



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

AUTOMATIZACE V DOMÁCNOSTI, ŘÍDICÍ JEDNOTKA

HOME AUTOMATION, CONTROL UNIT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Konečný

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vladimír Levek

BRNO 2018



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

Student: Jakub Konečný

ID: 186114

Ročník: 3

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Automatizace v domácnosti, řídicí jednotka

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte hlavní řídicí jednotku pro inteligentní dům. Jednotka bude umožňovat ovládání systému prostřednictvím subgigahertzové sítě. Dále bude obsahovat snímače teploty, tlaku a vlhkosti. Bude pracovat na dostupné komerční platformě, která bude připojena do navržené základní desky. Rovněž vytvořte obslužný program, který bude umožňovat řízení připojených periférií, záznam provozních dat a realizaci grafické nadstavby obslužného programu. Nejprve prostudujte obecnou teorii ze zadaných oblastí a vše přehledně popište v úvodu bakalářské práce. Dále navrhněte a realizujte řídicí jednotku v intencích zadání. Následně celé zařízení podrobte zkušebnímu provozu a výsledky přehledně uveďte v textové části bakalářské práce. Toto zadání úzce navazuje na bakalářskou práci studenta Mikuláše Ponechala, který vytváří vstupní a výstupní moduly.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 5. 2. 2018

Termín odevzdání: 31. 5. 2018

Vedoucí práce: Ing. Vladimír Levek




doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca sa zaoberá automatizáciou domácnosti a následným návrhom riešenia riadiacej domácej jednotky, ktorej úlohou je ovládať bezdrôtové zariadenia, zobrazovať údaje o teplote, tlaku, relatívnej vlhkosti vzduchu a nastavovať automatizačné funkcie v užívateľskom prostredí. Práca je vo väčšej miere zameraná na softvérovú časť a popisuje implementáciu serverových technológií.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Automatizácia domácnosti, inteligentné domy, Raspberry Pi, BME280, IQRF modul, Node.js, React

ABSTRACT

This bachelor's thesis focuses on theory about a home automation and represents the solution of the smart central server unit, designed to control wireless connected devices, read and display temperature, pressure, relative humidity data and set up automatic functions in graphical user interface. The work is more focused on the software section and describes the implementation of server technologies.

KEYWORDS

Home automation, smart homes, Raspberry Pi, BME280, IQRF module, Node.js, React

KONEČNÝ, J. *Automatizácia v domácnosti, riadiaca jednotka*. Brno: Vysoké učenie technické v Brne, Fakulta elektrotechniky a komunikačných technológií. Ústav mikroelektroniky, 2018. 34 s., 7 s. príloh. Bakalárska práca. Vedúci práce: Ing. Vladimír Levek

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že svoju bakalársku prácu na tému Automatizácia v domácnosti, riadiaca jednotka som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, predovšetkým som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich zákona č. 121/2000 Zb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), vo znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka č. 40/2009 Zb.

V Brne dňa

.....

(podpis autora)

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce, Ing. Vladimírovi Levekovi, za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a za cenné rady pri spracovaní mojej bakalárskej práce. Ďalej by som chcel poďakovať Ing. Jiřímu Starému Ph.D. za umožnenie použitia špecializovaných prístrojov v školskom laboratóriu.

V Brne dňa

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	6
1 Automatizácia domácnosti	7
1.1 Systém riadenia inteligentného domu	7
2 Teoretická analýza a výber komponentov	10
2.1 Jednodoskové počítače	10
2.1.1 Raspberry Pi.....	10
2.2 Bezdrôtové komunikačné protokoly	13
2.3 Sériové zbernice SPI a I ² C.....	16
2.3.1 Rozhranie SPI v IQRF	18
2.4 Použité moduly	20
2.4.1 Modul Diymore BME280.....	20
2.4.2 Modul IQRF TR-52DA	21
3 Návrh riadiacej jednotky	22
3.1 Cieľ práce.....	22
3.2 Jadro systému.....	22
3.3 Návrh rozširujúceho GPIO modulu	23
3.4 Návrh softvérovej architektúry	26
3.4.1 Obslužný program pre koordinátor	27
3.4.2 Obslužný program pre senzor BME280	28
3.4.3 Serverová časť softvéru	28
3.4.4 Užívateľské rozhranie	29
3.5 Zobrazovanie aktuálnych hodnôt zo senzora.....	30
3.6 Proces pripájania nových zariadení do siete	31
3.6.1 Skenovanie QR kódu	31
3.6.2 Verifikácia dát.....	32
3.6.3 Pridanie zariadenia do databázy	34
3.7 Ovládanie externých modulov	35
3.8 Systém Event-Action	35
4 Konštrukcia a testovanie	37

5 Záver	39
Literatúra	40
Zoznam symbolov, veličín a skratiek	42
Zoznam obrázkov	43
Zoznam príloh	45

ÚVOD

Ľudská populácia už od počiatku vekov používala nástroje, ktoré umožňovali vykonávať činnosti jednoduchšie a efektívnejšie. Dlhodobý proces industrializácie viedol až k súčasnému vývoju modernej elektroniky. Malé rozmery čipov a nízka spotreba elektrických zariadení boli rozhodujúce faktory pri implementácii prvých zariadení v domácnosti s prívlastkom „smart“, teda inteligentné. V dnešnej dobe existuje mnoho produktov od rôznych výrobcov poskytujúcich riešenie inteligentných domácností, ktoré sú principiálne podobné a líšia sa zväčša použitými komunikačnými technológiami.

Cieľom bakalárskej práce je navrhnúť a zrealizovať zariadenie, ktorého úlohou je automatizačne riadiť prvky v domácnosti. Celkový projekt je rozdelený do dvoch častí, z ktorých časť venovaná teórii bezdrôtového prenosu medzi externými „smart“ zariadeniami a riadiacou jednotkou prostredníctvom technológie IQRf je spracovaná v bakalárskej práci kolegu, Mikuláša Ponechala. Druhá časť sa zaoberá návrhom riadiacej jednotky spolu s užívateľským prostredím, prostredníctvom ktorého bude možné sledovať aktuálne dáta zo senzorov a nastavovať operácie vykonávané na základe získaných údajov z externých modulov. Súčasťou práce je aj konštrukcia rozširujúcej dosky pre jednodoskový počítač Raspberry Pi Zero W, obsahujúcej senzor pre meranie teploty, tlaku a relatívnej vlhkosti vzduchu, a modul IQRf koordinátora.

1 AUTOMATIZÁCIA DOMÁCNOSTI

Pojem automatizácia domácnosti je jedným z najviac diskutovaných slovných spojení v súčasnom odvetví priemyslu. Hlavná myšlienka tohto konceptu však siaha až do ranného začiatku 20. storočia, kedy boli zostrojené prvé domáce spotrebiče s cieľom uľahčiť život v domácnosti. Keď v roku 1965 demonštroval Jim Sutherland, inžinier z Pittsburghu, svoj prototyp domáceho počítača ECHO IV, netušil, že svojím vynálezom predbehol dobu o dekády. Aj keď sa nikdy nedostal do predaja, ECHO IV – The Electronic Computing Home Operator s rozmermi 1,8 m x 0,6 m x 1,8 m a váhou 363 kilogramov bol prvý inteligentný systém automatizácie domácnosti. Dokázal spracovať nákupný zoznam, ovládať termostat v miestnosti a zapínať či vypínať domáce spotrebiče [1,2].

Inteligentné domácnosti ako ich dnes poznáme zaznamenali prudký nárast popularity začiatkom 21. storočia, kedy sa stali cenovo dostupnejšími aj pre bežných spotrebiteľov. Súčasné trendy v automatizácii zahŕňujú správu prostredníctvom mobilného telefónu, vrátane spätných notifikácií o stave domácnosti, ovládanie klimatizačných a vykurovacích systémov, zabezpečenia a mnoho ďalších [2].

1.1 Systém riadenia inteligentného domu

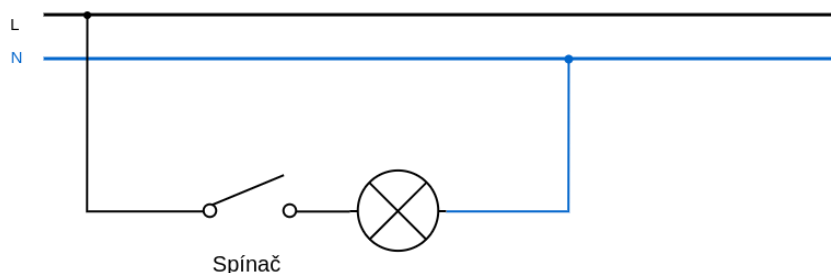
Inteligentná domácnosť je pojem reprezentujúci spojenie domácich spotrebičov, svietidiel, bezpečnostných kamier a iných zariadení do jednej spoločnej siete s možnosťou vzdialeného ovládania pomocou mobilných telefónov, tabletov alebo osobných počítačov.

Prostredníctvom drôtových alebo bezdrôtových sietí sú tieto zariadenia pripojené k centrálnej jednotke, ktorá umožňuje v reálnom čase pristupovať k dátam zo senzorov, odosielať príkazy podľa požiadaviek užívateľa a vykonáva funkciu mozgu celého systému. Centrálna jednotka je prepojená s domácou sieťou najčastejšie cez WiFi alebo Ethernet čo zabezpečuje vzdialený prístup aj mimo lokálnu sieť a priame odosielanie údajov na internetové úložisko [3].

Typy elektroinštalácií:

Klasická elektroinštalácia

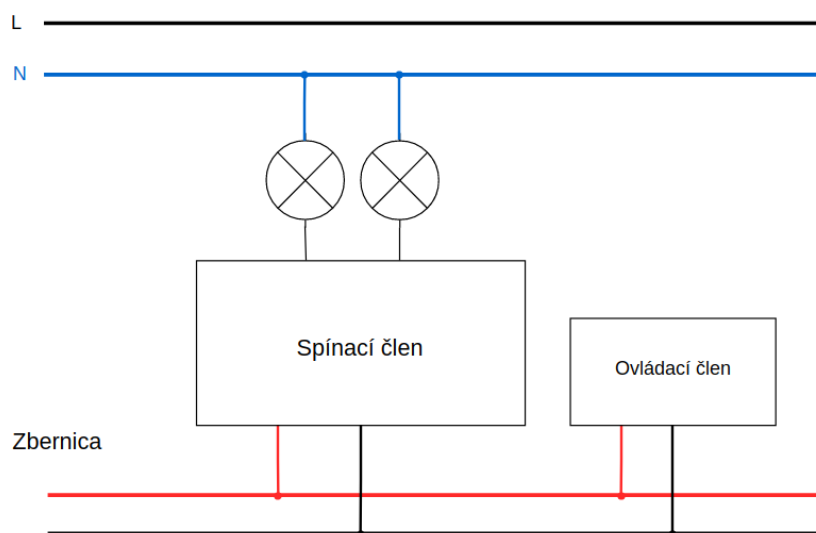
Pri klasickej elektroinštalácii je kabeláž vedená od ističa ku svetlám cez vypínače, ktoré slúžia na zapínanie a vypínanie príslušného svietidla alebo svetelného okruhu (viď Obr. 1.1). Zásuvkové okruhy sú vedené od ističa ku zásuvkám bez vypínačov. Problém nastáva pri požiadavke na ovládanie osvetlenia z viacerých miest, kedy je nutné použiť striedavé a krížové spínače. Ďalšia nevýhoda, ktorá súvisí s klasickou elektroinštaláciou, spočíva v použití vodičov energie ako prenosového média pre informácie [4].



Obr. 1.1 Schéma klasickej elektroinštalácie

Inteligentná elektroinštalácia

Princípom inteligentnej inštalácie je využitie dátovej zbernice a inteligentných prvkov riadiaceho systému pre ovládanie zariadení. Na ovládanie sú použité tlačidlá alebo inteligentné ovládače pripojené priamo na zbernicu (viď Obr. 1.2). Zariadenia sa zapínajú alebo vypínajú na základe manuálnych povelov, údajov zo senzorov či časových nastavení. Ovládacie prvky nie sú k jednotlivým svetelným okruhom pripojené priamo, ale sú softvérovo priradené k akčným prvkom [4].



Obr. 1.2 Schéma inteligentnej elektroinštalácie

Funkcie inteligentného domu:

- **komfort** – osvetlenie so stmievaním, automatická regulácia teploty podľa nastaveného programu pre každú miestnosť pomocou dotykového panela v stene, diaľkového ovládača, mobilného telefónu či webového rozhrania,
- **úspora** – regulácia kúrenia alebo klimatizácie, zavedenie časovača, spínanie osvetlenia v závislosti na svetelných podmienkach okolia, blokovanie funkcií elektrických spotrebičov či vypnutie svetiel pri absencii pohybu,
- **bezpečnosť** – ochrana pred počasím (zatiehnutie žalúzií, notifikácie o prichádzajúcej búrke), ochrana pred poruchami elektrickej siete, živelnými

pohromami (dymový senzor, senzor zatopenia), ochrana detí (kontrola pohybu), možnosť prepojiť zabezpečovací systém na bezpečnostnú agentúru,

- **prehľad a správa domu** – informácie o udalostiach v domácnosti prostredníctvom SMS alebo e-mailu, zistenie stavu systému, napr. teplôt, kvality ovzdušia, poprípade prevedenie zmien cez internet alebo zo smartfónu,
- **automatické funkcie** – na základe veličín ako je čas, teplota, osvetlenie, pohyb, sila vetru atď. sa vykonávajú prednastavené operácie, možnosť naprogramovania chodu domácnosti, na základe zmeny jedného stavu (napr. pri zotmení) je možné vykonať viacero akcií (zatiehnutie žalúzií, rozsvietenie svetiel, zamknutie vchodových dverí),
- **asistenčné technológie** – možnosť ovládanie hlasom, zvukové správy o stave domácnosti pre nevidiacich, možnosť jedným povelom uskutočniť viacero akcií.

Príklad dostupných riešení: iNELS, Loxone, Euroline, Langard, Domotron [3].

2 TEORETICKÁ ANALÝZA A VÝBER KOMPONENTOV

Nasledujúca kapitola teoreticky popisuje použité komponenty pre realizáciu riadiacej jednotky a uvádza dostupné alternatívy na trhu. Súčasťou kapitoly je aj prehľad bezdrôtových protokolov využívaných pre komunikáciu inteligentných zariadení a stručný princíp funkčnosti periférií SPI a I²C.

2.1 Jednodoskové počítače

Pojem jednodoskové počítače (z angličtiny SBC - Single Board Computer) označuje typ počítača, v ktorom sú všetky komponenty umiestnené na jednej doske plošných spojov, t.j. obsahujú procesor, pamäte a ďalšie súčasti potrebné pre chod počítača. Jednodoskové počítače sú najčastejšie využívané v tzv. „embedded“ (vložených) systémoch ako súčasť väčších zariadení. Operačným systémom sú väčšinou linuxové distribúcie, ktoré sú prispôbované pre zariadenia s nižším výkonom a menšou kapacitou pamäte, napríklad distribúcie Debian (Raspbian, Minibian) pre Raspberry Pi [5].

2.1.1 Raspberry Pi

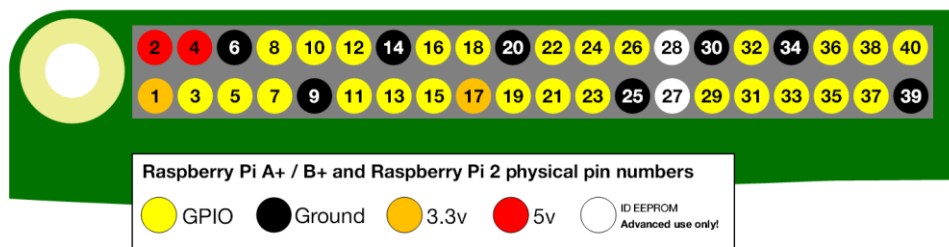
Raspberry Pi je v súčasnej dobe najpopulárnejší jednodoskový počítač o veľkosti kreditnej karty založený na čipoch Broadcom BCM2835/2836/2837 s architektúrou ARM (Obr. 2.1). Obsahuje porty USB, HDMI a audio výstup. Oficiálne podporovaná linuxová distribúcia Raspbian sa vkladá ako obraz disku na SD kartu a je z nej pri štarte Raspberry bootovaná [6].



Obr. 2.1 Raspberry Pi 3 (prevzaté z [6])

Pre priamu interakciu s portami mikrokontroléra využíva Raspberry Pi rozhranie GPIO (Obr. 2.2 Raspberry Pi A+/B+ a Raspberry Pi 2 GPIO rozhranie). GPIO (General Purpose Input/Output) sú programovateľné vstupno-výstupné porty určené pre pripojenie ďalších periférií. Okrem GPIO doska obsahuje rozhranie CSI (Camera

Serial Interface), určené pre pripojenie externej kamery, a DSI (Display Serial Interface), ktoré slúži pre pripojenie externého displeja [6][7].



Obr. 2.2 Raspberry Pi A+/B+ a Raspberry Pi 2 GPIO rozhranie (prevzaté z [7])

Prehľad verzií Raspberry Pi:

- **Raspberry Pi B+** - verzia uvedená 15. februára 2012, obsahuje 1-jadrový 700 MHz procesor ARM1176JZF-S, pamäť RAM 512 MB, grafický čip VideoCore IV s podporou 1080p videa, 2 USB 2.0 porty a Ethernet 10/100M konektor,
- **Raspberry Pi A+** - verzia uvedená 10. novembra 2014, od modelu B+ sa líši menšími rozmermi, pamäťou RAM 256 MB, absenciou Ethernet portu a náhradou SD karty za verziu microSD,
- **Raspberry Pi 2** - verzia uvedená 1. februára 2015, priniesla výkonnejší 4-jadrový procesor ARM Cortex-A7 s frekvenciou jadra 900 MHz, 1 GB pamäť RAM a 4 USB 2.0 porty,
- **Raspberry Pi 3** - najvýkonnejšia verzia predstavená 29. februára 2016, obsahuje čip BCM2837 so 4-jadrovým mikroprocesorom Cortex-A53 64-bit a frekvenciou jadra 1.2 GHz, významným rozdielom bolo pridanie konektivity prostredníctvom Wi-Fi 802.11n a Bluetooth v4.1 Low Energy,
- **Raspberry Pi Zero a Zero W** - 2 verzie s rozmermi 65 x 30mm dodávané bez prispájkových GPIO pinov, primárne vyvinuté ako nízkonákladové a nízkopríkonové modely, obsahujú mikroprocesor ARM1176JZF-S s frekvenciou 1 Ghz a 512 MB RAM, pre zachovanie malých rozmerov bol odstránený port Ethernet a USB konektor nahradený verziou microUSB, rozdiel medzi modelom Zero a Zero W je v absencii sieťových pripojení (Wi-Fi, Bluetooth) vo verzii Zero [6].

Výber z alternatív k Raspberry Pi dostupných v roku 2018:

Asus Tinker Board

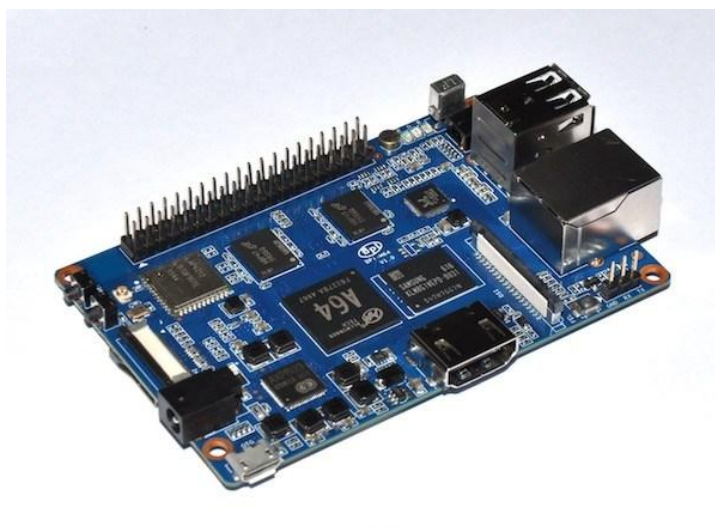
Asus Tinker Board (Obr. 2.3) je v porovnaní s Raspberry Pi v priemere asi 2-krát drahší, ale vďaka štvorjadrovému procesoru Cortex A17 s frekvenciou 1.8 GHz, grafickým čipom Mail-T764 a 2 GB RAM dosahuje vyšší výkon. Rada Tinker podporuje videá v rozlíšení 4K, zatiaľ čo Raspberry Pi 3 do rozlíšenia 1080p. Operačným systémom je TinkerOS, založený na platforme Debian. Tinker Board taktiež obsahuje štyri USB 2.0 porty, HDM výstup, WiFi a Bluetooth 4 [8].



Obr. 2.3 Asus Tinker Board (prevzaté z [8])

Banana Pi M64

Banana Pi M64 (Obr. 2.4) je 64-bitová verzia Banana Pi. Podporuje operačné systémy Android, Debian, Ubuntu. Na doske sa nachádza osemjadrový Allwinner 64-bit procesor, dvojjadrový grafický čip Mali 400, 2 GB pamäte RAM, 2 USB 2.0 porty, USB-OTG port, WiFi, Bluetooth a IR prijímač/vysielač. Okrem slotu na microSD kartu obsahuje aj 8 GB flash pamäte priamo na doske [8].



Obr. 2.4 Banana Pi M64 (prevzaté z [8])

Odroid-C2

Odroid-C2 (Obr. 2.5) bol uvedený na trh v roku 2016 kórejskou spoločnosťou Hardkernel. Obsahuje štvorjadrový procesor Amlogic s frekvenciou jadra 1.5 GHz, grafickým čipom Mali 450, 2 GB pamäte RAM, IR prijímač/vysielač, rozšírenie pamäte prostredníctvom microSD kariet, 4 USB 2.0 porty a HDMI výstup. V porovnaní s Raspberry Pi 3 má Odroid dvojnásobnú pamäť RAM a podporu 4K videa, ale zaostáva v konektivitě vzhľadom na absenciu WiFi, Bluetooth a audio výstupu [8].



Obr. 2.5 Odroid-C2 (prevzaté z [8])

OrangePi Plus 2

Jednodoskový počítač OrangePi (Obr. 2.6) obsahuje na doske štvorjadrový procesor H3 (Cortex-A7), grafický čip Mali400, konektor RJ45, štyri USB 2.0 porty, USB-OTG konektor a WiFi. Podporuje operačné systémy Debian, Android a Ubuntu. V porovnaní s Raspberry Pi obsahuje dvojnásobnú veľkosť pamäte RAM a podporu 4K videí, ale chýba komunikácia prostredníctvom Bluetooth [8].



Obr. 2.6 OrangePi Plus 2 (prevzaté z [8])

2.2 Bezdrôtové komunikačné protokoly

Základom inteligentnej domácnosti je schopnosť vzájomnej komunikácie medzi zariadeniami a centrálnou jednotkou alebo medzi zariadeniami navzájom. Spôsob, akým si zariadenia vymieňajú medzi sebou údaje popisujú komunikačné protokoly.

Prenos informácií medzi zariadeniami prebieha prostredníctvom drôtových a bezdrôtových technológií. Drôtové protokoly ako UPB (Universal Powerline Bus)

a X10 používajú pôvodné elektrické vedenie v domácnosti. Vyznačujú sa stabilitou a cenovou nenáročnosťou. V súčasnosti sú často používané bezdrôtové technológie poskytujúce vyššie prenosové rýchlosti a pokročilé možnosti šifrovania [9].

Medzi najpopulárnejšie bezdrôtové protokoly pre automatizáciu domácnosti patria:

WiFi

WiFi (Wireless Fidelity – v preklade „bezdrôtová vernosť“) je označenie pre štandardy IEEE 802.11. V súčasnosti je najpoužívanejší štandard 802.11n. Na komunikáciu používa bezlicenčné pásma 2,5 GHz a 5 GHz s maximálnou prenosovou rýchlosťou 450 Mb/s. Je primárne určený pre streamovanie médií, prezeranie webu a ďalšie aplikácie náročné na množstvo prenesených dát. Základom siete je prístupový bod, tzv. Access Point (AP) prostredníctvom ktorého prebieha všetka komunikácia, bezdrôtové stanice spolu nikdy nekomunikujú priamo.

Výhody:

- vysoká prenosová rýchlosť,
- TCP/IP protokol umožňuje vývojárom sústrediť sa hlavne na vývoj aplikačnej vrstvy pre výmenu dát,
- komunikácia s mobilnými telefónmi a WiFi podporovanými zariadeniami bez prídavného hardware,
- cena modulov.

Nevýhody:

- vyššia spotreba elektrickej energie (nevhodné riešenie pre senzory napájané batériami),
- potreba Access Pointu pre vytvorenie siete,
- potenciálne problémy s rušením spôsobené so širokým využívaním 2,4GHz pásma [10,14].

Bluetooth

Bluetooth ako protokol štandardu 802.15.1 je určený pre odosielanie a prijímanie dát v bezlicenčnom pásme ISM 2,4 GHz. Vo veľkej miere je využívaný v mobilných telefónoch, bezdrôtových náhlavných súpravách, bezdrôtových klávesniciach či reproduktormi. Sieť Bluetooth využíva model komunikácie *master* (nadriadený) a *slave* (podriadený), kde ku zariadeniu typu *master* môže byť pripojené maximálne sedem zariadení typu *slave*. Vysielací výkon a dosah zariadenia je definovaný jeho výkonovou triedou. Rozlišujeme tri výkonové triedy: Class 1 s výkonom 100 mW a dosahom do 100 m, Class 2 s výkonom 2.5 mW a dosahom do 10 m a Class 3 s výkonom 1 mW a dosahom 10 cm. V roku 2016 bola predstavená verzia Bluetooth 5, ktorá na rozdiel od starších verzií priniesla zlepšenie dosahu na 200 m v uzavretých priestoroch, menšiu energetickú náročnosť, rozšírenú podporu internetu vecí a vyššiu spoľahlivosť v prostredí s vyšším rušením.

Výhody:

- nízka spotreba elektrickej energie (Bluetooth Low Energy),

- verzia Bluetooth 5 poskytuje dosah do 200 m v uzavretých priestoroch.

Nevýhody:

- maximálne 7 pripojených zariadení v jednej sieti [11,12,13].

Zigbee

Zigbee protokol bol vyvinutý špeciálne pre riadiace a senzorové siete topológie *mesh* v štandarde IEEE 802.15.4. Pracuje na frekvenciách 868 MHz, 902-928 MHz a 2,4 GHz. S dátovou rýchlosťou 250 kb/s je vhodný pre pravidelnú obojsmernú komunikáciu medzi senzormi a riadiacimi jednotkami. Zigbee disponuje nízkou energetickou spotrebou a využíva sa predovšetkým na riadenie a monitorovanie aplikácií v dosahu 10 až 100 m. Podporuje konfigurácie typu *master-master* a *master-slave*, a režimy šetriace výdrž batérie. Siete Zigbee sú rozšíriteľné pomocou smerovačov a umožňujú prepojenie viacerých uzlov pre budovanie širšej siete. Architektúra systému Zigbee sa skladá z troch rôznych typov zariadení, ako je Zigbee koordinátor, smerovač a koncové zariadenie. Každá sieť musí obsahovať koordinátor, ktorý má funkciu koreňovej jednotky v danej sieti a premošťuje komunikáciu Zigbee s lokálnou sieťou cez Wifi alebo Ethernet.

Výhody:

- možnosť rozšírenia siete pomocou smerovačov,
- režimy šetrenia elektrickej energie,
- zariadenia Zigbee sú navzájom kompatibilné,
- široké zastúpenie v oblasti automatizácie domácnosti poprednými výrobcami ako sú Phillips, Lutron, Samsung, atď..

Nevýhody:

- potenciálne problémy s rušením spôsobené so širokým využívaním 2,4 GHz pásma [13,14].

Z-Wave

Technológia Z-Wave bola vyvinutá Dánskymi vývojármi v Kodani v roku 1999. Hlavnou myšlienkou projektu je tzv. „interoperabilita“, ktorá zaručuje, že bez ohľadu na výrobcu, značku, produkt, rok výroby alebo verziu softvéru budú všetky zariadenia Z-Wave navzájom kompatibilné. V dnešnej dobe sa Z-Wave vo veľkej miere používa v bezpečnostných systémoch a domácej automatizácii na ovládanie osvetlenia, kúrenia či elektronických zámkov. Z-Wave protokol je optimalizovaný pre spoľahlivú komunikáciu s nízkou odozvou s dátovým prenosom do 100 kb/s. Pracuje v pásme 900 MHz a podporuje topológiu sietí *mesh* bez potreby koordinátora. Umožňuje prepojenie až 232 zariadení.

Výhody:

- zariadenia Z-Wave sú navzájom kompatibilné,
- pracuje v pásme 900 MHz, eliminácia rušenia s 2,4 GHz pásmami (WiFi, Zigbee, Bluetooth),
- široká škála produktov na trhu,

- možnosť zväčšenia dosahu siete pripojením ďalších zariadení, každé zariadenie slúži ako repeater.

Nevýhody:

- Sigma Designs je jediný výrobca čipov Z-Wave,
- vyššia cena v porovnaní s Zigbee, WiFi a Bluetooth modulmi [14].

IQRF

IQRF je technológia vytvorená českými vývojármi a špecializovaná na rádiovú komunikáciu určenú pre úsporné a nízkorychlostné bezdrôtové aplikácie v nelicencovaných ISM frekvenčných pásmach 868/916/433 MHz, čo umožňuje dosah od desiatok do stoviek metrov. V praxi sa využíva na priemyselné riadenie strojov, automatizáciu budov a miest. IQRF používa vlastný komunikačný protokol IQMESH so sieťovou technológiou typu *mesh*. Základným komunikačným prvkom je koordinátor s podporou 239 uzlových zariadení. V súčasnosti je na trhu dostupná siedma generácia IQRF prijímačov/vysielačov označovaných ako TR-7xD, kde pozícia písmena „x“ uvádza typ použitého mikrokontroléra na DPS.

Výhody:

- pracuje v sub-GHz pásmach, eliminácia rušenia s 2.4 GHz pásmami (WiFi, Zigbee, Bluetooth),
- poskytuje vlastné vývojové prostredie (IQRF IDE) so vstavaným terminálom umožňujúcim priamu komunikáciu s mikroprocesorom cez rozhranie SPI a užívateľským rozhraním s možnosťou nastavenia bezdrôtovej siete bez nutnosti programovania.

Nevýhody:

- vyššia cena v porovnaní s Zigbee, WiFi a Bluetooth modulmi [15].

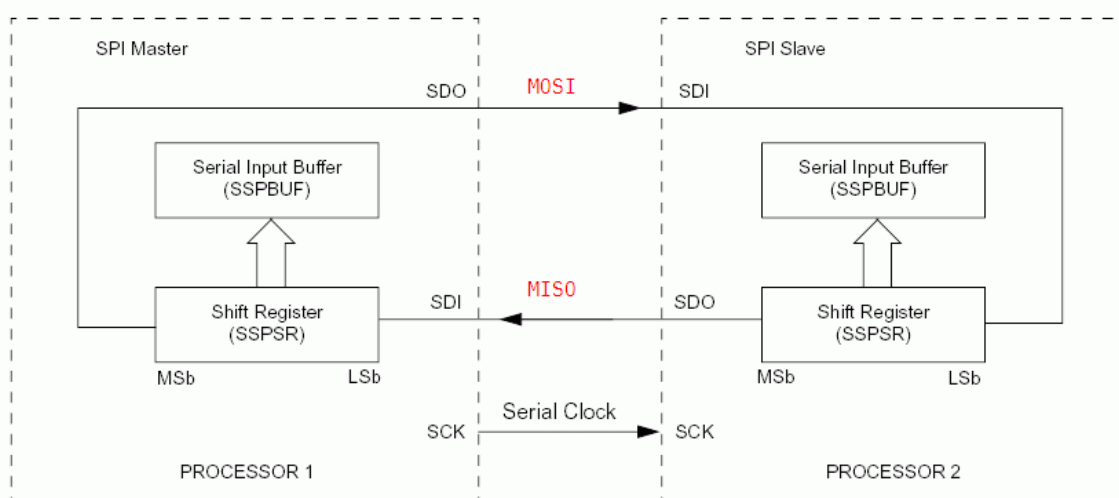
2.3 Sériové zbernice SPI a I²C

Sériové zbernice SPI a I²C sú nedeliteľnou súčasťou mnohých digitálnych zariadení. Ich obľúbenosť je podnietená jednoduchou implementáciou či už po stránke hardvérovej, alebo softvérovej. Obe zbernice umožňujú komunikáciu medzi dvomi či väčším počtom pripojených zariadení, čo je podstatný rozdiel napríklad oproti sériovému rozhraniu typu USART (Universal Synchronous/Asynchronous Receiver). Pre väčšinu účelov je rýchlosť zberníc viac než dostačujúca - SPI a I²C sú riadené hodinovým signálom, kde frekvencia v prípade SPI môže dosahovať 70 MHz (zvyčajne okolo 10 MHz) a v prípade I²C v najrýchlejšom móde 3,4 MHz [16].

Zbernica SPI

Zbernica SPI (Serial Peripheral Interface) je jedna z foriem sériových zberníc určených pre vzájomné prepojenie dvoch či viacerých komunikačných uzlov. SPI zariadenia sa rozdeľujú na typ *master* a *slave*. Uzol, ktorý pracuje ako *master*, obsahuje generátor hodinového signálu, ktorý je rozvádzaný do ostatných uzlov vodičom *SCK*. Okrem hodinového signálu sú uzly prepojené vodičmi *MISO* (Master In, Slave Out) a *MOSI*, pomocou ktorých sa obojstranne prenášajú dáta. Posledným signálom, ktorý sa používa

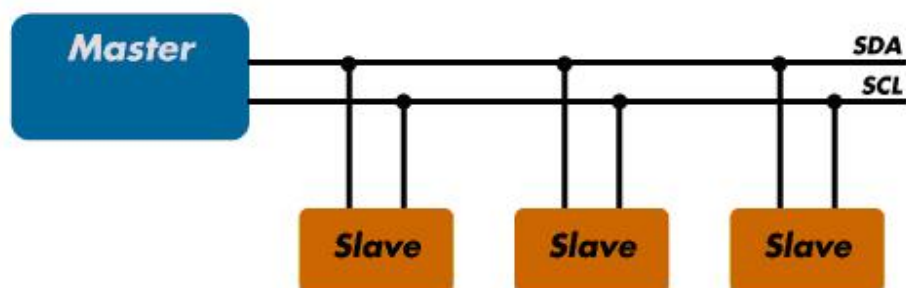
je signál *SS* (Slave Select), slúžiaci k výberu uzla pracujúceho v režime *slave*. Princíp komunikácie je znázornený na Obr. 2.7. V najjednoduchšom prípade obsahujú oba uzly dva registre - dátový register *SSPBUF* a posuvný register *SSPSR*. Do registra *SSPSR* je zapísaný bajt, ktorý je prijatý, ale ešte nie je spracovaný. Posuvný register *SSPSR* slúži súčasne k vysielaniu a prijímaniu jedného bitu z celej osmice bitov - každý posun doprava v tomto registre znamená, že sa vysunutý bit pošle na pin *SDO* (*MOSI* v prípade typu *master*) a naopak logická hodnota prečítaná na pine *SDI* (*MISO*) je zapísaná do najnižšieho bitu posuvného registra. Zbernica SPI sa používa pre komunikáciu s niektorými typmi pamätí EEPROM, LCD displejmi, hodinami reálneho času (RTC) či A/D a D/A prevodníkmi [16].



Obr. 2.7 Schéma komunikácie SPI (prevzaté z [16])

Zbernica I²C

Zbernica I²C (Inter-Integrated Circuit) je v určitých ohľadoch podobná zbernici SPI, avšak niektoré vlastnosti sú odlišné. Zbernica I²C je vybavená iba jedným dátovým vodičom *SDA*, z čoho vyplýva, že dáta sa prenášajú poloduplexne. Taktiež to znamená zložitejšiu štruktúru pripojených zariadení, pretože sa príslušné piny musia prepínať zo vstupného režimu do výstupného. Keďže I²C neobsahuje výber *slave* zariadení pomocou *SS* pinu, každý uzol má priradenú vlastnú adresu. V porovnaní s rozhraním SPI je I²C zložitejšia, ale flexibilnejšia zbernica [16].

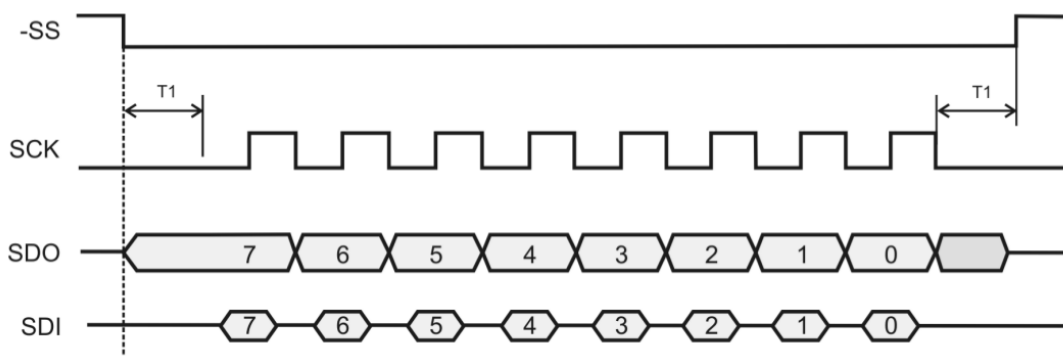


Obr. 2.8 Topológia zapojenia I²C zbernice (prevzaté z [16])

2.3.1 Rozhranie SPI v IQRF

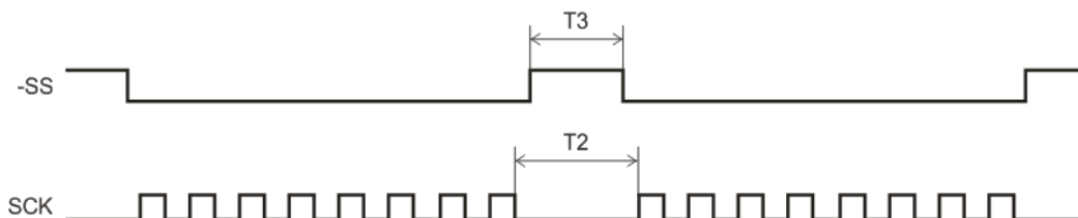
Modul IQRF komunikuje so zariadeniami cez zbernicu SPI ako *slave*. Úlohu *mastera* bude v našom prípade plniť čip BCM2835 na Raspberry Pi. Za normálnych podmienok SPI rozhranie beží na pozadí v plnej rýchlosti. V prípade, že modul práve spracováva RF pakety je rýchlosť znížená na polovicu [17].

Komunikácia je zahájená zmenou úrovne *SS* pinu na log. 0. Po nej musí nasledovať aspoň 10 μ s pauza (T_1) a *master* môže začať s odosielaním jednotlivých bajtov (viď Obr. 2.9).



Obr. 2.9 Časový priebeh signálov so zvýrazneným časovým oneskorením T_1 (prevzaté z [18])

Medzi odosielaním jednotlivých bajtov musí *master* počkať po dobu T_2 a deaktivovať *SS* pin (log. 1) aspoň na 20 μ s (T_3).



Obr. 2.10 Znáozornenie časov T_2 a T_3 medzi odosielaním jednotlivých bajtov (prevzaté z [18])

Čas T_2 je veľmi dôležitým parametrom v IQRF SPI komunikácii. RF komunikácia

má vyššiu prioritu než SPI, a preto pri spracovávaní paketov či RF rušení priamo ovplyvňuje rýchlosť SPI. V Tab. 2.1 je uvedený prehľad situácií a minimálnych časov oneskorenia pre zaistenie spoľahlivej komunikácie.

Tab. 2.1 Minimálne hodnoty časov T2 pre rozličné podmienky [18]

T2	Podmienky	
100 μ s	Žiadne procesy na pozadí	min.
500 μ s	Aktivita periférií (zápis do EEPROM, ...)	min.
700 μ s	SPI a RF RX bežia v rovnaký čas	min.

Rozhranie SPI je v systéme IQRF implementované ako stavový automat a rozoznáva 2 druhy paketov:

- test stavu SPI (SPI_CHECK),
- dátový paket (SPI_CMD).

Test stavu SPI uskutočníme odoslaním jedného bajtu s hodnotou 0x00. Možné odpovede SPI_STAT sú uvedené v nasledujúcej tabuľke z katalógového listu (Tab. 2.2).

Tab. 2.2 Prehľad možných odpovedí (SPI_STAT) na paket SPI_CHECK [18]

Hodnota HEX	SPI status
0x00	SPI vypnuté (deaktivované disableSPI() funkciou)
0x07	SPI pozastavené funkciou stopSPI()
0x3F	SPI nepripravené (zásobník plný, posledné CRC O.K.)
0x3E	SPI nepripravené (zásobník plný, chyba v poslednom CRC)
0x40 - 0x63	SPI dáta pripravené na prijatie
0x80	SPI pripravené - komunikačný mód
0x81	SPI pripravené - programovací mód
0x82	SPI pripravené - ladiaci mód
0xFF	SPI neaktívne - HW chyba

Paket určený na prenos dát má nasledujúci formát (Tab. 2.3):

Tab. 2.3 Formát dátového paketu pre IQRF SPI protokol [18]

SPI_CMD	PTYPE	DM1	DM2	...	DM _{SPIDLEN}	CRCM
SPISTAT	SPISTAT	DS1	DS2	...	DS _{SPIDLEN}	CRCS

Prvým odosielaným bajtom pri dátovej komunikácii s IQRF je bajt SPI_CMD. V našom prípade pri požiadavke prijať/odoslať dáta má bajt SPI_CMD hodnotu 0xF0. Za ním pokračujeme odoslaním bajtu PTYPE, ktorého štruktúra je uvedená v Tab. 2.4. Bity SPIDLEN uvádzajú dĺžku odosielanej správy v bajtoch (od 1 do 64) a bit CTYPE zasa režim komunikácie. Ďalej už nasledujú samotné dáta a CRC, ktoré *master* spočíta ako:

$$\text{SPI_CMD} \text{ xor } \text{PTYPE} \text{ xor } \text{DM1} \text{ xor } \text{DM2} \dots \text{ xor } \text{DM}_{\text{SPIDLEN}} \text{ xor } 0x5F .$$

Tab. 2.4 Štruktúra bajtu PTYPE [18]

b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
CTYPE	SPIDLEN						

2.4 Použité moduly

Táto kapitola uvádza technické parametre a stručne popisuje použité moduly umiestnené na rozširujúcej doske pre Raspberry Pi Zero W.

2.4.1 Modul Diymore BME280

Doska modulu (Obr. 2.11) je osadená čipom BME280 od výrobcu Bosch, ktorý je primárne vyvinutý pre mobilné aplikácie, kde kľúčovými požiadavkami sú malá veľkosť a nízka spotreba.

Čip BME280 obsahuje:

- senzor teploty (rozsah 0 - 65 °C, s presnosťou ± 0.5 °C pri $T = 25$ °C a ± 1 °C v plnom rozsahu 0 - 65 °C),
- senzor pre meranie relatívnej vlhkosti vzduchu (rozsah 0 – 100 %, s presnosťou ± 3 %),
- senzor pre meranie tlaku vzduchu (rozsah 300 - 1100 hPa, s presnosťou ± 1 hPa).

Modul je možné napájať napätím v rozmedzí 1,8 – 5 V a komunikuje s mikrokontrolérom prostredníctvom rozhrania I²C. Na doske modulu sa nachádzajú taktiež pull-up rezistory pripojené ku zbernici I²C, preto ich nie je potrebné zahrnúť do návrhu rozširujúcej dosky [19].



Obr. 2.11 Diymore BME280 (prevzaté z [20])

2.4.2 Modul IQRF TR-52DA

Modul TR-52DA (Obr. 2.12) je rádiový modul od výrobcu IQRF. Doska o rozmeroch 31.8 mm x 14.9 mm sa vkladá do držiaku pre SIM karty a obsahuje transceiver MRF49XA, napäťový regulátor MCP1700, a mikrokontrolér od výrobcu Microchip s označením PIC16LF1938, ktorý plní riadiacu funkciu celého systému. Mikrokontrolér obsahuje 10-bitový A/D prevodník a komunikuje pomocou rozhraní I²C, SPI a USART [21].



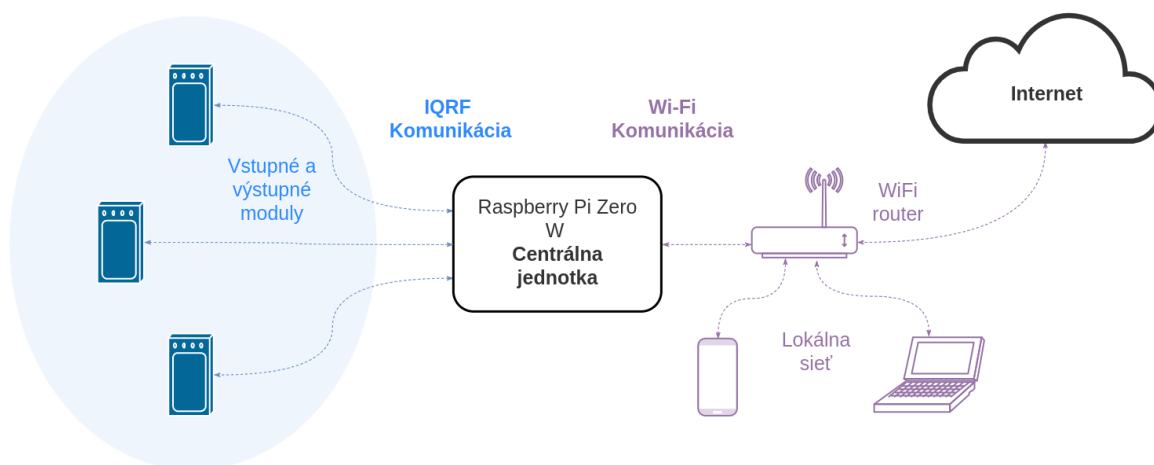
Obr. 2.12 IQRF TR-52DA (prevzaté z [21])

3 NÁVRH RIADIACEJ JEDNOTKY

Nasledujúca kapitola bude popisovať návrh riadiacej jednotky pre inteligentnú domácnosť. Opodstatnený bude výber použitých súčiastok, problematika návrhu softvérového riešenia a predstavený bude aj návrh webového užívateľského prostredia.

3.1 Cieľ práce

Cieľom práce je navrhnuť a skonštruovať riadiacu jednotku modernej domácnosti využívajúcu technológie WiFi a IQRF, vid' model komunikácie na Obr. 3.1. Hlavnou úlohou riadiacej jednotky bude spravovať komunikáciu medzi koordinátorom a externými modulmi, a umožňovať užívateľovi nastavovať akcie po zmene stavu v sieti (stlačenie tlačidla, prekročenie teploty). Taktiež bude poskytovať aktuálne údaje o teplote, vlhkosti a tlaku vzduchu, merané modulom BME280, s možnosťou zaznamenávania dát do databázy v pravidelnom intervale. Riadiaca jednotka dostala názov PALM (z angl. prekladu dlaň), v súvislosti s frazeologizmom „domácnosť na dlani“.

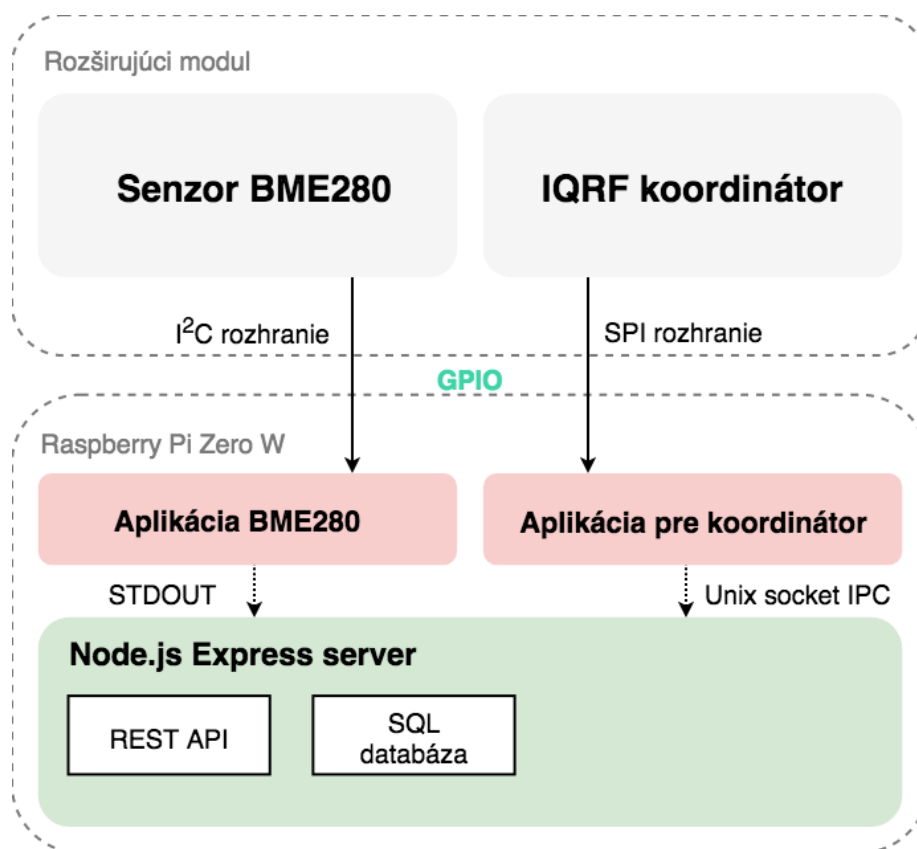


Obr. 3.1 Model komunikácie

3.2 Jadro systému

Základom riadiacej jednotky je jednodoskový počítač Raspberry Pi Zero W s operačným systémom Raspbian Jessie Lite, ktorý bol zvolený vzhľadom na širokú užívateľskú základňu. Raspbian Jessie Lite je založený na platforme Debian a je orezanou verziou Raspbianu s absenciou grafického užívateľského prostredia. Na GPIO konektor Raspberry Pi bude pripojená rozširujúca doska obsahujúca senzor BME280, ktorý komunikuje prostredníctvom zbernice I²C, a modul IQRF vo funkcii koordinátora komunikujúceho pomocou príkazovej sady cez rozhranie SPI. Výhodou modulu BME280 je prítomnosť až troch senzorov v jednom čipe a kalibračné hodnoty pre každé veličiny zapísané v registroch. Výber modulu IQRF bol zvažovaný na základe implementácie používateľsky prívetivého vývojárskeho prostredia a hardvérového

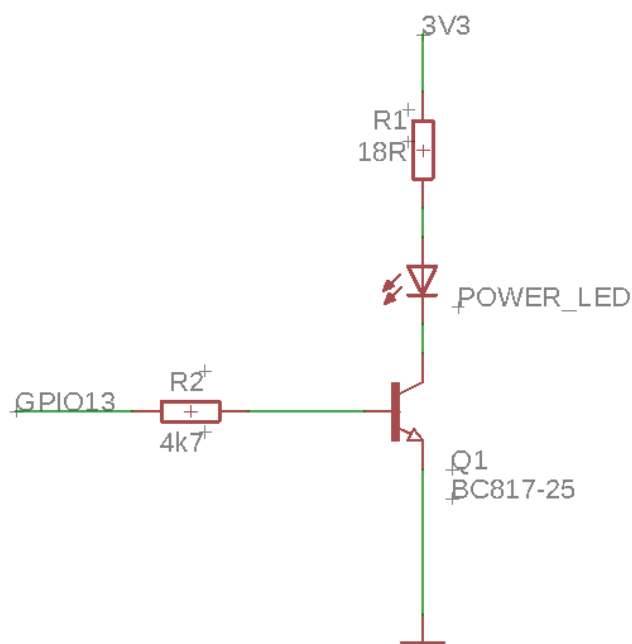
spracovania s malými rozmermi dosky a integrovanou anténou. Na Obr. 3.2 je znázornená bloková schéma riadiacej jednotky.



Obr. 3.2 Bloková schéma riadiacej jednotky

3.3 Návrh rozširujúceho GPIO modulu

Rozširujúci modul plní hlavnú úlohu v tom, že umožňuje pripojiť IQRF modul a BME280 senzor k perifériám Raspberry Pi prostredníctvom GPIO konektoru. Ďalej bola pridaná LED (Light-Emitting Diode) pre signalizáciu činnosti serveru a dve tlačidlá, slúžiace pre bezpečné vysunutie IQRF modulu a reštart serveru. Vzhľadom na veľkosť schémy, jednotlivé bloky sú rozdelené do obrázkov, ktoré sú popísané nižšie.



Obr. 3.3 Schéma pripojenia signalizačnej LED

Na Obr. 3.3 je znázornená schéma zapojenia LED na rozširujúcej doske. Z katalógového listu LED boli získané parametre dôležité pre výpočet predradného rezistora: $U_{D(MAX)} = 3,6 \text{ V}$, $I_{D(MAX)} = 30 \text{ mA}$ [22]. Keďže sa jedná o maximálne hodnoty, pre naše výpočty boli zvolené hodnoty $U_D = 3 \text{ V}$, $I_D = 15 \text{ mA}$. Napájanie $U_{CC} = 3,3 \text{ V}$ poskytuje vstavaný stabilizátor na doske Raspberry Pi, ktorý má vyvedený výstup na GPIO konektore.

Podľa nasledujúceho vzťahu:

$$R1 = \frac{U_{CC} - U_D}{I_D}, \quad (3.1)$$

bola vypočítaná veľkosť rezistora, ktorá činila 20Ω . Z rady E12 bol vybraný rezistor približne zodpovedajúci našej hodnote, $R1 = 18 \Omega$. Po spätnom prepočte je prúd tečúci LED $I_D \approx 17 \text{ mA}$. Tranzistor Q1 slúži ako spínač, ktorý pri log. 1 (v našom prípade $U_{GPIO13} = 3,3 \text{ V}$) zopne signalizačnú LED. Pre výpočet bázového rezistora R2 bolo potrebné stanoviť hodnotu prúdu I_{B1} , tečúceho do bázy tranzistora. Ten bol vypočítaný podľa vzťahu:

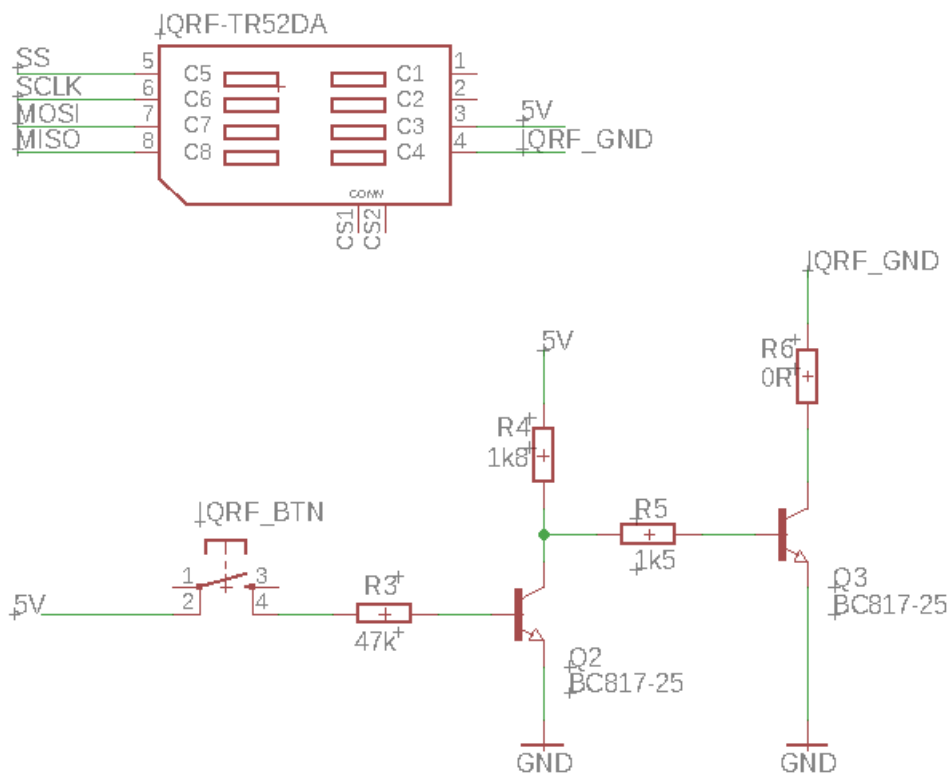
$$I_{B1} = \frac{I_D}{h_{FE}}. \quad (3.2)$$

Pre činiteľ zosilnenia tranzistora bola použitá hodnota $h_{FE} = 150$ [23]. Hodnota bázového prúdu po vypočítaní je však najmenšia možná použiteľná hodnota, pri ktorej bude tranzistor zopnutý. Pre prax sa používa hodnota 3 až 5-krát väčšia, v našom

prípade $I_{B1} = 5 * 0,113 \text{ mA} \approx 0,57 \text{ mA}$. Veľkosť bázového rezistora $R2 \approx 4649 \Omega$ bola určená podľa vzťahu:

$$R2 = \frac{U_{\text{GPIO } 13} - U_{\text{BE}}}{I_{B1}}. \quad (3.3)$$

Najbližšia hodnota z rady E12 tak odpovedá rezistoru $4,7 \text{ k}\Omega$. Za napätie U_{BE} bola dosadená hodnota $0,65 \text{ V}$ [23].



Obr. 3.4 Schéma zapojenia tlačidla pre bezpečné odpojenie IQRF modulu

Na Obr. 3.4 je zobrazená schéma zapojenia obvodu pre tlačidlo, slúžiace na bezpečné vysunutie IQRF modulu zo SIM konektora. Pri stlačení tlačidla sa zopne tranzistor Q2, čo spôsobí, že tranzistor Q3 sa dostane zo uzavretého stavu. Uzavretím tranzistora Q3 dôjde k odpojeniu modulu IQRF od zeme. Výpočty odporov prebiehali podobne ako u predchádzajúcej schémy. V katalógovom liste pre IQRF je uvedené, že maximálny odoberaný prúd IQRF modulu sa pohybuje okolo hodnoty 30 mA [21]. Pre naše účely sme počítali s hodnotou $I_{C3} = 40 \text{ mA}$. Z toho sme podľa nasledujúcej rovnice:

$$I_{B3} = \frac{I_{C3}}{h_{FE}} \quad (3.4)$$

vypočítali prúd $I_{B3} \approx 5 * 0,267 \text{ mA} \approx 1,333 \text{ mA}$, potrebný na zopnutie tranzistora Q3. Vzhľadom na rovnaký typ tranzistora, za parameter h_{FE} bola dosadzovaná hodnota 150, za napätie U_{BE} hodnota 0,65 V a v tomto prípade napájanie U_{CC} poskytovala 5 V vetva z GPIO konektora. Podľa vzťahu:

$$R_{45} = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{I_{B3}} \quad (3.5)$$

bol určený sériový odpor rezistorov R4 a R5, $R_{45} \approx 3263 \text{ } \Omega$. Rezistor R4 limituje prúd tečúci kolektorom tranzistoru Q2 a tým aj citlivosť tranzistora. Zvolením hodnoty $R4 = 1,8 \text{ k}\Omega$ potečie kolektorom podľa vzťahu:

$$I_{C2} = \frac{U_{CC}}{R4} \quad (3.6)$$

prúd $I_{C2} \approx 2,778 \text{ mA}$. Rezistor R5 bol dopočítaný do koncovej hodnoty $3263 \text{ } \Omega$ a z rady E12 bola vybraná najbližšia hodnota $R5 = 1,5 \text{ k}\Omega$. Pre stanovenie bázevého prúdu I_{B2} pre tranzistor Q2 bol použitý vzťah:

$$I_{B2} = \frac{I_{C2}}{h_{FE}}, \quad (3.7)$$

kde výsledný prúd $I_{B2} \approx 5 * 0,019 \text{ mA} \approx 0,1 \text{ mA}$. Na záver sme dopočítali odpor rezistora R3, ktorý je určený vzťahom:

$$R3 = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{I_{B2}}, \quad (3.8)$$

a pre jeho výslednú hodnotu $R3 \approx 45789 \text{ } \Omega$ bol z rady E12 zvolený rezistor $R3 = 47 \text{ k}\Omega$.

3.4 Návrh softvérovej architektúry

Pri navrhovaní vhodnej štruktúry aplikačnej vrstvy bola hlavná myšlienka sústredená na modularitu celého systému. Preto sú jednotlivé aplikačné časti rozdelené do viacerých procesov, kde každá aplikácia je písaná v programovacom jazyku, ktorý bol zvolený ako najvhodnejší pre riešenie danej problematiky. Hardvérová časť je programovaná v jazyku C, pomocou ktorého priamo pristupujeme k perifériám čipu BCM2835 na Raspberry Pi. Zvyšná serverová časť je písaná v prostredí Node.js, v jazyku JavaScript, s využitím, v súčasnej dobe, najrozšírenejšieho frameworku Express. Databázovú službu poskytuje relačná databáza SQLite3. Proces výmeny dát

medzi jednotlivými časťami zaobstaráva komunikácia prostredníctvom *Unix domain socket* a *standard streams* (stdout, stdin, stderr). Štruktúru aplikačnej vrstvy bolo možné vidieť na blokovej schéme riadiacej jednotky na Obr. 3.2.

3.4.1 Obslužný program pre koordinátor

Pre komunikáciu koordinátora s externými modulmi bola navrhnutá príkazová sada umožňujúca adresovanie jednotlivých pripojených zariadení v IQRF sieti. Prvý bajt príkazu určuje typ požiadavky, ďalšie bajty v poradí dodatočné parametre (viď Obr. 3.5). Bližší popis návrhu komunikácie je popísaný v bakalárskej práci Mikuláša Ponechala.

Typy príkazov:

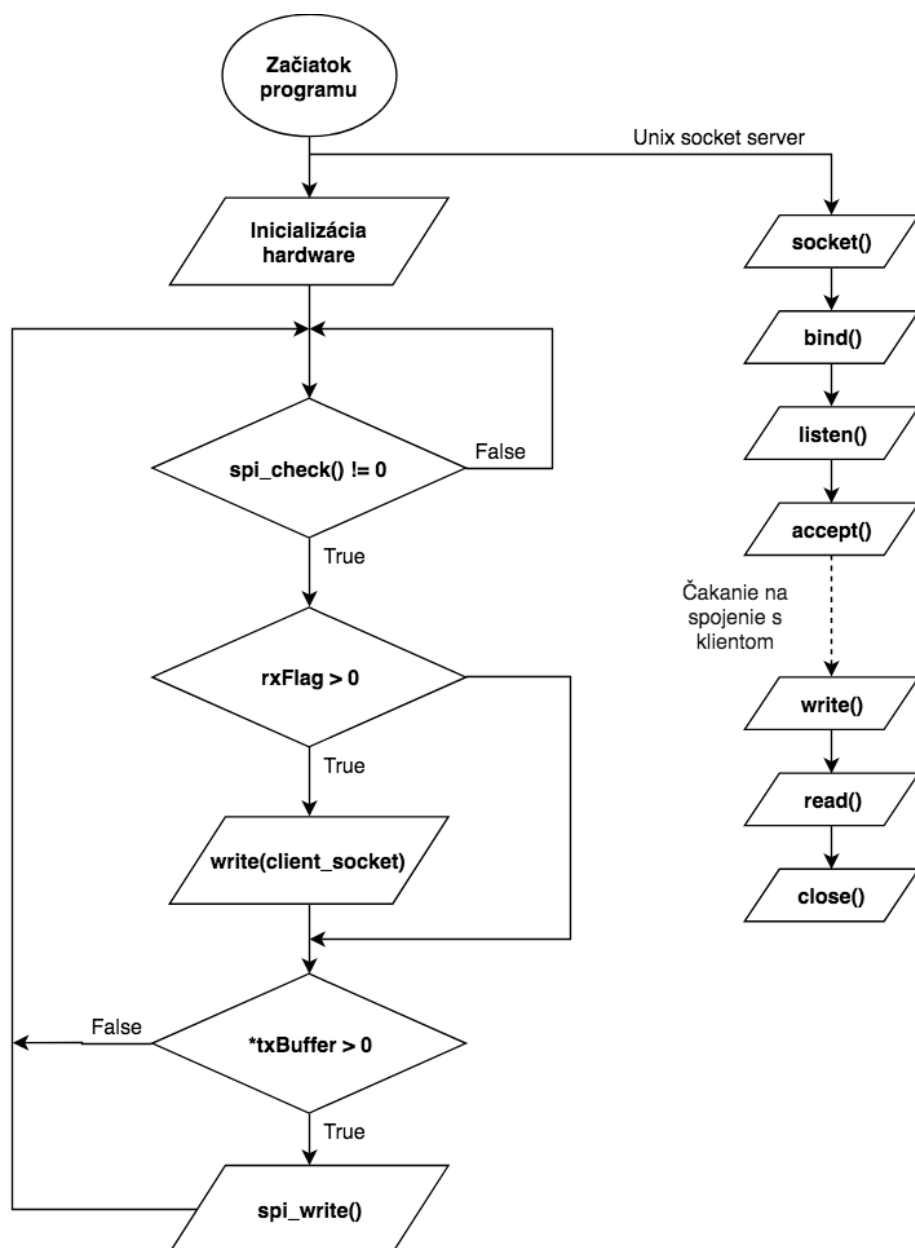
- ,b‘ - spustenie bondovania,
- ,u‘ – odbondovanie zariadenia,
- ,d‘ - typ príkazu "discovery", požiadavka na aktuálny počet aktívnych zariadení,
- ,?‘ - získanie adresy a unikátneho kľúča z naposledy bondovaného zariadenia,
- ,c‘ - typ príkazu "control", umožňuje interakciu s externými zariadeniami.

<príkazový_bajt>.<adresa_zariadenia>.<akcia_pre_zariadenie>

Obr. 3.5 Stavba dátového paketu pre koordinátor

Aplikačná nadstavba pre komunikáciu koordinátora bola vytvorená v prostredí programovacieho jazyka C. Pre systém asynchrónneho riadenia bolo potrebné vytvoriť multithread (viacvláknovú) aplikáciu, ktorá v reálnom čase plní funkciu IPC (Inter-Process Communication) servera pre výmenu dát s externým procesom (Node.js) a v druhom vlákne každých 10 ms kontroluje stav SPI, pre výmenu dát medzi zariadeniami. Pre lepšie pochopenie problematiky je uvedený algoritmus programu na Obr. 3.6.

Poznámka: asynchrónne riadenie sa týka komunikácie externého procesu so serverom, SPI komunikácia je vždy synchrónna.



Obr. 3.6 Algoritmus obslužného programu pre koordinátor

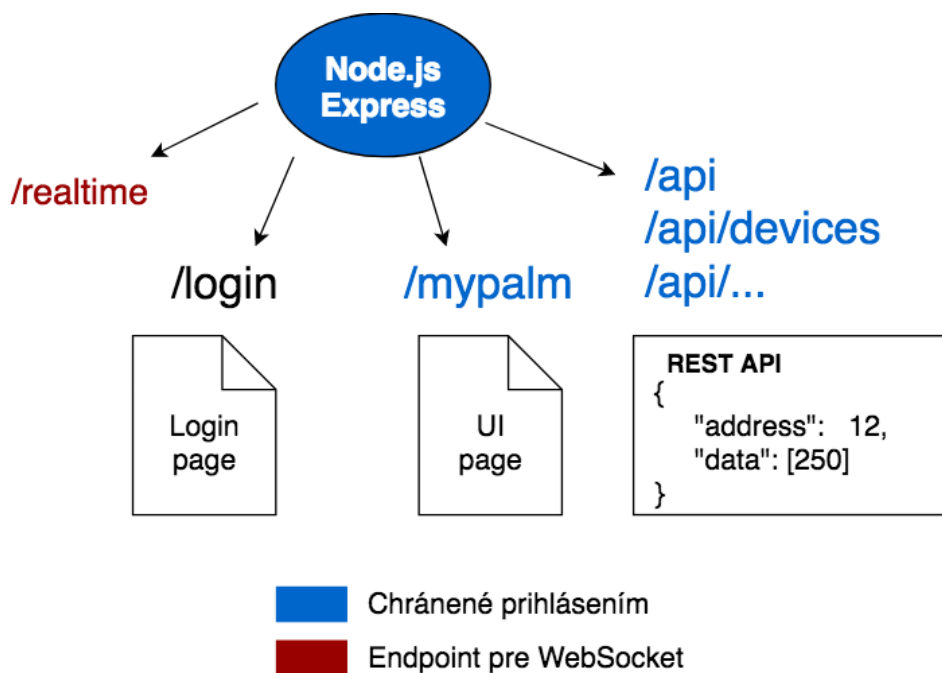
3.4.2 Obslužný program pre senzor BME280

Program pre získavanie dát zo senzoru BME280 bol prevzatý z Git repozitára [24]. Aplikácia adresuje zariadenie prostredníctvom I²C, vyčíta dáta z registra 0x88, aplikuje teplotné koeficienty a výsledné hodnoty vypíše do konzoly (stdout), v našom prípade sú dáta prijaté serverovou aplikáciou. Jediná úprava ktorá prebehla, bola zmena formátu výstupných hodnôt do štandardu JSON (JavaScript Object Notation) pre jednoduchšiu syntaktickú analýzu (parsing) v prostredí Node.js.

3.4.3 Serverová časť softvéru

Ako bolo už vyššie spomenuté, serverová časť softvéru (back-end), bola vyvinutá

v prostredí Node.js v programovacom jazyku JavaScript. Hlavným základom back-endu je framework Express ktorý zabezpečuje správu HTTP žiadostí a poskytuje prístup ku statickým súborom webovej stránky užívateľského rozhrania. Na Obr. 3.7 je uvedený prehľad poskytovaných endpointov (koncových častí URL adries). Ako môžeme vidieť, endpointy „/mypalm“ a „/api/...“ sú označené ako chránené, čo znamená, že pred ich navštívením je potrebné prihlásenie na adrese „/login“. Trasa „/api“ obsahuje viacero subendpointov pomenovaných podľa jednotlivých služieb ktoré poskytujú.

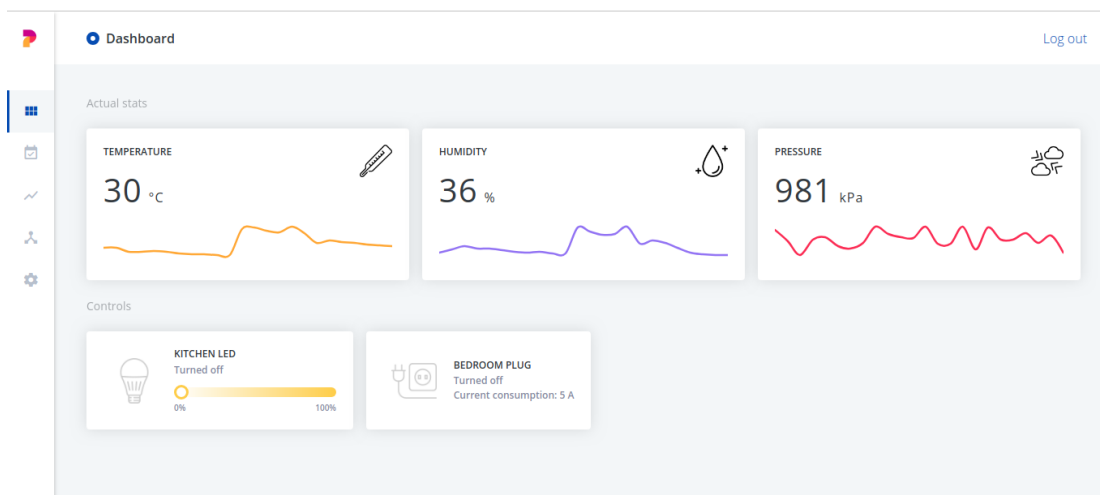


Obr. 3.7 Schéma poskytovaných serverových endpointov

Ukladanie dát zabezpečuje relačná databáza SQLite3, ktorá bola zvolená hlavne pre nízke nároky na hardware bez nutnosti spúšťania serveru v pozadí (server-less).

3.4.4 Užívateľské rozhranie

Užívateľské rozhranie (UI - User Interface) musí spĺňať tú najdôležitejšiu úlohu riadenia domácnosti, ktorou je stručne a prehľadne informovať o stave domácnosti. Pre rýchlu odozvu bol pri vývoji užívateľského prostredia použitý framework od spoločnosti Facebook – React.js. Ten umožňuje dynamické renderovanie prvkov na jednej webovej stránke – SPA (Single Page Application). Všetky ukážky webového rozhrania sú uvedené v prílohe A.

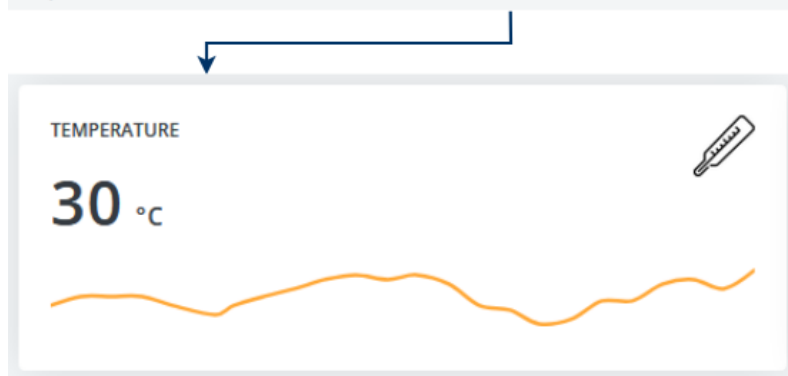


Obr. 3.8 Základné rozhranie - Dashboard, umožňuje sledovanie aktuálnych nameraných hodnôt a ovládanie zariadení prostredníctvom widgetov

3.5 Zobrazovanie aktuálnych hodnôt zo senzora

V kapitole 3.4.2 bol popísaný spôsob získania dát zo senzora BME280. Z dôvodu odľahčenia servera od častých HTTP žiadostí o nové dáta zo senzora, bola implementovaná komunikácia cez WebSocket. Ten umožňuje obojstrannú komunikáciu serverovej časti s klientským rozhraním prostredníctvom surových dát a event-driven architektúry (EDA). Server v pravidelných, užívateľom nastavených intervaloch odosiela namerané hodnoty cez WebSocket po pripojení klienta a zároveň ich ukladá do databázy.

```
const websocket = new WebSocket("ws://localhost:3000/realtime");
websocket.addEventListener("message", (msg) => {
  // Zobrazenie nových hodnôt
});
```



Obr. 3.9 Časť klientskeho kódu obsluhujúca WebSocket

Klientská časť kódu sa pripája na WebSocket server a nastavuje funkciu, ktorá sa vykoná po prijatí nových dát, v našom prípade je to aktualizácia hodnôt v užívateľskom prostredí.

3.6 Proces pripájania nových zariadení do siete

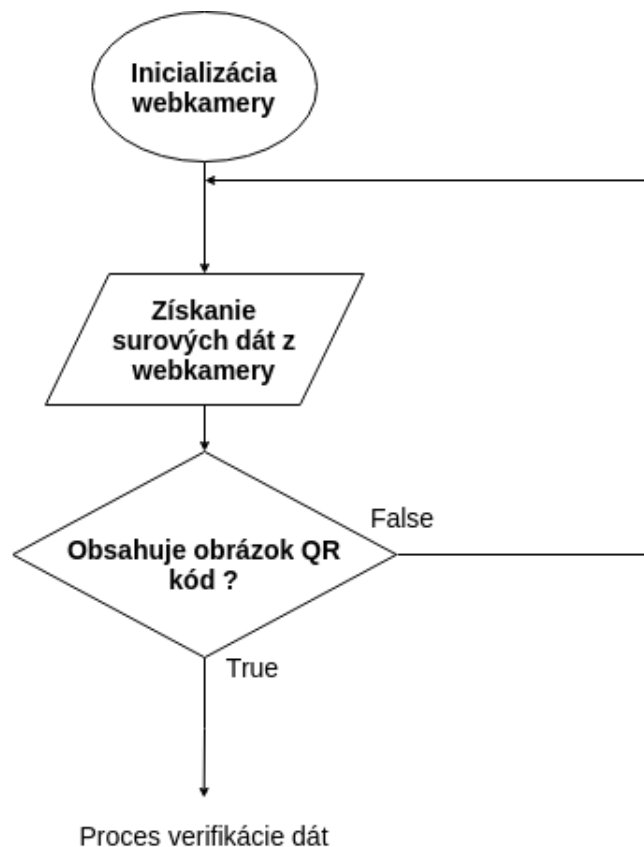
Pre uľahčenia procesu pridávania nových zariadení do siete, bol implementovaný systém čítania QR kódov z webkamery počítača. Jednotlivé zariadenia disponujú priloženým QR kódom, obsahujúcim informácie o zariadení ako sú:

- typ,
- modelový názov,
- výrobca,
- unikátny kľúč.

Práve unikátny kľúč plní najdôležitejšiu funkciu pri verifikácii pravosti pripájaných zariadení a zabraňuje bondovaniu neautorizovaných zariadení do siete. V nasledujúcich podkapitolách budú popísané jednotlivé kroky autorizácie nového zariadenia.

3.6.1 Skenovanie QR kódu

Úlohou tejto časti je získať dáta z QR kódu prostredníctvom webkamery. Túto funkciu plní knižnica jsQR ktorá spracúva surové dáta (*raw* formát) obrázku a vracia objekt obsahujúci zakódované dáta. Keďže však využívame skenovanie v reálnom čase, je potrebné pravidelné získavanie obrázkov z webkamery, tzv. polling. Pre spoľahlivosť skenovania plno dostačuje interval 500 ms. Na získanie surových dát z obrázku sa využíva Canvas API implementovaný v HTML5. Obr. 3.10 zobrazuje použitý algoritmus.



Obr. 3.10 Algoritmus čítania QR kódu

3.6.2 Verifikácia dát

Po úspešnom naskenovaní QR kódu nasleduje verifikácia dát. Verifikácia prebieha ako na klientskej, tak na serverovej časti. V prvom prípade sú dáta z QR kódu testované či sú v správnom formáte – JSON. Formát JSON je definovaný páromi kľúč - hodnota a pre naše účely musí obsahovať parametre: *type*, *model*, *manufacture* a *key* (viď Obr. 3.11). Ak sú dáta v inom formáte alebo neobsahujú požadované parametre, verifikácia je neúspešná a užívateľ je vyzvaný na opakované skenovanie QR kódu.



Obr. 3.11 Štruktúra dát QR kódu

Kľúč *key* QR dát obsahuje reťazec vygenerovaný kryptografickým šifrovaním HMAC s algoritmom SHA-256 a veľkosťou 64 bajtov. Pre jeho vytvorenie bol použitý

vstavaný Node.js modul *crypto*:

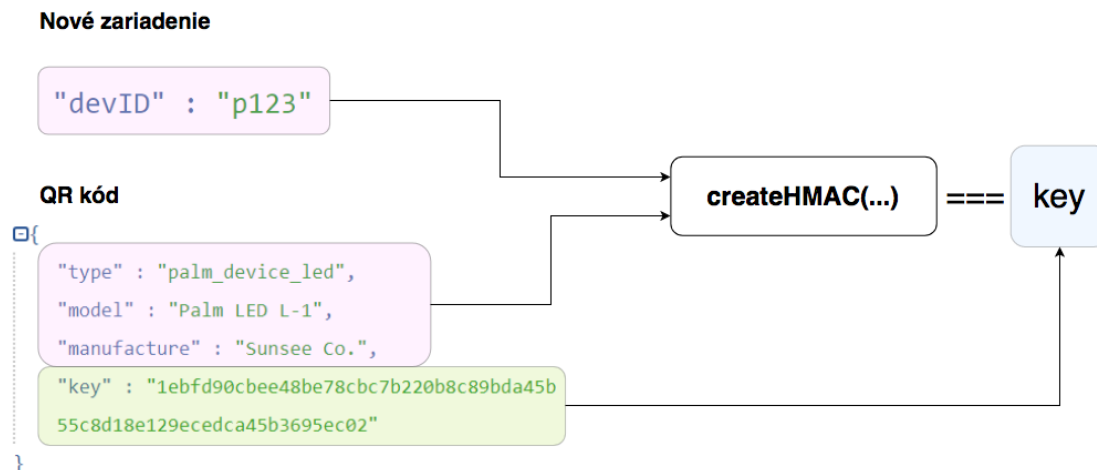
```
const SECRET = 'SUNSEE'; //Tajne heslo
const hashKey = crypto.createHMAC('sha256', SECRET)
    .update(type + model + manufacture + dev_key)
    .digest('hex');
```

Ako môžeme vidieť na ukážke kódu, knižnica *crypto* používa pre vytvorenie zašifrovaného reťazca tzv. method chaining – reťazenie metód, kde vratnou hodnotou metód `createHMAC()`, `update()` je objekt obsahujúci ďalšie metódy. Metóda `createHMAC()` nastavuje typ algoritmu SHA-256 a ako druhý parameter akceptuje heslo, prostredníctvom ktorého je reťazec šifrovaný. V našom prípade je argumentom konštanta `SECRET`, obsahujúca tajné heslo uložené výlučne iba serveri. Návratovou hodnotou je objekt obsahujúci ako už nastavené dáta, tak aj metódu `update()`, ktorá v reťazení pokračuje ako druhá. Volaná metóda `update()` aktualizuje šifru o nami poskytnuté dáta a môže byť v reťazení použitá viackrát za sebou (napr. v prípade streamovania zašifrovaných dát). Argument, ktorý metóde predávame, je jeden reťazec spojený zo štyroch reťazcov – informácií o zariadení (*type*, *model*, *manufacture*) a unikátneho ID zariadenia (*devID*). Unikátne ID je uložené iba v pamäti zariadenia. Výsledný reťazec je preberaný metódou `digest()`, ktorej úlohou je vypočítať šifru a uložiť ju do konštanty `hashKey` s daným enkódovaním – v našom prípade je reťazec vo formáte HEX.

Po úspešnom testovaní štruktúry dát sú dáta odosielané na endpoint servera - `/api/devices/bond`. Server postupuje v nasledujúcich krokoch:

- spustenie bondovanie – odoslanie príkazu „b“ do koordinátora,
- požiadanie o získanie ID zariadenia – odoslanie príkazu „?“ do koordinátora,
- znovuzostavenie zašifrovaného reťazca – dáta z QR kódu uvádzajúce typ, model a výrobcu sú zakódované spolu so získaným ID prostredníctvom modulu *crypto*.
- porovnanie vytvoreného kľúča s kľúčom *key* z QR kódu (viď Obr. 3.12).

Ak je novovytvorený kľúč zhodný s kľúčom z QR kódu, verifikácia prebehla úspešne, v opačnom prípade je zariadenie automaticky odbondované.

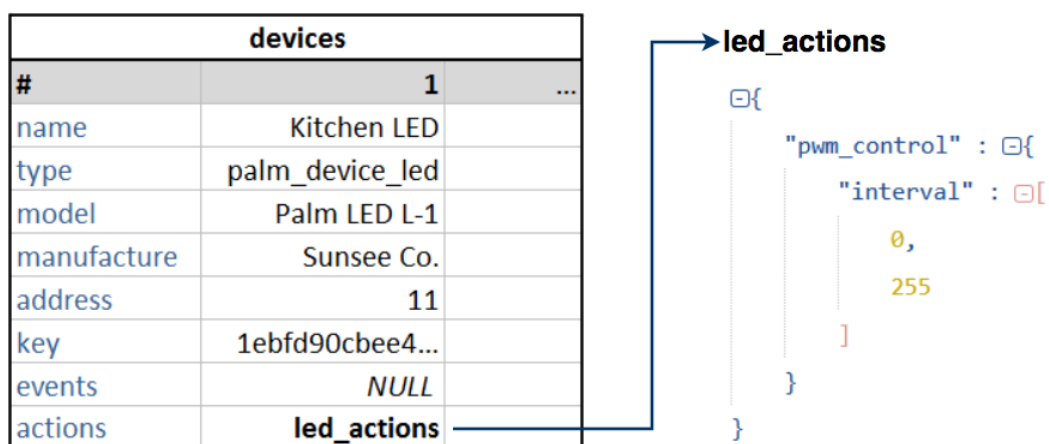


Obr. 3.12 Schéma verifikácie zariadenia

3.6.3 Pridanie zariadenia do databázy

Po úspešnej verifikácii je užívateľ vyzvaný aby potvrdil pridanie zariadenia do databázy. Zariadenia sa pridávajú do tabuľky *devices*, obsahujúcej všetky údaje o zariadení spolu s poľami *events* a *actions*, ktoré odkazujú na zoznam možných odosielaných stavov a podporovaných príkazov (viď Obr. 3.13). Objekty sú priradované k poľam *events* a *actions* podľa typu zariadenia. Pre uvedenie príkladu, podľa poľa *type* server rozozná, že ide o zariadenie typu *led*, ktorému prislúcha objekt akcií *led_actions*. Rovnakou analógiou priraďujeme: *palm_device_plug* → *plug_actions*, *plug_events*, *palm_device_btn* → *btn_events*.

Poznámka: Polia *events* pri type *led* a *actions* pri type *btn* budú vždy prázdne, nakoľko LED modul nevykonáva žiadne zmeny v sieti, iba reaguje na príkazy, a tlačidlový modul nereaguje na žiadne príkazy, iba odosiela stav.



Obr. 3.13 Uloženie zariadenia v databáze a vzájomné prepojenie s objektom akcií

3.7 Ovládanie externých modulov

Ovládanie externých zariadení obsluhuje aplikačná nadstavba pre koordinátor. Koordinátor odosiela paket zostavený z príkazového bajtu "c", za ktorým nasleduje adresa daného zariadenia a bajt pre vykonanie požadovanej akcie (vid' Obr. 3.14). Medzi ovládateľné zariadenia patrí LED modul a zásuvkový modul. Externé tlačidlo slúži iba ako exekútor udalosti, t. j. po stlačení odosiela svoj stav do riadiacej jednotky.



Obr. 3.14 Príklad riadiaceho paketu

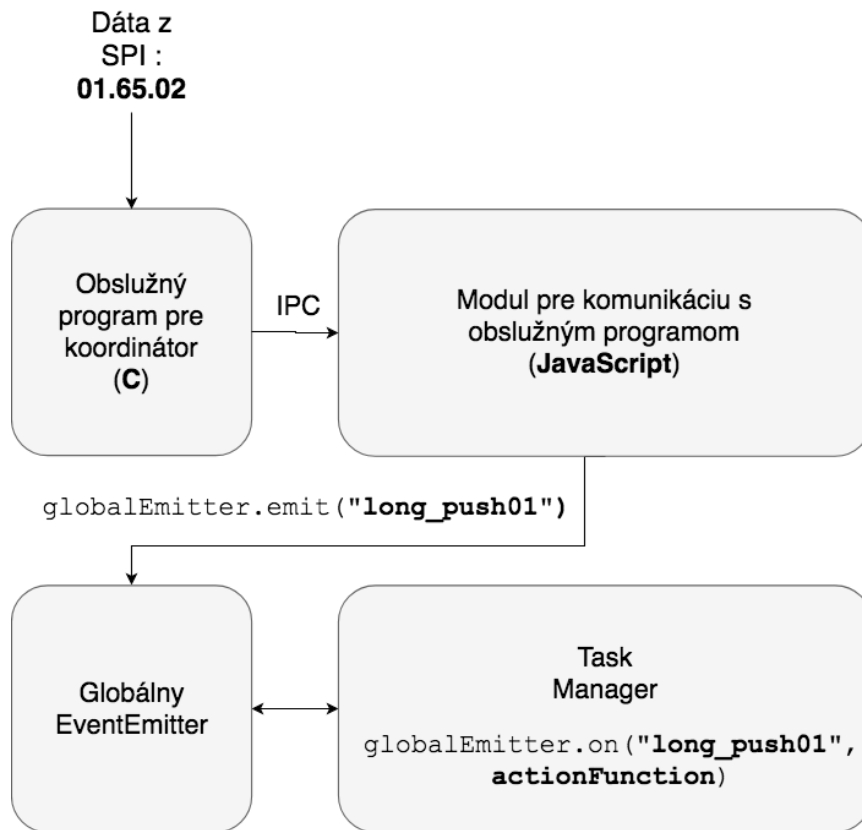
Zoznam riadiacich príkazov je uvedený v Tab. 3.1.

Tab. 3.1 Prehľad príkazov a udalostí externých modulov

Modul	Príkazy	Udalosti
Zásuvka	0x00 - vypnutá 0x01 - zapnutá 0x02 - meranie prúdu	Dáta z A/D prevodníka (ADRESH 0x00 - 0xFF, ADRESL - 0x00 - 0xFF)
LED svetidlo	0x00 - 0xFF (PWM)	
Tlačidlo		Krátke stlačenie - 0x01 Dlhé stlačenie - 0x02

3.8 Systém Event-Action

Systém programovania vlastných funkcií umožňuje užívateľovi neobmedzenosť v konfigurácii a adaptácii jednotlivých prvkov pri riadení domáceho ekosystému. Práve implementácia EDA v prostredí Node.js nabáda k vytvoreniu globálnej inštancie EventEmittera, ktorý slúži na zachytávanie a zároveň emitovanie udalostí naprieč aplikáciou. Pre priblíženie problematiky je na Obr. 3.15 uvedená schéma toku dát od počiatočného prijatia údajov cez SPI po realizovanie naprogramovanej funkcie.

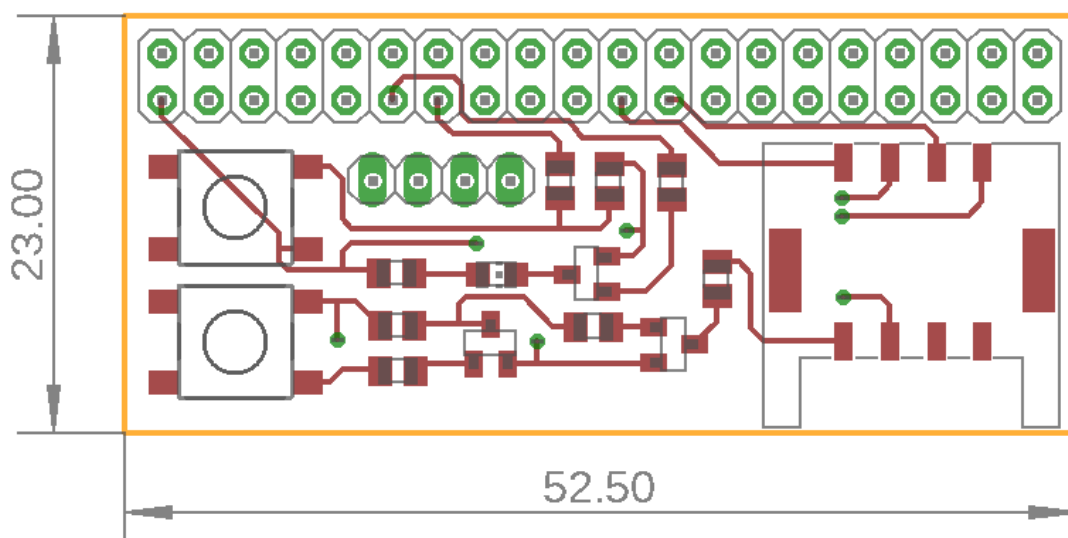


Obr. 3.15 Tok dát medzi jednotlivými modulmi po prijatí dát z SPI

Dáta z koordinátora prijímané obslužným programom sú odosielané do aplikačnej nadstavby v JavaScripte, ktorá plní funkciu modulu pre server a analyzuje prijaté dáta. Ten má za úlohu zistiť či prichádzajúce dáta sú iba potvrdzujúcou odpoveďou na predošlý príkaz od koordinátora, napr. 0x11 - O.K. alebo 0xFF - Error, alebo obsahujú dáta charakterizujúce novú udalosť v systéme (0x65 - 'e' na mieste druhého bajtu v package). Nasleduje vyextrahovanie údajov z ktorých je možné určiť typ zariadenia a podľa toho aj príslušný typ udalosti. Udalosť je ďalej odoslaná do EventEmitteru, na ktorý už sú napojené jednotlivé naprogramované funkcie, tzv. *tasky*.

4 KONŠTRUKCIA A TESTOVANIE

Návrh elektrických schém a dosiek plošných spojov bol vytvorený programom EAGLE. Po konzultácii návrhov s vedúcim bakalárskej práce bol vytvorený multipanel spolu s doskami kolegu Mikuláša Ponechala a vyexportované dáta odoslané do spoločnosti GATEMA, kde prebehla výroba plošných spojov. Súčiastky boli osadené do spájkovacej pasty použitím osadzovacieho poloautomatu a spájkované pretavením v školskom laboratóriu. Súčiastky ako GPIO konektor a doska senzora BME280 boli dodatočne prispájkované ručne.



Obr. 4.1 Vrstva TOP návrhu rozširujúceho GPIO modulu

Po osadení súčiastok a otestovaní funkčnosti modulu na Raspberry Pi Zero W bolo zistené, že nie je možné čítať dáta zo senzora BME280. Spätnou kontrolou schém bol nájdený problém v jeho opačnom prispájkovaní. Po prevedení reworku, všetky periférie fungovali bez problémov.

```
pi@raspberrypi: ~/server/palm_server/hw_modules/bme280
Súbor  Upraviť  Zobrazíť  Nájsť  Terminál  Pomocník
pi@raspberrypi:~/server/palm_server/hw_modules/bme280 $ node bmeTest.js
{ temperature: 31.2, humidity: 31.83, pressure: 975.07 }
pi@raspberrypi:~/server/palm_server/hw_modules/bme280 $
```

Obr. 4.2 Testovanie funkčnosti senzoru BME280

Na Obr. 4.2 môžeme vidieť úspešný test získania dát zo senzoru. Dáta sú v správnom formáte a odpovedajú pracovným podmienkam.



```
pi@raspberrypi: ~/server/iqrf_communicator
Súbor  Upraviť  Zobrazit  Nájsť  Terminál  Pomocník
pi@raspberrypi:~/server/iqrf_communicator $ sudo ./coord_test
d
Data arrived: 0x41 0x3a 0x23 0x0
b
Data arrived: 0xff
█
```

Obr. 4.3 Test funkčnosti IQRF modulu

Pre otestovanie koordinátora boli odoslané cez testovací program príkazy „b“ – bondovanie a „d“ – discovery. Obr. 4.3 zobrazuje prijaté správne dáta z koordinátora, čím sme zaručili jeho funkčnosť.



Obr. 4.4 Reálna fotografia rozširujúceho modulu pripojeného na Raspberry Pi Zero W

5 ZÁVER

V bakalárskej práci bol predstavený návrh riadiacej jednotky ako rozširujúceho modulu pre jednodoskový počítač Raspberry Pi Zero W, určeného na riadenie domácnosti v lokálnej sieti. Táto práca je úzko prepojená s bakalárskou prácou Mikuláša Ponechala, ktorá popisuje hardvérový návrh vstupných a výstupných modulov. V jednotlivých kapitolách bol prejdený popis teórie, zdôvodnený výber použitých modulov, navrhnuté hardvérové zapojenie a popísaná softvérová architektúra od serverovej časti po užívateľské rozhranie. Vytvorené užívateľské rozhranie prehľadne zobrazuje aktuálne namerané hodnoty teploty, vlhkosti a tlaku ovzdušia, zobrazuje namerané dáta z databázy v grafoch, poskytuje rozhranie pre programovanie vlastných automatizačných funkcií a pridáva widgety pre ovládanie externých modulov. Mimo cieľa bakalárskej práce bol implementovaný systém pridávania nových zariadení do siete prostredníctvom QR kódov.

Pri vývoji softvérovej časti boli využité moderné technológie ako Node.js, React, WebSocket, ktoré umožnili efektívne využiť výkon jednodoskového počítača. Tým bolo dokázané, že aj na novej odľahčenej platforme Raspberry Zero W, pohybujúcej sa v cenovej hladine do 20 €, je možné bezproblémovo riadiť chod domácnosti.

Výrazným vylepšením celého systému by bola implementácia umelej inteligencie, ktorá by odbremenila užívateľov od programovania funkcií, ale na základe zberu dát a deep learningu umožňovala autonómne riadenie domácnosti. Čiastočne tieto funkcie v dnešnej dobe poskytujú napríklad riešenia od spoločností Google (Home) a Amazon (Alexa).

V budúcnosti by sme chceli s kolegom sústrediť náš záujem na problematiku riešenia HAaaS (Home Automation as a Service). Balík služieb, ktorý by poskytoval inštaláciu, pravidelnú aktualizáciu systému, možnosť vzdialenej správy, modularity a prepojenia so zariadeniami iných výrobcov, čím by bol vytvorený robustný systém kontroly a riadenia domácnosti.

LITERATÚRA

- [1] SPICER, D., The ECHO IV Home Computer: 50 Years Later [online]. 2016 – [cit. 2017-11-21]. Dostupné na www: < <http://www.computerhistory.org/atcm/the-echo-iv-home-computer-50-years-later/>>.
- [2] HENDRICKS, D., The History of Smart Homes [online]. 2014 – [cit. 2017-11-21]. Dostupné na www: < <http://www.iotevolutionworld.com/m2m/articles/376816-history-smart-homes.htm>>.
- [3] HERWIG, B., Co to je a jak funguje chytrý dům, chytrý byt a chytrá domácnost? [online]. 2013 – [cit. 2017-11-22]. Dostupné na www: <<https://digiroom.digizone.cz/clanky/co-to-je-a-jak-funguje-chytry-dum-chytry-byt-a-chytra-domacnost/>>.
- [4] APLIK spol. s r.o., Inteligentné domy [online]. [cit. 2017-11-21]. Dostupné na www: < <http://www.aplik.sk/sk/Riesenia/Inteligentne-domy.alej>>.
- [5] FUTURE ELECTRONICS, What is a Single Board Computer? [online]. [cit. 2017-11-22]. Dostupné na www: <<http://www.futureelectronics.com/en/display-solutions/single-board-computer.aspx>>.
- [6] SOCIAL COMPARE, RaspberryPI models comparison [online]. 2017 - [cit. 2017-11-22]. Dostupné na www: < <http://socialcompare.com/en/comparison/raspberrypi-models-comparison> >.
- [7] RASPBERRY PI, GPIO: Models A+, B+, Raspberry Pi 2 B and Raspberry Pi 3 B [online]. [cit. 2017-11-22]. Dostupné na www: < <https://www.raspberrypi.org/documentation/usage/gpio-plus-and-raspi2/> >.
- [8] BEEBOM, 10 Best Raspberry Pi 3 Alternatives You Can Buy [online]. 2017 - [cit. 2017-11-22]. Dostupné na www: <<https://beebom.com/best-raspberry-pi-3-alternatives/>>.
- [9] ELECTRONIC HOUSE, Home Automation Protocols: A Round-Up [online]. 2016 - [cit. 2017-11-25]. Dostupné na www: < <https://www.electronichouse.com/smart-home/home-automation-protocols-what-technology-is-right-for-you/>>.
- [10] EPRIN, Co je to WIFI [online]. [cit. 2017-11-25]. Dostupné na www: < <https://www.eprin.cz/co-je-to-wifi.html>>.
- [11] SPARKFUN, Bluetooth Basics [online]. [cit. 2017-11-25]. Dostupné na www: <<https://learn.sparkfun.com/tutorials/bluetooth-basics>>.
- [12] KILIÁN, K., Bluetooth 5: jaké jsou největší výhody proti starší verzi 4.2? [online]. 2017 – [cit. 2017-11-25]. Dostupné na www: < <https://www.svetandroida.cz/bluetooth-5-201706/>>.
- [13] AGARVAL, T., ZigBee Wireless Technology Architecture and Applications [online]. [cit. 2017-11-25]. Dostupné na www: < <https://www.elprocus.com/what-is-zigbee-technology-architecture-and-its-applications/>>.
- [14] HINES, E., Z-wave vs Zigbee vs Bluetooth vs Wifi: Which Smart Home Technology is Best For Your Situation? [online]. 2016 – [cit. 2017-11-25]. Dostupné na www: < <https://inovelli.com/z-wave-vs-zigbee-vs-bluetooth-vs-wifi-smart-home-technology/>>.
- [15] PONECHAL, M. *Automatizácia v domácnosti, vstupné a výstupné moduly*. Brno: Vysoké učenie technické v Brne, Fakulta elektrotechniky a komunikačných technológií. Ústav mikroelektroniky, 2018. 37 s., 6 s. príloh. Bakalárska práca. Vedúci práce: Ing. Vladimír Levek
- [16] TIŠNOVSKÝ, P., Externí sériové sběrnice SPI a I²C [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné

- na [www](https://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbernice-spi-a-i2c/): < <https://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbernice-spi-a-i2c/>>.
- [17] KARAS O, IQRF Prakticky V - SPI [online]. 2008 - [cit. 2018-05-12]. Dostupné na [www](https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/konstrukce/iqrf-prakticky-v-spi.html): <<https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/konstrukce/iqrf-prakticky-v-spi.html>>.
 - [18] IQRF, SPI Implementation in IQRF [online]. 2016 - [cit. 2018-05-12]. Dostupné na [www](http://www.iqrf.org/weben/downloads.php?id=429): < <http://www.iqrf.org/weben/downloads.php?id=429>>.
 - [19] BOSCH, BME280 - Technical data [online]. [cit. 2017-11-23]. Dostupné na [www](https://www.bosch-sensortec.com/bst/products/all_products/bme280): <https://www.bosch-sensortec.com/bst/products/all_products/bme280>.
 - [20] AMAZON, Diymore Digital Breakout BME280 Temperature Humidity Barometric Pressure Sensor Module with IIC I2C for Arduino [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné na [www](https://www.amazon.com/Breakout-Temperature-Humidity-Barometric-Pressure/dp/B01LETIESU): <<https://www.amazon.com/Breakout-Temperature-Humidity-Barometric-Pressure/dp/B01LETIESU>>
 - [21] IQRF, Transceiver Module (DC)TR-52D [online]. 2015 – [cit. 2017-11-23]. Dostupné na [www](http://iqrf.org/weben/downloads.php?id=213): <<http://iqrf.org/weben/downloads.php?id=213>>.
 - [22] FORYARD, FYLS-0805UBC [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné na [www](https://www.tme.eu/cz/Document/5f81be2e0d5631e675499a7251434723/FYLS-0805UBC.pdf): <<https://www.tme.eu/cz/Document/5f81be2e0d5631e675499a7251434723/FYLS-0805UBC.pdf>>.
 - [23] SEMTECH ELECTRONICS LTD., BC817/BC818 [online]. 2005 - [cit. 2018-05-12]. Dostupné na [www](https://www.gme.sk/data/attachments/dsh.912-006.2.pdf): <<https://www.gme.sk/data/attachments/dsh.912-006.2.pdf>>.
 - [24] GITHUB, BME280 [online]. [cit. 2018-01-20]. Dostupné na [www](https://github.com/ControlEverythingCommunity/BME280): <<https://github.com/ControlEverythingCommunity/BME280>>.

ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

U_D	Napätie na LED v priepustnom smere
I_D	Prúd pretekajúci cez LED v priepustnom smere
U_{CC}	Napätie zdroja (výstup GPIO)
U_{BE}	Napätie báza-emitor
I_B	Prúd tečúci do bázy tranzistora
I_C	Prúd pretekajúci kolektorom
h_{FE}	Prúdový zosilňovací činiteľ tranzistora
UPB	Universal Powerline Bus, univerzálna zbernica cez elektrické vedenie
SBC	Single Board Computer, jednodoskový počítač
CSI	Camera Serial Interface, sériové rozhranie pre kamery
DSI	Display Serial Interface, sériové rozhranie pre displeje
GPIO	General Purpose Input/Output, vstupno-výstupné piny pre všeobecné účely
USART	Universal Synchronous/Asynchronous Receiver, synchronne/asynchronne sériové rozhranie
SPI	Serial Peripheral Interface, sériové rozhranie pre periférie
I ² C	Inter-Integrated Circuit, sériová zbernica
LED	Light-emitting diode, dióda emitujúca svetlo
UI	User Interface, užívateľské rozhranie
API	Application Programming Interface, rozhranie pre programovanie aplikácií
SPA	Single Page Application, jednostránková webová aplikácia
EDA	Event-Driven Architecture, softvérová architektúra založená na spracovaní a riadení udalostí

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1.1 Schéma klasickej elektroinštalácie	8
Obr. 1.2 Schéma inteligentnej elektroinštalácie	8
Obr. 2.1 Raspberry Pi 3 (prevzaté z [6]).....	10
Obr. 2.2 Raspberry Pi A+/B+ a Raspberry Pi 2 GPIO rozhranie (prevzaté z [7]).....	11
Obr. 2.3 Asus Tinker Board (prevzaté z [8])	12
Obr. 2.4 Banana Pi M64 (prevzaté z [8]).....	12
Obr. 2.5 Odroid-C2 (prevzaté z [8])	13
Obr. 2.6 OrangePi Plus 2 (prevzaté z [8]).....	13
Obr. 2.7 Schéma komunikácie SPI (prevzaté z [16])	17
Obr. 2.8 Topológia zapojenia I ² C zbernice (prevzaté z [16]).....	18
Obr. 2.9 Časový priebeh signálov so zvýrazneným časovým oneskorením T1 (prevzaté z [18]).....	18
Obr. 2.10 Znázornenie časov T2 a T3 medzi odosielaním jednotlivých bajtov (prevzaté z [18]).....	18
Obr. 2.11 Diymore BME280 (prevzaté z [20]).....	21
Obr. 2.12 IQRF TR-52DA (prevzaté z [21])	21
Obr. 3.1 Model komunikácie	22
Obr. 3.2 Bloková schéma riadiacej jednotky	23
Obr. 3.3 Schéma pripojenia signalizačnej LED	24
Obr. 3.4 Schéma zapojenia tlačidla pre bezpečné odpojenie IQRF modulu	25
Obr. 3.5 Stavba dátového paketu pre koordinátor	27
Obr. 3.6 Algoritmus obslužného programu pre koordinátor	28
Obr. 3.7 Schéma poskytovaných serverových endpointov	29
Obr. 3.8 Základné rozhranie - Dashboard, umožňuje sledovanie aktuálnych nameraných hodnôt a ovládanie zariadení prostredníctvom widgetov	30
Obr. 3.9 Časť klientského kódu obsluhujúca WebSocket	30
Obr. 3.10 Algoritmus čítania QR kódu.....	32
Obr. 3.11 Štruktúra dát QR kódu.....	32
Obr. 3.12 Schéma verifikácie zariadenia	34
Obr. 3.13 Uloženie zariadenia v databáze a vzájomné prepojenie s objektom akcií.....	34
Obr. 3.14 Príklad riadiaceho paketu	35
Obr. 3.15 Tok dát medzi jednotlivými modulmi po prijatí dát z SPI	36

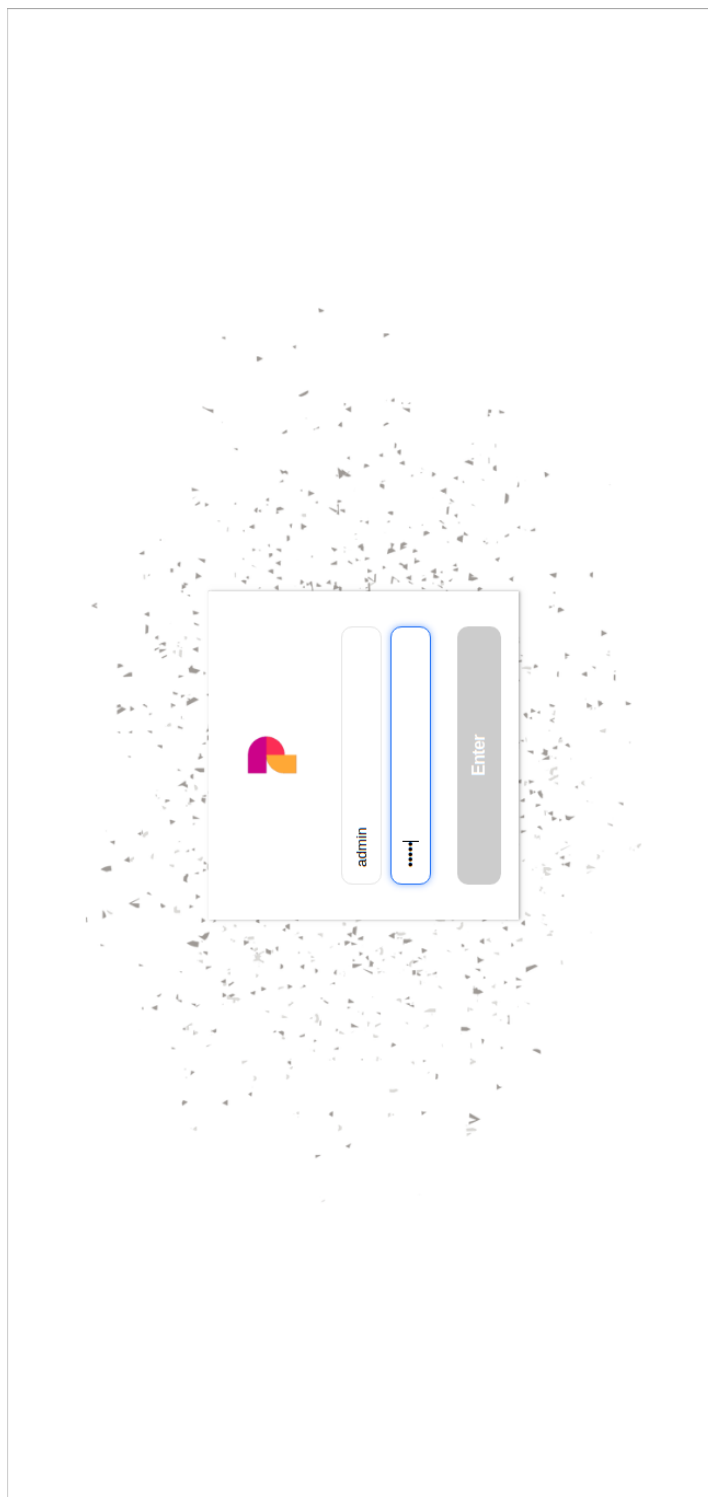
Obr. 4.1 Vrstva TOP návrhu rozširujúceho GPIO modulu.....	37
Obr. 4.2 Testovanie funkčnosti senzoru BME280.....	37
Obr. 4.3 Test funkčnosti IQRF modulu	38
Obr. 4.4 Reálna fotografia rozširujúceho modulu pripojeného na Raspberry Pi Zero W	38

ZOZNAM PRÍLOH

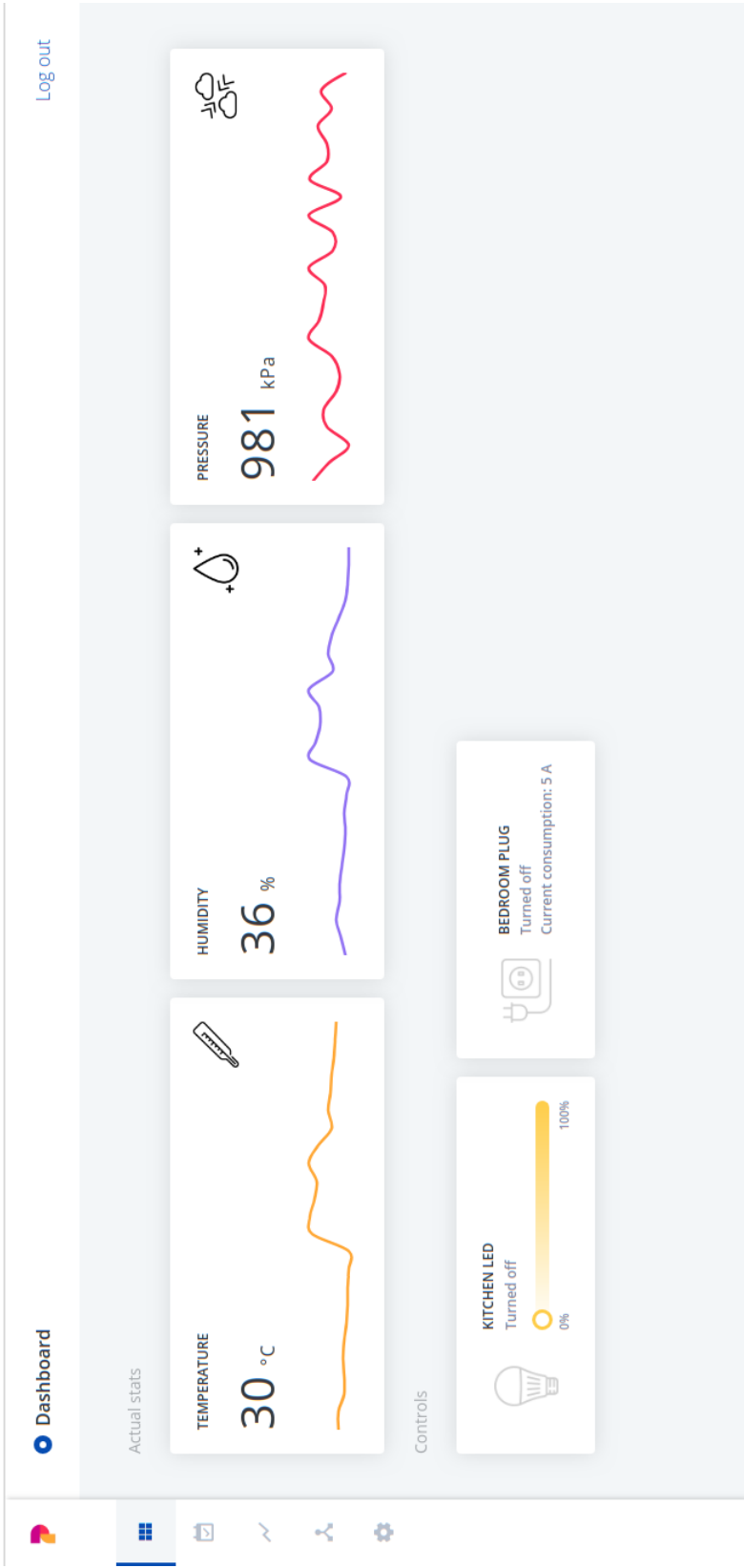
A	Užívateľské rozhranie	46
A.1	Prihlasovacia stránka	46
A.2	Dashboard	47
A.3	Management automatizačných funkcií	48
A.4	Štatistiky a grafy	49
A.5	Správa pripojených zariadení.....	50
B	Schéma zapojenia	51
C	Zdrojový kód	52

A UŽÍVATEĽSKÉ ROZHRAVIE

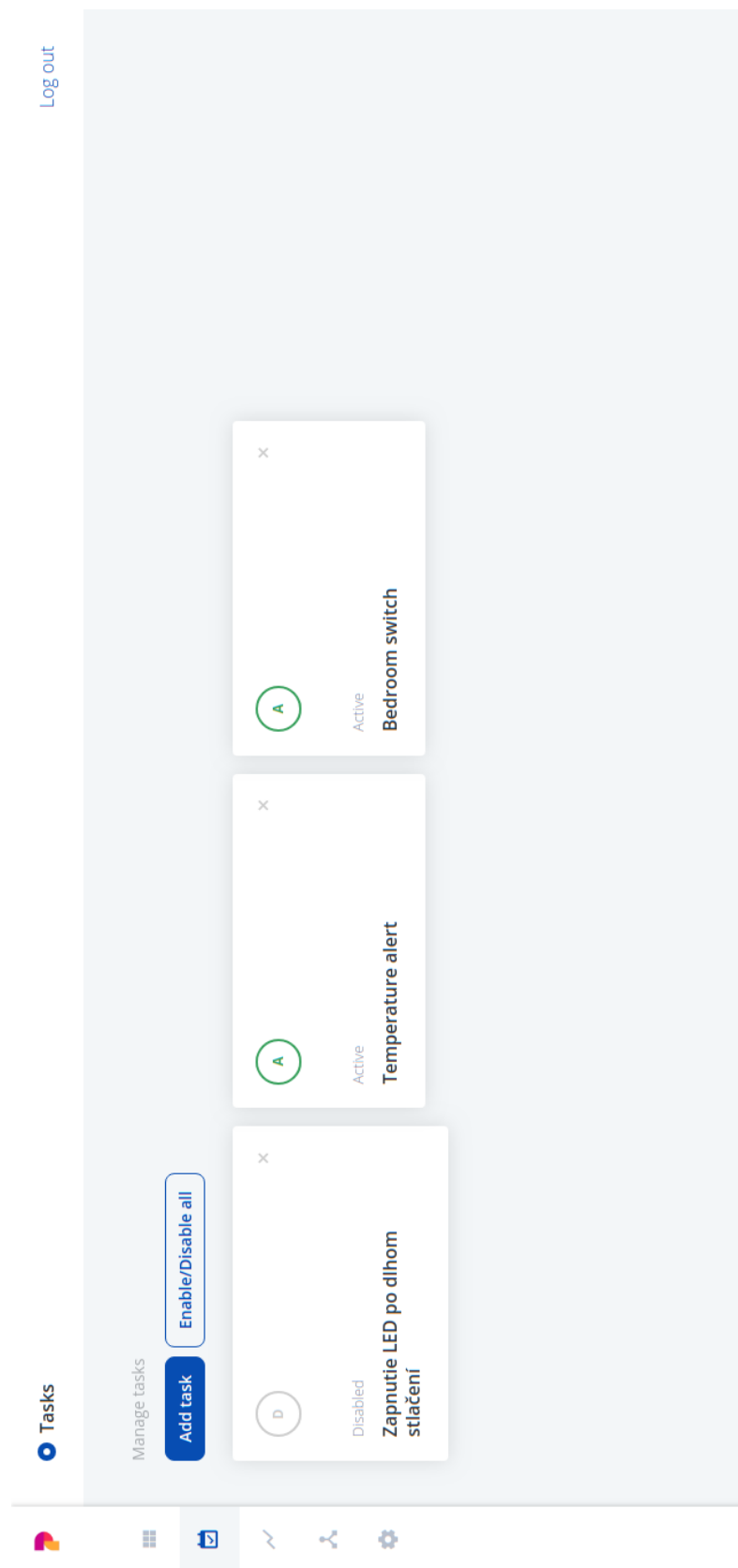
A.1 Prihlasovacia stránka



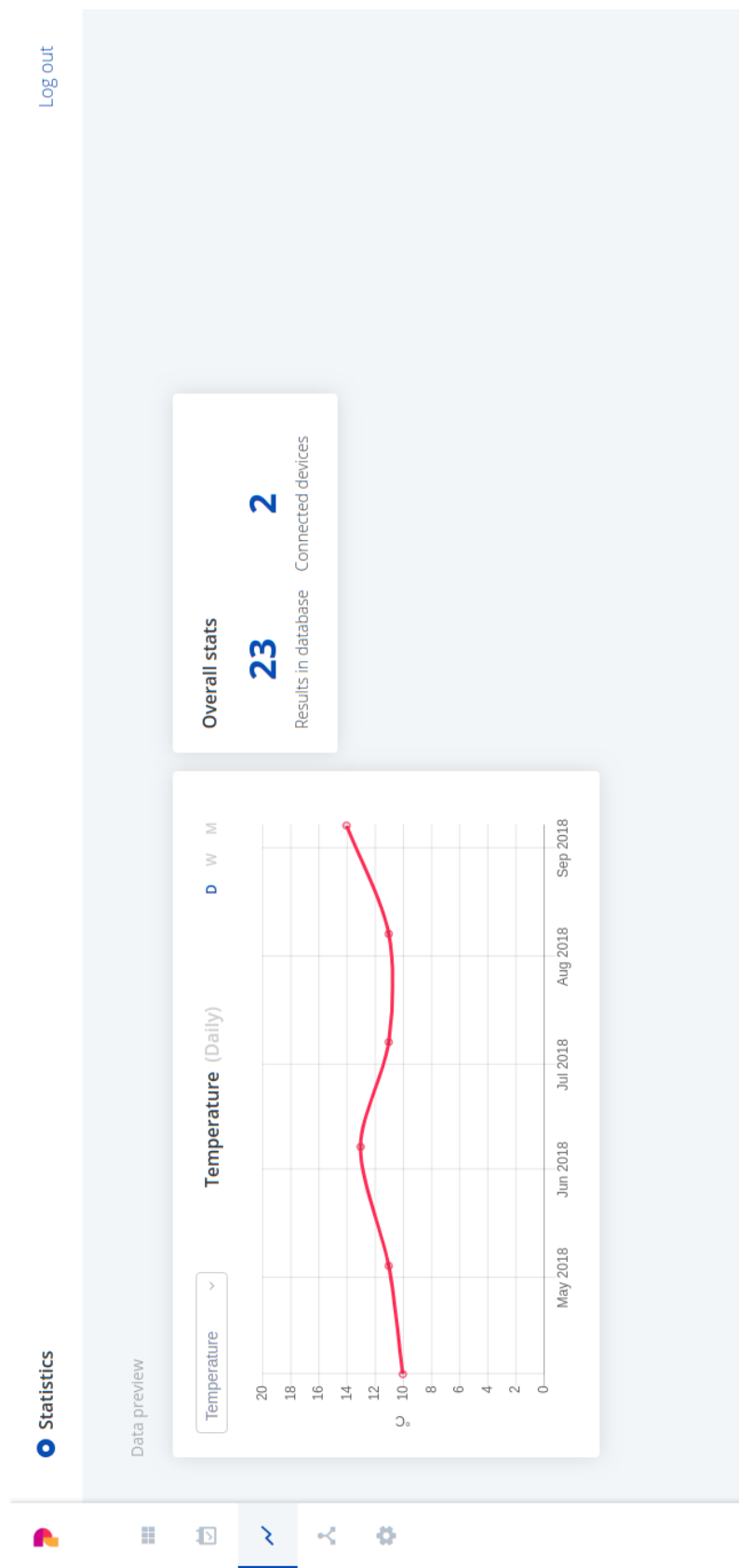
A.2 Dashboard



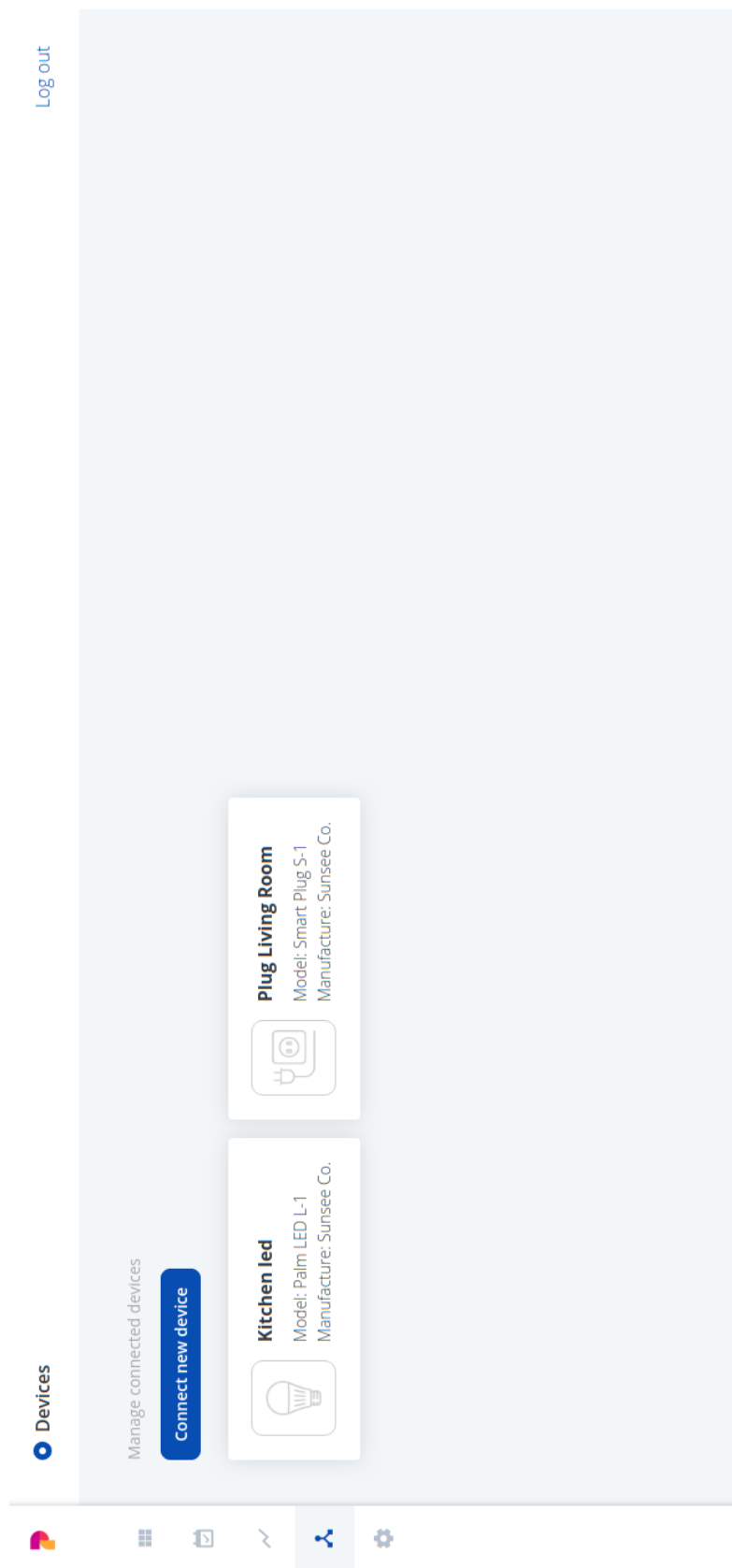
A.3 Management automatizačných funkcií



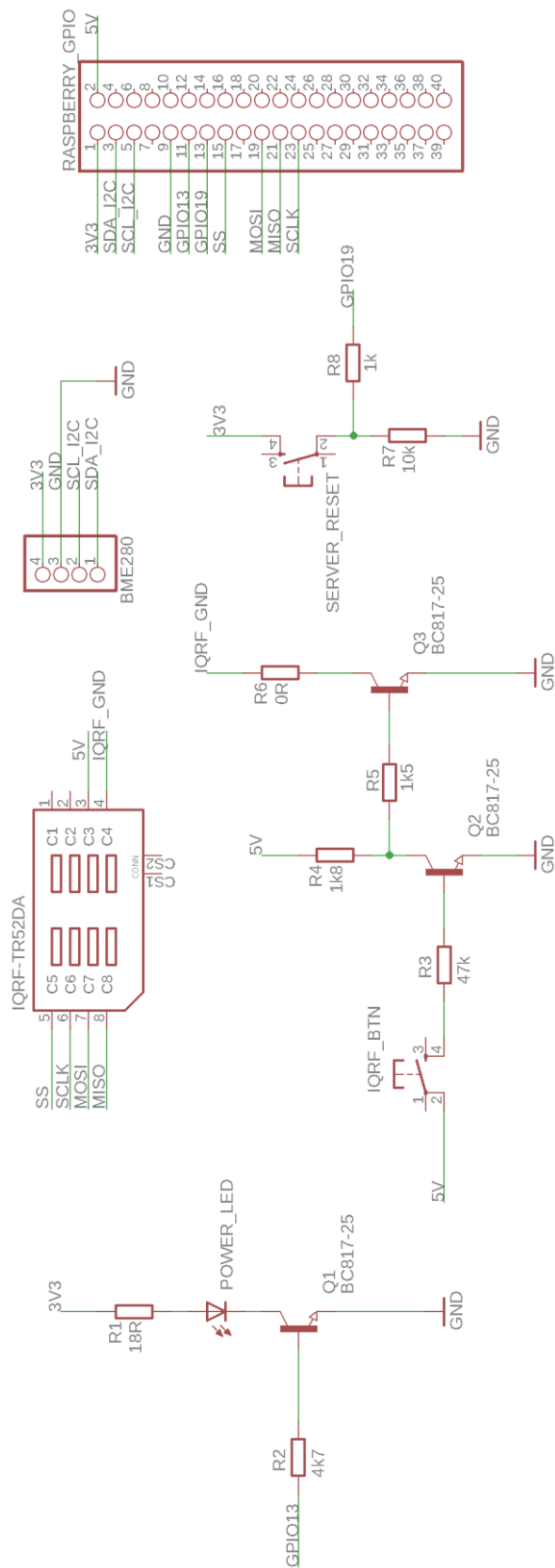
A.4 Štatistiky a grafy



A.5 Správa pripojených zariadení



B SCHÉMA ZAPOJENIA



C ZDROJOVÝ KÓD

Zdrojový kód je přiložený na CD nosiči.