3,6 V. Senzor je umístěn na stole v rohu místnosti. Fotografie fyzické realizace senzoru je na Obr. 2.12.



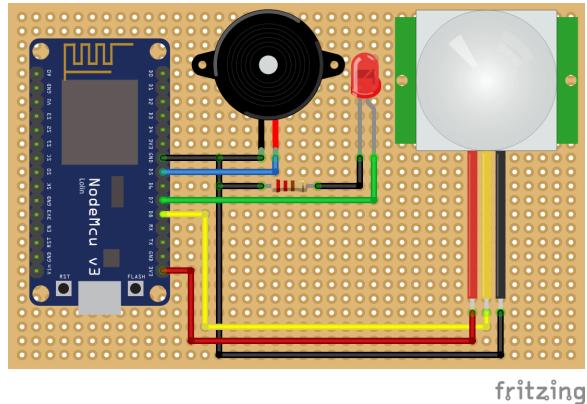
OBRÁZEK 2.12: Fyzická realizace senzoru s modulem BME280

2.2.5 Pohybové čidlo AM312

Modul pyroelektrické detekce pohybu AM312 slouží k monitorování pohybu osob v místnosti. Výstupem čidla je logická 1 v případě detekce pohybu a logická 0, pokud v místnosti není detekován pohyb. Jestliže v místnosti není detekován pohyb, čidlo neposílá žádnou informaci, výstupem na datovém pinu je trvale 0 a senzor čeká na vznik události (událost je v tomto případě detekce pohybu, více v Kap. 2.1). Ve chvíli, kdy je detekován pohyb, dochází ke vzniku události a výstupem čidla je 1. Tento modul je rozměrově velmi kompaktní a pohyb detekuje ve vzdálenosti do 5 metrů. Úhel detekce pohybu je do 100 stupňů. [11] V případě místností v chytré domácnosti je tato detekční vzdálenost a úhel dostačující.

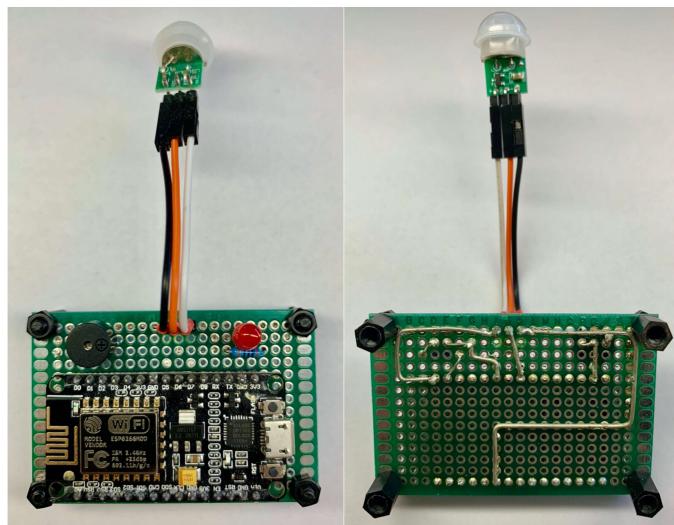
Modul AM312 se během několikaměsíčního provozu osvědčil pro svou spolehlivost. Pohyb byl detekován vždy, když jsem vstoupil do místnosti a zároveň modul neposílal falešné zprávy o pohybu v případě, že v domácnosti nikdo nebyl. Při experimentování s pohybovými čidly jsem testoval ještě modul HC-SR501, který má lepší specifikaci ve smyslu větší detekční vzdálenosti 7 m a úhlu do 120 stupňů [14], nicméně s tímto modulem byl problém právě s falešnými detekcemi.

Čidlo AM312 je konstruováno pro vstupní napětí od 2,7 do 12 V a pro prostřední s okolní teplotou od -20 °C do +60 °C. K mikrokontroléru ESP8266 je připojeno třemi dráty - jeden k vývodu 3,3 V pro napájení, jeden k GND výstupu pro uzemnění a jeden k digitálnímu pinu D8 pro přenos informace. Na plošném spoji tohoto senzoru je navíc přidán externí bzučák, který má využití jako alarm v případě detekce pohybu. Tento zvukový signál se hodil spíše pro prvotní ladění a testování na falešné poplachy, po odladění se jako vizuální signalizace detekce pohybu využívala externí led dioda, která se při zaznamenání pohybu rozsvítí na dobu 2 vteřin. Touto indikací jsem si ověřoval správnou funkčnost senzoru. Schéma zapojení pohybového čidla AM312, platformy NodeMCU, externí led diody a externího bzučáku na plošném spoji je na Obr. 2.13.



OBRÁZEK 2.13: Schéma obvodu platformy NodeMCU, modulu AM312, led diody a externího bzučáku na plošném spoji

Za účelem efektivní detekce je senzor umístěn v rohu místnosti naproti dveřím. Toto specifické umístění nedovoluje využití mikročipu ESP8266 současně s jiným senzorem, ale v tomto případě by to ani nebylo žádáné. Pohybový senzor je jedním ze dvou senzorů, které odesílají zprávy na základě vzniku události (více v Kap. 2.1). Tento přístup nelze efektivně kombinovat s periodickým odesíláním další veličiny. Fotografie fyzické realizace senzoru je na Obr. 2.14.



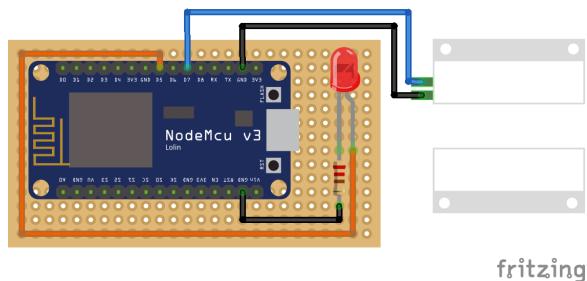
OBRÁZEK 2.14: Fyzická realizace senzoru s modulem AM312

2.2.6 Magnetické čidlo LS311B38

Magnetický jazýčkový kontakt LS311B38 slouží k detekci otevřeného okna nebo otevřených dveří. Toto čidlo je jedním z nejjednodušších čidel v projektu chytré domácnosti. Jedná se o 2 kusy magnetu, jedna část je umístěna na okně nebo dveřích a druhá část je připevněna k okennímu nebo nebo dveřnímu rámu. Magnety musejí být umístěny tak, že když je okno zavřené, oba kusy magnetu jsou blízko u sebe. Výstupem tohoto čidla je logická 1 v případě, že jsou magnety blízko u sebe (zavřené okno nebo zavřené dveře) nebo logická 0 v případě, kdy jsou magnetické jazýčky rozpojeny. V projektu chytré domácnosti je monitorován stav jednoho okna a jedných dveří.

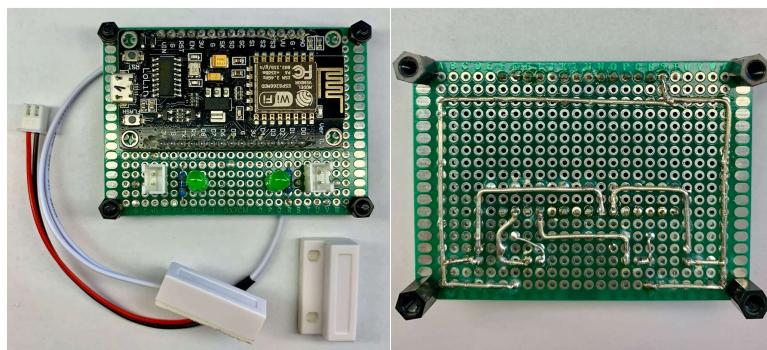
Pro tuto realizaci je využitý jeden mikrokontrolér ESP8266, který obsluhuje oba magnetické kontakty. Na plošném spoji jsou dvě externí led diody, jedna slouží pro vizuální indikaci otevřených dveří, druhá pro indikaci otevřeného okna.

Spínací vzdálenost magnetů je od 15 mm do 25 mm. Princip zapojení magnetických jazýčku k mikročipu ESP8266 je velmi podobný zapojení tlačítka. Z magnetu vedou dva kabely, které jsou připájeny k výstupům GND pro uzemnění a digitálnímu pinu D7. Oba kabely vedou jen z jednoho kusu magnetu a mikročip čeká na přiblížení druhého magnetu, čímž se obvod spojí a signál je přes digitální pin přenesen do mikročipu. Schéma zapojení magnetického kontaktu LS311B38, platformy NodeMCU a externí led diody je zobrazen na Obr. 2.15.



OBRÁZEK 2.15: Schéma obvodu platformy NodeMCU, magnetického kontaktu LS311B38 a led diody na plošném spoji

Vzhledem k jednoduchosti čidla lze předpokládat velmi dlouhou životnost a spolehlivost. Fotografie fyzické realizace senzoru je na Obr. 2.16.



OBRÁZEK 2.16: Fyzická realizace senzoru s magnetickým kontaktem LS311B38

2.3 Raspberry Pi

Raspberry Pi je jednočipový počítač s operačním systémem Raspbian. Raspbian OS je založený na Linuxu a po instalaci nabízí podporu několika programovacích jazyků a je přímo přizpůsoben na DIY projekty. Základní deska umožňuje připojit externí monitor pomocí microHDMI a externí komponenty jako je klávesnice a myš přes USB. K místní síti se připojuje klasickým LAN kabelem s koncovkou RJ45 nebo bezdrátově přes Wi-Fi. Oproti mikrokontrolérům jako jsou čipy ESP8266 nebo Arduino nabízí kromě ovládání

příslušenství pomocí GPIO kontaktů hlavně možnost programovat samotné aplikace. V projektu chytré domácnosti byla použita v současné době nejvýkonnější verze počítače Raspberry Pi 4 - Model B s 4 GB RAM, který byl uveden do prodeje v červnu 2019. Tento model je osazen 1,5 GHz čtyřjádrovým procesorem ARM Cortex-A72 a jako externí monitor lze použít displej s rozlišením 4K při 60 snímcích za vteřinu. Operační systém je nainstalován na externí microSD kartě s kapacitou 32 GB. Tato nejvýkonnější konfigurace byla zvolena z důvodu vytíženosti RPi v projektu chytré domácnosti.



OBRÁZEK 2.17: Jednočipový počítač Raspberry Pi 4 Model B

Využití v chytré domácnosti

Počítač Raspberry Pi má v projektu chytré domácnosti několik využití.

- MQTT Broker
- Databázový server
- Trénování modelů a klasifikace
- Web server

Primárně slouží jako MQTT broker, který přijímá všechny příchozí zprávy ze senzorů (více v Kap. 3.1). Dále na RPi běží databázový server za účelem ukládání všech příchozích zpráv do databáze (více v Kap. 3.2). Současně jsou na RPi trénovány modely, na základě kterých je prováděna klasifikace jednotlivých příchozích zpráv (více v Kap. 4.3). Datově náročnější modely lze trénovat na externích výkonnějších počítačích a následně na RPi použít pro klasifikaci již natrénované modely. Za účelem grafické vizualizace naměřených dat a aktuálních hodnot veličin běží na RPi webový server (více v Kap. 3.3).

Velkou výhodou RPi jsou minimální rozměry a hlavně malý odběr proudu. V těchto aplikacích je nutné, aby počítač byl neustále zapnutý. Klasické PC by se k těmto účelům nehodilo kvůli vysoké spotřebě a nepotřebně velkému výkonu. Náklady na provoz a pořízení počítače RPi jsou ve srovnání s klasickém PC serverem několikanásobně nižší.

Raspberry Pi 4 Model B má i v tomto případě, kdy na RPi probíhá několik procesů paralelně vedle sebe, dostatečný výkon. Doba počítání modelů a klasifikace zpráv je v rámci vteřin, narozdíl od starších modelů RPi. Nevýhodou tohoto přístupu, kdy jeden server slouží k několika účelům, je nebezpečí pádu celého systému, pokud server přestane pracovat. V případě, že

z nějakého důvodu přestane pracovat RPi, přestanou se do databáze ukládat všechny příchozí zprávy, nově příchozí zprávy tudíž nebudou ani klasifikovány a webová vizualizace bude nedostupná. V případě nedostupnosti webové vizualizace pravděpodobně nejde o velký problém, ale pokud nejsou příchozí zprávy ukládány do databáze delší dobu, jde o závažnější problém a výsledné modely mohou být zkresleny. Tuto nevýhodu je vhodné vyřešit rozdělením procesů na více strojů - na více RPi. V této práci byla všechna data zálohována do cloutu.

Kapitola 3

Síťová komunikace a databáze

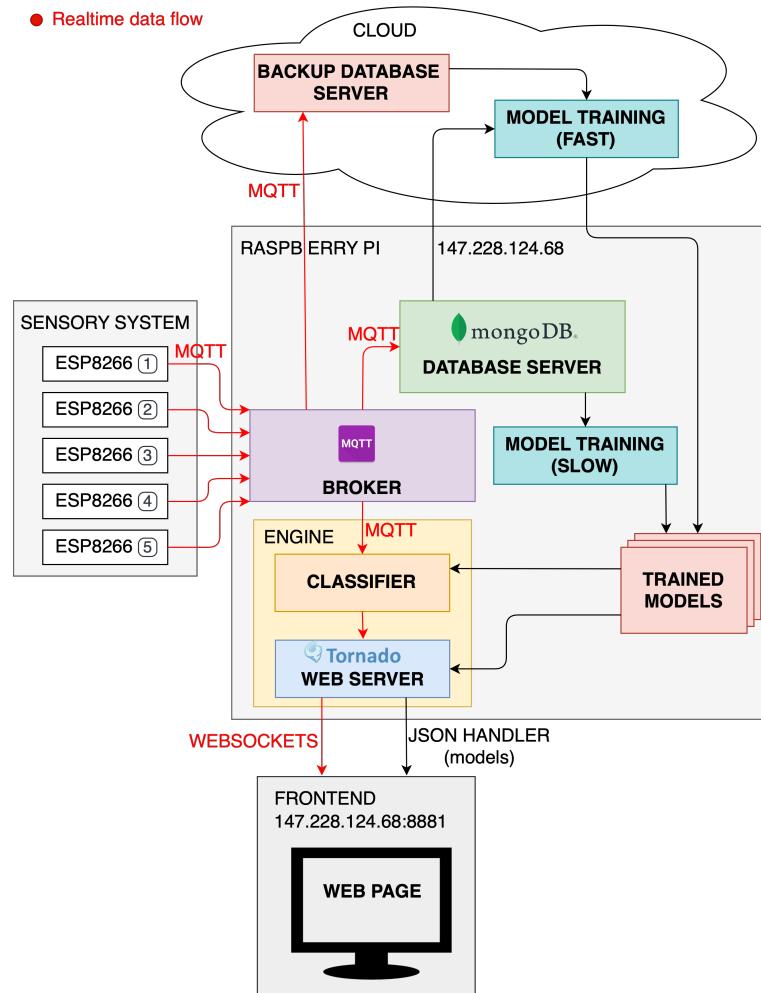
Smyslem zkonstruovaných čidel je jejich snadná implementace do bytu či domu. Senzory potřebují kabelově připojit jen napájení a celá komunikace mezi mikročipy a brokerem probíhá po WiFi. Tato schopnost bezdrátové komunikace zásadně rozšiřuje možnosti rozmístění senzorů po domácnosti. Komunikace senzorů se serverem využívá principů *IoT* a síťový protokol *MQTT*.

Síť IoT

Síť IoT¹ je architektura na bázi internetu, která obecně slouží ke komunikaci a výměně dat. Senzory v projektu chytré domácnosti spadají do komponent v internetu věcí, protože veškerá komunikace probíhá po internetu a výhradně bez účasti uživatele. Technologie pro chytrou domácnost v tomto projektu byla navržena tak, aby uživatel měl přísun aktuálních dat ze senzorů bez nutnosti znalosti principů fungování celého systému.

Na Obr. 3.1 se nachází diagram, na kterém je zobrazen přehled všech komponent, jejich propojení a datové toky v celém projektu. Červenými šipkami jsou znázorněny datové toky, které probíhají v reálném čase. V cloudové části je zálohována databáze a jelikož je cloudový počítač výkonnější než Raspberry Pi, může být využitý k trénování modelů, které jsou pak jednorázově při načtení webu nahrány do RPi. Samotné modely mohou být trénovány i přímo na RPi, ale proces trénování modelů všech měřených veličin trvá déle. Komunikace mezi RPi a frontendem webu je popsána v Kap. 3.3.

¹Internet of Things - internet věcí



OBRÁZEK 3.1: Rozložení jednotlivých komponent a schéma datových toků v celém projektu

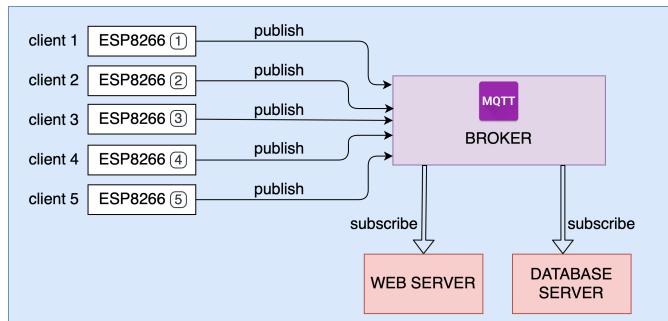
3.1 Protokol MQTT

MQTT² je internetový protokol, který slouží k výměně zpráv mezi subjekty v síti. Tento protokol vznikl už v roce 1999, ale k významnému využití dochází i v dnešní době díky IoT aplikacím. MQTT pracuje na TCP/IP vrstvě a hodí se především v aplikacích, které vyžadují minimální datový přenos po síti.

Při komunikaci prostřednictvím MQTT protokolu jsou v síti definovány dva typy entit - server a klient. V síti se nachází jeden server - *broker* a libovoľné množství klientů. Veškerá komunikace probíhá prostřednictvím brokeru. Broker je centrální místo v síti, na které ostatní zařízení publikují zprávy a který ostatním subjektům v síti umožňuje číst tyto zprávy. Klientem může být jakékoli zařízení, které má přístup na internet a podporu MQTT protokolu. Zpravidla jde o chytré senzory, které publikují zprávy. V tomto projektu je broker spuštěn na počítači Raspberry Pi (více v Kap. 2.3) a jako klienti figurují jednotlivé senzory - mikročipy ESP8266. Princip protokolu MQTT je zobrazen na Obr. 3.2. Jednotlivé senzory publikují zprávy na broker (mód *publish*) a broker přijímá všechny příchozí zprávy. Další

²Message Queuing Telemetry Transport

aplikace jako je webový a databázový server odebírají příchozí zprávy od brokeru (mód *subscribe*) za účelem dalšího zpracování dat. Z hlediska protokolu může být jeden klient současně *publisher* i *subscriber*, ale často bývají tyto role rozděleny. *Publisher* je zpravidla senzor, který měří určitou fyzikální veličinu a hodnoty odesílá na broker. *Subscriber* je většinou zařízení, které čte data zaslaná od *publisher*a s těmito daty pak dále pracuje (například je zobrazuje ve webovém rozhraní nebo ukládá do databáze). [7]



OBRÁZEK 3.2: Princip komunikace přes MQTT protokol

Bezpečnost přenosu dat

Identifikace klienta probíhá prostřednictvím uživatelského jména a hesla. Přes protokol MQTT se přenášejí textové řetězce v kódování UTF-8, které ve výchozím stavu bez použití SSL³ nejsou nijak šifrované. Na TCP portu 1883 používá protokol nešifrovanou komunikaci, která se hodí pro přenos ne-citlivých dat. Alternativně lze na přednastaveném portu 8883 použít přenos šifrovaný protokolem SSL. Jelikož v projektu chytré domácnosti jsou senzory i broker na místní domácí síti a nepřenášejí se citlivá data, komunikace není šifrována.

3.1.1 Struktura zpráv

Pomocí protokolu MQTT je možné odesílat libovolné formáty dat s omezením na maximální velikost jedné zprávy 256 MB. Senzory odesírají na broker zprávy v datovém formátu *JSON*⁴. Tento objektový formát umožňuje vytvářet hierarchické struktury zpráv ve formě řetězce znaků. JSON byl zvolen pro svou jednoduchost a přehlednost. Formát dat je pro člověka čitelný a výsledná zpráva je datově úsporná, tudíž vhodná pro pravidelné přenášení po síti bez zbytečného zvětšování datového toku. Níže je uvedena obecná struktura zprávy ve formátu JSON a jeden konkrétní příklad zprávy ze senzoru s vlhkostním čidlem.

```
{
  "sensor_id": string
  "location": string
  "owner": string
  "status": string
  "quantity": string
  "value": float
  "timestamp": string }
```

³Secure Sockets Layer - šifrovací protokol mezi transportní a aplikaci vrstvou

⁴JavaScript Object Notation - JavaScriptový objektový zápis

```
{
  "sensor_id": "dht11_01",
  "location": "room",
  "owner": "pn",
  "status": "ok",
  "quantity": "humidity",
  "value": 46.0,
  "timestamp": "2020-04-09 11:32:30" }
```

Obsah zprávy je uzavřen do složených závorek a zpráva se skládá z dvojic klíč-hodnota, kde klíčem je vždy první řetězec znaků ve dvojici (*location*, *owner*, atd.) a hodnota je řetězec znaků za dvojtečkou. Jednotlivé páry klíč-hodnota jsou od sebe odděleny čárkou. Každá zpráva se skládá z následujících atributů.

- *location* je atribut udávající umístění senzoru; Může nabývat hodnot *room* v případě, že je senzor v místnosti nebo *outside* u senzoru, který je venku.
- *owner* udává provozovatele senzoru; Tento atribut slouží k filtraci senzorů podle majitele a využití má v případě, že je v jedné síti větší množství senzorů od různých vývojářů.
- *status* nabývá obecně dvou hodnot - *ok* nebo *error*; Senzor posílá v každé zprávě status čidla, ze kterého načítá data o měřené veličině; Tento atribut má význam při automatické detekci chyb na úrovni mikročipu ESP8266 (více v Kap. 4.1).
- *sensor_id* je unikátní identifikátor, který se vztahuje přímo k danému čidlu; Například senzor obsluhující současně teplotní čidlo *ds18b20* a vlhkostní čidlo *dht11* má pro každé čidlo samostatný identifikátor - *ds18b20_01* a *dht11_01*.
- *quantity* je atribut popisující měřenou fyzikální veličinu; Význam tohoto atributu je v identifikaci měřené veličiny, protože senzory posílají hodnoty veličin bez jejich fyzikálních jednotek.
- *timestamp* je časová známka, která je přiložena ke každé zprávě a její hodnotou je okamžik odeslání zprávy; Jelikož časová synchronizace je řešena na úrovni samotného mikročipu, je možné ke každé zprávě přidávat časovou známku a díky tomu snadno filtrovat příchozí zprávy podle času a data, čímž odpadá problematika určování pořadí zpráv na brokeru.
- *value* je atribut, ve kterém se přenáší hodnota měřené fyzikální veličiny; Jde vždy o číselnou hodnotu bez jednotky; Například u senzoru měřícího teplotu může mít atribut hodnotu 25,3; U senzoru monitorujícího pohyb v místnosti nabývá atribut value hodnoty 1 nebo 0.

V Tab. 3.1 je po řádcích zobrazen výčet všech kombinací hodnot atributů, kterých mohou zprávy v projektu chytré domácnosti nabývat.

| location | owner | status ⁵ | sensor_id | quantity |
|----------|-------|---------------------|-------------|-------------|
| room | pn | ok | ds18b20_01 | temperature |
| outside | pn | ok | ds18b20_02 | temperature |
| room | pn | ok | dht11_01 | humidity |
| room | pn | ok | tsl2591_01 | illuminance |
| room | pn | ok | bme280_01 | pressure |
| room | pn | ok | bme280_01 | temperature |
| room | pn | ok | am312_01 | motion |
| room | pn | ok | ls311b38_01 | door_open |
| room | pn | ok | ls311b38_02 | window_open |

TABULKA 3.1: Atributy zprávy odesílané z mikročipu na broker

3.1.2 Hierarchie zpráv

Při přenosu dat dochází k datovému toku ve směru od senzorů na broker. Broker pouze přijímá všechny zprávy, ale sám neposílá žádná data senzorům. Kvůli přehlednosti a jednotné struktuře posílaných zpráv je definována jasná hierarchie zpráv. Zprávy jsou odesílány do *topiců*. Topic určuje téma dané zprávy a slouží k oddělení zpráv podle toho, od jakého odesílatele pocházejí, jakou fyzikální veličinu popisují a kde jsou měřené (v místnosti nebo venku). Každá zpráva je přiřazena právě jednomu tématu a název tohoto tématu určuje sám odesíatel zprávy. Příjemce zprávy pak jen musí znát název tématu, do kterého odesíatel publikuje zprávy. Témata jsou řetězce v kódování UTF-8 oddělená lomítky a jejich hierarchie není samotným protokolem nijak určená. Při návrhu hierarchie témat v projektu senzorického řešení domácnosti byl kláden důraz na univerzálnost a přirozenost s možností snadného rozšíření v budoucnu.

Základem názvů všech témat je slovo *smarthome* označující název projektu. Za tímto slovem se přidá umístění senzoru a název měřené veličiny. Po spojení těchto třech slov vzniká název konkrétního topicu, kam senzor odesílá zprávy. V Tab. 3.2 je uveden výčet všech topiců používaných v této práci.

| |
|---------------------------------|
| smarthome/<location>/<quantity> |
| smarthome/room/temperature |
| smarthome/outside/temperature |
| smarthome/room/humidity |
| smarthome/room/illuminance |
| smarthome/room/pressure |
| smarthome/room/motion |
| smarthome/room/door_open |
| smarthome/room/window_open |

TABULKA 3.2: Výčet všech topiců, do kterých jsou odesílány zprávy

Hierarchie témat byla navržena tak, aby každá měřená fyzikální veličina měla svůj topic v závislosti na umístění. Díky této volbě je možné strukturu

⁵Hodnota atributu *status* se může samozřejmě změnit z *ok* na *error*. Hodnoty atributů *timestamp* a *value* jsou logicky v každé zprávě jiné, proto nejsou uvedeny v tabulce.

témata snadno rozšířit jak z hlediska lokalit (přidání dalších pokojů v chytré domácnosti - *livingroom*, *bedroom*, atd.), tak z hlediska veličin (například *smoke_detection*). Tento model hierarchie topiců také umožňuje spojovat téma do souvisejících celků. K těmto účelům slouží znaky + a #. Symbol + nahrazuje jednu úroveň v topicu, pro odebírání například všech teplot nezávisle na lokaci nebo čidlu lze použít příkaz *smarthome/+/temperature*. Symbol # nahrazuje slovo za posledním lomítkem, pro odebírání například všech veličin, které jsou měřeny v místnosti lze použít příkaz *smarthome/room/#*.

3.2 Ukládání dat do databáze

Jelikož senzory v této práci odesílají zprávy velmi často - s periodou jedné minuty, je potřeba data vhodným způsobem ukládat. K tomu slouží datová základna (databáze), ve které jsou data s pevnou strukturou záznamů propojena pomocí klíčů a která umožňuje snadno filtrovat záznamy podle zadaných kritérií. V tomto projektu jsou data ukládána do databáze *MongoDB*.

MongoDB

MongoDB je multiplatformní dokumentová databáze, která na rozdíl od relačních databází využívajících systém tabulek, ukládá data do kolekcí - souborů, které jsou podobné formátu JSON. Tato databáze je pro projekt chytré domácnosti vhodná právě díky tomu, že nevyužívá klasický přístup ukládání dat do tabulek. Jednou z hlavních výhod klasických relačních databází je možnost provázat tabulky mezi sebou pomocí klíčů. To se hodí zpravidla na obsáhlější záznamy, které je potřeba strukturovat a pomocí cizích klíčů provozovat s ostatními tabulkami. Data získaná ze senzorů mají jednotnou strukturu a ukládání do tabulek by bylo neefektivní, proto byla zvolena databáze MongoDB, která je pro archivaci tohoto typu dat vhodnější. Databáze MongoDB má širokou podporu programovacích jazyků včetně Pythonu.

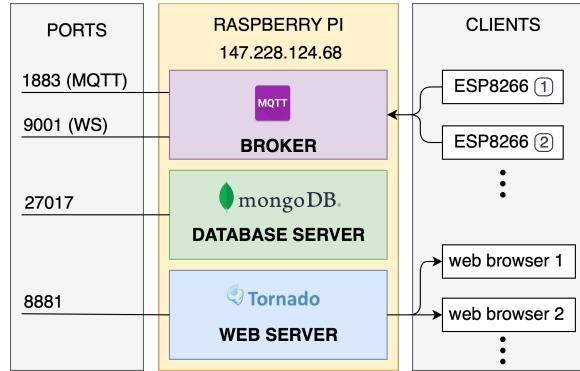
Databázový server odebírá nejvíce nadřazený topic *smarthome/#*, který zahrnuje všechna téma vypsaná v Tab. 3.2. Do databáze jsou ukládány všechny příchozí zprávy, jejichž *status* je "ok" (tedy v případě, kdy čidlo funguje bezproblémově a senzor odesílá relevantní data). Z každé příchozí zprávy s tímto statusem jsou uloženy hodnoty všech atributů - *location*, *owner*, *status*, *sensor_id*, *quantity*, *value* a *timestamp*.

3.3 Webserver

V backendové⁶ části serveru pro chytrou domácnost běží současně několik procesů. Celý systém byl navržen tak, aby se spuštěním jednoho hlavního skriptu rozběhly všechny části backendu. Tímto hlavním programem je skript *engine.py*. Engine.py zajišťuje spuštění MQTT Brokeru (Kap. 3.1), serverování webové stránky (více v Kap. 5), ukládání dat do MongoDB, trénování datových modelů pro následnou klasifikaci (více v Kap. 4.3) a diagnostiku čidel pomocí kontroly periodicity (více v Kap. 4.2). Na Obr. 3.3 jsou zobrazeny procesy, které běží na počítači Raspberry Pi. Na RPi je spuštěn MQTT Broker na portu 9001 pro websockets a 1883 pro klasický subscribe k

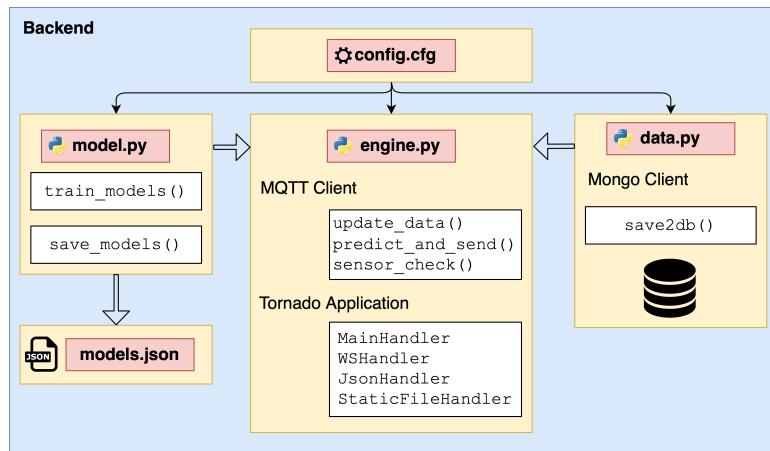
⁶Backend je v klient-server modelu vrstva operující nad daty. Jde o výpočetní logiku, která se skrývá pod uživatelským rozhraním (frontend).

odebírání publikovaných zpráv. Databázový server na RPi běží na výchozím portu 27017 a web server pro webovou vizualizaci na portu 8881.



OBRÁZEK 3.3: Schéma procesů s popisy portů běžících na Raspberry Pi

K zajištění všech těchto procesů je architektura kódu na RPi s využitím principů objektově orientovaného programování rozdělena do souborů *engine.py*, *model.py*, *data.py*, *models.json*, *config.cfg*. Diagram architektury kódu s rozdělením do souborů je zobrazen na Obr. 3.4.



OBRÁZEK 3.4: Diagram architektury kódu backendu na Raspberry Pi

Nad všemi skripty je konfigurační soubor *config.cfg* se vstupními parametry. Konfigurační soubor obsahuje parametry pro připojení k MQTT brokeru, porty pro webový a databázový server a parametry pro trénování modelů. *Engine.py* je hlavní skript, který využívá metod ze skriptů *model.py* a *data.py*. Funkce pro ukládání všech příchozích zpráv do databáze jsou nadefinovány ve skriptu *data.py*. V tomto skriptu je vytvořena instance objektu *MongoClient* se vstupními parametry (název hosta a port). Jelikož databázový server (MongoDB) a webový server (jehož součástí je script *data.py*) běží fyzicky na stejném RPi, je název hosta "localhost" a výchozí port pro MongoDB je 27017. Hodnoty atributů ze zpráv jsou v databázi ukládány do kolekcí podle názvu topicu. Ve skriptu *model.py* probíhá trénování modelů pro predikci a klasifikaci naměřených hodnot (více v Kap. 4.3). Skript

model.py pracuje se souborem *model.json*, ve kterém jsou uloženy parametry pro trénování modelů - například časové období od kdy do kdy jsou brány vzorky dat pro trénování modelu. Skript engine.py se skládá ze dvou hlavních částí - MQTT Client a Tornado Application. Ve třídě MQTT Client jsou odebírána data z brokeru, tato data jsou klasifikována a následně přes WebSocket odesílána na webovou stránku. Třída Tornado Application je tvorena několika "Handlery". *MainHandler* se stará o renderování webové stránky - zpřístupňuje webovou stránku pod IP adresou ve webovém prohlížeči. Třída *WSHandler* obstarává komunikaci mezi webovým prohlížečem a serverem (např.: když uživatel volí, který model chce zobrazit). *JsonHandler* je třída, která pracuje s json soubory v backendové části serveru. Tento handler je využity k propagaci denních statistik natrénovaných klasifikátorů (denní statistika je zobrazena např.: na Obr. 5.4). Tyto statistiky se nařávají na web pouze jednou při načtení webové stránky, proto není nutné používat protokol WebSocket. Vhodnější je využití json souboru, se kterým pracuje JsonHandler.

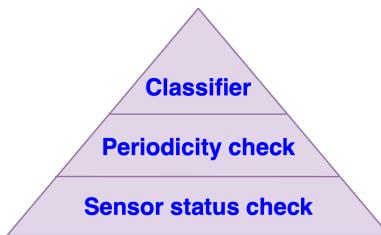
websocket

WebSocket je síťový komunikační protokol, který umožňuje obousměrnou komunikaci po TCP protokolu. Jedná se o protokol, který má využití především ve webových aplikacích při komunikaci mezi klientem a serverem. V projektu chytré domácnosti je tento protokol využíván pro komunikaci mezi serverem a webovou vizualizací. Webová stránka potřebuje neustále aktuální data (naměřené hodnoty veličin) ze senzorů. WebSocket je ideální řešení přenosu dat ze serveru do webového klienta v reálném čase s minimální výpočetní náročností. Ve chvíli, kdy na broker přijde nová zpráva, je tato zpráva ihned odeslána protokolem WebSocket na webového klienta a webová stránka zobrazuje neustále aktuální data bez nutnosti obnovy stránky. Alternativou tohoto protokolu může být například načítání dat z externího souboru. Je možné vytvořit json soubor, do kterého budou nově příchozí zprávy ukládány a webová stránka bude periodicky načítat data z tohoto souboru. Hlavní nevýhodou tohoto přístupu je nutnost periodické kontroly externího souboru s daty. K tomu, aby na webové stránce byla neustále aktuální data, by bylo potřeba načítat soubor velmi často - například každé 2 až 3 vteřiny. To je velmi neefektivní, protože nová data ze senzoru chodí pravidelně po 1 minutě. Webový klient by tedy pořád otevíral soubor s daty a kontroloval, zda v něm jsou nová data, přičemž u naprosté většiny těchto kontrol by zjistil, že data jsou stále stejná. Tuto neefektivitu a zbytečnou výpočetní složitost nahrazuje protokol WebSocket. Zásadní výhodou protokolu WebSocket je možnost odesílání dat ze serveru do webového prohlížeče, aniž by si klient tuto zprávu musel vyžádat (tj. klient se nemusí každé 2-3 vteřiny dotazovat serveru zda nemá nová data. Nová data dostane automaticky ve chvíli, kdy je server obdrží). Současně je možné využít WebSocket i pro komunikaci opačným směrem - z klienta na server a uživateli tím umožnit interagovat s daty v backendu prostřednictvím webového prohlížeče. Tento směr komunikace lze využít například pro přetrénování modelů na základě vstupních parametrů, které uživatel zadá na webové stránce (uživatel může měnit časové rozpětí dat - od kdy do kdy, která jsou použita pro trénování modelu).

Kapitola 4

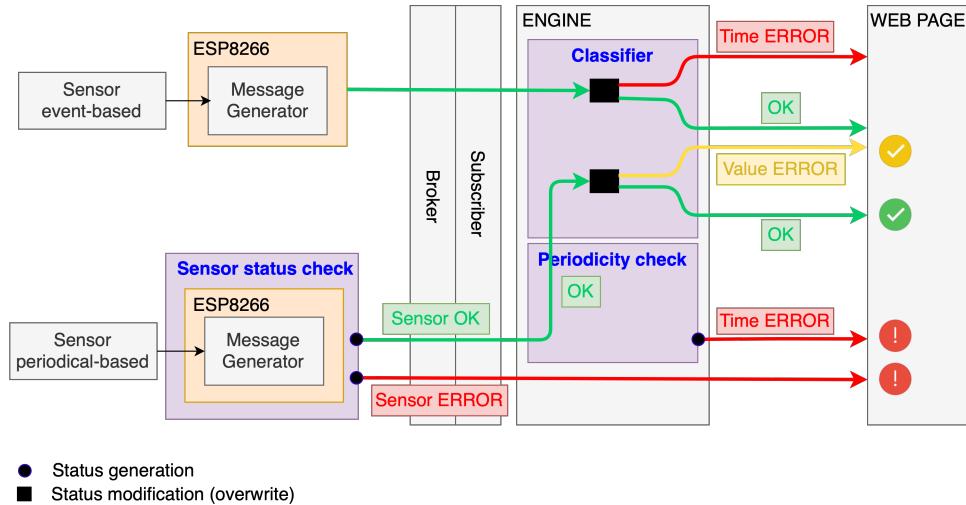
Diagnostika a detekce anomálií

Systém diagnostiky chyb a detekce anomálií je v projektu chytré domácnosti rozdělen do tří úrovní - detekce chyb na úrovni mikročipu ESP8266 (*Sensor status check*), kontrola periodicity příchozích zpráv na serveru (*Periodicity check*) a kontrola času a hodnot pomocí strojového učení - klasifikace z na-trénovaných modelů (*Classifier*). V pyramidě na Obr. 4.1 je zobrazena hierarchie jednotlivých subsystémů. Nejníže je základní úroveň diagnostiky - detekce chyb na úrovni ESP8266, následuje kontrola periodicity a nejvýše je systém strojového učení, který klasifikuje jednotlivé příchozí zprávy.



OBRÁZEK 4.1: Hierarchie subsystémů diagnostiky a detekce anomálií

Jednotlivé části diagnostického systému jsou popsány v této kapitole. Na Obr. 4.2 je zobrazena kompletní struktura všech úrovní diagnostického systému a jejich výstupy, které se zobrazují ve webové vizualizaci. Význam ikon (zelená, žlutá, červená) je popsán níže a webová stránka v Kap. 5.



OBRÁZEK 4.2: Struktura a popis všech úrovní diagnostického systému

Diagnostický systém se skládá ze tří subsystémů. Detekce chyb na úrovni ESP8266 (*Sensor status check*) je kontrola fyzického zapojení čidel s mikročipem a jejich funkčnost (detailní popis v Kap. 4.1). Zbylé dvě úrovně diagnostického systému běží ve skriptu *engine* na serveru. Subsystém kontroly periodicity zpráv na serveru (*Periodicity check*) kontroluje, zda zprávy ze senzorů chodí pravidelně v očekávaných časových intervalech bez výpadků (popsáno v Kap. 4.2). Nad těmito dvěma subsystémy - detekce chyb na úrovni ESP8266 a kontrola periodicity příchozích zpráv je implementován klasifikátor založený na principu strojového učení bez učitele, konkrétně na algoritmu Isolation Forest (*Classifier*). Metody strojového učení na základě natrénovaných modelů klasifikují:

- hodnoty (atribut *value* v příchozí zprávě - Kap. 3.1.1) v daném časovém okamžiku u periodických zpráv (více v Kap. 2.1); Vstup do klasifikátoru je dvoudimenzionální (2D): [timestamp, value].
- čas (atribut *timestamp* v příchozí zprávě - Kap. 3.1.1) odeslání zprávy u zpráv odesílaných na základě vzniku události (více v Kap. 2.1); Vstup do klasifikátoru je jednodimenzionální (1D): [timestamp].

Tato nejvyšší úroveň diagnostiky - kontrola času a hodnot zpráv na základě strojového učení je popsána v Kap. 4.3.

Význam diagnostického systému

Smyslem využití systému detekce anomalií je automatická diagnostika senzorů na základě příchozích zpráv. Výstupem tohoto systému jsou následující informace:

- Stav senzorů - zda je senzor online nebo offline.
- Očekávaná periodicitu - zda jsou zprávy ze senzorů odesílány pravidelně v očekávaných časech.
 - U periodicky odesílaných zpráv podle zvolené periody.

- U zpráv odesílaných na základě vzniku události podle natrénovaného modelu.
- Očekávaná hodnota - zda jsou hodnoty periodicky měřených veličin v očekávaném rozmezí podle natrénovaného modelu.

Tyto informace jsou na serveru dále zpracovávány a výsledné stavy (kombinace všech dostupných informací) jednotlivých senzorů se zobrazují ve formě ikon ve webové vizualizaci (více v Kap. 5).

Uživatel dostává díky ikonám vedle měřených veličin okamžitý a kompletní přehled o stavu senzorů v chytré domácnosti a zároveň má jistotu, že data zobrazovaná na webové stránce jsou aktuální a relevantní aniž by musel obnovovat webovou stránku.

Výstup systému detekce anomalií

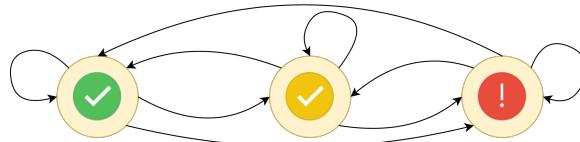
Výstupem systému diagnostiky chyb a detekce anomalií jsou stavy přiřazené jednotlivým senzorům. Stav senzoru může nabývat jedné z těchto tří hodnot.

- ✓ *Sensor OK* je stav senzoru, kdy všechno funguje bezproblémově; Senzor u periodických zpráv (*sensor periodical-based*) odesílá data tak, jak se očekává a naměřená hodnota odpovídá natrénovanému modelu - zobrazeno na Obr. 4.2; Ikona pro tento stav je zelená.
- ✓ Stav *Value ERROR* nastává, pokud senzor odesílá data periodicky - tak, jak se očekává, ale naměřená hodnota je mimo předpovězený rozsah - neodpovídá natrénovaném modelu (žlutá šipka v Obr. 4.2); Zobrazená hodnota veličiny je relevantní a aktuální, ale podle natrénovaného modelu jde o neočekávanou hodnotu. Neočekávaná hodnota znamená, že hodnota naměřená tímto senzorem v tento denní čas je netypická - např. rozsvícení světla ve 3:00 ráno bude pravděpodobně klasifikováno jako neočekávané (mimo předpokládaný rozsah hodnot), pokud v minulosti ve 3:00 bylo vždy zhasnuto (strojové učení je popsáno v Kap. 4.3); Ikona pro tento stav má žlutou barvu.
- ! *Sensor ERROR* je status čidla, který nastává v momentě, kdy čidlo neposílá žádná data; Tento stav je způsobený buď výpadkem čidla (fyzické zapojení nebo porucha - Kap. 4.1) nebo nepředpovídatelnými okolnostmi, které zamezují senzoru odesílat data (nedostupnost internetu, výpadek elektriny); Tento status senzoru znázorňuje červená ikona.

Tyto ikony popisující stavy jednotlivých senzorů jsou přiřazovány pouze senzorům, které odesílají data periodicky (*Sensor periodical-based* na Obr. 4.2). U senzorů, které odesílají data na základě vzniku události (*Sensor event-based*) je v současné chvíli možné detektovat pouze dva stavy - "sensor OK" nebo "value ERROR" a tyto stavy se nepropisují do webové stránky. U těchto senzorů aktuálně nelze detektovat situaci, kdy zpráva měla přijít, ale z nějakého důvodu nepřišla - "sensor ERROR". Rozšíření diagnostického systému pro detekci chyb a anomalií u *event-based* senzorů může být jedním z návrhů pro budoucí práci.

Na Obr. 4.3 je zobrazeno schéma Markovova řetězce, který popisuje přechody mezi jednotlivými stavami senzorů. Z tohoto řetězce je patrné, že každý stav

může přejít do libovolného jiného stavu nebo zůstat v aktuálním stavu. To znamená, že pokud se čidlo nachází v jednom momentě například ve stavu "sensor OK", v následujícím momentě se může nacházet opět ve stavu "OK" nebo v libovolném jiném stavu - "value ERROR" nebo "sensor ERROR".

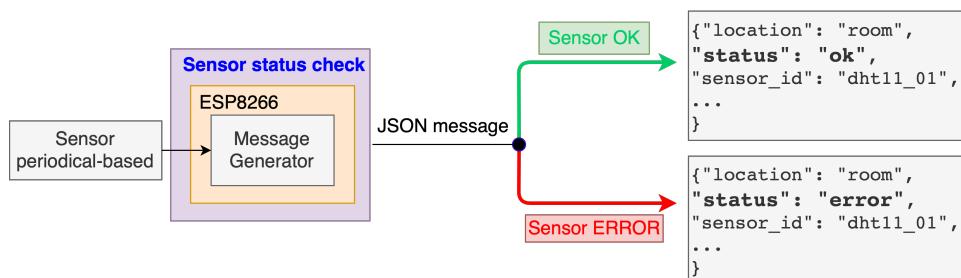


OBRÁZEK 4.3: Markovův řetězec popisující přechody mezi jednotlivými stavy senzorů

4.1 Detekce chyb na úrovni mikročipu

První a nejnižší úroveň diagnostiky jednotlivých senzorů je detekce chyb na úrovni samotného mikročipu. Tento systém je implementován na senzorech, které odesílají data periodicky (více v Kap. 2.1). Mikročip ESP8266 při každém načítání dat z čidla zkouší, jestli z daného čidla lze načíst data a pozná, když je čidlo nefunkční. Čidlo se považuje za nefunkční, pokud při vyžádání naměřených dat nevrací žádné hodnoty. Tento stav čidla může být způsobený špatným zapojením, vypojením čidla nebo rozbitým čidlem. Implementace detekce chyb na úrovni mikročipu spočívá v obsluze výjimek v kódu. Část kódu, která řeší komunikaci s čidlem je obalena v *try-except* bloku - mikročip se snaží načíst data z čidla a v případě, že to nelze, spadne kód do části *except*, kde se obslouží výjimka tím, že se do proměnné, kam se ukládá naměřená hodnota, přiřadí číslo -1 (tentototo proces probíhá v části *Get sensor status*, která je popsána na Obr. 2.4). Cyklus v kódu pokračuje dále k vytváření struktury zprávy, kde se testuje, zda se hodnota v proměnné nerovná -1. Pokud ano, ve zprávě se změní hodnota atributu "status" na "error" a senzor odešle zprávu. Senzor tedy odesílá zprávy na broker vždy - s funkčním i nefunkčním čidlem a status zprávy v detekci chyb na této úrovni nabývá jedné ze dvou hodnot - "ok" a "error".

Na Obr. 4.4 je zobrazen náhled výsledných zpráv a výstup tohoto subsystému, který je buď dále zpracováván v metodě *Periodicity check* (v případě výstupu "sensor OK") nebo rovnou zobrazen na webové stránce (pokud je výstup "sensor ERROR") - viz diagram na Obr. 4.2.



OBRÁZEK 4.4: Výstupy subsystému detekce chyb na úrovni mikročipu ESP8266

Implementací detekce chyb na úrovni mikročipu byla zajištěna robustnost senzorů. Jednotlivé senzory jsou odolné vůči výpadkům čidel - kód na mikročipu nespadne kvůli nefunkčnímu čidlu, jen se změní status zprávy. Díky tomu je také zajištěn nonstop provoz - čidla lze k ESP8266 připojovat a odpovídat (například čidlo teploty nebo magnetické kontakty, které jsou připojeny přes konektor) v reálném čase bez nutnosti restartu mikročipu. Pokud bude čidlo v jakémkoliv časovém okamžiku odpojeno a po chvíli zase připojeno, mikročip si s tím poradí. Změní se status zprávy a celý systém funguje dál.

Výhoda implementace detekce chyb na úrovni mikročipu se během testování ukázala několikrát. Například když bylo potřeba vyměnit nefunkční čidlo vlhkosti DHT11, které je připojené přes dutinkovou lištu (více v Kap. 2.2.2), jen se vyměnil kus za kus a senzor okamžitě začal načítat data z čidla a posílat naměřené hodnoty.

4.2 Kontrola periodicity zpráv na serveru

Kontrola periodicity příchozích zpráv na serveru spočívá v implementaci funkce *periodicity_check*, která běží na serveru ve skriptu *engine.py* (popsáno v Kap. 3.3). Tento subsystém diagnostiky kontroluje pravidelnost odesílání dat ze senzoru na broker a současně pracuje s informací z diagnostického subsystému na úrovni mikročipu (popsáno v Kap. 4.1) - viz diagram na Obr. 4.2. Funkce *Periodicity check* má k dispozici status zprávy - "sensor ok" nebo "sensor error". Jelikož u zpráv, které nenesou relevantní naměřené hodnoty (zprávy se statusem "sensor error") nemá smysl testovat jejich periodicitu, kontroluje se pravidelnost příchozích zpráv jen u zpráv se statusem "sensor ok". Kontrolu periodicity příchozích zpráv lze realizovat jen u periodicky odesílaných zpráv (popsáno v Kap. 2.1), u zpráv odesílaných na základě vzniku události tato funkce z principu nemůže být využita.

Pokud čidlo z neznámého důvodu neodešle zprávu nebo pokud se zpráva v očekávaném čase nepřenese k brokeru, informace o anomálii se přenese do webového rozhraní. Na Obr. 4.5 je ukázka příkladu zobrazení chyby senzoru ve webové vizualizaci. V případě chyby senzoru se změní ikona stavu a hodnota měřené veličiny je automaticky 0. Více o webové vizualizaci v Kap. 5.2.

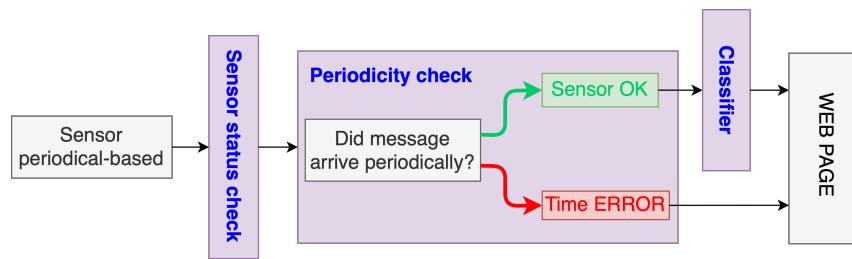


OBRÁZEK 4.5: Zobrazení ve webové vizualizaci v případě chyby senzoru

Funkce *periodicity_check* čte všechny příchozí zprávy a porovnává čas poslední přijaté zprávy od daného čidla s aktuálním časem. Rozhodnutí o stavu čidla je prováděno podle následující formule:

$$f(x) = \begin{cases} \checkmark \text{ sensor ok,} & \text{if } \Delta t \leq T[s] \\ ! \text{ sensor error,} & \text{if } \Delta t > T[s], \end{cases}$$

kde $\Delta t = |t_1 - t_2|$ a T je časová mez. Proměnná t_1 je čas poslední přijaté zpráv a t_2 je aktuální čas. Jestliže je rozdíl těchto dvou proměnných větší než zvolená mez, funkce detekuje chybu, do terminálu vypíše ID senzoru, ve kterém se vyskytuje chyba a status tohoto senzoru změní na "sensor ERROR". V opačném případě je senzor ve stavu "status OK". Na Obr. 4.6 lze vidět, že pokud je výstupem subsystému *Periodicity check* hodnota stavu "sensor OK", je měřená veličina dále klasifikována metodami strojového učení (*Classifier*) a pokud je výstupem "sensor ERROR", status se propíše na webovou stránku.



OBRÁZEK 4.6: Výstupy subsystému kontroly periodicity příchozích zpráv

V tomto projektu byla zvolena 60 vteřinová mez, což znamená, že stačí, aby senzor jednou neodeslal zprávu a na webové stránce se ikona statusu tohoto senzoru hned změní na červenou. Toto kritérium je relativně přísné, v běžném provozu by stačilo mez volit například 180 vteřinovou, tudíž by se ve webovém rozhraní zobrazoval senzor jako aktivní i když by dvakrát neodeslal zprávu. Tři minuty stará data lze považovat za stále aktuální a stav senzorů by byl více konzistentní - občas se stane (ne příliš často, například jednou za 2 dny provozu), že senzor z nějakého důvodu nestihne odeslat zprávu v dané minutě a webová vizualizace ho ihned vyhodnotí jako nefunkční, přitom senzor v dalších minutách opět zprávy odesílá. Dochází k rychlé změně stavu senzoru a uživatel by mohl být zmatený. Volba hodnoty časové meze je kompromisem mezi uživatelskou přívětivostí a naprostou přesností indikací stavu.

4.3 Detekce anomalií využitím klasifikátoru

Detekce anomalií na základě klasifikace v tomto projektu spočívá v použití algoritmu Isolation Forest, klasifikátoru založeném na principu strojového učení bez učitele. Příchozí zprávy jsou pomocí natrénovaného modelu klasifikovány a informace o klasifikaci je přidána do struktury zprávy (struktura zprávy je popsána v Kap. 3.1.1) - do zprávy je přidán atribut *classification*, který nabývá hodnot 1 a -1.

Metody strojového učení jsou v diagnostickém systému implementovány pro kontrolu:

- času u měřených veličin, které jsou odesílány na základě vzniku události - *1D veličiny*

- hodnot v daném časovém okamžiku u měřených veličin, které jsou odesílány pravidelně s pevnou periodou - *2D veličiny*

Veličiny, které jsou měřeny v rámci projektu chytré domácnosti můžeme rozdělit do dvou kategorií - jednodimenzionální a dvoudimenzionální. Mezi 1D veličiny patří *stav okna*, *stav dveří* a *pohyb v místnosti*. Do 2D veličin patří *teplota*, *vlhkost*, *barometrický tlak* a *intenzita osvětlení* v místnosti a *venkovní teplota*. Při klasifikaci 1D veličin je vstup do klasifikátoru jednodimenzionální - [timestamp]. U klasifikace 2D veličin je vstup dvoudimenzionální - [timestamp, value].

4.3.1 Klasifikace času neperiodických zpráv (1D veličiny)

Hodnoty jednodimenzionálních veličin jsou na server odesílány na základě vzniku události. Mezi tyto veličiny patří v tomto projektu detekce pohybu v místnosti, status okna (otevřené nebo zavřené) a status dveří (otevřené nebo zavřené). Přestože tyto události nevznikají periodicky s předem stanovenou periodou, je u nich kontrolován čas odeslání zprávy. Kontrola času, kdy nastane událost má u těchto veličin smysl, protože ačkoliv vznik těchto událostí není čistě periodický, jistá pravidelnost se zde objevuje. Při pozorování chování členů domácnosti lze odvodit opakující se vzorce. Například pohyb v místnosti je detekován v určité části dne mnohem častěji než v jinou chvíli (během dopoledne všedních pracovní dnů je pohyb v domácnosti detekován zpravidla výjimečně, protože členové domácnosti jsou v zaměstnání nebo ve škole). Stejný princip je u otevírání okna a dveří. V určitých časech během dne je intenzita otevírání oken a dveří větší a mnohem pravděpodobnější, než v jinou chvíli. Po sesbírání nutného počtu vzorků dat je na základě těchto jevů natrénován model, který je následně využitý k predikování času vzniku události. Časové období, ve kterém budou sbírána data a následně trénován model, může být například jeden měsíc a pokud člen domácnosti po dobu tohoto měsíce bude otevírat okno pravidelně například jednou denně večer a po zbytek dne bude okno zavřené, natrénovaný model bude následující zprávy klasifikovat na základě tohoto chování - pokud bude okno otevřené ve stejnou chvíli jako doposud, zpráva bude klasifikována jako důvěryhodná. Pokud bude okno otevřené například v průběhu noci (během trénování modelu tato situace nikdy nenastala), bude zpráva klasifikována jako nedůvěryhodná.

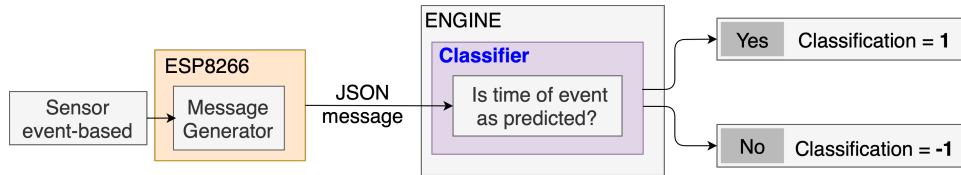
Čas vzniku události je na základě natrénovaného modelu porovnáván s očekávaným časem, tzn. veličiny, jejichž hodnoty se mění na základě vzniku události, jsou zaznamenány v nějakém čase a jsou klasifikovány podle toho, zda čas odpovídá natrénovanému modelu (zda model předpokládá, že vznik události v tomto čase je statisticky pravděpodobný). Pokud je zpráva klasifikována jako důvěryhodná, atribut *classification* ve zprávě obsahuje hodnotu 1. V opačném případě, kdy je zpráva klasifikována jako nedůvěryhodná, je atributu přiřazena hodnota -1.

```

if score of sample > 0 then
    classification := 1
else
    classification := -1
end if

```

Výstupy toho subsystému jsou zobrazeny na Obr. 4.7.



OBRÁZEK 4.7: Výstupy subsystému klasifikace z natrénovaného modelu u 1D veličin

Z diagramu na Obr. 4.7 je vidět, že zprávy z těchto senzorů jsou zpracovávány pouze subsystémem *Classifier* a výstupem systému diagnostiky stavu těchto senzorů je hodnota klasifikace 1 nebo -1 podle důvěryhodnosti času vzniku události.

Grafy jednodimensionálních veličin zobrazují skóre získané z natrénovaného modelu (z rozhodovací funkce - více v Kap. 1) v závislosti na daném časovém okamžiku. Na ose x je zobrazen čas v hodinách (0 až 24) a na ose y skóre z klasifikátoru. Čím vyšší je skóre (čím výše se křivka pohybuje), tím větší je pravděpodobnost, že v tento okamžik dochází ke změně statusu sledované veličiny (*okna, dveří* nebo *pohybu v místnosti*). Grafy byly získány na základě klasifikace z natrénovaného modelu pro danou veličinu, jehož vstupním parametrem je časové období, ze kterého pocházejí jednotlivé vzorky.



OBRÁZEK 4.8: Graf popisující získané skóre pomocí klasifikace z natrénovaného modelu pro status okna

Na Obr. 4.8 je zobrazen graf popisující získané skóre v daném časovém okamžiku pro veličinu status okna. Čím výše v kladné části grafu se křivka pohybuje, tím více je pravděpodobné, že v tento okamžik dochází ke změně statusu okna (pokud bylo zavřené - uživatel ho otevře, pokud bylo otevřené - uživatel ho zavře). Model pro status okna byl natrénován na vzorcích z databáze v rozmezí od 1. dubna 2020 do 30. dubna 2020 (v tomto období vzniklo 243 vzorků).

Na základě tohoto grafu lze analyzovat chování obyvatel domácnosti. Je patrné, že v přibližně od 23 hodin do 7 hodin rána nedochází k otevírání okna (skóre v tuto dobu je záporné) - uživatel v tento čas pravděpodobně spí. V průběhu dne od přibližně 8 hodin rána do večera je křivka v kladné části

grafu - v této části dne je podle natrénovaného modelu pravděpodobné, že bude docházet k otevřání okna.

Na stejném principu funguje klasifikace veličin *status dveří* a *pohyb v místnosti*. Na základě přiřazeného skóre z natrénovaného modelu lze s určitou pravděpodobností předpovídat, kdy se v místnosti často pohybují osoby nebo kdy je pravděpodobné, že uživatel zavře dveře. Grafy pro tyto veličiny jsou zobrazeny v příloze A1.

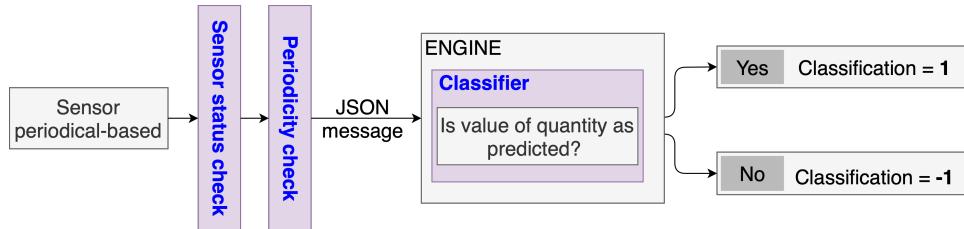
U 1D veličin klasifikace slouží ke kontrole času vzniku události.

4.3.2 Klasifikace naměřených hodnot v daném čase u periodických zpráv (2D veličiny)

Naměřené hodnoty dvoudimenzionálních veličin jsou na server odesílány periodicky. V projektu chytré domácnosti je to například měřená teplota, jejíž měření a odesílání hodnot se opakuje pravidelně každou minutu (více o těchto veličinách v Kap. 2.1). U 2D periodických veličin slouží klasifikace ke kontrole hodnot přicházejících zpráv, které jsou porovnávány s očekávanými hodnotami na základě natrénovaných modelů. Kontrola času (periodicity) u těchto veličin je prováděna externě v subsystému *Periodicity check* (více v Kap. 4.2).

Jelikož zprávy z těchto čidel jsou odesílány často, lze po krátké době sesbírat dostatečné množství dat, ze kterého je možné následně natrénovat modely. Hodnoty těchto veličin se odvíjejí od domácího prostředí a lze je poměrně přesně predikovat - například teplota v místnosti je udržována v úzkém rozmezí několika stupňů a v průběhu dne se mění velmi málo. Na základě sesbíraných dat, ze kterých je natrénován model pro danou veličinu, jsou klasifikovány všechny další příchozí zprávy. Například model pro kontrolu relevantnosti hodnot vnitřní teploty je natrénován z dat, kdy typická vnitřní teplota může být v rozmezí 23 až 25 °C. Pokud další zpráva, která přijde z tohoto čidla bude mít informaci o hodnotě teploty v místnosti 24 °C, je klasifikována jako věrohodná, atributu *classification* je přiřazena hodnota 1 a ve webové vizualizaci se zobrazí zelená ikona. Když následně přijde další zpráva, která nese informaci o hodnotě vnitřní teploty 30 °C, bude klasifikována jako nedůvěryhodná, protože natrénovaný model tuto hodnotu statisticky nepředpokládá. Atributu *classification* bude přiřazena hodnota -1 a na webové stránce se zobrazí žlutá ikona - uživatel je informován, že senzor odesílal zprávu, ale hodnota měřené veličiny je mimo předpovězený rozsah a tudíž nepravděpodobná.

Na Obr. 4.9 jsou zobrazeny jednotlivé subsystémy, přes které projde zpráva odeslána senzorem, který posílá zprávy pravidelně. Ze schématu lze vidět, že odeslaná zpráva projde přes všechny tři subsystémy - *Sensor status check*, *Periodicity check* a *Classifier*. Výstupem subsystému kontroly hodnot zpráv pro 2D veličiny (*Classifier*) je hodnota atributu *classification* -1 nebo 1. Tato informace je následně dále zpracovávána ve webovém rozhraní.



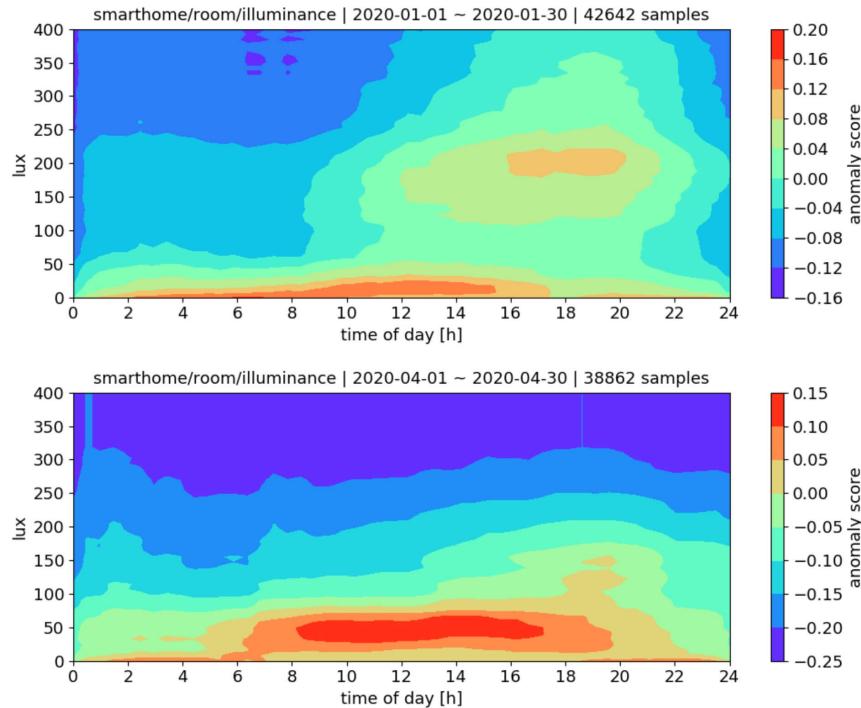
OBRÁZEK 4.9: Výstupy subsystému klasifikace z natrénovaného modelu u 2D veličin

Pokud se tedy na webové stránce u 2D veličin (například teplota v místnosti) zobrazuje zelená ikona, lze s jistotou říci, že zobrazovaná hodnota je aktuální a důvěryhodná, protože tato hodnota prošla třemi vrstvami diagnostického subsystému a ve všech subsystémech byla vyhodnocena kladně.

Klasifikace naměřených hodnot jako nevěrohodných může vzniknout z více důvodů. Buď je čidlo vadné a posílá hodnoty měřené veličiny, které nekorespondují s realitou nebo je trénovaný model zastarálý (například při změně ročního období a použití staršího modelu) a nebo jde o anomálii, která nebyla předvídatelná. Nepředvídatelná anomálie (nepředvídatelné chování) se často vyskytuje například u senzoru vnitřního osvětlení. Model natrénovaný z dat ze senzoru intenzity vnitřního osvětlení je například natrénován na situaci, kdy člen domácnosti rozsvítí světlo pravidelně ve večerních hodinách a zhasíná okolo 22:00. Pokud obyvatel domu výjimečně rozsvítí v noci, tato zpráva bude klasifikována jako nevěrohodná s hodnotou *classification* -1. V tomto případě nejde o chybu čidla, ale o nepředvídatelnou hodnotu, která vybočuje z mezí stanovených natrénovaným model (pokud ovšem člen domácnosti zapíná světlo pravidelně každou noc ve stejnou dobu, tato zpráva již bude klasifikována jako věrohodná). Na základě těchto dat lze kvalitně predikovat chování a události v chytré domácnosti.

Grafy dvoudimenzionálních veličin zobrazují skóre získané z natrénovaného modelu v závislosti na daném časovém okamžiku. Toto skóre je v grafu barevně rozlišeno - přiřazení barev jednotlivým hodnotám skóre je ve sloupci vpravo. Na ose *x* jsou hodnoty fyzikální jednotky měřené veličiny a na ose *y* je čas v hodinách. Červená barva znázorňuje oblasti, kde natrénovaný model s velkou pravděpodobností očekává hodnoty měřené veličiny v závislosti na časovém okamžiku. Modrá barva znázorňuje oblasti, kde je výskyt těchto hodnot v daném čase nepravděpodobný. Tyto barevné grafy jsou vygenerovány postupnou klasifikací celé oblasti. Přímky *x* a *y* tvoří rovinu, jejíž jednotlivé body jsou s předem stanoveným krokem postupně klasifikovány. Výstupem klasifikace jednotlivých bodů v rovině je hodnota skóre. Na základě toho skóre jsou přiřazeny jednotlivé barvy a vytvořen graf.

Na Obr. 4.10 je graf popisující očekávaný vývoj intenzity osvětlení v místnosti na základě klasifikace jednotlivých bodů v rovině pomocí modelu natrénovaného na přibližně 40 tisících vzorků z databáze.



OBRÁZEK 4.10: Graf popisující získané skóre pomocí klasifikace z natrénovaného modelu pro intenzitu osvětlení v místnosti

Horní graf popisuje očekávaný vývoj za období jednoho měsíce od 1. ledna do 30. ledna 2020. Na základě analýzy tohoto grafu lze potvrdit, že v zimním období, kdy je brzy tma, se v místnosti více svítí. Hodnota přibližně 200 lux odpovídá rozsvícenému vnitřnímu osvětlení. V průběhu dne je očekávaná intenzita vnitřního osvětlení velmi nízká až do večera, kdy se prudce zvýší. Naproti tomu ve spodním grafu, který byl vygenerován na základě klasifikace vzorků z časového období od 1. dubna do 30. dubna 2020, se hodnoty vnitřního osvětlení s velkou pravděpodobností drží okolo 50 lux. Tato hodnota odpovídá běžné intenzitě světla ve venkovním prostředí (senzor intenzity osvětlení je umístěn v místnosti u okna a naměřené hodnoty přímo reflektují venkovní osvětlení - k výrazně vyšším hodnotám dochází až ve chvíli rozsvícení světla v místnosti).

Na stejném principu funguje klasifikace veličin *vnitřní a venkovní teplota*, *vlhkost* a *barometrický tlak*. Na základě predikovaných hodnot z natrénovaného modelu lze s určitou pravděpodobností předpovídat, jakých hodnot budou měřené veličiny nabývat. Grafy pro tyto veličiny jsou zobrazeny v příloze A1.

Výstupem tohoto subsystému je kromě informace o relevantnosti očekávaných hodnot několik zajímavých faktů. Z dlouhodobého hlediska bylo například vypozorováno, že vlhkost v místnosti se mění s ročním obdobím - v zimě je kolem 40 - 50 %, v létě je v rozmezí okolo 20 - 30 % (grafy pro vlhkost v místnosti jsou na Obr. A1.5). U vlhkosti je dále zajímavé, že pokud je místnost prázdná, hodnota vlhkosti je téměř konstantní a po vstupu člověka do místnosti vlhkost vzroste o jednotky procent. S touto informací by se

teoreticky dalo pracovat dále například v rámci rozšíření prvků bezpečnosti (detekce osob nejen pomocí PIR čidla).

U 2D veličin klasifikace slouží ke kontrole hodnot měřených veličin v daném časovém okamžiku.

Hierarchie statusů

Ve webovém rozhraní se mění ikony statusu podle tří výše definovaných stavů (*sensor ok*, *value error*, *sensor error*). Statusy se mohou navzájem přepisovat podle hierarchie důležitosti, která je následující.

| |
|--|
| Sensor ERROR > Value ERROR > Sensor OK |
|--|

To znamená, že pokud senzor například odešle zprávu se statusem "sensor OK", ale hodnota měřené veličiny je klasifikována jako -1, na webu se zobrazí status odpovídající klasifikaci -1 - "value ERROR", protože status "value ERROR" má větší váhu, než status "sensor OK".

Pokud senzor odešle zprávu se statusem "sensor ERROR", tato zpráva není dálka klasifikována a na webové stránce se zobrazí ikona "sensor ERROR". Váha tohoto statusu je nejvyšší.

Pokud senzor odešle zprávu se statusem "sensor OK" a klasifikátor přiřadí hodnotu 1, ikona statusu na webu zůstává "sensor OK".

Když senzor odešle zprávu se statusem "sensor OK", ale pak několik minut po sobě přestane odesílat zprávy, na webu se status změní na "sensor ERROR".

Diagnostika a změny ikon zpráv jsou zkrátka řešeny tak, aby to bylo pro uživatele přirozené a na první pohled pochopitelné. Zelená ikona znamená, že je všechno v pořádku. Žlutá ikona indikuje, že je senzor funkční a odeslal naměřená data, akorát natrénovaný model tuto hodnotu naměřenou v tento denní čas vyhodnotil jako neočekávanou. Pro uživatele to znamená, že zobrazená data jsou relevantní a aktuální, ale podle klasifikátoru se vychylují od rozmezí hodnot, kterých tato veličina v této části dne obvykle nabývá. Červená ikona uživatele varuje a říká, že je senzor nefunkční. Diagnostický systém kombinuje vstupy ze systému detekce chyb čidel (*Sensor status check*) s kontrolou pravidelnosti odesílaných zpráv (*Periodicity check*) a kontrolou věrohodnosti posílaných zpráv (*Classifier*). Kombinací těchto tří subsystémů generuje výstupní ikony na webové stránce, které informují uživatele. Kromě informací generovaných z tohoto systému diagnosticky se ve webovém rozhraní zobrazují grafy predikce budoucího vývoje sledované veličiny.

Kapitola 5

Webové rozhraní

Hlavním výstupem této práce je grafická vizualizace pro přehledné zobrazení veškerých dat a komunikaci s uživatelem. Za účelem této prezentace naměřených dat a modelů byla zvolena vizualizace ve formě webové stránky. Webová stránka je dostupná na veřejné IP adresu 147.228.124.68:8881 a její struktura je rozdělena do tří hlavních podstránek. Základem webu je horní horizontální menu, které se skládá z těchto tří tlačítek a uživateli umožňuje proklikávání mezi jednotlivými stránkami.

| | | |
|----------|-----------|-------|
| Overview | Analytics | About |
|----------|-----------|-------|

Z hlediska webového designu mají tlačítka v horizontálním menu úmyslně šedý odstín barvy písma (oproti bílému fontu ve zbytku stránky). Odlišují se tím tlačítka a text, na který není možné klikat. Jednotlivá tlačítka se po přejetí kurzorem mírně zvětší a nabádají uživatele ke kliknutí. *Overview* je stránka, která uživateli poskytuje kompletní a stručný přehled o veškerém dení v chytré domácnosti. Stránka *Analytics* umožňuje interakci s uživatelem, nabízí detailní informace o stavech jednotlivých senzorů a zobrazuje grafy ilustrující očekávané hodnoty v průběhu dne na základě klasifikace pomocí natrénovaného modelu. *About* je doplňující stránka, která velmi stručně popisuje tento projekt a dodává vysvětlivky k ikonám na webu.

První akce, kterou webová stránka po zobrazení v internetovém prohlížeči vykoná, je načtení dat ze souboru *webpage_data.json*. V tomto souboru jsou uloženy poslední hodnoty měřených veličin. Význam tohoto datového souboru je v okamžitém zobrazení posledních hodnot po načtení stránky bez nutnosti čekání, než senzory odešlou data. Hlavní význam to má u senzorů, které odesírají data na základě události (více v Kap. 2.1) - například změna stavu okna (otevřené nebo zavřené) se děje jen několikrát denně a kdyby webová stránka neměla k dispozici soubor *webpage_data.json*, pro zobrazení stavu okna by uživatel musel počkat, než se tento stav změní a je odesán přes broker a engine na webovou stránku. Po obnovení webové stránky by se poslední hodnota opět ztratila. Soubor *webpage_data.json* je používán pouze při prvotním načtení webu, od této chvíle už webový klient přijímá aktuální hodnoty přes WebSocket.

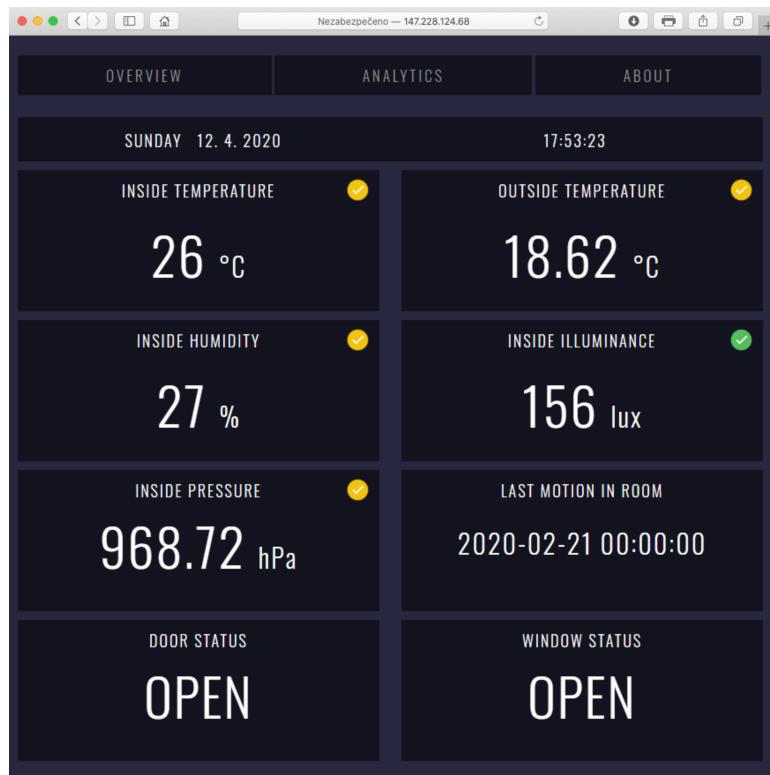
5.1 Programování frontendu

Webová stránka byla naprogramována v *HTML* s využitím *JavaScriptu* a kaskádového stylu *CSS*. Struktura kódu je rozdělena podle tří hlavních stránek. Každá stránka má svůj soubor s JavaScriptovým kódem a skriptem v

CSS. JavaScript je zde využitý pro zajištěný potřebných funkcionalit webu - například nově příchozí zpráva se automaticky propíše do požadovaného místa, při uživatelské volbě parametrů pro načtení natrénovaných modelů JavaScript zobrazuje data v požadovaném místě nebo JavaScript mění ikony statusu senzorů podle změn těchto statusů. V CSS souborech je nadefinován design webu. Jsou zde uloženy parametry pro vykreslení dlaždic - barvy, fonty, rozměry a rozmístění na stránce. Kombinací těchto tří programovacích jazyků bylo dosaženo interaktivní webové vizualizace pro prezentaci naměřených dat v projektu chytré domácnosti.

5.2 Overview

Overview je podstránka, která se načte jako výchozí při návštěvě webu. V záhlaví stránky se zobrazuje aktuální čas a datum a pod pruhem s těmito informace se nacházejí dlaždice obsahující informace o naměřených hodnotách. Na Obr. 5.1 je zobrazen náhled stránky Overview.



OBRÁZEK 5.1: Stránka Overview ve webovém rozhraní

Šablona dlaždice (Obr. 5.2) je pro každou veličinu stejná - skládá se z názvu měřené veličiny, ikony zobrazující stav senzoru (více v Kap. 4) a číselné hodnoty s fyzikální jednotkou.



OBRÁZEK 5.2: Detail dlaždice na stránce Overview

Ikona v pravém horním rohu dlaždice se mění podle stavu senzoru. Status senzoru může nabývat tří hodnot. Jednotlivé ikony jsou na Obr. 5.3 a význam těchto stavů je popsán v Kap. 4.

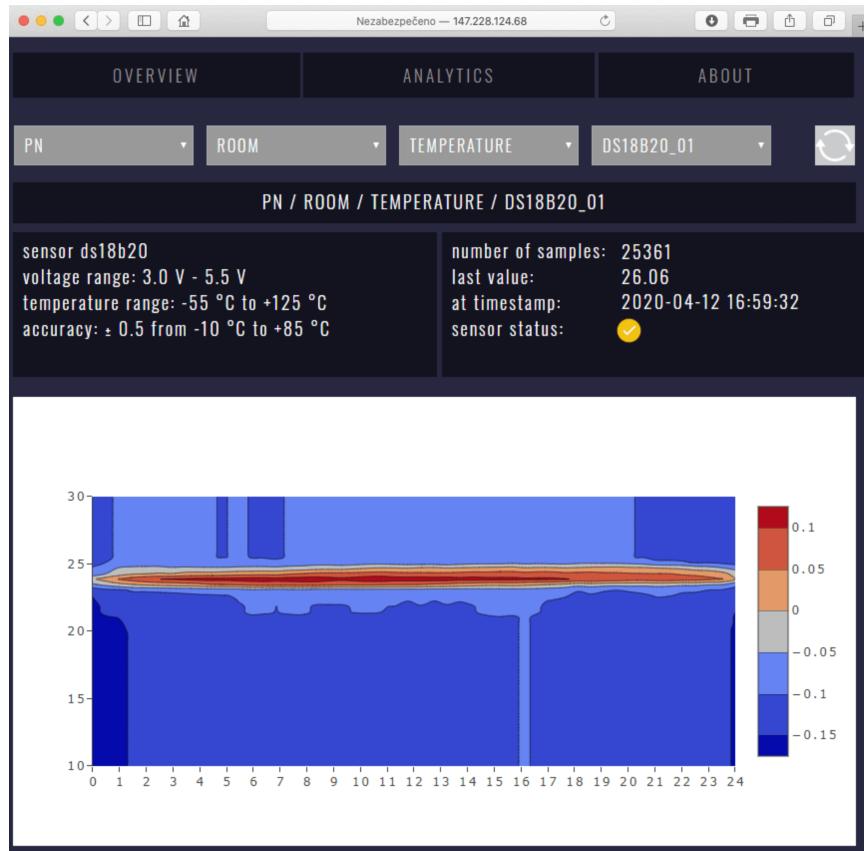


OBRÁZEK 5.3: Zobrazení všech ikon popisujících stavu senzoru

Záměrem stránky Overview je neustálý přísun aktuálních dat bez nutnosti jakékoliv obsluhy. Tato stránka může být otevřená nonstop na monitoru a uživatel díky ní má okamžitý přehled o veškerém dění v chytré domácnosti. Na stránku se pomocí protokolu WebSocket (více v Kap. 3.3) automaticky propisují nejnovější data bez nutnosti obnovy webu. Účelem je uživatele učeleně informovat o aktuálních hodnotách měřených veličin v chytré domácnosti.

5.3 Analytics

Stránka Analytics umožňuje výběr konkrétní měřené veličiny a nabízí náhled na grafy očekávaného vývoje, které jsou tvořeny na základě natrénovaného modelu. Prvním krokem po vstupu do sekce Analytics je výběr z předvolub v horizontálním panelové sekci pod hlavním menu. Po vyplnění všech předvolub dostane uživatel informace o daném senzoru a zobrazí se graf ilustrující očekávané denní hodnoty dané veličiny na základě klasifikace pomocí natrénovaného modelu (klasifikace je popsána v Kap. 4.3)



OBRÁZEK 5.4: Stránka Analytics ve webovém rozhraní

Výběr z předvoleb v horizontální sekci probíhá zleva doprava. Uživatel musí nejprve zvolit vlastníka senzoru. Dokud nezvolí vlastníka, nemá možnost kliknout na další políčka. Po volbě vlastníka senzoru zvolí umístění senzoru (opět dokud nezvolí lokaci, nemá možnost kliknout na tlačítko "Quantity"). Po volbě lokace vybere fyzikální veličinu, jejíž data chce zobrazit. Konečně po volbě veličiny vybere konkrétní senzor, který měří zvolenou fyzikální veličinu. Po vyplnění tlačítka ("Sensor ID") se volba odešle na server a pod panelovou sekcí se zobrazí požadovaná data. Poslední tlačítko v panelové sekci vpravo slouží k vyresetování předem zadaných voleb. Po kliknutí na toto tlačítko dostane uživatel možnost vybrat například jinou fyzikální veličinu, která ho zajímá, aniž by musel obnovovat celou stránku. Předvolby, které uživatel volí, se mění v průběhu procesu výběru - například pokud uživatel zvolí jako lokaci "room", v dalším kroku se mu nabídnu pouze fyzikální veličiny, které jsou měřeny v rámci místonosti. Pokud jako lokaci vybere "outside", v dalším kroku se mu zobrazí možnost vybrat pouze fyzikální veličiny ve venkovním prostředí (v tomto případě venkovní teplota). Proces specifikace voleb je znázorněn na Obr. 5.5. Stejným způsobem funguje poslední volba na tlačítku "Sensor ID". Množina senzorů, které je možno v tomto tlačítce vybrat je kompletně závislá na všech předešlých volbách - uživatel musí zvolit vlastníka, lokaci a měřenou veličinu, aby bylo možné určit senzory, které splňují tyto podmínky. Na Obr. 5.5 byl zvolen vlastník *PN*, lokace *ROOM*, veličina *TEMPERATURE* a v poslední volbě "Sensor ID" je možné vybrat jen *DS18B20_01* nebo *BME280_01*, protože pouze tyto dvě čidla jsou od vlastníka *PN* a měří teplotu v místonosti.



OBRÁZEK 5.5: Proces výběru z předvoleb a specifikace zobrazení dat

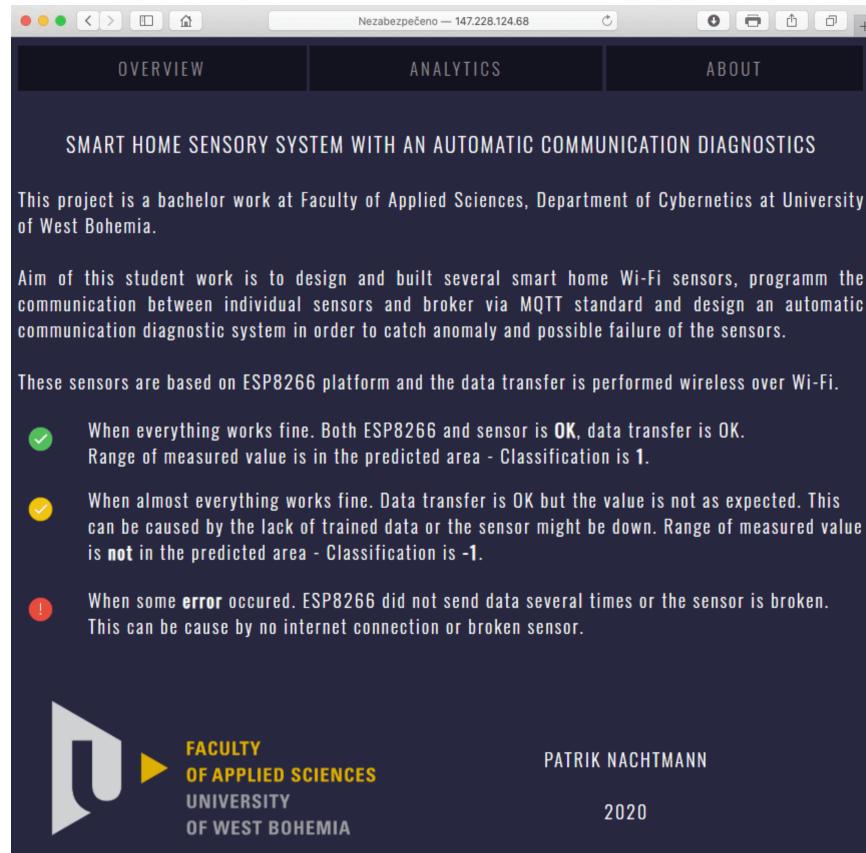
Na Obr. 5.6 jsou popsány jednotlivé dlaždice na stránce Analytics. Po uživatelské volbě všech vstupních parametrů je pod panelovou sekcí zobrazena specifikace zvoleného čidla, v levé dlaždici uprostřed stránky je stručný popis parametrů daného čidla, vedle se nachází základní informace o čidle a ve velké dlaždici jsou zobrazeny očekávané hodnoty na základě statistik natřenovaného modelu pro danou fyzikální veličinu (více v Kap. 4.3). V dlaždici s informacemi o naměřených hodnotách dostane uživatel stručný přehled o datech ze senzoru - kolik vzorků dat se nachází v databázi, jaká byla poslední hodnota, kdy byla tato hodnota naměřena a konečně status senzoru.



OBRÁZEK 5.6: Popis jednotlivých dlaždic na stránce Analytics

5.4 About

About je doplňující stránka, která poskytuje stručné informace o projektu a vysvětlivky k používaným ikonám. Na Obr. 5.7 je zobrazena kompletní stránka About.



OBRÁZEK 5.7: Stránka About ve webovém rozhraní

Celá webová vizualizace byla navržena tak, aby nabízela jak stručný a výstižný pohled na aktuální dění v chytré domácnosti, tak pokročilý náhled na měřené veličiny s možností vykreslení grafů budoucího vývoje, které slouží primárně pro představu o klasifikaci dalších zpráv, ale i například k vytvoření představy o tom, jak se měřená veličina vyvíjí v čase.

Kapitola 6

Závěr

V projektu senzorického řešení chytré domácnosti s automatickou diagnostikou komunikace byl vytvořen funkční model chytré domácnosti skládající se z pěti senzorů, které měří celkem osm fyzikálních veličin uvnitř domu a ve venkovním prostředí. Součástí modelu je systém automatické diagnostiky stavu čidel a detekce anomalií. I přes množství problémů při hardwarové konstrukci senzorů a následně při softwarovém vývoji se podařilo projekt dokončit v plánovaném rozsahu a vytvořit funkční simulaci chytré domácnosti.

V první části projektu šlo o návrh hardwarového řešení a fyzickou realizaci jednotlivých senzorů. V dalším kroku bylo potřeba naprogramovat komunikační logiku pro všechny senzory, určit hierarchii jednotlivých komponent v této práci, implementovat *MQTT* protokol a realizovat ukládání dat do databáze. Následně byla řešena problematika automatické diagnostiky komunikace na třech úrovních - detekce chyb na úrovni samotného mikročipu *ESP8266*, kontrola periodicity příchozích zpráv a detekce anomalií na základě klasifikace. Na závěr projektu byla vytvořena komplexní webová vizualizace. Hlavním výstupem této práce je přehledné zobrazení aktuálních hodnot pozorovaných veličin doplněné o informace o stavu jednotlivých senzorů a věrohodnosti naměřených dat.

V budoucnu je možné na tento projekt navázat a dále rozšiřovat základnu chytrých senzorů a automatizační logiku. Nad aplikací diagnostiky komunikace jednotlivých senzorů se serverem by dále šlo naprogramovat automatizační logiku, která by skrze aktivní prvky ovládala části domácnosti. Tato aplikační logika by mohla být například ve formě neuronové sítě, která by se v průběhu času učila návyky uživatele a automatizovala domácnost.

Kromě pasivních prvků, kterými jsou senzory měřící okolní veličiny, je možné chytrou domácnost doplnit o aktuátory, které na základě informací ze senzorů budou konat akce. Aktuátorem v chytré domácnosti by mohl být například mikročip ovládající vnitřní osvětlení nebo žaluzie. Tyto aktivní prvky by využívaly informace z již sestrojených senzorů a celý projekt by se stal komplexnější.

V projektu senzorického řešení chytré domácnosti byl kladen důraz na univerzálnost řešení s možností navázání další práce v budoucnu, ať už z pohledu hardwarového rozšíření o další senzory nebo rozvinutí aplikační logiky. Cíl tohoto projektu - automatické shromažďování dat v domácnosti za účelem jejich grafické vizualizace bez nutnosti uživatelské obsluhy, se podařilo naplnit. Celý systém aktuálně běží několik měsíců plně autonomně bez výpadků.

Literatura

- [1] F. Pedregosa et al. „Scikit-learn: Machine Learning in Python“. In: *Journal of Machine Learning Research* 12 (2011), s. 2825–2830.
- [2] Lars Buitinck et al. „API design for machine learning software: experiences from the scikit-learn project“. In: *ECML PKDD Workshop: Languages for Data Mining and Machine Learning*. 2013, s. 108–122.
- [3] *TSL2591 Datasheet*. Ver. ams163.5. ams AG, Austria-Europe. 2013. URL: https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/TSL25911_Datasheet_EN_v1.pdf.
- [4] Fredrik Ahlberg a Angus Gratton. *ESP8266 and ESP32 serial bootloader utility. esptool.py*. <https://github.com/espressif/esptool>. Ver. 2.8. GitHub. 2016.
- [5] Stefan Wendler. *A simple shell based file explorer for ESP8266 Micropython based devices. mpfshell*. <https://github.com/wendlers/mpfshell>. Ver. 0.9.1. GitHub. 2016.
- [6] Martin Malý. *HRADLA, VOLTY, JEDNOČIPY Úvod do bastlení*. 1. vydání. 16. publikace v Edici CZ.NIC. Praha: CZ.NIC, z. s. p. o., 2017. ISBN: 978-80-88168-26-3. URL: https://knihy.nic.cz/files/edice/hradla_volty_jednocipy.pdf (cit. 2020).
- [7] Antonín Vojáček. *IoT MQTT prakticky v automatizaci*. HW server s.r.o. 2017. URL: <https://automatizace.hw.cz/iot-mqtt-prakticky-v-automatizaci-1dil-uvod.html> (cit. 2020).
- [8] *BME280 Combined humidity and pressure sensor*. Ver. 1.6_92018. BST-BME280-DS002-15, 0 273 141 185. Bosch Sensortec GmbH. 2018. URL: https://ae-bst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BST-BME280-DS002.pdf.
- [9] lady ada. *DHT11, DHT22 and AM2302 Sensors*. Adafruit Industries. 2019. URL: <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/dht.pdf>.
- [10] Maxim Integrated Products. *DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer*. Ver. 6. Maxim Integrated Products, Inc. 2019. URL: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>.
- [11] *Arduino Micro PIR detektor pohybu AM312*. laskarduino.cz. 2020. URL: <https://www.laskarduino.cz/arduino-micro-pir-detektor-pohybu-am312/>.
- [12] Espressif Systems. *ESP8266EX Datasheet*. Ver. 6.4. Espressif Inc. 2020. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf.
- [13] *Wikipedia*. Wikimedia Foundation, Inc. 2020. URL: <https://www.wikipedia.org>.
- [14] *HC-SR501 PIR MOTION DETECTOR*. URL: <https://www.mpja.com/download/31227sc.pdf>.

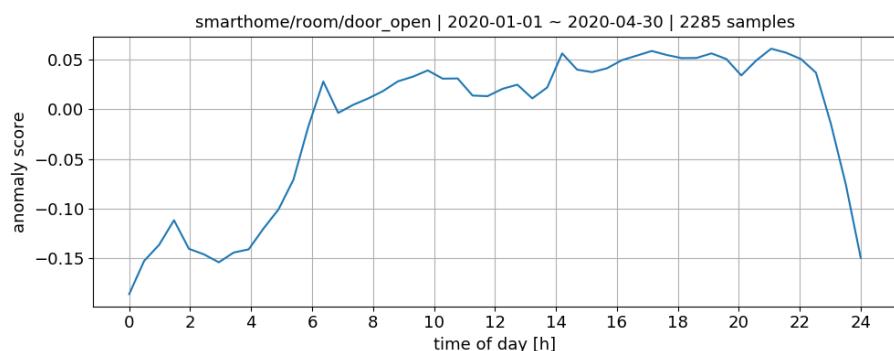
Příloha A1

Grafy

Jednodimenzionální veličiny

Grafy jednodimenzionálních veličin zobrazují skóre získané z natrénovaného modelu v závislosti na daném časovém okamžiku. Na ose x je zobrazen čas v hodinách (0 až 24) a na ose y skóre z klasifikátoru. Čím vyšší je skóre (čím výše se křivka pohybuje), tím větší je pravděpodobnost, že v tento okamžik dochází ke změně statusu sledované veličiny. Grafy byly získány na základě klasifikace z natrénovaného modelu pro danou veličinu, jehož vstupním parametrem je časové období, ze kterého pocházejí jednotlivé vzorky.

Stav dveří (otevřené / zavřené)

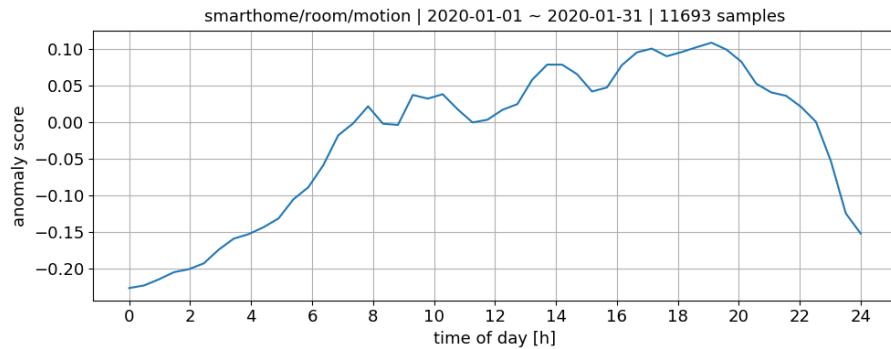


OBRÁZEK A1.1: Graf popisující získané skóre pomocí klasifikace z natrénovaného modelu pro status dveří

Na Obr. A1.1 je zobrazen graf popisující pravděpodobnost změny statusu dveří. Model pro tuto veličinu byl natrénován na vzorcích z databáze v časovém rozmezí od 1. ledna 2020 do 30. dubna 2020 (za toto období bylo nasbíráno 2285 vzorků).

Na základě tohoto grafu můžeme popsát chování obyvatel domácnosti. V čase od přibližně 22 hodin do 6 hodin rána je velmi nepravděpodobné (skóre je záporné), že člen domácnosti otevře nebo zavře dveře. V průběhu dne je křivka v kladné části - v tuto dobu jsou dveře pravděpodobně často otevírány nebo zavírány.

Pohyb v místnosti



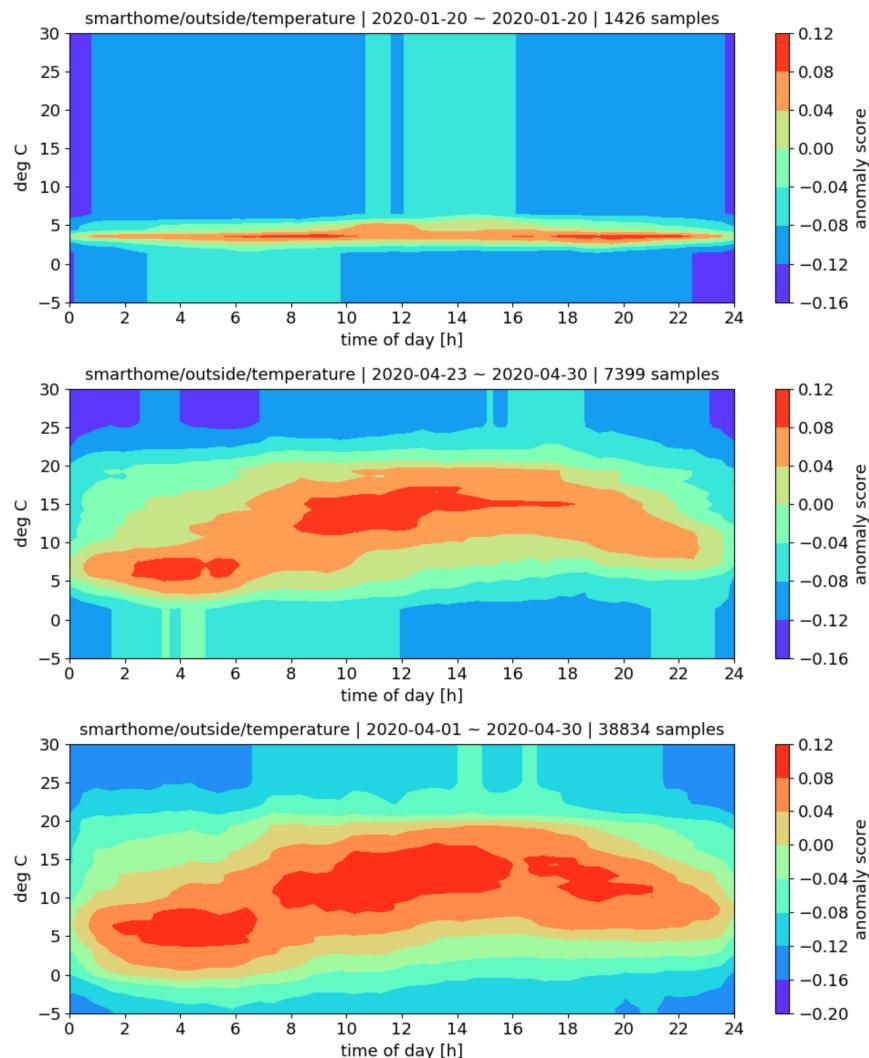
OBRÁZEK A1.2: Graf popisující získané skóre pomocí klasifikace z natrénovaného modelu pro pohyb v místnosti

Na Obr. A1.2 je graf zobrazující vývoj pohybu v místnosti v závislosti na časovém okamžiku. Model byl natrénován na vzorcích z časového období od 1. ledna 2020 do 31. ledna 2020 (11693 vzorků - tolikrát byl v místnosti zaznamenán pohyb). Analýza chování uživatele je podobná jako u předchozích jednodimenzionálních veličin - v noci uživatel spí a tudíž je pohyb v místnosti neočekávaný (záporné skóre). V průběhu dne se obyvatele domácnosti pohybují po místnosti a křivka je v kladné oblasti.

Dvoudimenzionální veličiny

Grafy dvoudimenzionálních veličin zobrazují skóre získané z natrénovaného modelu v závislosti na daném časovém okamžiku. Na ose x jsou hodnoty fyzikální jednotky měřené veličiny a na ose y je čas v hodinách. Červená barva znázorňuje oblasti, kde natrénovaný model očekává hodnoty měřené veličiny v závislosti na časovém okamžiku. Modrá barva znázorňuje oblasti, kde je výskyt těchto hodnot v daném čase nepravděpodobný. Tyto barevné grafy jsou vygenerovány postupnou klasifikací celé oblasti. Výstupem klasifikace jednotlivých bodů v rovině je hodnota skóre, na jehož základě jsou přiřazeny jednotlivé barvy a vytvořen graf.

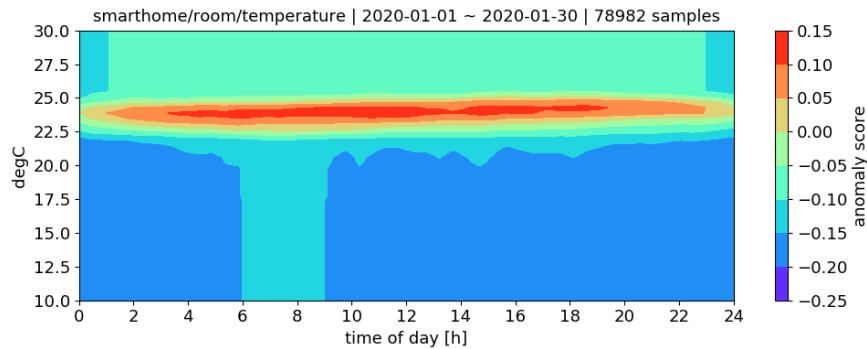
Venkovní teplota



OBRÁZEK A1.3: Graf popisující získané skóre pomocí klasifikace z natrénovaného modelu pro venkovní teplotu

Na Obr. A1.3 jsou zobrazeny tři grafy ilustrující očekávaný vývoj venkovní teploty v průběhu dne na základě natrénovaných modelů pro různé časové období. První graf byl vygenerován pomocí klasifikace jednotlivých bodů na základě modelu natrénovaného ze vzorků za jeden den (20. ledna 2020). V tomto grafu lze vidět, že očekávaná venkovní teplota v průběhu celého dne byla okolo 4 °C. Prostřední graf byl získán klasifikací z modelu natrénovaného ze vzorků z databáze za období jednoho týdne od 23. dubna 2020 do 30. dubna 2020. Na rozdíl od prvního grafu lze vidět, že venkovní teploty pohybují ve větším rozmezí (dáno delším časovým rozmezím a jiným ročním obdobím) a očekává se, že budou dosahovat od přibližně 5 °C do 15 °C. Zajímavé jsou tmavě červené oblasti u přibližně 5 °C v čase od 2 do 6 hodin ráno a u 15 °C v čase od 9 do 15 hodin. Tyto oblasti byly ohodnoceny vysokým skóre - natrénovaný model očekává tyto hodnoty v tomto čase s velkou pravděpodobností. Na posledním grafu bylo rozšířeno časové rozmezí od 1. dubna do 30. dubna 2020 a model měl k dispozici 38834 vzorků v databázi.

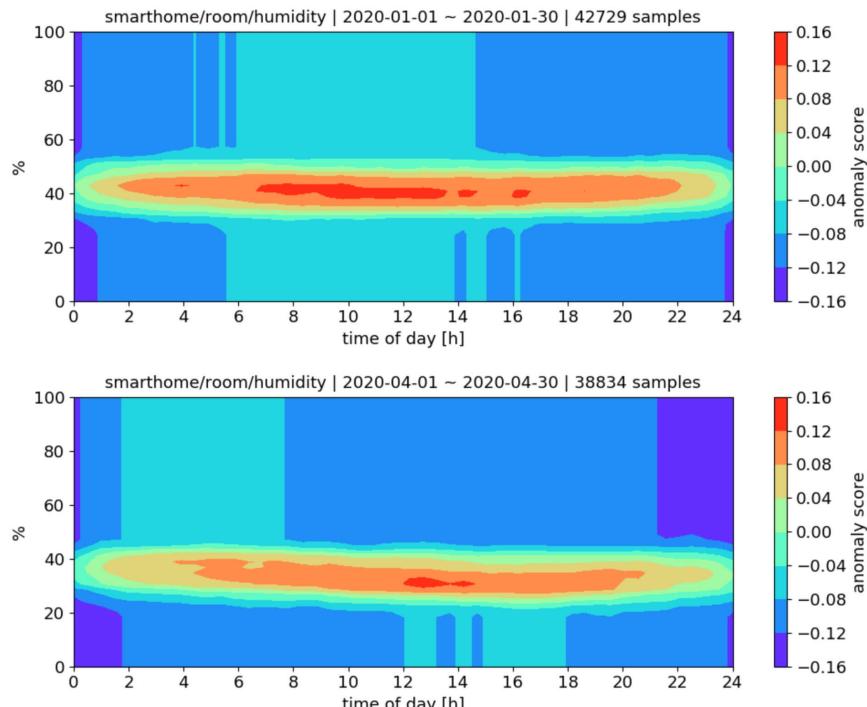
Vnitřní teplota



OBRÁZEK A1.4: Graf popisující získané skóre pomocí klasifikace z natrénovaného modelu pro vnitřní teplotu

Na Obr. A1.4 je graf popisující očekávaný vývoj teploty v místnosti v průběhu dne na základě natrénovaného modelu pro tuto veličinu v časovém rozmezí od 1. ledna 2020 do 30. ledna 2020. Za toto období vzniklo 78982 vzorků (pozn.: vyšší počet vzorků u vnitřní teploty oproti venkovní teplotě za stejné období je dán vyšším počtem senzorů měřících vnitřní teplotu). Z tohoto grafu lze velmi přesně predikovat budoucí vývoj vnitřní teploty v místnosti - oblast, ve které model očekává hodnoty teploty je úzká od přibližně 22,5 °C do 25 °C. Rozsah vnitřní teploty je velmi omezený a v průběhu roku se téměř nemění.

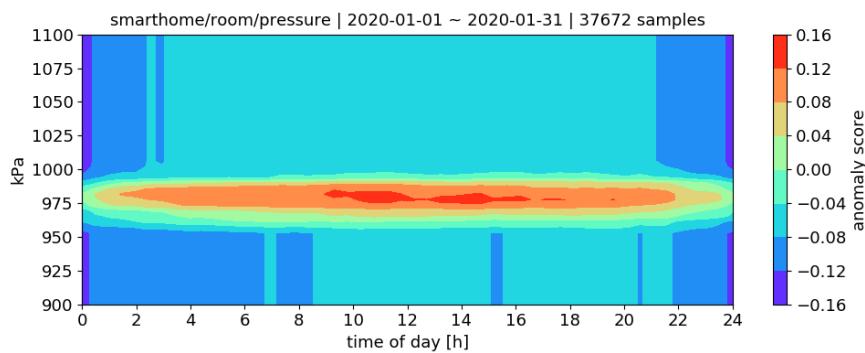
Vlhkost v místnosti



OBRÁZEK A1.5: Graf popisující získané skóre pomocí klasifikace z natrénovaného modelu pro vlhkost v místnosti

Na Obr. A1.5 je zobrazen graf ilustrující očekávaný vývoj vlhkosti v místnosti na základě klasifikace jednotlivých bodů pomocí modelu natrénovaného ze vzorků z databáze. Horní graf byl vytvořen z přibližně 42 tisíc vzorků z časového období od 1. ledna do 30. ledna 2020, spodní graf ze vzorků za období od 1. dubna do 30. dubna 2020. Při porovnání obou grafů lze vidět, že hodnoty vlhkosti v místnosti nabývají úzkého rozsahu stejně jako u vnitřní teploty, ale tento rozsah hodnot se v průběhu roku posouvá. V grafu se vzorky za leden se vnitřní vlhkost pohybuje s největší pravděpodobností v rozmezí od 35 % až 45 % a v dubnovém grafu vnitřní vlhkost dosahuje nižších hodnot - od 25 % do 35 %.

Barometrický tlak v místnosti



OBRÁZEK A1.6: Graf popisující získané skóre pomocí klasifikace z natrénovaného modelu pro intenzitu osvětlení místnosti

Na Obr. A1.6 je zobrazen graf ilustrující očekávaný vývoj barometrického tlaku v místnosti na základě klasifikace pomocí modelu natrénovaného pro tuto veličinu. Tento graf byl vygenerován pomocí modelu natrénovaného na přibližně 37 tisících vzorků v databázi. Hodnoty barometrického tlaku se stejně jako hodnoty vnitřní teploty pohybují v úzkém rozmezí a tyto hodnoty je možné velmi přesně predikovat. Za období měsíce ledna 2020 očekává natrénovaný model s největší pravděpodobností hodnoty okolo 975 kPa.

Příloha A2

Struktura repozitáře

