

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

BEZDRÁTOVÝ SYSTÉM PRO VYHODNOCENÍ ŘÍZENÍ
OSVĚTLENÍ V BUDOVÁCH S CÍLEM ZÍSKAT INFOR-
MACE VEDOUcí K ÚSPORÁM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. RADIM MALINOWSKI

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

BEZDRÁTOVÝ SYSTÉM PRO VYHODNOCENÍ ŘÍZENÍ OSVĚTLENÍ V BUDOVÁCH S CÍLEM ZÍSKAT INFOR- MACE VEDOUCÍ K ÚSPORÁM

WIRELESS SYSTEM FOR EVALUATION OF LIGHTING CONTROL IN BUILDINGS FOR OBTAINING INFORMATION LEADING TO SAVINGS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. RADIM MALINOWSKI

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JOSEF STRNADEL, Ph.D.

BRNO 2015

Abstrakt

Cílem práce je navrhnout systém založený na bezdrátově komunikujících zařízeních, který bude schopen shromažďovat informace o přítomnosti osob v prostoru, který monitoruje. Získaná data slouží k vyhodnocení efektivity osvětlovací soustavy, kterou je monitorovaný prostor osvětlován. V rámci této práce jsou analyzovány možnosti měření spotřeby elektrické energie, detekce pohybu a přítomnosti osob a bezdrátového přenosu dat. Dále je součástí práce návrh hardwaru a softwaru systému včetně jeho realizace, praktického nasazení systému a vyhodnocení naměřených dat.

Abstract

The aim of the thesis is to design a system based on wirelessly communicating devices that will be able to record an information about persons presence in certain area. Aquired data will served for evaluation of the area lighting system efficiency. Partial goals related to this work are: to analyze electricity consumption mesaurement methods, to analyze presence and movement detection methods, to analzye wireless communication methods, to desin system's HW and SW including realization, to put system into a real operation and finally, to evaluate measured data.

Klíčová slova

ZigBee, XBEE, detekce přítomnosti osob, Freescale, Kinetis KL25Z, NXP, LPC81XM, PIR senzory, XML, LED osvětlení, halogenidové výbojky, efektivita osvětlovacích soustav

Keywords

ZigBee, XBEE, presence detection, Freescale, Kinetis KL25Z, NXP, LPC81XM, PIR sensors, XML, LED lighting, metal halide lamp, lighting systems efficiency

Citace

Radim Malinowski: Bezdrátový systém pro vyhodnocení řízení osvětlení v budovách s cílem získat informace vedoucí k úsporám, diplomová práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2015

Bezdrátový systém pro vyhodnocení řízení osvětlení v budovách s cílem získat informace vedoucí k úsporám

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Josefa Strnadela, Ph.D.

.....
Radim Malinowski
25. května 2015

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Josefu Strnadelovi, Ph.D. za poskytnutí cenných, odborných rad a za čas, který této práci věnoval. Díky patří také mému otci za pomoc při řešení problémů spojených s konstrukcí výsledných zařízení, panu Ing. Davidu Jelínkovi z firmy Brose spol. s.r.o. za vstřícnost, poskytnutí cenných rad a zpřístupnění prostorů pro monitorování přítomnosti osob a také mému kamarádovi Ing. Martinu Bartoňovi za rady týkající se hardwarové realizace systému.

© Radim Malinowski, 2015.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

1	Úvod	4
2	Možnosti měření spotřeby elektrické energie světelných zdrojů	5
2.1	Měření doby svícení světelného zdroje	5
2.1.1	Detekce intenzity osvětlení	5
2.1.2	Detekce sepnutého světelného okruhu	7
2.2	Měření proudu odebíraného světelným zdrojem	8
2.2.1	Hallova sonda	8
2.2.2	Rogowského cívka	9
2.2.3	Proudový transformátor	10
3	Možnosti detekce pohybu a přítomnosti osob	12
3.1	Detekce na základě infračerveného záření	12
3.1.1	PIR senzory	12
3.1.2	MEMS senzory	13
3.2	Detekce na základě ultrazvuku	14
3.2.1	Senzory založené na době letu zvukové vlny	14
3.2.2	Senzory založené na Dopplerově jevu	15
3.3	Detekce na základě mikrovln	15
3.4	Detekce na základě zpracování obrazu	15
3.5	Detekce na základě rádiové identifikace (RFID)	15
3.5.1	Aktivní vs. pasivní tagy	15
3.5.2	Frekvenční pásma	16
3.6	Detekce na základě přerušení optické závory	16
3.7	Detekce na základě tlaku	17
4	Možnosti bezdrátového přenosu dat	18
4.1	Wi-Fi	18
4.2	Bluetooth	18
4.3	ZigBee	19
4.4	IrDA	19
5	Schéma monitorovacího systému	20
5.1	Blokové schéma centrální jednotky	20
5.2	Blokové schéma sensorových uzlů	21

6	Hardware systému	22
6.1	Hardware centrální jednotky	22
6.1.1	Použité komponenty	22
6.1.2	Schéma zapojení	25
6.1.3	Deska plošných spojů	26
6.2	Hardware senzorů	27
6.2.1	Použité komponenty	27
6.2.2	Schéma zapojení	28
6.2.3	Deska plošných spojů	30
6.2.4	Bateriové napájení senzorů	30
7	Software systému	32
7.1	Software centrální jednotky	32
7.1.1	Modul AUTOMATA	32
7.1.2	Modul ENV	32
7.1.3	Modul MENU	33
7.1.4	Moduly pracující s microSD kartou	33
7.1.5	Moduly pracující s LCD a RTC	37
7.1.6	Moduly pracující s bezdrátovým XBEE modulem	38
7.1.7	Popis činnosti zařízení	40
7.2	Software senzorů	40
7.2.1	Modul GPIO	40
7.2.2	Modul MRT	41
7.2.3	Popis činnosti zařízení	41
8	Vyhodnocení naměřených dat	43
8.1	Situační schéma měřeného skladu	43
8.2	Postup při vyhodnocování dat	44
8.3	Využití skladu	44
8.3.1	Využití skladu v jednotlivých dnech	44
8.3.2	Využití skladu v závislosti na denní době	46
8.4	Využití baterií koncových zařízení	47
8.5	Spotřeba elektrické energie a možné úspory	47
8.5.1	Popis a princip činnosti halogenidové výbojky	47
8.5.2	Aktuální osvětlovací soustava	48
8.5.3	Možné optimalizace	49
9	Závěr	52
9.1	Zhodnocení dosažených výsledků	52
9.1.1	Zhodnocení dosažených výsledků – HW	52
9.1.2	Zhodnocení dosažených výsledků – SW	53
9.2	Možnosti budoucího vývoje	54
9.2.1	Možnosti budoucího vývoje – HW	54
9.2.2	Možnosti budoucího vývoje – SW	54
9.3	Celkové zhodnocení	54
A	Obsah CD	59
B	Zhodnocení spolupráce	60

C Schémata zapojení	61
D Desky plošných spojů	68
E Obrazová příloha	70

Kapitola 1

Úvod

Hlavním cílem diplomové práce je rozšíření myšlenek a postupů použitých v rámci mé bakalářské práce.

V první části práce jsou popsány metody a principy, které lze využít při monitorování spotřeby elektrické energie světelnými zdroji. Vybrané metody jsou rozděleny do dvou kategorií na základě toho, zda měříme čas, po který je měřený světelný zdroj v zapnutém stavu, nebo zda měříme světelným zdrojem odebíraný proud. Metody je možné také kategorizovat na „invazivní“ či „neinvazivní“ to znamená, jestli je nutné do měřeného světelného zdroje fyzicky zasahovat. Následně jsou podrobně popsány jednotlivé metody detekce pohybu případně přítomnosti osob. Mezi zmíněné přístupy patří detekce na základě infračerveného záření vyzařovaného lidmi, využití mikrovln a ultrazvuku, rádiové identifikace (RFID), zpracování obrazu získaného z kamery a další. V práci je možné nalézt také stručný přehled dostupných technologií umožňujících bezdrátový přenos dat. Jsou zde zařazeny nejznámější dostupné technologie jakými jsou Wi-Fi, Bluetooth, IrDa a ZigBee.

Následující část pojednává o základních stavebních blocích celého monitorovacího systému, jenž je složen ze tří typů zařízení. Základ systému tvoří centrální jednotka zastupující roli koordinátora bezdrátové sítě a sloužící jako úložiště shromážděných dat. Další dva typy zařízení mají z pohledu shromážděvaných dat stejnou funkcionalitu, liší se ovšem v roli, kterou zastupují v bezdrátové síti. Jeden typ zařízení je směrovačem a druhý typ koncovým zařízením.

Třetí část popisuje systém jak po hardwarové, tak po softwarové stránce, přičemž každá z nich je rozdělena na část věnující se centrální jednotce a část týkající se směrovačů a koncových zařízení. V hardwarové části jsou vždy nejprve popsány klíčové komponenty daného zařízení a poté schéma zapojení a deska plošných spojů. Softwarová část je popsána prostřednictvím softwarových modulů, které obsahují z pohledu hardwaru příbuznou funkcionalitu.

Poslední část práce seznamuje s prostorem, ve kterém probíhalo měření ověřující funkcionalitu realizovaného systému, s naměřenými daty a jejich interpretací z pohledu možnosti zvýšení energetické efektivity osvětlovací soustavy monitorovaného prostoru. Můžeme zde nalézt data o využití prostoru v jednotlivých dnech a denních hodinách. Na základě těchto dat jsou vytvořeny dva možné scénáře rekonstrukce osvětlovací soustavy, u nichž je vypočteno roční množství ušetřené elektrické energie oproti stávajícímu stavu.

Kapitola 2

Možnosti měření spotřeby elektrické energie světelných zdrojů

K měření spotřeby elektrické energie lze přistupovat v zásadě dvěma způsoby. V případě, že známe před začátkem měření příkon světelného zdroje stačí, budeme-li měřit čas, po který je světelný zdroj v zapnutém stavu. V opačném případě, tedy v situaci, kdy příkon neznáme, je nutné měřit nejen čas, po který je světelný zdroj v zapnutém stavu, ale taktéž proud, který světelný zdroj odebírá. Na základě těchto dvou veličin lze následně stanovit příkon svítidla a celkovou spotřebu elektrické energie.

2.1 Měření doby svícení světelného zdroje

Dobu, po kterou se světelný zdroj nachází v zapnutém stavu, lze měřit několika způsoby. Ačkoliv by k tomuto účelu šly použít i metody měření střídavého proudu, popsané v následující podkapitole, zaměříme se na metody, které nám z pohledu příkonu svítidla poskytnou pouze informaci o době svícení.

2.1.1 Detekce intenzity osvětlení

Na základě hodnoty intenzity osvětlení světelného zdroje jsme schopni stanovit, zda se nachází světelný zdroj v zapnutém stavu či nikoliv. Snímání této veličiny lze provést s využitím různých typu optosoučástí, jakými jsou například fotorezistor, fotodioda či fototranzistor.

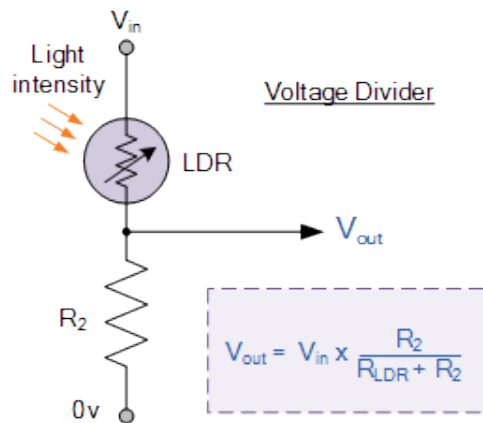
Fotorezistor

Fotorezistor patří do skupiny fotovodivých senzorů, které se vyznačují tím, že při vystavení světelnému záření neprodukují elektrickou energii, ale pouze mění své elektrické vlastnosti.

Fotorezistor je vyroben z polovodivého materiálu (sulfid kadmia), který mění svůj odpor z několika tisíc ohmů v případě nízké intenzity dopadajícího světelného záření až po několik stovek ohmů v případě opačném. Fotony dopadající na fotocitlivý materiál dodávají elektronům energii, čímž jim umožní odpoutat se z valenčního pásu atomu a posunout se do tzv. vodivostního pásma. Tyto volné elektrony přispívají ke snížení elektrického odporu.

Nahradíme-li jeden z rezistorů napěťového děliče fotorezistorem (viz. obrázek 2.1), pak lze na základě charakteristiky použitého fotorezistoru a velikosti výstupního napětí děliče

V_{OUT} stanoví intenzitu osvětlení. Výstupní napětí V_{OUT} může být snímáno například A/D převodníkem mikrokontroléru.



Obrázek 2.1: Základní zapojení fotorezistoru [5]

Hlavní nevýhodou fotorezistoru je jeho dlouhá odezva na změnu v intenzitě dopadajícího světelného záření, která dosahuje až jednotek sekund.

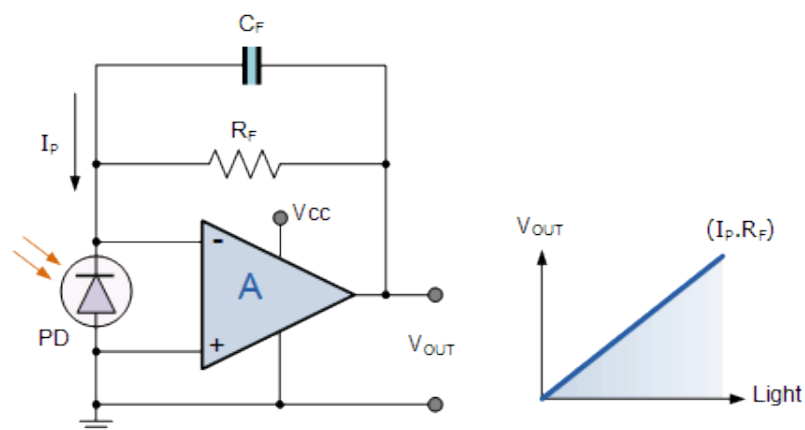
Fotodioda

Fotodioda patří do skupiny senzorů s tzv. fotopřechodem. Jedná se o polovodičové součástky, jejichž PN přechod je citlivý na světelné záření.

Konstrukčně je fotodioda velmi podobná diodě klasické s tím rozdílem, že je její obal transparentní, případně je použita čočka, která usměrňuje světelné záření tak, aby dopadalo na fotocitlivý PN přechod.

Princip, na kterém funguje PN přechod fotodiody, byl již popsán v rámci podkapitoly 2.1.1 týkající se fotorezistoru.

Typické zapojení fotodiody při snímání intenzity osvětlení lze vidět na obrázku 2.2, kde je dioda zapojena v závěrném směru a chová se v podstatě jako fotorezistor.



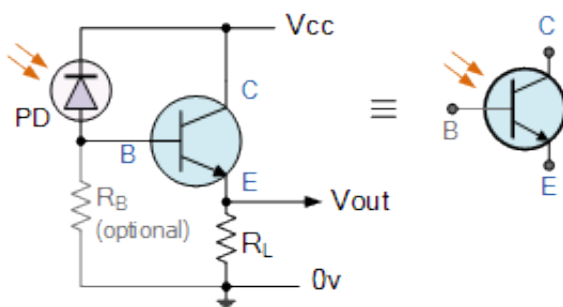
Obrázek 2.2: Základní zapojení fotodiody [5]

Výhodou fotodiody oproti fotorezistoru je především její výrazně rychlejší odezva pohybující se řádově v desítkách μs .

Fototranzistor

Alternativou k fotodiodě je fototranzistor, což je ve své podstatě fotodioda umožňující proudové zesílení. PN přechod fototranzistoru mezi kolektorem a bází je polarizován v závěrném směru a je vystaven zdroji světelného záření.

Princip, na kterém je fotorezistor založen je stejný jako u fotodiody. Narozdíl od fotodiody je ovšem schopen 50-ti až 100 násobného proudového zesílení. Z klasického tranzistoru lze vytvořit fototranzistor tak, že mezi kolektor a bází je zapojena fotodioda (viz. obrázek 2.3). Valná většina fototranzistorů využívá NPN tranzistoru s nepřipojenou bází. Některé typy však připojení k bází umožňují, díky čemuž je možné regulovat jejich citlivost. Stejně jako u fotodiody je pouzdro fototranzistoru transparentní, případně s čočkou.

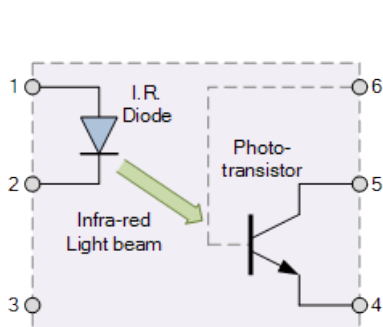


Obrázek 2.3: Vnitřní zapojení fototranzistoru [5]

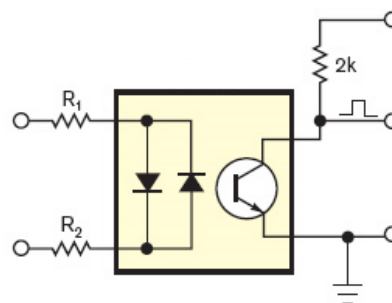
2.1.2 Detekce sepnutého světelného okruhu

Pokud existuje možnost fyzicky se připojit k měřenému světelnému okruhu, lze detekci, zda je okruh sepnut či nikoliv, provést pomocí jednoduchého zapojení s optočlenem.

Optočlen je elektronická součástka sloužící ke galvanickému oddělení dvou obvodů pomocí optického rozhraní. Základními prvky optočlenu jsou infračervená LED dioda a fotocitlivý prvek (fototranzistor, fotodarlington, fotodioda), který detekuje infračervený paprsek produkovaný LED diodou. Oba tyto prvky jsou uzavřeny v netransparentním pouzdře s kovovými vývody.



Obrázek 2.4: Princip optočlenu [6]



Obrázek 2.5: Zapojení k detekci napětí [42]

Princip zapojení pro detekci sepnutého světelného okruhu je vidět na obrázku 2.5. Na vstup optočlenu je přivedeno napájecí napětí svítidla, které je sníženo pomocí rezistorů R_1 a R_2 na úroveň přípustnou pro LED diody optočlenu. Vzhledem k tomu, že jsou LED

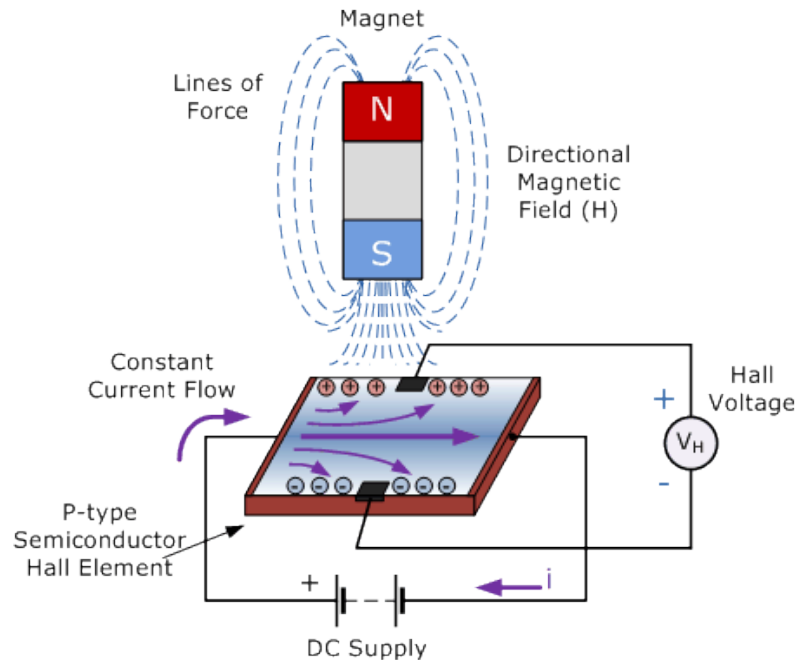
diody optočlenu zapojeny antiparalelně, bude fotocitlivý prvek optočlenu osvětlován jak v kladné, tak v záporné půlvlně střídavého napětí. Kolektor fototranzistoru optočlenu je přes pull-up rezistor uveden do napěťové úrovně reprezentující logickou „1“ a emitor je přiveden na zem. V případě, že je detekováno na vstupu optočlenu napětí, fototranzistor se otevře a na výstupu bude logická „0“. Problém u tohoto zapojení nastává v okamžiku, kdy sinusoida napěťového průběhu kříží osu x. Hodnota napětí je rovna nule a při každém takovém překřížení se na výstupu objeví pulz s logickou „1“. Tento jev však lze jednoduše odfiltrvat v softwaru mikrokontroléru, který bude výstup číst.

2.2 Měření proudu odebíraného světelným zdrojem

Vzhledem k tomu, že je elektrická energie distribuována ve formě střídavého proudu, je nutné zaměřit se právě na měření tohoto typu proudu. Existují tři základní metody měření, které budou popsány níže.

2.2.1 Hallova sonda

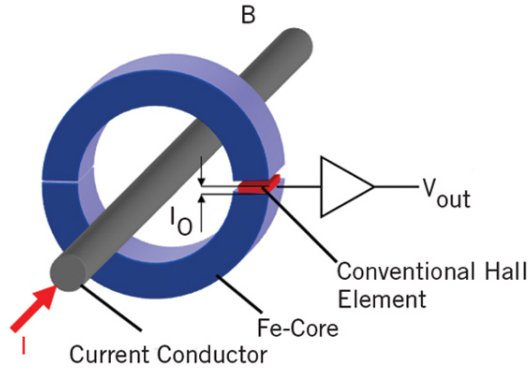
Hallova sonda je elektronická součástka, která je aktivována vnějším magnetickým polem. Skládá se z tenkého plátku polovodičového materiálu typu P, přes který je veden konstantní elektrický proud. Jestliže je tato součástka vložena do magnetického pole, prochází skrze destičku magnetický tok a dochází k vychylování náboje na jednu stranu. Tím vzniká tzv. Hallovo napětí, které je přímo úměrné intenzitě magnetického toku, které destičkou prochází [4]. Takto vzniklé napětí je velmi malé (μV). Z tohoto důvodu se k Hallově sondě připojuje zesilovací obvod [26].



Obrázek 2.6: Princip Hallové sondy [4]

Každý vodič, přes který protéká elektrický proud, je zdrojem magnetického pole, jehož velikost je přímo úměrná velikosti tohoto proudu. Umístíme-li kolem vodiče obruč z fe-

romagnetického materiálu, pak se v jejím jádře koncentruje téměř celé magnetické pole měřeného vodiče. Umístěním Hallovy sondy do středu jádra obruče můžeme snímat magnetický tok, který jádrem protéká a na základě hodnoty Hallova napětí následně stanovit, jaký proud protéká měřeným vodičem [25].

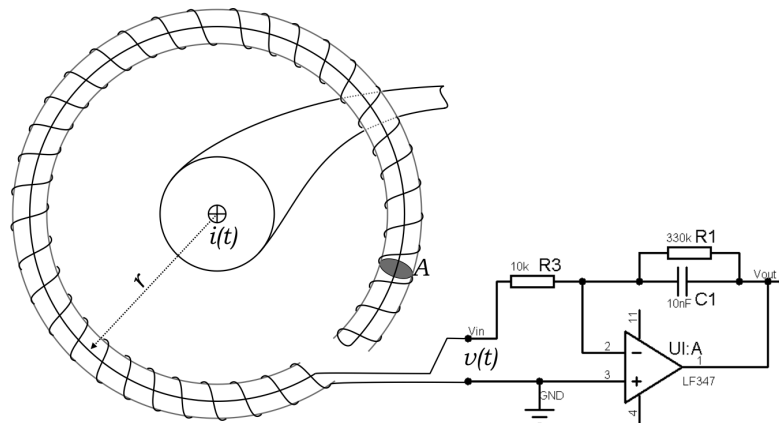


Obrázek 2.7: Princip senzoru s Hallovou sondou [40]

2.2.2 Rogowského cívka

Rogowského cívka pojmenovaná po svém vynálezci německém fyziku Walteru Rogowském je elektrické zařízení používané k měření střídavého proudu nebo proudových pulzů.

V nejjednodušším provedení se jedná o toroidní cívku bez feromagnetického jádra. Jde tedy o cívku vzduchovou. Rogowského cívka je tvořena elektrickým vodičem navinutým na kostru z neferomagnetického materiálu. Jakmile je vodič navinut po celé délce této kostry, je zbývající část vodiče provlečena osou kostry vinutí a vývody cívky se tak nacházejí vedle sebe (viz obrázek 2.8) [36].



Obrázek 2.8: Rogowského cívka s integračním obvodem [43]

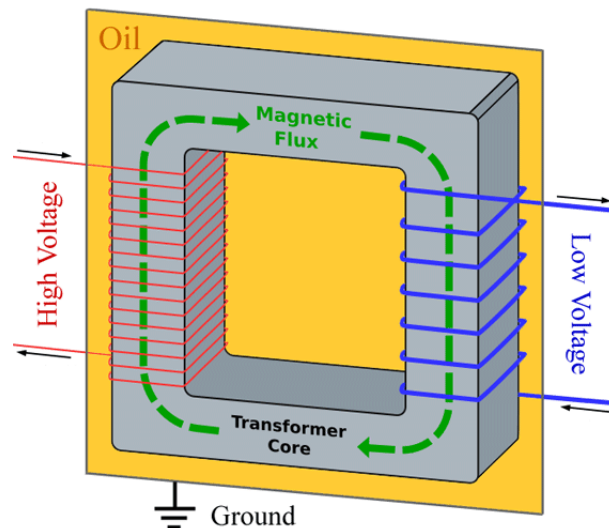
Střídavý či pulzující proud generuje okolo měřeného vodiče magnetické pole, které interaguje s Rogowského cívkou a indukuje se tak napětí, jehož velikost je proporcionální k rychlosti změny měřeného proudu. Chceme-li získat výstupní napětí V_{OUT} , které bude

proporcionální vzhledem k velikosti střídavého proudu $i(t)$, je nezbytné zintegrovat výstupní napětí Rogowského cívky $v(t)$. Za tímto účelem je použit elektronický integrátor, který lze vidět na obrázku 2.8 [36]. Výsledné napětí V_{OUT} můžeme následně vzorkovat pomocí A/D převodníku a jeho hodnotu zpracovávat v softwaru mikrokontroléru.

2.2.3 Proudový transformátor

Další často používanou metodou měření střídavých proudů je využití proudového transformátoru. Jedná se o typ transformátoru, který je navržen tak, aby se na jeho sekundárním vinutí generoval střídavý proud, který je proporcionálně svázán se střídavým proudem procházejícím vinutím primárním. Proudové transformátory jsou obvykle navrženy tak, aby převáděly střídavé proudy vyskytující se na vysokonapěťových vedeních na mnohem nižší hodnoty, které lze měřit standardním ampérmetrem [3].

Princip proudového transformátoru se neliší od transformátoru klasického. Transformátor se skládá ze tří základních částí, jimiž jsou vinutí, magnetický obvod a izolační systém (viz obrázek 2.9). Primární vinutí transformátoru slouží k převodu elektrické energie na energii magnetickou. Průchodem střídavého proudu primárním vinutím vzniká magnetický tok Φ , který je distribuován k sekundárnímu vinutí transformátoru prostřednictvím magnetického obvodu. V sekundární cívice transformátoru se pak na základě Faradayova indukčního zákona indukuje elektrické napětí.



Obrázek 2.9: Schéma napěťového transformátoru [38]

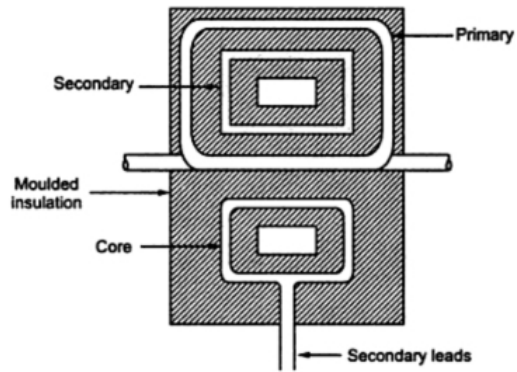
Existují dva typy proudových transformátorů, a to transformátory s primárním vinutím a bez něj.

Transformátory s primárním vinutím

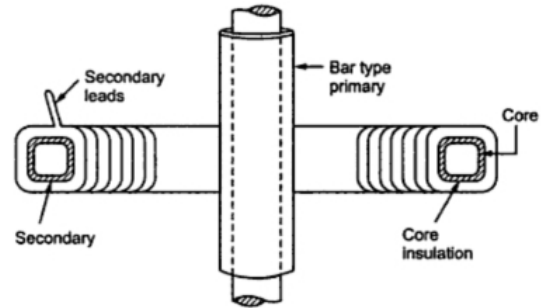
Primární vinutí tohoto typu transformátoru je sériově připojené k vodiči, na němž probíhá měření. Poměr mezi proudem na primárním a sekundárním vinutí je dán poměrem počtu závitů mezi vinutími. Speciálním případem tohoto typu transformátoru je transformátor, který využívá měřený vodič jako primární vinutí. Jedná se tedy o transformátor s jednou smyčkou na primárním vinutí [3].

Transformátory bez primárního vinutí

Měřený vodič je veden skrze otvor toroidního magnetického jádra. Některé transformátory tohoto typu mají magnetické jádro rozděleno na dvě části, což umožňuje umístit transformátor na měřený vodič bez nutnosti jeho odpojení [3].



Obrázek 2.10: Transformátor s primárním vinutím [46]



Obrázek 2.11: Transformátor bez primárního vinutí [46]

Kapitola 3

Možnosti detekce pohybu a přítomnosti osob

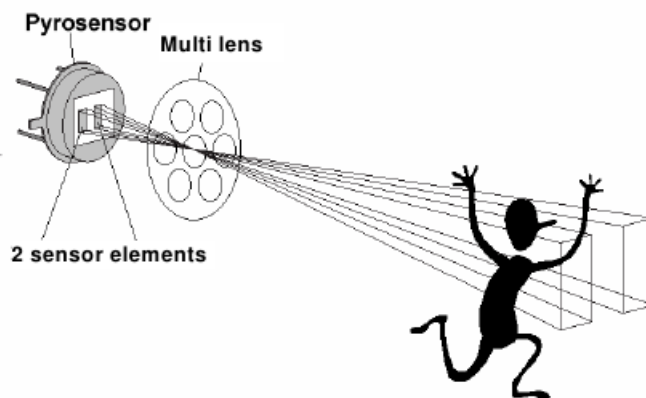
V současné době existuje řada možností, jak přistupovat k detekci přítomnosti či pohybu osob. Převážná část bude rozebrána v následujícím textu.

3.1 Detekce na základě infračerveného záření

Nejznámějším senzorem sloužícím k detekci pohybu osob je tzv. PIR¹ senzor. Na základě infračerveného záření však pracuje také senzor založený na technologii MEMS, který je schopen nejen detekce pohybu, ale také přítomnosti osob.

3.1.1 PIR senzory

Senzor je označován jako pasivní, protože do svého okolí nevysílá žádné signály, ale pouze je přijímá. Přijímané signály náleží záření o vlnových délkách okolo $10\mu\text{m}$, které vyzařuje lidské tělo [22].



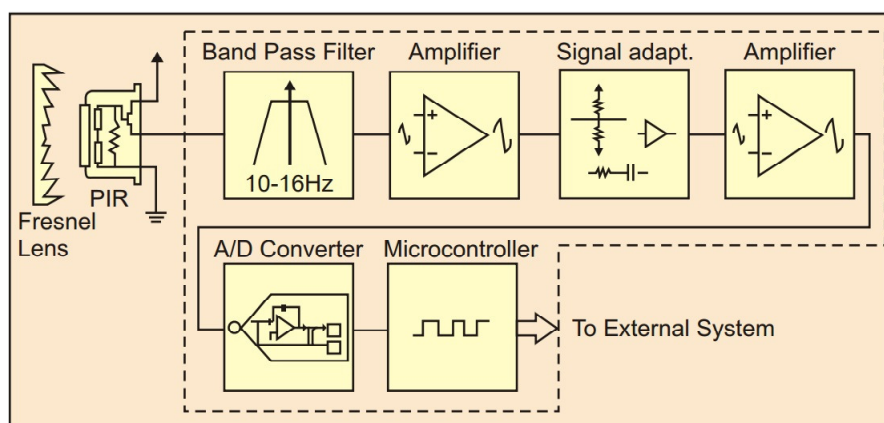
Obrázek 3.1: Vznik rozdílu náboje mezi částmi pyroelementu [22]

Základní částí PIR senzoru je tzv. pyroelement, což je polovodičová součástka tvořená sloučeninami na bázi lithia a tantalu. Pyroelement je rozdělen na dvě či čtyři části citlivé

¹Passive InfraRed

na infračervené záření, přičemž každá z nich snímá část scény. Základní schopností všech pyroelementů je detekce rozdílu intenzity dopadajícího záření mezi jeho dvěma částmi, čímž je detekován pohyb osoby ve snímané scéně. Díky rozdělení pyroelementu na dvě části, lze získat informaci o tom, kterým směrem se osoba pohybuje. V případě pyroelementu rozděleného na části čtyři, lze získat také informaci, zda se pohyb uskutečnil v horní či spodní části scény, případně zda byl vertikální či horizontální [28].

Výstupem pyroelementu je slabý signál reprezentující rozdíl náboje na jednotlivých částech elementu. Tento signál musí být zesílen a poté převeden na digitální informaci, která se snáze analyzuje v libovolném softwaru. Na obrázku 3.2 můžeme vidět typické blokové schéma zpracování signálu z pyroelementu.



Obrázek 3.2: Blokové schéma zpracování signálu z pyroelementu [28]

Ve spojitosti s PIR senzorem můžeme také častokrát slyšet pojem Fresnelova čočka. Tyto čočky se používají k usměrnění paprsků infračerveného záření dopadajících na pyroelement.

3.1.2 MEMS senzory

Princip senzoru je založen na Seebeckově jevu, což je jev při kterém dochází k převodu teplotních rozdílů na elektrickou energii. Tento jev se převážně využívá pro přesné měření teploty, ve speciální případech je však využit ke generování elektrické energie [18].



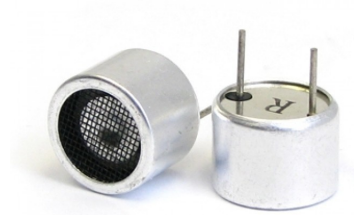
Obrázek 3.3: MEMS senzor společnosti Omron [33]

Přes čočku senzoru pronikají infračervené paprsky na sadu termočlánků, které na základě intenzity infračerveného záření produkují elektrickou energii. Takto vzniklé elektrické napětí je vyhodnoceno analogovým obvodem obsaženým v senzoru na základě porovnání

velikosti napětí a teploty naměřené uvnitř senzoru. Výsledná hodnota je odeslána na výstup prostřednictvím I2C rozhraní. Na obrázku 3.3 můžeme vidět senzor firmy Omron [33].

3.2 Detekce na základě ultrazvuku

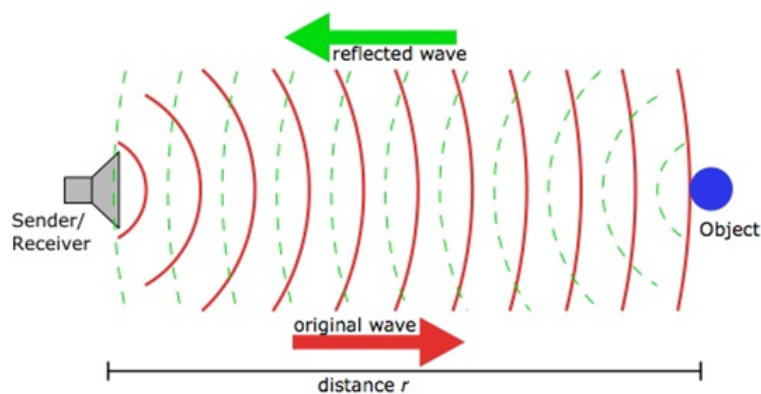
Základním prvkem senzoru je ultrazvukový měnič, což je zařízení, které je schopno převést energii na ultrazvuk. Obvyklé frekvence, se kterými senzory pracují, jsou 25, 30 a 40 kHz. Ultrazvukové senzory pohybu lze rozdělit do dvou podkategorií, a to na senzory založené na době letu zvukové vlny a na senzory založené na Dopplerově jevu.



Obrázek 3.4: Ultrazvukový měnič 40 kHz

3.2.1 Senzory založené na době letu zvukové vlny

Senzory tohoto typu využívají ultrazvukový měnič jako zdroj i přijímač ultrazvukových vln. Senzor vyšle do prostředí sekvenci zvukových vln, které se odrazí od předmětů umístěných v prostředí a vrátí se zpět k senzoru. V tomto okamžiku dojde k zaznamenání času, který uběhl mezi vysláním a přijmem zvukových vln. Na základě naměřeného času a rychlosti zvuku lze vypočítat vzdálenost objektů. K detekci pohybu dojde ve chvíli, kdy je senzorem zaznamenána jiná vzdálenost než ta, která byla naměřena při inicializaci senzoru [37].



Obrázek 3.5: Odraz ultrazvukových vln od objektu [34]

3.2.2 Senzory založené na Dopplerově jevu

Dopplerův jev nám říká, že zvuk, světlo či radiové vlny odražené od pohybujícího se objektu budou mít jinou frekvenci než v případě odrazu od objektu statického. Tato změna ve frekvenci nastává, protože zvukové vlny jsou, buď „stlačovány“, či „natahovány“ na základě směru pohybu objektu. Pokud se objekt pohybuje směrem ke zdroji vlnění, odražená frekvence bude vyšší a naopak.

Senzory založené na Dopplerově jevu do prostředí vysílají kontinuálně ultrazvukové vlny o předem dané frekvenci. Tyto vlny se odrážejí od objektů nacházejících se v prostředí a vytvářejí tak jeho interferenční obrazec bez pohybujících se objektů. V případě narušení tohoto obrazce, dochází k detekci pohybu [37].

3.3 Detekce na základě mikrovln

Mikrovlnné senzory pohybu jsou velice podobné výše zmíněným ultrazvukovým sensorům. Oba typy senzorů spadají do kategorie aktivních senzorů, tedy takových, které do svého okolí vysílají signály. Zmíněné typy obsahují také tzv. transceiver, tedy zařízení, které je schopno jak vysílat, tak přijímat daný typ signálu. Mikrovlnné senzory vysílají do prostředí narozdíl od senzorů ultrazvukových elektromagnetické vlny o vysoké frekvenci v tzv. X-band pásmu. Tomuto pásmu odpovídají frekvence v rozmezí 8–12 GHz [17]. V případě pohybu v prostoru sledovaném senzorem se na základě Dopplerova jevu změní odezva prostředí a dojde k detekci pohybu. Výhodou senzorů využívajících mikrovlny je možnost prostupu signálu přes některé překážky (např. stěny), čímž je sledovaný prostor rozšířen. Nevýhoda spočívá především ve vyšší spotřebě energie a vyšší pořizovací ceně [24].

3.4 Detekce na základě zpracování obrazu

Senzory využívající k detekci přítomnosti či pohybu osob zpracování obrazu se využívají především v členitých prostorech (např. supermarkety). Videokamera sloužící jako přijímač obrazové informace ze scény, kterou monitoruje zasílá obraz do řídicí jednotky. V řídicí jednotce je obraz zpracován a jsou z něj extrahovány potřebné informace. V našem případě se jedná o informaci, zda se někdo na monitorované scéně nachází či nikoliv. Z obrazu však lze extrahovat i informaci o směru pohybu osob, detekovat neobvyklé situace (např. ležícího člověka). Hlavní nevýhodou tohoto řešení je poměrně vysoká pořizovací cena systému [17].

3.5 Detekce na základě rádiové identifikace (RFID)

Detekce osob je v tomto případě založena na RFID², což je metoda automatické identifikace založená na komunikaci mezi čtečkou a identifikátorem (tzv. RFID tagem). Čtečka do prostoru vyše rádiový signál a tag odpoví vysláním svého identifikačního čísla [19]. Nevýhodou je fakt, že osoba, která u sebe nemá RFID tag není vůbec detekována.

3.5.1 Aktivní vs. pasivní tagy

Tagy dělíme do dvou kategorií, a to na pasivní a aktivní. Pasivní tagy v sobě neobsahují žádný zdroj napájení a energii pro odeslání svého identifikačního čísla do čtečky získávají

²Radio Frequency Identification

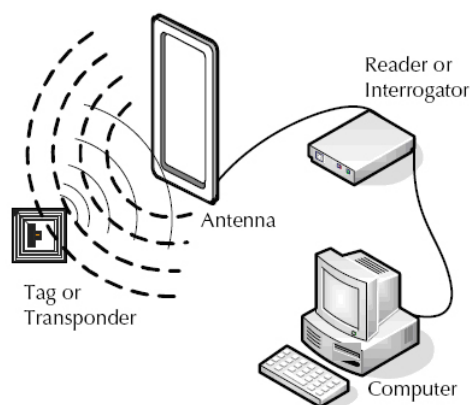
přeměnou energie rádiových vln přijatých z čtečky. Nevýhodou tohoto typu tagů je jejich poměrně malý dosah pohybující se v jednotkách metrů. Tagy aktivní obsahují vlastní zdroj napájení a díky tomu se jejich dosah výrazně zvyšuje až na několik stovek metrů [19].

3.5.2 Frekvenční pásma

Tagy komunikují se čtečkou v různých frekvenčních pásmech, přičemž platí, že čím vyšší je frekvence, na které komunikují, tím je také větší dosah čtečky [19].

Skupiny RFID tagů dle frekvence komunikace

- Low Frequency (LF): 125 kHz – 134 kHz
- High Frequency (HF): 13,56 MHz
- Ultra High Frequency (UHF): 868 MHz pro Evropu

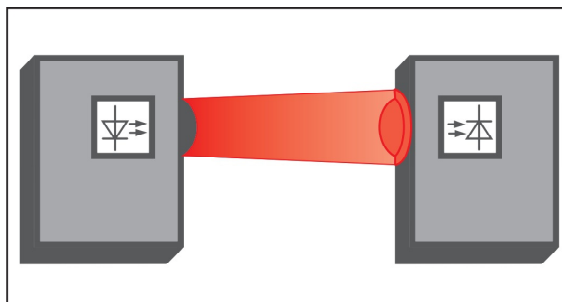


Obrázek 3.6: Schéma RFID komunikace [2]

3.6 Detekce na základě přerušení optické závory

Optické závory je možno využít pro počítání osob vyskytujících se v monitorovaném prostoru. Optická závora je v nejjednodušším případě konstrukčně řešena jako vysílač světelného paprsku na jedné straně prostoru a přijímač na straně druhé. Pokud dojde k přerušení paprsku mezi vysílačem a přijímačem, dochází v monitorovaném prostoru k průchodu.

Na základě výše uvedeného lze sestavit systém, kde budou světelné závory detekovat vstup do místnosti či její opuštění. Systém by se v případě místnosti s jedním vstupem skládal ze dvou světelných závor umístěných v řadě za sebou. Pokud by osoba do místnosti vcházela, došlo by nejprve k přerušení světelného paprsku závory vně místnosti a poté k přerušení paprsku závory uvnitř místnosti. Pokud by osoba vycházela z místnosti byla by sekvence přerušení paprsků závor opačná. V tomto systému bychom spravovali čítač s počtem osob uvnitř místnosti, čímž bychom dosáhli detekce přítomnosti osob.



Obrázek 3.7: Světelná závora [10]

3.7 Detekce na základě tlaku

Pouze okrajově se zmíníme o detekci přítomnosti osob na základě tlaku. Jedná se o metodu používanou především v automatizaci průmyslu, kde se využívá speciálních podložek, které jsou schopny na základě změny tlaku detekovat, zda na nich osoba stojí či nikoliv. Příkladem použití může být obsluha stroje, která nesmí stroj opustit, je-li v provozu. Podložka je připojena k řídicí jednotce stroje a pokud osoba opustí své stanoviště za chodu stroje, řídicí jednotka provede příslušné akce [41].

Kapitola 4

Možnosti bezdrátového přenosu dat

Možností bezdrátového přenosu dat je celá řada. Nyní si přehledově shrneme vlastnosti jednotlivých typů komunikace.

4.1 Wi-Fi

Wi-Fi (IEEE 802.11) je v současné době nejpoužívanější standard bezdrátové komunikace. Zařízení podporující Wi-Fi mohou pracovat ve dvou přenosových pásmech, a to 2,4 GHz a 5 GHz. Každé z nich je rozděleno do několika kanálů, čehož se s výhodou využívá, pokud je na jednom místě provozováno více Wi-Fi sítí. Každá z nich tak může pracovat na svém kanálu a neovlivňuje tak ostatní síť [12].

Existuje několik verzí tohoto standardu, které se liší především maximální přenosovou rychlostí dat. Poslední verze standardu Wi-Fi (IEEE 802.11n) podporuje přenosovou rychlost až 248 Mbps [12].

Dosah signálu do značné míry ovlivňuje prostředí ve kterém je Wi-Fi síť provozována. Uvnitř budov je dosah typicky 20 – 50 m, mimo budovy s přímou viditelností řádově stovky metrů [11].

Z hlediska spotřeby elektrické energie u bateriově napájených vestavěných systémů je Wi-Fi poměrně náročná. Příkladem mohou být Wi-Fi moduly firmy Digi International, u kterých je proud odebíraný z baterie při odesílání dat až 260 mA a při přijímání až 140 mA [14].

4.2 Bluetooth

Bluetooth vzniklo roku 1994 jako alternativa k RS232 a v průběhu vývoje bylo uvedeno několik verzí této technologie. Aktuálně nejnovější verzí je verze 4.2. Bluetooth je technologie bezdrátového přenosu dat pracující na stejné frekvenci jako Wi-Fi, konkrétně v pásmu 2,4 – 2,485 GHz. Je schopna propojit dvě a více elektronických zařízení [8].

Přenosové rychlosti, se kterými Bluetooth pracuje se liší na základě používané verze. Nejvyšší přenosové rychlosti, které lze u technologie Bluetooth dosáhnout je 24 Mbps ve verzi 3.0 a vyšší.

Technologie Bluetooth posílá informace v rámci tzv. PAN (Personal Area Network), a to na vzdálenosti až 100 m. Vzdálenost, na kterou jsou bluetooth zařízení spolu schopna

komunikovat závisí na jejich implementaci. Minimum stanovené standardem je 10 m [7].

Spotřeba je u technologie Bluetooth výrazně nižší než je tomu u Wi-Fi. V případě klasického Bluetooth se odběr proudu ze zdroje pohybuje okolo 30 mA při odesílání i přijímání dat. Pokud využijeme tzv. Low Energy módu podporovaného od verze 4.0, odběr proudu klesne pod 20 mA [16].

4.3 ZigBee

Zigbee je bezdrátová technologie vyvinutá tak, aby pokrývala všechny požadavky na nízko-nákladové a energeticky nenáročné M2M (Machine to Machine) sítě. Je založena na standardu IEEE 802.15.4, který definuje její fyzickou vrstvu a určuje, na jakých frekvencích bude ZigBee pracovat (2.4 GHz, 900 MHz a 868 MHz). Tento standard, nad kterým je postaven ZigBee stack, byl ratifikován v roce 2003. Specifikace hovoří o paketové rádiové komunikaci orientované na bateriově napájená zařízení [15].

Hlavní předností ZigBee sítí je podpora tzv. mesh sítí, v nichž jsou jednotlivé uzly propojeny s jedním či více sousedními uzly. Díky tomu jsou sítě tohoto typu odolnější vůči poruchám, neboť v případě selhání jednoho uzlu existují další cesty, kterými mohou data proudit. Síť se také lépe vyrovnává s většími datovými toky [15].

Maximální přenosová rychlost dat se různí na základě použitého přenosového pásma. Při použití pásma 2.4 GHz je dostupných celkem 16 kanálů s maximální přenosovou rychlostí 250 kbps. Přenosové pásmo 915 MHz určené pro Severní Ameriku obsahuje 10 kanálů s přenosovou rychlostí až 40 kbps, zatímco pásmo 868 MHz vyhrazené pro Evropu má kanál pouze jeden a jeho maximální přenosová rychlost je 20 kbps [1].

Dosah zařízení v ZigBee síti je různý v závislosti na implementaci výrobcem, standardně je však 30 m uvnitř budov a přibližně 100m při přímé viditelnosti mezi zařízeními [13].

Energetická náročnost ZigBee zařízení závisí také na výrobcem použité technologii, ale dá se říci, že je zhruba na stejné úrovni jako v případě Bluetooth. Příkladem může být modul firmy Digi International založený na technologii ZigBee. Při odesílání a přijímání dat je proud odebíráný ze zdroje zhruba 45 mA [13].

4.4 IrDA

IrDA je bezdrátová technologie přenosu dat vyvinutá asociací Infrared Data Association. IrDA využívá jako přenosové médium infračervené záření o vlnové délce 875nm (+-30nm). Jelikož je přenosovým médiem světlo, musí být mezi vysílačem a přijímačem dodržena přímá viditelnost. To je oproti ostatním technologiím bezdrátového přenosu poměrně velká nevýhoda [9].

IrDA standard má stejně jako řada ostatních technologií několik verzí, u nichž se liší maximální přenosové rychlosti. U IrDA verze 1.0 to je 115 kbps a u verze poslední, tedy IrDA 1.1, je to 4 Mbps [9].

Dosah komunikace založené na IrDA je typicky pouze 1 m [9].

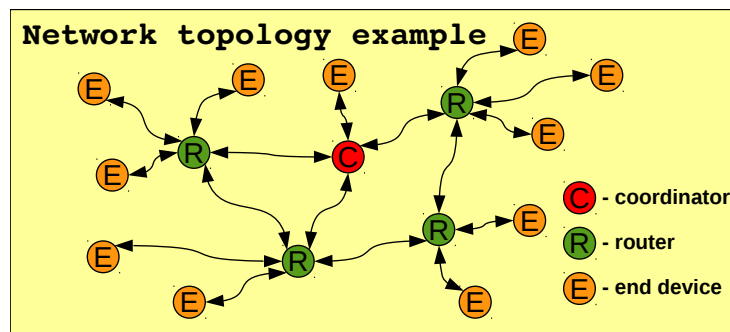
IrDA technologie je oproti ostatním technologiím bezdrátového přenosu energeticky nejméně náročná. Příkladem může být transiver TFDU5106 firmy Vishay, který má průměrný odběr ze zdroje 5mA [45].

Kapitola 5

Schéma monitorovacího systému

Jedním z hlavních bodů při navrhování systému je volba technologie pro bezdrátovou komunikaci. Při výběru technologie je nutné zohlednit požadavky na bezdrátovou síť, jakými jsou rozsah sítě, vzdálenost mezi jednotlivými uzly sítě, zda jsou senzory sítě napájeny bateriově či prostředím, ve kterém bude síť nasazena.

Vzhledem k tomu, že musí být systém z části napájen bateriově, je nutné, aby zvolená bezdrátová technologie vykazovala nízkou energetickou náročnost. Na základě tohoto faktu se z technologií jmenovaných v kapitole 4 jeví jako nevhodná technologie Wi-Fi. Systém by rovněž měl být co nejflexibilnější z pohledu rozmístění jednotlivých sensorových uzlů. Z tohoto důvodu není možné využít technologii IrDA, jelikož nelze zaručit, že systém nebude nasazen v prostředí, kde nebude možné dosáhnout přímé viditelnosti mezi sensorovými uzly. Dalším důvodem, proč tuto technologii z pohledu aplikace v sensorových sítích nevyužít je její malý dosah. Zbylé dvě technologie (Bluetooth a ZigBee) popsané v kapitole 4 jsou si z pohledu spotřeby elektrické energie a dosahu téměř rovny. ZigBee technologie však přináší podporu tzv. mesh sítí, jejichž výhody jsou popsány v kapitole 4.3. Na základě podpory mesh sítí a výše uvedeného byla pro potřeby tohoto projektu zvolena technologie ZigBee. Na obrázku 5.1 můžeme vidět příklad topologie mesh sítě.

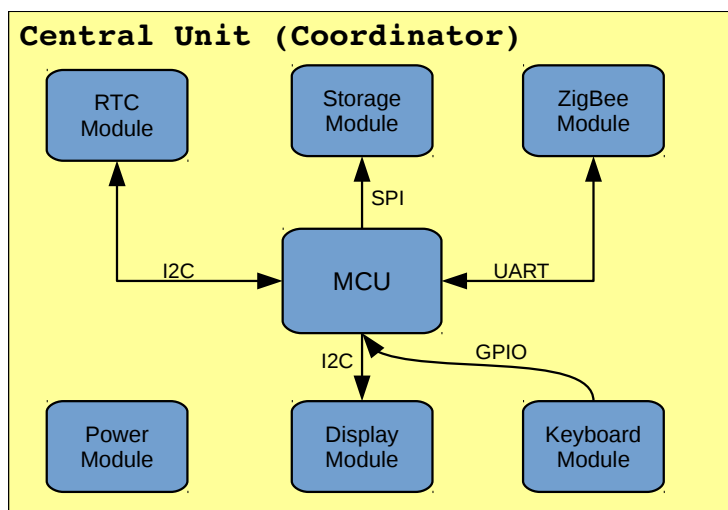


Obrázek 5.1: Příklad topologie mesh sítě

5.1 Blokové schéma centrální jednotky

Základním stavebním kamenem centrální jednotky je mikrokontrolér, k němuž jsou připojeny všechny potřebné periferie. RTC modul je složen z komponent potřebných pro sledování reálného času, storage modul zahrnuje slot pro microSD kartu, která bude sloužit jako

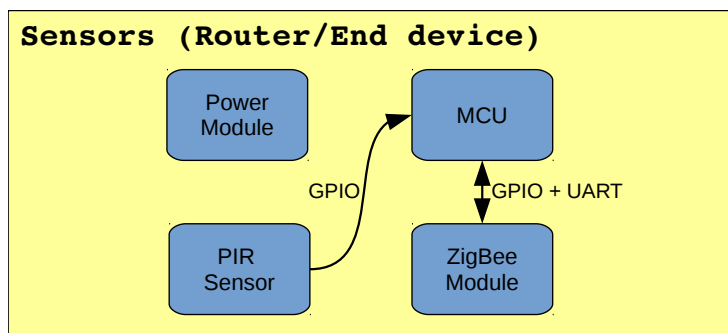
úložitě nasbíraných dat a ZigBee modul obashuje hardware umožňující vytvoření ZigBee sítě s ostatními zařízeními. Posledními moduly centrální jednotky jsou keyboard a display moduly, které reprezentují uživatelské rozhraní k systému.



Obrázek 5.2: Blokové schéma centrální jednotky

5.2 Blokové schéma senzorových uzlů

V případě senzorových uzlů je rovněž použit mikrokontrolér, jelikož je nutné uspávat ZigBee modul pomocí změny logické úrovně signálu na jednom z jeho pinů. Pokud by toto řešení hardware neumožňoval, senzorové uzly by nebylo možné provozovat při napájení z baterií po dostatečně dlouhou dobu. Modul PIR z obrázku 5.3 zahrnuje hardware použitých senzorů pohybu.



Obrázek 5.3: Blokové schéma senzorového uzlu

Kapitola 6

Hardware systému

V následujícím textu si popíšeme hardwarové vybavení jednotlivých typů zařízení využitých v systému.

6.1 Hardware centrální jednotky

6.1.1 Použité komponenty

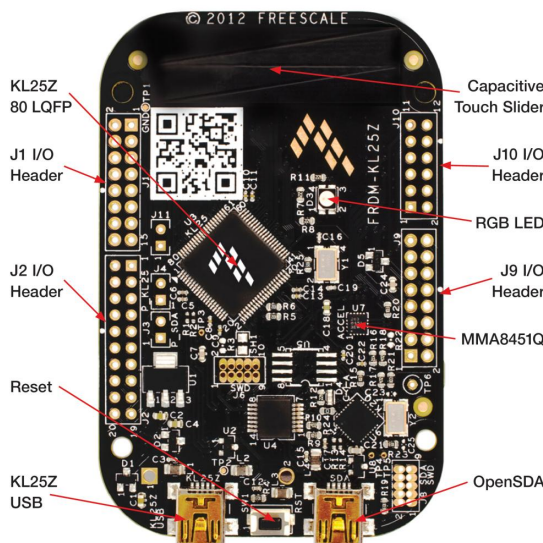
Centrální jednotka se skládá ze stavebních bloků, které byly popsány v podkapitole 5.1. Nyní tedy hlavním stavebním blokům centrální jednotky přiřadíme reálné komponenty a popíšeme si jejich vlastnosti.

Mikrokontrolér Freescale řady Kinetis KL25

Činnost centrální jednotky je řízena mikrokontrolérem MKL25Z128VLH4 firmy Freescale Semiconductor. Hlavním kritériem při výběru vhodného mikrokontroléru byla přítomnost rozhraní SPI pro komunikaci s microSD kartou, rozhraní UART pro komunikaci s XBEE modulem, I2C rozhraní použitého pro komunikaci a řízení LCD displeje a obvodu reálného času a dostatečného počtu pinů pro obecné použití, které slouží ke čtení vstupů z klávesnice. Nespornou výhodou spojenou s výběrem tohoto mikrokontroléru je dostupnost vývojové platformy Freedom Development Board KL25 osazené vybraným čipem. Díky tomu bylo možné v relativně krátkém čase vyvinout prototyp a ověřit tak, zda vybraný čip splňuje všechny požadavky. Použitou vývojovou platformu můžeme vidět na obrázku 6.1.

Klíčové vlastnosti mikrokontroléru

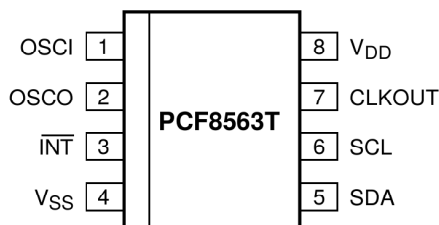
- Jádro: ARM Cortex M0+ 48 MhZ
- Paměť flash: 128 kB
- Paměť RAM: 16 kB
- Periferie: SPI, I2C, UART
- Časovače: 16-bit Low Power Timer
- Počet V/V pinů: 50



Obrázek 6.1: Vývojová platforma FRDM-KL25Z [20]

RTC obvod NXP PCF8563T

Blok RTC, jenž můžeme vidět na obrázku 5.2, je hardwarově realizován pomocí čipu PCF8563T firmy NXP. Jedná se o čip, jenž neposkytuje pouze informace o reálném čase, ale uchovává také aktuální datum, díky čemuž slouží i jako kalendář. Ke komunikaci s řídicím mikrokontrolérem využívá I2C sběrnici, kterou je možné taktovat až na 400 kHz. Obvod rovněž umožňuje generovat přerušeni na základě nastavení hodnoty registrů alarmu. Přerušeni může být generováno také na základě nastavení hodnoty vestavěného čítače a jeho taktování. Na obrázku 6.2 můžeme vidět pouzdro RTC obvodu.



Obrázek 6.2: Pouzdro obvodu NXP PCF8563T [32]

Klíčové vlastnosti RTC obvodu

- Rozhraní: I2C (až 400 kHz)
- Napájecí napětí: 1,0 V – 5,5 V
- Funkce: čas, kalendář, alarm

XBEE modul Digi International XB24-BWIT-004

Pro bezdrátovou komunikaci centrální jednotky se senzory byl použit XBEE modul firmy Digi International. Komunikace s tímto modulem probíhá přes rozhraní UART, přičemž

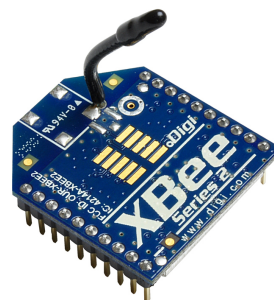
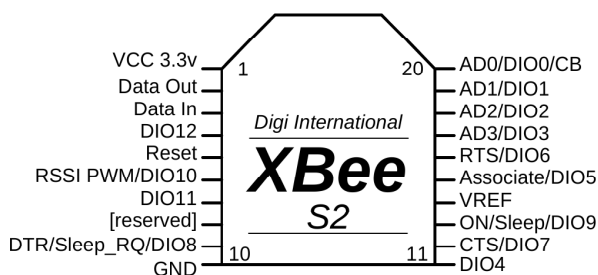
rychlost (baudrate) komunikace lze nastavit v jeho konfiguraci. Konfigurace probíhá prostřednictvím programu XCTU, který je zdarma k dispozici na webových stránkách výrobce. XBEE modul je vyobrazen na obrázku 6.4.

Modul neumožňuje pouze bezdrátovou komunikaci s ostatními zařízeními, jelikož jeho pouzdro zahrnuje také vstupně výstupní piny, které lze nakonfigurovat tak, že reagují na změnu logické úrovně nebo jsou periodicky vzorkovány. Modul také obsahuje 10-ti bitový AD převodník, který může snímat analogová data (např.: stav napájecích baterií). Jednotlivé piny pouzdra XBEE modulu jsou popsány na obrázku 6.3.

Vzhledem k poměrně vysokému příkonu modulu (až 50 mA) se při jeho použití v bateriově napájených zařízeních využívá dvou režimů spánku. Prvním z nich je režim cyklického probouzení z režimu spánku, jehož periodičita je dána konfigurací modulu. Druhý režim spánku je řízen logickou úrovní na jednom z pinů modulu.

Klíčové vlastnosti XBEE modulu

- Rozhraní: UART
- Dosah: 40m uvnitř budov, 120m mimo budovy
- Napájecí napětí: 2,8 V – 3,4 V
- Proudový odběr: TX – 45 mA při 3,3 V, RX – 50 mA při 3,3 V



Obrázek 6.3: Popis pinů XBEE modulu [39]

Obrázek 6.4: XBEE modul [21]

LCD displej MIDAS MCCOG21605B6W

Ke zobrazení potřebných informací je u centrální jednotky využít LCD displej firmy Midas. Pro čitelné zobrazení údajů musí být displej podsvícen, neboť se jedná o displej negativního typu¹, který se vyznačuje nízkým kontrastem. Displej je inicializován a ovládán stejně jako v případě RTC obvodu prostřednictvím I2C sběrnice.

Klávesnice

Klávesnice centrální jednotky je realizována pomocí pětice mikrotlačítek. Výstup tlačítka je připojen na vstupně výstupní piny, které jsou schopny generovat přerušování na základě detekce sestupné hrany.

¹Pozadí displeje je tmavé a zobrazované znaky jsou světlé.

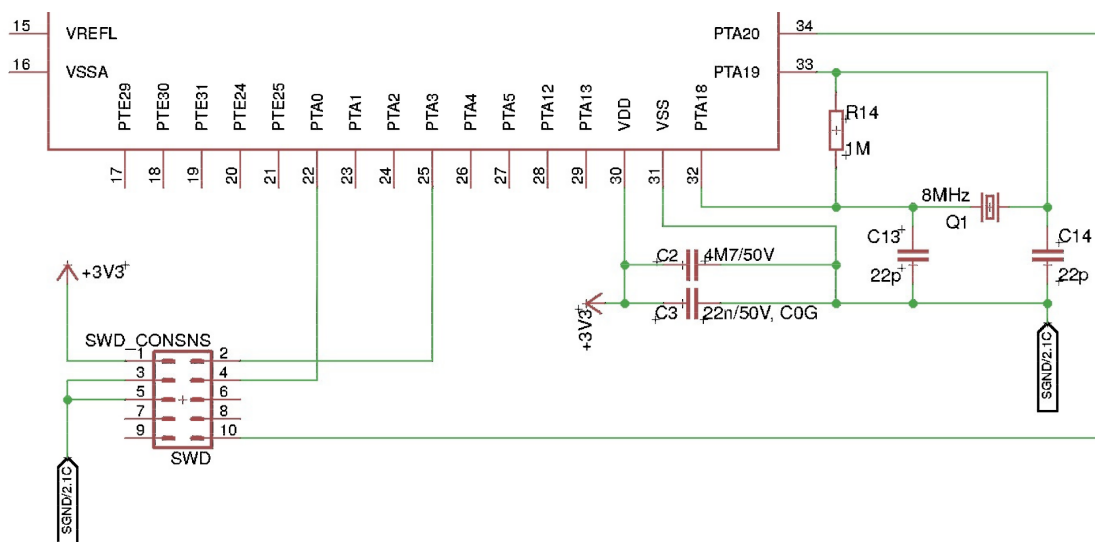
Paměťová karta microSD

MicroSD paměťová karta reprezentuje tzv. storage modul, který lze vidět na obrázku 5.2. Tento typ paměťového média byl zvolen díky příznivému poměru ceny a kapacity a také díky možnosti využití již dříve nabytých zkušeností.

6.1.2 Schéma zapojení

Poté, co jsme si popsali klíčové hardwarové komponenty centrální jednotky, přejdeme k popisu schématu zapojení.

Jak již bylo uvedeno výše, činnost centrální jednotky řídí mikrokontrolér Freescale řady Kinetis KL25, a proto začneme právě s jeho popisem. Základními prvky obvodu mikrokontroléru jsou SWD konektor a obvod s oscilátorem, jejichž zapojení bylo převzato z manuálu k vývojové platformě Freedomboard KL25Z [20]. Konektor SWD slouží k připojení debuggeru, jehož prostřednictvím lze zařízení naprogramovat a také ladit. Ukázku výše zmíněné části zapojení můžeme vidět na obrázku 6.5.



Obrázek 6.5: Zapojení krystalu a SWD konektoru mikrokontroléru

K mikrokontroléru je přes rozhraní UART, jenž je přítomno na pinech PTE0 a PTE1, připojen XBEE modul a také čip FT232 od firmy FTDI, který slouží jako převodník mezi rozhraními USB a UART. Tento čip byl u centrální jednotky využit pro připojení k XBEE modulu prostřednictvím programu XCTU. Přes tento program lze modul nejen konfigurovat, ale také zobrazit topologii celé ZigBee sítě a vzdáleně konfigurovat parametry senzorů.

K připojení microSD karty je využito rozhraní SPI a pin pro obecné použití, který slouží k detekci vložení karty. Rozhraní SPI je dostupné na pinech PTD0 – PTD3 a k detekci karty je využit pin PTC1.

Obvod uchováající informaci o aktuálním čase a datu je stejně jako LCD displej řízen pomocí I2C rozhraní. Tyto dvě komponenty spolu sběrnici I2C, jenž je vyvedena na pinech PTB2 a PTB3 mikrokontroléru, sdílí. Dalšími piny, jenž souvisí s funkcí LCD displeje a RTC obvodu jsou piny PTB0 a PTB1. Pin PTB0 umožňuje resetovat LCD displej, a tím vymazat všechny informace, které aktuálně zobrazuje. Pin PTB1 slouží k příjmu přerušování od RTC obvodu. Přerušování je obvodem generováno v případě, že je povolena funkce alarm. Schéma

zapojení LCD displeje i RTC obvodu bylo přejato z dokumentace, která byla k těmto komponentám dostupná [30, 32].

Klávesnice je realizována pomocí pětice tlačítek, jejichž výstupy jsou připojeny k pěti pinům mikrokontroléru. Na výstupy tlačítek je přes pull-up rezistory přivedeno napětí reprezentující log. „1“. Vstupy tlačítek jsou oproti tomu uzemněny, reprezentují tedy log. „0“. Ve chvíli, kdy je tlačítko sepnuto, dostane se na jeho výstup log. „0“. Tato událost je detekována jako sestupná hrana na příslušném pinu mikrokontroléru. Zákmity tlačítka při stisku jsou ošetřeny připojením kondenzátoru mezi výstupní pin tlačítka a zem.

Centrální jednotka je napájena z externího zdroje s výstupním napětím 5 V a proudovým omezením na hranici 1 A. Obvod, jenž zajišťuje napájení elektroniky umožňuje centrální jednotku napájet, buď přes již zmíněný externí adaptér, nebo přes USB port počítače. Aktuální zdroj napájení je signalizován pomocí dvojice LED diod. Celý obvod je jistěn 1 A pojistkou. Vzhledem k tomu, že je veškerá elektronika napájena 3,3 V bylo potřeba použít napěťový regulátor, který napájecí napětí potřebně sníží.

6.1.3 Deska plošných spojů

Deska plošných spojů centrální jednotky je realizována jako dvouvrstvá a její rozměry jsou 99 mm x 83 mm. Součástky jsou na desce rozloženy do skupin, jenž korespondují s rozdělením obvodu ve schématu zapojení.

V centrální části desky je umístěn mikrokontrolér, k němuž jsou připojeny ostatní komponenty.

Horní levá část desky plošných spojů je osazena součástkami zajišťujícími napájení elektroniky. Jak již bylo uvedeno v popisu schématu zapojení, celý obvod je možné napájet prostřednictvím rozhraní USB a z toho důvodu je konektor, jenž připojení k USB sběrnici umožňuje, umístěn v téže části desky. Se zmíněným konektorem souvisí možnost připojení k XBEE modulu, z čehož vyplývá požadavek na co největší blízkost tohoto konektoru a patice pro XBEE modul. Mezi těmito dvěma komponentami se nachází čip FTDI FT232.

V horní pravé části se nachází ethernet konektor, který je přes oddělovací transformátor připojen k čipu W5500, jenž je hardwarovou implementací TCP/IP stacku.

Ve spodním pravém rohu desky se nachází RTC modul a konektor pro LCD displej, jejichž vzájemná blízkost souvisí s faktem, že obě dvě komponenty komunikují s mikrokontrolérem prostřednictvím I2C rozhraní.

Napravo od předchozí části desky je umístěn konektor sloužící k připojení microSD karty.

V levém spodním rohu desky se nachází klávesnice, jejíž tlačítka jsou rozmístěna do tvaru kříže. Díky tomuto rozložení je i bez popisek na krabičce, ve které je deska umístěna jasné, že prostřední tlačítko slouží jako potvrzovací a zbylá čtyři jsou směrová.

K zakrytí desky plošných spojů byla použita univerzální krabička, do níž bylo nutno vyřezat otvory pro všechny potřebné konektory, klávesnici a LCD displej. Deska je v této krabičce uchycena pomocí čtyř distančních sloupků, jejichž pozici vymezují montážní otvory umístěné v rozích desky.

6.2 Hardware senzorů

6.2.1 Použité komponenty

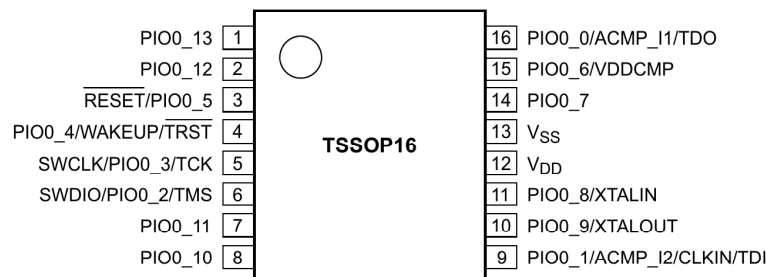
Stejně jako tomu bylo u centrální jednotky i nyní si popíšeme klíčové stavební bloky použité u senzorů systému.

Mikrokontrolér NXP řady LPC81XM

Činnost senzorů je řízena mikrokontrolérem LPC811M001JDH16FP firmy NXP. Jak již bylo popsáno v podkapitole 6.1.1, příkon zařízení z pohledu bateriového napájení je značný, a proto je nutné XBEE modul uspávat. V případě naší aplikace je vhodné využít uspávání pomocí jednoho z pinů XBEE modulu, neboť pohyb je detekován v nepravidelných intervalech. Mikrokontrolér je tedy využit k přepínání mezi režimem spánku a režimem běhu XBEE modulu. Vzhledem k tomu, že mikrokontrolér má více pinů než bylo nutně potřeba, byly další piny využity pro komunikaci s XBEE modulem přes UART rozhraní, ovládání resetu modulu a další funkce, které budou popsány v podkapitole 6.2.2.

Klíčové vlastnosti mikrokontroléru

- Jádru: ARM Cortex M0+ 30 MhZ
- Paměť flash: 16 kB
- Paměť RAM: 4 kB
- Periferie: USART
- Počet V/V pinů: 14



Obrázek 6.6: Pozdro použitého čipu NXP LPC811M001JDH16FP [31]

PIR senzor

K detekci pohybu v prostoru monitorovaném daným senzorem byl využit PIR modul, který je možné vidět na obrázku 6.7. Modul má celkem tři piny, přičemž dva z nich slouží k napájení modulu a pin poslední je výstupní. Pokud je detekován pohyb, dojde ke změně úrovně napětí na výstupním pinu z log. „0“ na log. „1“. Modul také umožňuje nastavení senzitivity (dosahu) a doby, po jakou zůstane výstupní pin v log. „1“ poté, co pohyb ustane.

Klíčové vlastnosti XBEE modulu

- Napájení: 4,5 V – 20 V
- Dosah: max. 7 m
- Úhel detekce: 100°
- Proudový odběr: 50 μ A



Obrázek 6.7: PIR modul pro detekci pohybu [27]

XBEE modul Digi International XB24-BWIT-004

Pro bezdrátovou komunikaci senzorů s centrální jednotkou byly použity tytéž XBEE moduly jako v případě centrální jednotky. Moduly byly popsány v podkapitole 6.1.1.

6.2.2 Schéma zapojení

Nyní si popíšeme jednotlivé části schématu zapojení sensorových uzlů bezdrátové sítě. Jak již bylo zmíněno, sensorové uzly reprezentují v bezdrátové síti různé typy zařízení, a z toho důvodu se liší také schéma jejich zapojení.

Společným rysem všech senzorů je použití mikrokontroléru NXP LPC811M001JDH16FP popsaného v podkapitole 6.2.1. K tomuto mikrokontroléru je připojen výstupní pin PIR senzoru a pin XBEE modulu, jenž je nastaven tak, aby detekoval vzestupnou i sestupnou hranu signálu na jeho vstupu. Dojde-li k detekci pohybu, objeví se na pinu mikrokontroléru připojeného k PIR senzoru sestupná hrana. Na základě detekce této události mikrokontrolér změni logickou úroveň na pinu připojeného k XBEE modulu. Tato změna je modulem zdetekována a dojde k odeslání paketu s aktuálními stavy jeho pinů a jeho adresou do centrální jednotky, kde jsou data dále zpracována.

Schéma zapojení rovněž umožňuje prostřednictvím mikrokontroléru restartovat XBEE modul a komunikovat s ním prostřednictvím rozhraní USART. Po připojení LED diody k pinu PI00_7 můžeme signalizovat například stavy, v jakých se zařízení nachází.

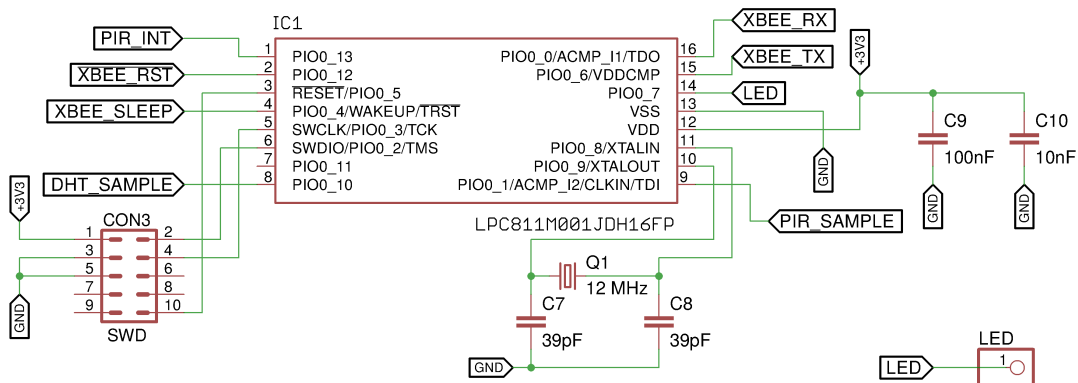
Napájecí obvod senzorů je jištěn proti přetížení pojistkou F1, kterou může protékat maximální proud 500 mA. Všechny části obvodu s výjimkou PIR senzoru jsou stejně jako v případě centrální jednotky napájeny napětím o velikosti 3,3 V. Napájecí obvod k získání tohoto napětí využívá napěťového regulátoru IC2.

Schéma zapojení senzorů rovněž obsahuje konektor, který v rámci této práce slouží pouze jako příprava pro možné připojení senzoru teploty a vlhkosti DHT22.

Výše uvedený popis se vztahoval k těm částem schématu zapojení, která jsou společná jak pro senzory v roli směrovačů, tak pro senzory v roli koncových zařízení. Nyní se budeme zabývat těmi částmi, ve kterých se senzory jednotlivých typů liší.

Senzory s funkcí směrovače

Vzhledem k tomu, že není možné senzory s funkcí směrovače v bezdrátové síti uspávat, je nutné, aby byly napájeny prostřednictvím externího zdroje. Pro tento účel byly využity stejné externí adaptéry jako tomu bylo v případě centrální jednotky.

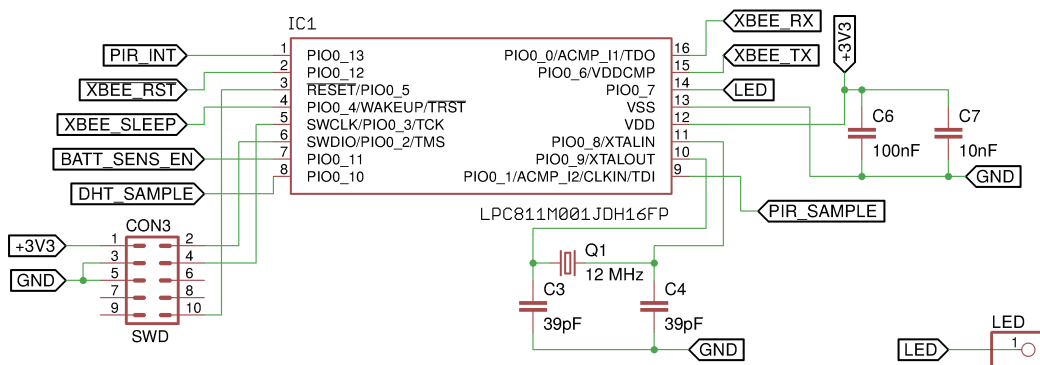


Obrázek 6.8: Schéma zapojení mikrokontroléru směrovače

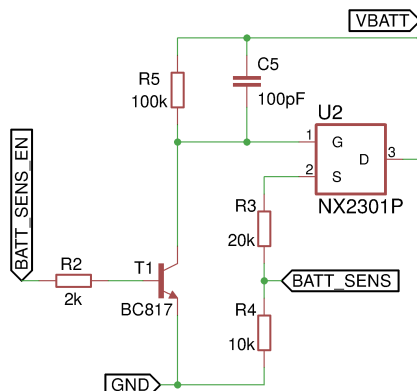
Senzory s funkcí koncového zařízení

Senzory s funkcí koncového zařízení jsou napájeny pomocí čtyř AA baterií, přičemž každá z nich má napětí naprázdno 1,5 V. Baterie jsou zapojeny do série, čímž získáme napájecí napětí o velikosti 6 V.

Dalším rozdílem oproti sensorům s funkcí směrovače je obvod, který můžeme vidět na obrázku 6.10. Obvod je připojen k mikrokontroléru prostřednictvím pinu PI00.11, který spíná tranzistor T1. Jakmile je tranzistor T1 sepnut na vstupu G MOSFET tranzistoru U2 se objeví napětí, které jej otevře a začne přes něj procházet proud. Napětí z baterie je pak pomocí napěťového děliče tvořeného odpory R3 a R4 sníženo na třetinovou velikost. Následně je snižená hodnota napájecího napětí přivedena na pin A/D převodníku XBEE modulu. Díky tomuto obvodu můžeme tedy odeslat do centrální jednotky informaci o stavu baterie senzoru.



Obrázek 6.9: Schéma zapojení mikrokontroléru koncového zařízení



Obrázek 6.10: Obvod snímající stav baterií senzoru

6.2.3 Deska plošných spojů

Stejně jako v případě centrální jednotky jsou desky plošných spojů směrovačů a koncových zařízení realizovány jako dvouvrstvé. Přestože se návrh desky směrovače a koncového zařízení liší, byly z důvodu montáže zachovány shodné rozměry, a to 82 mm x 40 mm.

Oba dva typy desek mají poměrně mnoho věcí společných. V levé části desky se nachází konektor XB1, který slouží k připojení bezdrátového modulu XBEE do obvodu. Vedle něj v centrální části se nachází řídicí mikrokontrolér, ke kterému je přivedena trojice konektorů CON1, CON2 a CON3. Konektor CON1 slouží k připojení PIR senzoru, konektor CON2 umožňuje připojit senzor teploty a vlhkosti a konektor CON3 slouží k připojení debuggeru přes SWD rozhraní. Napravo od mikrokontroléru je umístěn 12 MHz krystal Q1, jenž může sloužit jako zdroj hodin mikrokontroléru.

Senzory s funkcí směrovače

Vzhledem k nutnosti napájet zařízení, jenž funguje jako směrovač ze síťového zdroje, je na pravé hraně desky plošných spojů umístěn konektor, který k tomuto účelu slouží. Veškeré součástky související s napájením elektroniky se tedy nachází rovněž v pravé části desky plošných spojů. Připojení napájecího napětí je signalizováno LED diodou.

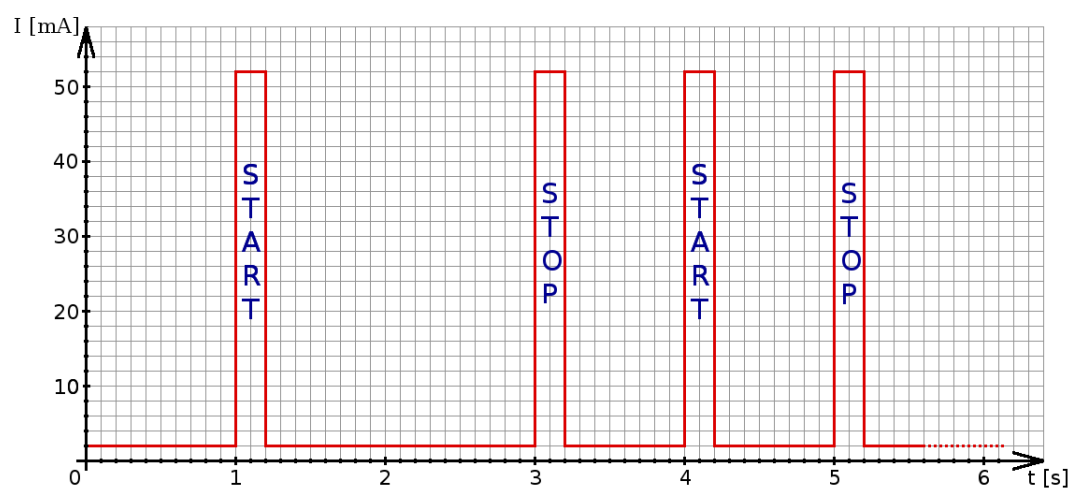
Senzory s funkcí koncového zařízení

Zařízení je napájeno bateriově, díky čemuž odpadá použití konektoru pro externí napájení. Místo něj je pod XBEE modulem umístěn konektor, který slouží k připojení vodičů držáku baterií. Pod XBEE modulem jsou také umístěny součástky obvodu umožňujícího detekci stavu baterií, který lze vidět na obrázku 6.10.

6.2.4 Bateriové napájení senzorů

Jak je již uvedeno výše, senzory s funkcí koncového zařízení jsou napájeny bateriově a jejich maximální možná doba provozu se odvíjí od efektivity, s jakou jsou baterie využívány. Na obrázku 6.11 můžeme vidět idealizovaný průběh proudového odběru z baterií v případě detekce pohybu v monitorovaném prostoru. Pokud je zařízení v režimu, kdy je bezdrátový modul uspaný a čeká na detekci změny na výstupním pinu PIR senzoru, odebírá zařízení z baterie proud o velikosti 2 mA. V okamžiku, kdy je detekován začátek či konec pohybu

před senzorem, dojde k odeslání XBEE paketu a odběr stoupne až k 52 mA. Jakmile jsou data odeslána, je bezdrátový modul opět uspán a odběr klesne na původní úroveň.



Obrázek 6.11: Proud odebíraný z baterie při činnosti koncového zařízení

Z povahy měření není možné předem odhadovat, jaké procento času stráví zařízení v režimu spánku, a jaké procento v režimu běhu. Z toho důvodu je poměr těchto časů uveden v kapitole 8.4.

Kapitola 7

Software systému

V rámci této kapitoly bude popsán software, jenž řídí činnost zařízení popsaných v kapitole 6. První část pojednává o softwarovém vybavení centrální jednotky systému a popíše její činnost. Část druhá shrnuje popis softwaru senzorů, neboť zdrojové kódy senzorů pracujících v režimu směrovače a senzorů reprezentujících koncová zařízení bezdrátové sítě se liší pouze nepatrně.

Na části softwarového vybavení, jenž byly převzaty z jiných projektů, je v textu výslovně upozorněno.

7.1 Software centrální jednotky

7.1.1 Modul AUTOMATA

Činnost centrální jednotky je řízena pomocí stavového automatu, jehož stavy a logika přechodů mezi nimi je implementována v rámci tohoto modulu. Implementace modulu se nachází v souborech `automata.c` a `automata.h`. Popis principu činnosti zařízení řízeného tímto automatem je detailně popsán v podkapitole 7.1.7.

7.1.2 Modul ENV

Vzhledem k faktu, že systém může monitorovat poměrně rozsáhlý prostor, je vhodné, aby bylo možné sdružovat senzorové uzly do skupin, které tak budou dělit monitorovaný prostor na oblasti. K tomuto účelu slouží modul ENV, jenž obsahuje implementaci struktur `sensorNode_t` a `systemEnvironment_t`. Struktura `sensorNode_t` uchovává informace o tom, do jaké skupiny je senzor zařazen a jaké je jeho jednoznačné 64-bitové identifikační číslo. Ve struktuře `systemEnvironment_t` je uchováno pole struktur typu `sensorNode_t`, jehož velikost je nastavitelná pomocí makra `ENV_MAX_NODES_NUMBER` udávajícího maximální počet senzorových uzlů v systému.

```
typedef struct {
    uint64_t u64UniqueIdentifier;
    uint8_t u8AreaNumber;
    uint8_t u8SubareaNumber;
} sensorNode_t;
```

Zdrojový kód 7.1: Struktura uchovávající informace o senzorovém uzlu

```
typedef struct {
    uint8_t u8NodesCount;
    sensorNode_t tSensorNodes [ENV_MAX_NODES_NUMBER];
} systemEnvironment_t;
```

Zdrojový kód 7.2: Struktura uchovávající informace o všech senzorových uzlech v systému

Informace uložené v rámci modulu ENV jsou využity při inicializaci adresářové struktury odpovídající rozdělení senzorů do jednotlivých skupin a také k určení souboru, do kterého se mají zapsat data přicházející ze senzorových uzlů.

7.1.3 Modul MENU

Implementace menu, prostřednictvím kterého je možné uložit do centrální jednotky informaci o aktuálním čase a zahájit samotné měření, je realizována v modulu MENU a můžeme ji najít v souborech `menu.c` a `menu.h`.

Každá položka menu je reprezentována strukturou `menuEntry_t`, která uchovává text přiřazený dané položce, počet položek dané úrovně menu, index položky, na kterou přejít při stisku tlačítka *up*, *down* či *enter* a také ukazatel na funkci, která je zavolána při stisku tlačítka *enter*. Z těchto struktur je vytvořeno pole `tMenu[]`, které celé menu reprezentuje.

```
typedef struct {
    const char *pcMenuEntryText;
    uint8_t u8MenuItemsCount;
    uint8_t u8UpItem;
    uint8_t u8DownItem;
    uint8_t u8EnterItem;
    void (*actionHandler)(void);
} menuEntry_t;
```

Zdrojový kód 7.3: Struktura reprezentující položku menu

7.1.4 Moduly pracující s microSD kartou

Data zapisovaná na microSD kartu jsou zpracovávána celkem čtyřmi moduly. Jedná se o moduly SPI, SD, FAT a XML. Z vyjmenovaných modulů byl modul FAT převzat z projektu Ultra Embedded [44]. Nyní si jednotlivé moduly pracující s microSD kartou popíšeme.

Modul SPI

Funkce pro práci s SPI rozhraním jsou implementovány v souborech `spi.c` a `spi.h`. Tento modul pracuje s daty na úrovni jednotlivých bytů a řeší tedy, *jaká* data se budou fyzicky přenášet po datových linkách mezi čipem mikrokontroléru a microSD kartou [29].

```
void spi_write_byte(uint8_t u8Data)
{
    /* Wait till buffer is empty */
    while(!(SPI0_S & SPI_S_SPTEF_MASK));

    /* Send data to SPI */
    SPI0_D = u8Data;
}
```

Zdrojový kód 7.4: Ukázka funkce pro odeslání jednoho bytu dat

Modul SD

Modul SD pracuje s bloky dat o velikosti 512 bytů. V těchto 512 bytech jsou přenášena data a příkazy, pomocí kterých spolu mikrokontrolér a microSD karta komunikují. Tento modul tedy reprezentuje *protokol* této komunikace a jeho implementace se nachází v souborech `sd.c` a `sd.h` [29].

Zdrojový kód 7.5 demonstruje využití SPI funkcí pro implementaci příkazů microSD karty. Vzhledem k délce kódu uváděné funkce jsou vybrány pouze její klíčové části.

Funkce `sd_media_write()` má celkem tři parametry. Prvním z nich je `u32Sector`, který představuje číslo bloku microSD karty, na který se mají zapsat data předávaná funkci pomocí parametru `*pu8Buffer`. Poslední parametr určuje, kolik bloků dat se bude zapisovat.

V cyklu `for` iterujeme přes počet zapisovaných sektorů, přičemž na začátku každé iterace je odeslán paměťové kartě příkaz `SD_CMD24`, jehož parametr se liší na základě typu karty. Jedná-li se o kartu typu SDHC¹, je parametrem adresa bloku, kam se bude zapisovat. V případě SDSC² karty je parametrem adresa bytu, od něhož se budou data zapisovat. Poté je kartě zaslán `SD_TOKEN_START_TRANSFER`, což je byte s hodnotou `0xFE` následovaný samotnými daty. Po úspěšném zápisu dat na paměťovou kartu posuneme ukazatel na zapisovaná data o velikost bloku karty a také inkrementujeme proměnnou uchováající číslo sektoru, do kterého se budou zapisovat data v další iteraci.

```
uint8_t sd_media_write(uint32_t u32Sector, uint8_t *pu8Buffer, uint32_t
    u32SectorCount)
{
    ...

    /* Write data */
    for (u32I=0U; u32I<u32SectorCount; u32I++)
    {
        /* Card is SDHC card --> CMD24 argument is block address */
        if (TRUE == bSdCardIsHighCapacityCard)
        {
            /* Send CMD24(WRITE_SINGLE_BLOCK) command to read block of memory*/
            if (sd_send_cmd(SD_CMD24, u32Sector, SD_CMD_RES_OK) != SD_CMD_OK)
            {
                spi_deselect_sd_card();
                return SD_WRITE_FAILS;
            }
        }
        /* Card is SDSC card --> CMD24 argument is byte address */
        else
        {
            /* Send CMD24(WRITE_SINGLE_BLOCK) command to read block of memory*/
            if (sd_send_cmd(SD_CMD24, u32Sector * SD_BLOCK_SIZE, SD_CMD_RES_OK) !=
                SD_CMD_OK)
            {
                spi_deselect_sd_card();
                return SD_WRITE_FAILS;
            }
        }

        /* Send data start token */
        spi_write_byte(SD_TOKEN_START_TRANSFER);
```

¹Secure Digital High Capacity

²Secure Digital Standard Capacity

```

    /* Write data */
    for (u32J=0; u32J<SD_BLOCK_SIZE; u32J++)
    {
        spi_write_byte(pu8Buffer[u32J]);
    }

    ...

    u32Sector ++;
    pu8Buffer += 512;
}

...

return SD_WRITE_OK;
}

```

Zdrojový kód 7.5: Ukázka funkce zapisující data na microSD kartu

Modul FAT

Modul FAT pracuje s FAT tabulkou a zabývá se tedy *logickou strukturou* dat uložených na microSD kartě. V souborech `fat.c` a `fat.h` můžeme nalézt funkce sloužící ke sjednocení formátu hlaviček funkcí z převzaté knihovny s nastavenými pravidly formátování zdrojových kódů [29]. Dále zde nalezneme funkci `fat_init()`, jejímž prostřednictvím se inicializuje nejen paměťová karta, ale také struktury pro uchování dat z FAT tabulky.

```

uint8_t fat_init(void)
{
    /* Initialize SD card */
    while (sd_media_init() != SD_INIT_OK)
    {
        lcd_clear_display();
        lcd_send_string("Insert SD card!");
        lptmr_time_delay_ms(2000U);
    }

    /* Initialize File IO Library */
    fl_init();

    /* Attach media access functions to File IO Library */
    while (fl_attach_media(sd_media_read, sd_media_write) != FAT_INIT_OK)
    {
        lcd_clear_display();
        lcd_send_string("Media attach failed!");
    }

    return;
}

```

Zdrojový kód 7.6: Funkce inicializující paměťovou kartu a souborový systém

Při rozhodování, kterou z knihoven pracujících s FAT tabulkou využít, připadala do úvahy také knihovna, která byla použita v mé bakalářské práci. Tato knihovna však podpořovala pouze souborový systém FAT16, což se nejevilo z pohledu praktického použití zařízení

jako vhodné. Z toho důvodu byla nakonec využita knihovna *fat_io_lib*, která podporuje také souborový systém FAT32.

Modul XML

Úkolem tohoto modulu je při jeho inicializaci vytvořit na paměťové kartě adresářovou strukturu konfigurovatelnou v modulu ENV a následně na ni zapisovat přijatá data a údaje o čase ve formátu XML. Implementace se nachází v souborech `xml.c` a `xml.h`.

Pro ukázkou je ve zdrojovém kódu 7.7 uvedena funkce inicializující XML vrstvu. Vzhledem k její délce jsou zde uvedeny pouze její stěžejní části.

Funkce `xml_init()` obsahuje smyčku `for`, která iteruje přes všechny sensorové uzly sítě, jenž jsou zaregistrovány v modulu ENV. Na základě informace, do jaké spadá aktuální sensor *oblasti* a *podoblasti*, je vytvořena složka s názvem *Area_oblast_podoblast*. Do této složky jsou pak umístěny soubory sensorů, jenž do dané oblasti patří. Název souboru odpovídá 64-bitovému unikátnímu identifikátoru daného sensorového uzlu. Poté, co je soubor vytvořen, je do něj zapsána XML hlavička.

```
uint8_t xml_init()
{
    ...

    /* Iterate through all nodes in the environment */
    for (u8X = 0U; u8X < tEnvironment.u8NodesCount; u8X++)
    {
        /* Determine the name of the directory */
        (void) sprintf(acAreaDirectoryString, "/Area_%02u_%02u", tEnvironment.
            tSensorNodes[u8X].u8AreaNumber, tEnvironment.tSensorNodes[u8X].
            u8SubareaNumber);

        /* Create directory */
        fat_createdirectory(acAreaDirectoryString);

        /* Determine file path*/
        (void) snprintf(acFilePathString, sizeof(acFilePathString), "%s/%8X.xml",
            acAreaDirectoryString, tEnvironment.tSensorNodes[u8X].u64UniqueIdentifier);

        /* Create new file */
        if (NULL != (file = fat_fopen(acFilePathString, "w")))
        {
            /* Write initial character sequence to the file */
            if (fat_fwrite(acXmlHeader, 1, sizeof(acXmlHeader)-1, file) != sizeof(
                acXmlHeader)-1)
            {
                /* Error while writing data to the file */
                return -1;
            }
        }
    }
    ...
}
```

Zdrojový kód 7.7: Funkce vytvářející nový XML soubor

Aby byly informace o XML modulu kompletní, je zde také zařazeno XSD schéma formátu dat o pohybu osob zapisovaných do souboru.

```

<xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
<xs:element name="movementlog">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element name="entry" maxOccurs="unbounded" minOccurs="0">
        <xs:complexType>
          <xs:sequence>
            <xs:element type="xs:dateTime" name="start"/>
            <xs:element type="xs:dateTime" name="end"/>
          </xs:sequence>
        </xs:complexType>
      </xs:element>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
</xs:schema>

```

Zdrojový kód 7.8: XSD schéma formátu dat

7.1.5 Moduly pracující s LCD a RTC

Moduly pracující s displejem a obvodem reálného času jsou záměrně sdruženy, jelikož oba dva komunikují s mikrokontrolérem prostřednictvím I2C rozhraní. Obslužné rutiny tohoto rozhraní jsou implementovány v rámci modulu I2C, který je do této části textu také zařazen.

Modul I2C

Modul I2C poskytuje implementaci obslužných rutin I2C rozhraní, kterou lze najít v souborech `i2c.c` a `i2c.h`. Příkladem může být rutina pro odeslání jednoho bytu dat do registru určeného adresou zařízení a adresou samotného registru. Na začátku funkce je prostřednictvím makra `I2C_START` sběrnice uvedena do tzv. *start condition* uvozující komunikaci na sběrnici. Následně je odeslána adresa zařízení, do jehož registru specifikovaného druhou odeslanou adresou mají být data zapsána. Po odeslání samotných dat je makrem `I2C_STOP` sběrnice uvedena do tzv. *stop condition* ukončující komunikaci na sběrnici. Na závěr je dodáno ještě krátké zpoždění sloužící k ustálení napětí přítomného na vodičích I2C sběrnice před další operací na sběrnici.

```

void i2c_write_register(uint8_t u8SlaveAddress, uint8_t u8RegisterAddress, uint8_t
    u8Data)
{
    I2C_START();

    /* Send I2C device address with W/R bit = 0 */
    I2C0_D = (u8SlaveAddress << 1U) | 0x00U;
    I2C_WAIT();

    /* Send register address */
    I2C0_D = u8RegisterAddress;
    I2C_WAIT();

    /* Send the data */
    I2C0_D = u8Data;
    I2C_WAIT();
}

```

```
I2C_STOP();

Pause(I2C_WAIT_CYCLES_NUM);
}
```

Zdrojový kód 7.9: Zápis dat do registru zařízení

Modul LCD

Tento modul obsahuje funkce umožňující pracovat s LCD displejem. Jejich implementaci lze nalézt v souborech `lcd.c` a `lcd.h`. Mezi funkce, které modul implementuje, patří inicializace displeje, vypsání textu či celočíselné proměnné, nastavení kontrastu, vymazání displeje apod. Ve zdrojovém kódu 7.10 můžeme vidět funkci sloužící k zobrazení textového řetězce na LCD displeji.

```
void lcd_send_string(uint8_t *pu8String)
{
    uint8_t u8PrintedChars = 0U;

    while (*pu8String != '\0')
    {
        i2c_write_register(LCD_I2C_ADDRESS, LCD_DISPLAY_DATA, *pu8String);
        pu8String++;

        /* Move to second line */
        if (++u8PrintedChars == 16)
        {
            lcd_set_cursor_position(1,0);
        }
    }
}
```

Zdrojový kód 7.10: Funkce vypisující řetězec na LCD displej

Modul RTC

Modul RTC obsahuje funkce, pomocí kterých lze nastavit či vyčíst aktuální čas z obvodu reálného času. Implementace modulu, kterou lze nalézt v souborech `rtc.c` a `rtc.h`, zahrnuje také lokální funkce provádějící převod z klasického formátu čísla do BCD³ formátu a naopak, jelikož obvod uchovává ve svých registrech informace právě v BCD formátu.

7.1.6 Moduly pracující s bezdrátovým XBEE modulem

Modul UART

Modul UART zajišťuje komunikaci s bezdrátovým XBEE modulem pomocí stejnojmenného rozhraní. Zdrojové kódy modulu se nacházejí v souborech `uart.c`, `uart.h` a `uart_config.h`. Implementace tohoto modulu zahrnuje nejen jeho inicializaci a funkce pro odesílání a příjem dat, ale také implementaci kruhového bufferu `tUartRxBuffer`, do nějž jsou ukládána všechna přijatá data. Velikost tohoto bufferu je konfigurovatelná prostřednictvím makra `UART_RX_BUFFER_SIZE`.

³Binary Coded Decimal

Pro ukázkou je zde uveden zdrojový kód obslužné rutiny přerušeni, která slouží k příjmu dat z bezdrátového XBEE modulu. Po vstupu do funkce je nejprve přečten *status register*, z něhož je přečtena informace o tom, zda je register s přijatými daty naplněn. Pokud ano, jsou data z registru přečtena a uložena do proměnné `u8Byte`. Pokud se zařízení nachází ve stavu, kdy je zobrazeno menu a neprobíhá tak měření, jsou přijatá data ignorována. V opačném případě jsou data uložena do bufferu přijatých dat. V závěru rutiny je změněn stav konečného automatu na `AUTOMATA_STATE_XBEE_DATA_RECV`, jelikož jsme právě přijali data od některého ze senzorů.

```
void uart1_irq_handler()
{
    uint8_t u8Byte;

    /* Read status register */
    if (UART1_S1 & UART1_S1_RDRF_MASK)
    {
        u8Byte = UART1_D;

        if (vu8AutomataCurrentState != AUTOMATA_STATE_MENU)
        {
            /* Store received data to RX buffer */
            if (UART_E_BUFFER_FULL == uart_rx_buffer_put_byte(u8Byte))
            {
                /* Buffer overflow */
                lcd_clear_display();
                lcd_send_string("Buffer overflow!");
                while(1);
            }

            /* Data from XBEE was received */
            vu8AutomataCurrentState = AUTOMATA_STATE_XBEE_DATA_RECV;
        }
    }
}
```

Zdrojový kód 7.11: Rutina přerušeni obsluhující příjem dat přes rozhraní UART

Modul XBEE

Modul XBEE zpracovává data přijatá prostřednictvím UART modulu a ukládá je do struktury reprezentující XBEE paket. Ukázkou této struktury můžeme vidět ve zdrojovém kódu [7.12](#). Struktura `xbeePacket_t` obsahuje 64-bitovou adresu zdrojového uzlu sítě, masky určující, které piny jsou nakonfigurovány ke vzorkování digitálních nebo analogových dat a poté samotné vzorky dat.

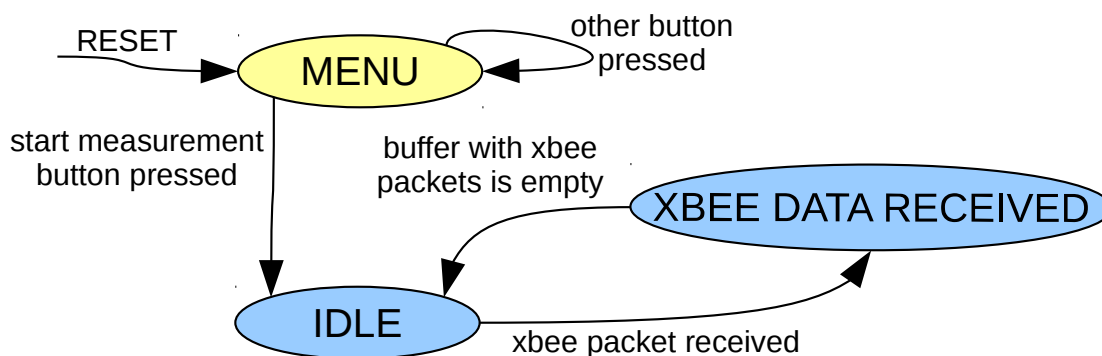
```
typedef struct {
    uint64_t u64SouceAddress;
    uint16_t u16DigitalChannelMask;
    uint8_t u8AnalogChannelMask;
    uint16_t u16DigitalSampleData;
    uint8_t u8AnalogSampleData;
} xbeePacket_t;
```

Zdrojový kód 7.12: Struktura reprezentující XBEE paket

Dále pak modul obsahuje funkci, která je cyklicky volána a vrací informaci o tom, zda jsou či nejsou data dostupná. Pokud data dostupná jsou, vrátí je do volající funkce prostřednictvím svého parametru. Implementaci tohoto modulu můžeme nalézt v souborech `xbee.c` a `xbee.h`.

7.1.7 Popis činnosti zařízení

Jak již bylo zmíněno výše, činnost centrální jednotky je řízena pomocí stavového automatu. Tento automat můžeme vidět na obrázku 7.1. Po startu centrální jednotky dojde k inicializaci souborového systému, vytvoření souborů, do kterých budou ukládána naměřená data, inicializaci displeje a obvodu uchovávajícího informaci o aktuálním čase. Poté je v nekonečné smyčce `for` volána funkce `automata()`, která implementuje automat řídící činnost zařízení. Zařízení tak vstoupí do počátečního stavu `MENU`. V tomto stavu zařízení ignoruje všechna data přicházející od sensorových uzlů a umožňuje nastavit aktuální datum a čas. Poté je možné odstartovat měření, čímž zařízení přejde do stavu `IDLE`, kde čeká na příjem dat ze sensorových uzlů sítě. Jakmile zařízení přijme data, přechází do stavu `XBEE DATA RECEIVED`, ve kterém v cyklu `while` postupně vyčítá data z buferu příchozích dat tak dlouho, dokud není prázdný. S každým přečteným xbee paketem dojde k zápisu záznamu o začátku či konci pohybu do příslušného souboru. Po vyprázdnění buferu příchozích dat přechází zařízení zpět do stavu `IDLE`.



Obrázek 7.1: Stavový automat řídící činnost zařízení

7.2 Software senzorů

7.2.1 Modul GPIO

Modul GPIO obsahuje funkce, jenž umožňují nastavit potřebné piny pro obecné použití jako vstupní či výstupní, nastavit hodnotu na výstupním pinu a povolit detekci sestupné a vzestupné hrany na pinu vstupním. Implementaci modulu můžeme najít v souborech `gpio.c` a `gpio.h`, přičemž v prvním jmenovaném souboru nalezneme funkci pro nastavení směru toku dat pinu mikrokontroléru. Tuto funkci můžeme vidět ve zdrojovém kódu 7.13.

```

void gpio_set_direction(uint8_t u8PinNumber, uint8_t u8Direction)
{
    /* Set pin as output pin */
    if(u8Direction == GPIO_DIR_OUTPUT)
    {
        LPC_GPIO_PORT->DIR0 |= (1<<u8PinNumber);
    }
    /* Set pin as input pin */
    else
    {
        LPC_GPIO_PORT->DIR0 &= ~(1<<u8PinNumber);
    }
    return;
}

```

Zdrojový kód 7.13: Funkce nastavující směr toku dat pinu mikrokontroléru

7.2.2 Modul MRT

Modul MRT zahrnuje funkce pracující s *Multi Rate Timerem*. Implementace je obsažena v souborech `mrt.c` a `mrt.h` a obsahuje pouze funkci inicializující tento časovač a funkci, která umožňuje generovat zpoždění s rozlišením v milisekundách. Tato funkce se jmenuje `mrt_delay_ms` a můžeme ji vidět ve zdrojovém kódu [7.14](#).

```

void mrt_delay_ms(uint32_t u32Ms)
{
    /* Wait until delay time has elapsed */
    LPC_MRT->Channel[0].INTVAL = 0x1UL<<31;
    LPC_MRT->Channel[0].INTVAL |= (100 * u32Ms);
    while (LPC_MRT->Channel[0].TIMER);
    return;
}

```

Zdrojový kód 7.14: Funkce generující zpoždění v milisekundách

7.2.3 Popis činnosti zařízení

Činnost sensorových uzlů sítě je poměrně jednoduchá. Vzhledem k faktu, že se implementace řídicího softwaru směrovačů a koncových zařízení liší, popíšeme software jednotlivých zařízení zvlášť.

Popis činnosti směrovače

Po spuštění zařízení je nainicializován jeden pin mikrokontroléru jako výstupní a jeden jako vstupní s detekcí sestupné i vzestupné hrany signálu, který je k němu přiveden. Pin detekující vzestupné a sestupné hrany je připojen k PIR senzoru. Pin výstupní je připojen k XBEE modulu. Při detekci pohybu se vyvolá přerušení, čímž dojde ke změně logické úrovně na výstupním pinu. XBEE modul tuto skutečnost zdetekuje a odešle paket s navzorkovanými daty. Ustane-li pohyb, opakuje se totéž.

Popis činnosti koncového zařízení

Koncové zařízení pracuje téměř shodně se směrovačem. Rozdíl spočívá v tom, že se po spuštění zařízení nainicializuje také periferie MRT, která umožňuje generovat zpoždění.

Dále je inicializován také další pin mikrokontroléru, který je nakonfigurován jako výstupní a slouží k uspávání XBEE modulu. Před prvním uspáním XBEE modulu je nutné vložit krátké zpoždění, které koncovému zařízení umožní registraci do bezdrátové sítě. Poté je senzor uspán a čeká na přerušení od PIR senzoru, které je popsáno v [7.2.3](#). V obslužné rutině je XBEE modul nejprve probuzen, poté je vloženo krátké zpoždění umožňující XBEE modulu dostat se do aktivního stavu a teprve pak jsou odeslána navzorkovaná data. Na konci rutiny přerušení je XBEE modul opět uspán.

Kapitola 8

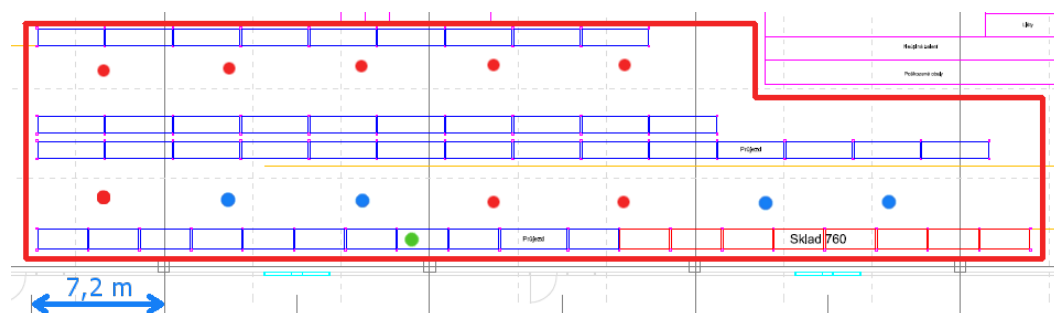
Vyhodnocení naměřených dat

Bezdrátový systém určený ke sběru dat o přítomnosti osob byl nainstalován ve skladových prostorech firmy Brose CZ spol. s r.o. Systém byl ve skladu nasazen po dobu 14-ti dnů, ale v průběhu měření byl odpojen od napájení, díky čemuž snímal pohyb pouze po dobu 12-ti dnů, a to od 16.dubna 2015 do 27.dubna 2015.

V této kapitole se na naměřená data podíváme ze dvou pohledů. Prvním z nich je procentuální využití skladu v jednotlivých dnech, kdy probíhalo měření a druhým je porovnání pracovních dnů a víkendů z hlediska průměrného počtu průchodů v různých denních hodinách. Součástí této kapitoly jsou rovněž návrhy možných úprav osvětlovací soustavy monitorovaného prostoru, které zvyšují její efektivitu.

8.1 Situační schéma měřeného skladu

Správce budovy, s nímž probíhala spolupráce v průběhu měření, zpřístupnil plány celé haly, ve které se sklad, kde probíhalo měření, nachází. Výřez měřené části haly můžeme vidět na obrázku 8.1.



Obrázek 8.1: Měřený sklad

K monitorování pohybu bylo využito celkem dvanáct senzorových uzlů, přičemž čtyři z nich byly v roli směrovače a zbylých sedm v roli koncového zařízení. Pozice jednotlivých typů zařízení systému je zakreslena pomocí barevných kruhů v obrázku 8.1. Zelený kruh znázorňuje pozici centrální jednotky, modré kruhy pozice směrovačů a červené kruhy pozice koncových zařízení.

8.2 Postup při vyhodnocování dat

Výstupem měření byly dvě sady XML souborů, jež sdružovaly data ze senzorů umístěných ve stejné části skladu. Z výše uvedeného obrázku 8.1 plyne, že delší uličce (oblast č.1) skladu odpovídá sada sedmi XML souborů a té kratší (oblast č.2) sada pěti souborů, přičemž každá sada byla vyhodnocena samostatně.

Vzhledem k faktu, že jednotlivé senzory snímají vždy pouze část oblasti, do které spadají, je nutné provést sjednocení naměřených časových intervalů a následně z tohoto sjednocení vyextrahovat potřebné informace. V našem případě se jedná o procentuální využití prostoru v jednotlivé dny a srovnání průměrného počtu průchodů prostorem v závislosti na denní době u pracovních dnů a víkendů. K tomuto účelu byla vytvořena jednoduchá konzolová C# aplikace. Vstupem aplikace je cesta k adresáři, ve kterém se nacházejí soubory obsahující časové intervaly přítomnosti osob jednotlivých senzorů spadajících do stejné skupiny. Výstupem aplikace jsou XML soubory obsahující výše uvedené statistiky.

Výstupní XML soubory byly následně importovány do programu Microsoft Excel 2007, jehož prostřednictvím byly vytvořeny grafy vizualizující informace vyextrahované z naměřených dat.

8.3 Využití skladu

8.3.1 Využití skladu v jednotlivých dnech

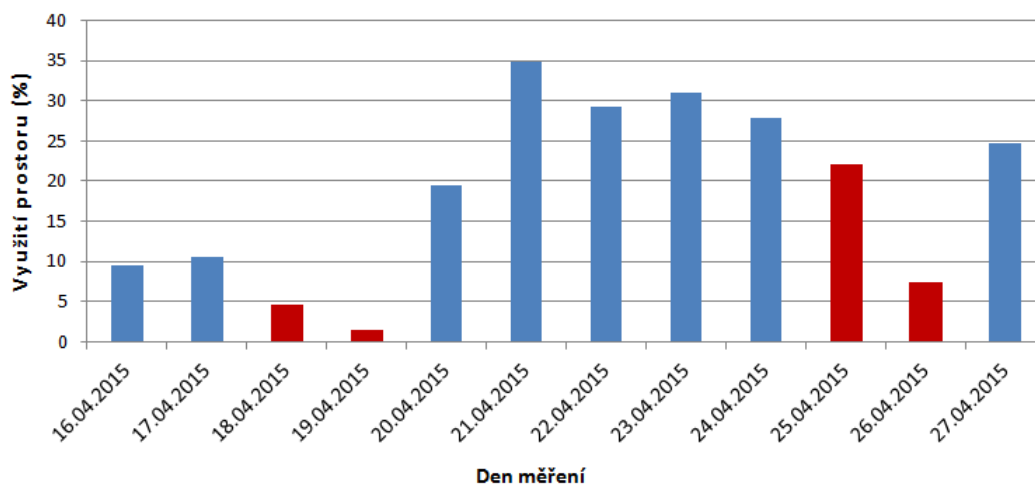
K přesnému určení možných úspor elektrické energie a návratnosti případných investic do rekonstrukce osvětlovacích soustav musíme mít co nejpřesnější informace o době, po kterou byl monitorovaný prostor využíván.

Datum	Den	Přítomnost (oblast č.1)	% z 24h	Přítomnost (oblast č.2)	% z 24h
16.04.2015	Čtvrtek	02:17:49	9,57 %	02:50:35	11,84 %
17.04.2015	Pátek	02:32:10	10,56 %	03:18:34	13,78 %
18.04.2015	Sobota	01:06:51	4,64 %	00:20:45	1,44 %
19.04.2015	Neděle	00:21:34	1,49 %	00:04:38	0,32 %
20.04.2015	Pondělí	04:41:23	19,54 %	04:58:32	20,73 %
21.04.2015	Úterý	08:21:11	34,8 %	06:05:40	25,39 %
22.04.2015	Středa	07:00:45	29,21 %	08:01:11	33,41 %
23.04.2015	Čtvrtek	07:25:49	30,96 %	07:54:52	32,97 %
24.04.2015	Pátek	06:42:07	27,92 %	08:39:19	36,06 %
25.04.2015	Sobota	05:17:25	22,04 %	01:34:40	6,57 %
26.04.2015	Neděle	01:45:40	7,33 %	00:29:56	2,08 %
27.04.2015	Pondělí	05:56:27	24,75 %	08:00:17	33,35 %

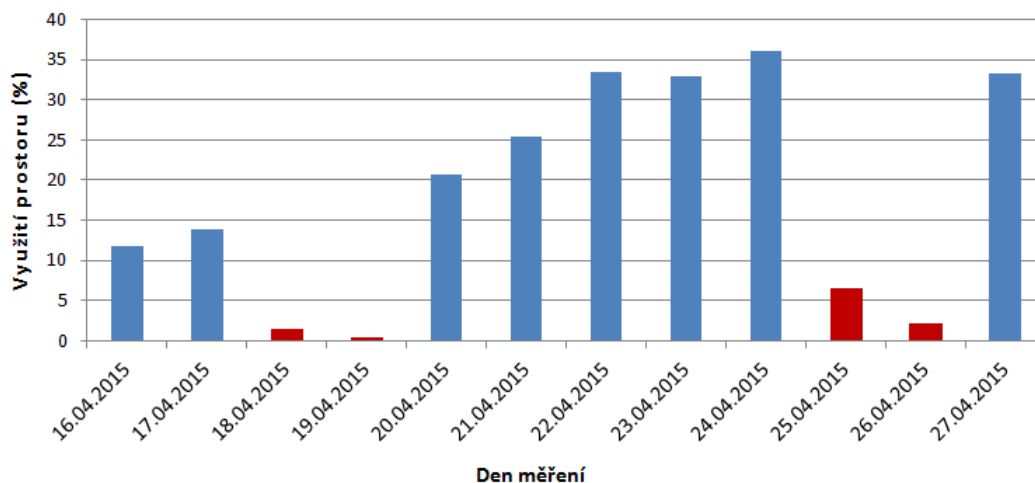
Tabulka 8.1: Přítomnost osob ve skladu v jednotlivých dnech

Ve výše uvedené tabulce můžeme vidět přehled využití jednotlivých částí skladu. Na každém řádku je specifikován den v týdnu, datum a následně využití dvou částí skladu vyjádřené časovým údajem a také procentuálně.

Pro vizualizaci dat uvedených v tabulce 8.4 jsou zde uvedeny grafy 8.2 a 8.3, v nichž jsou dny připadající na víkend označeny červeně.



Obrázek 8.2: Využití skladu (oblast č.1)



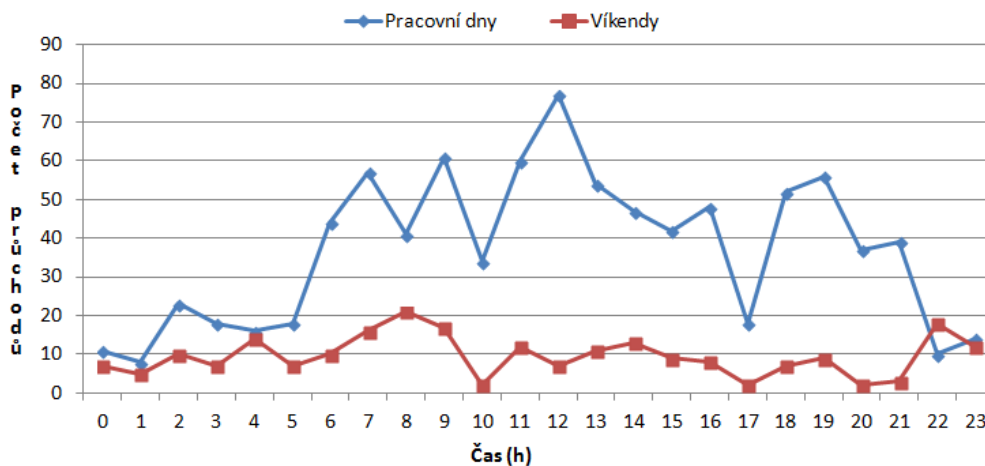
Obrázek 8.3: Využití skladu (oblast č.2)

Na grafech je patrné, že v průběhu víkendových dnů jsou skladové prostory využity méně než je tomu v průběhu pracovního týdne. Za povšimnutí rovněž stojí fakt, že prostory skladu nejsou využity rovnoměrně ani v průběhu pracovních dnů. Například ve dnech 16. dubna a 17. dubna vidíme, že ačkoliv se jedná o pracovní dny, byla ve skladu detekována přítomnost osob zhruba po 10 % času celého dne, kdežto ve dnech od 20. dubna byla přítomnost detekována po 35 % času. Tento fakt můžeme dát pravděpodobně do spojitosti s naskladňováním nového materiálu a expedicí již hotových výrobků.

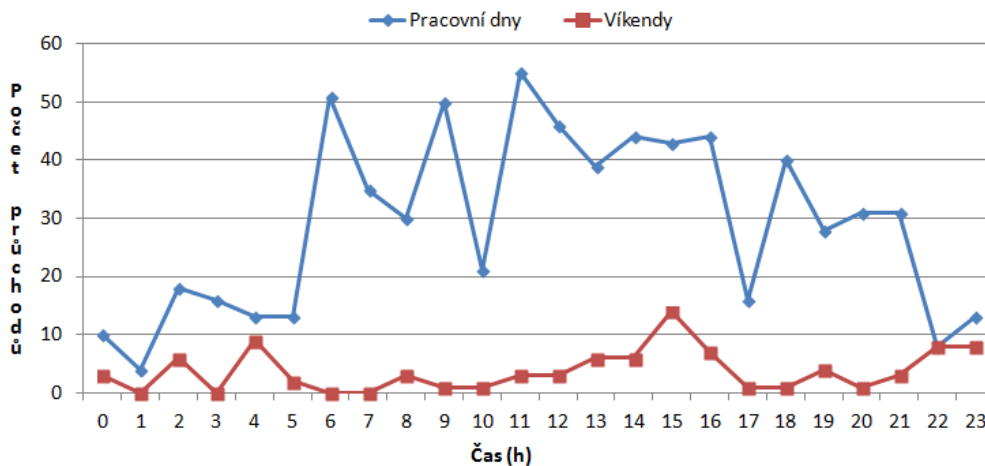
Shrneme-li naměřená data z obou oblastí, dojdeme k tomu, že prostory skladu jsou v průměru využity 18,36 % času.

8.3.2 Využití skladu v závislosti na denní době

Nyní se dostáváme k porovnání průměrných počtů průchodů jednotlivými částmi skladu mezi víkendovými dny a pracovními dny. Vzhledem k tomu, že na hale, kde měření probíhalo, pracují lidé v režimu třisměnného provozu, jsou jednotlivé části skladu využívány v průběhu celého dne.



Obrázek 8.4: Srovnání četností průchodů (oblast č.1)



Obrázek 8.5: Srovnání četností průchodů (oblast č.2)

Z výše uvedených grafů je patrné, že v průběhu víkendu je využití prostorů skladu rovnoměrně rozloženo mezi jednotlivé denní hodiny. Z pohledu potencionálních úspor spojených s osvětlovací soustavou jsou pro nás podstatné časové intervaly, ve kterých se ve skladu nikdo nevyskytoval. Například v případě oblasti č. 2 se jedná o dobu mezi šestou až sedmou hodinou ranní, devátou až desátou dopolední či pátou až šestou odpolední. V pracovní dny nebyl detekován případ, kdy by se ve skladu nikdo nevyskytoval po dobu jedné či více hodin. Můžeme si však povšimnout skutečnosti, že v průběhu noční směny, tedy v čase mezi desátou hodinou večerní a šestou hodinou ranní je provoz skladu i přes pracovní dny do značné míry omezen. Je zde tedy rovněž potenciál pro případné úspory.

8.4 Využití baterií koncových zařízení

Abychom mohli určit, jak byly baterie senzorů využity, bylo nutné z naměřených dat extrahovat informaci o počtu průchodů před jednotlivými senzory. Z těchto údajů jsme schopni určit, kolik paketů bylo z daných senzorů odesláno. Víme-li, kolik paketů zařízení v průběhu měření odeslalo, víme také kolik času strávilo v režimu spánku, a kolik času v režimu běhu.

Oblast	Senzor	Odeslané pakety	Čas v režimu běhu
Oblast č.1	S1	5016	16,7 min
	S2	6488	21,6 min
	S3	10288	34,3 min
	S4	4952	16,6 min
	S5	5854	19,5 min
	S6	4872	16,2 min
	S7	5330	17,8 min
Oblast č.2	S1	6678	22,3 min
	S2	5840	19,5 min
	S3	6528	21,7 min
	S4	6536	21,8 min
	S5	7626	25,4 min
Průměr:		6334	21,1 min

Tabulka 8.2: Počet odeslaných paketů a čas běhu bezdrátového modulu

Z dat uvedených v tabulce vidíme, že senzory s funkcí koncového zařízení strávily v režimu běhu průměrně 21,1 minut z celkových 17 280 minut (12 dní), po které probíhalo měření. Budeme-li předpokládat proudový odběr popsany v podkapitole 6.2.4, dojdeme k závěru, že za dvanáct dnů měření byl z baterií odebrán náboj odpovídající 592,8 mAh.

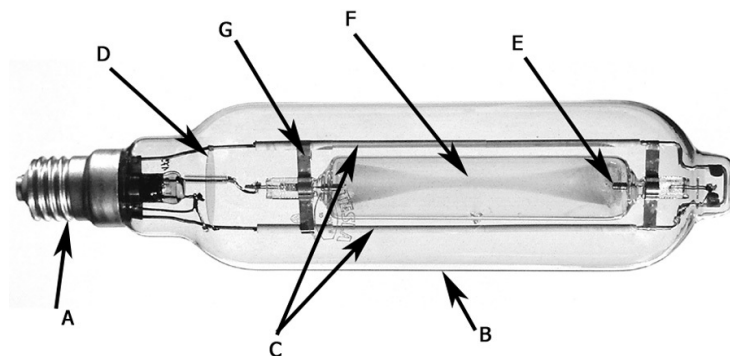
8.5 Spotřeba elektrické energie a možné úspory

Snahou této práce je zjistit, zda lze nalézt v prostředí průmyslu prostor pro zvýšení efektivity osvětlovacích soustav. Za tímto účelem byla sesbírána výše uvedená data, která budeme aplikovat na právě zmíněný problém.

8.5.1 Popis a princip činnosti halogenidové výbojky

Halogenidové výbojky jsou vysokotlaké výbojky, jejichž světlo vzniká převážně zářením par kovů (např. rtuti), popř. vzácných plynů (např. xenonu) a produktů štěpení halogenidů [23].

Výboj se zapaluje vnějším zapalovacím zařízením, které při startu výbojky poskytne vysokonapěťový impuls o velikosti 1,8 až 5 kV dle příkonu výbojky. Výboj probíhá nejprve v parách rtuti a inertního plynu, u bezrtuťové výbojky v xenonu. S rostoucí teplotou se zvyšuje koncentrace halogenidů ve výboji. K ustálení teplotního režimu výbojky dojde během 5-ti až 10-ti minut v závislosti na jejím typu. Při pracovní teplotě hořáku se v oblasti jeho osy s vysokou teplotou halogenidy štěpí na atomy halogenu a atomy příslušného kovu, které se vybudí a září. Současně se vytváří gradient koncentrace těchto atomů v radiálním směru, které následně difundují ke stěnám hořáku s nižší teplotou, kde se opět slučují na původní



Obrázek 8.6: Halogenidová výbojka (A - patice E40, B - skleněná baňka, C - držák hořáku, D - kolečko zabraňující teplu pronikat na patici, E - jedna z elektrod v hořáku, F - hořák ze speciálního skla, které je odolné vůdči agresivním kovům, G - plíšek držící hořák na konstrukci) [35]

sloučeniny. Dochází tak ke vzniku uzavřeného cyklu, jehož existence je základním a nezbytným předpokladem pro vytvoření účinného světelného zdroje s požadovaným spektrálním složením záření a dostatečně dlouhou životností [23].

8.5.2 Aktuální osvětlovací soustava

V monitorovaném skladu se v současné době nachází celkem 21 kusů svítidel osazených halogenidovými výbojkami o příkonu 400W s elektronickým předřadníkem.

Příkon osvětlovací soustavy (P_{BEZOP}) a její roční spotřebu elektrické energie bez jakýchkoliv opatření ($E_{ROKBEZOP}$) určíme na základě následujících vzorců.

$$P_{BEZOP} = P_{ocetSvitidel} * P_{rikonSvitidla} = 21 * 400 W = 8,4 kW$$

$$E_{ROKBEZOP} = P_{ocetHodinProvozu} * P_{BEZOP}$$

$$E_{ROKBEZOP} = (24 * 365) h * 8,4 kW = 73 584 kWh = 73,584 MWh$$

V rámci úsporných opatření ve skladových prostorech haly bylo použito opatření, jenž využívá skutečnosti, že jednotlivé řady svítidel jsou zapojeny střídavě na první, druhou a třetí fázi. Opatření spočívá v instalaci senzoru intenzity denního světla, který na základě naměřené hodnoty spíná jednotlivé fáze.

Vzhledem k výše uvedené skutečnosti nemůžeme při výpočtu příkonu osvětlovací soustavy vycházet pouze z počtu svítidel a jejich příkonu, ale musíme také zohlednit fakt, že mohou nastat situace, kdy je v provozu pouze část osvětlovací soustavy. Jelikož nelze určit, kolik dní ročně jsou využity všechny tři fáze, kolik dní dvě fáze a kolik dní pouze jedna fáze, budeme předpokládat rovnoměrné využití soustavy ve všech těchto režimech. Příkon (P_{SOP}) osvětlovací soustavy a její roční spotřebu elektrické energie (E_{ROKSOP}) s uvedeným opatřením vypočteme pomocí níže uvedených vzorců.

$$P_{SOP} = \frac{1}{3} * P_{BEZOP} + \frac{1}{3} * \frac{2}{3} * P_{BEZOP} + \frac{1}{3} * \frac{1}{3} * P_{BEZOP} = \frac{2}{3} * P_{BEZOP} = 5,6 kW$$

$$E_{ROKSOP} = PocetHodinProvozu * P_{SOP}$$

$$E_{ROKSOP} = (24 * 365) h * 5,6 kW = 49 056 kWh = 49,059 MWh$$

Aktuálně nasazené úsporné opatření snížilo roční spotřebu elektrické energie využívané k provozu osvětlovací soustavy skladu o 24,525 MWh. Výhodou tohoto opatření je nízká pořizovací cena a tedy prakticky okamžitá návratnost investic. Za nevýhody lze považovat skokovou regulaci osvětlovací soustavy a také nerovnoměrnost osvětlení pracovního prostoru.

8.5.3 Možné optimalizace

Z dat naměřených v průběhu nasazení systému ve skladových prostorech plyne, že osvětlovací soustava není optimálně využívána a je zde tedy prostor pro její zdokonalení. S ohledem na aktuálně používané světelné zdroje a dnes dostupné technologie přicházející v úvahu dvě cesty, kterými by se optimalizace mohla vydat.

Regulace halogenidových výbojek

S ohledem na princip činnosti halogenidových výbojek je nelze za účelem omezení spotřeby elektrické energie vypínat. Po vypnutí musí výbojka nejprve zchladnout a poté je možné ji opět zapnout, přičemž po zapnutí je výbojka schopna dodat maximum světelného toku až po několika minutách.

Z výše uvedených důvodů je jedinou možností zefektivnění osvětlovací soustavy při zachování stávajících svítidel a světelných zdrojů pouze jejich regulace.

Běžné halogenidové výbojky je možné regulovat v rozsahu 50 % – 100 % příkonu svítidla. Podmínkou pro použití regulace je ovšem využití elektronického předřadníku, který touto funkcionalitou disponuje.

Jak již bylo zmíněno výše, je osvětlovaný prostor využit v průměru 18,36 % času. Z tohoto údaje lze snadno vypočítat, kolik energie za rok spotřebuje osvětlovací soustava zahrnující možnost regulace světelných zdrojů v případě, že se v prostorech, které osvětluje, nikdo nenachází.

$$E_{ROKHBEZOS} = MinProcentoPrikonu * DobaVyuzitiVProcentech * E_{ROKBEZOP}$$

$$E_{ROKHBEZOS} = 0,5 * 0,8164 * 73,584 MWh = 30,037 MWh$$

Nyní se dostáváme k výpočtu spotřeby elektrické energie v době, kdy se v prostorech skladu osoby nacházejí. Aby bylo porovnání opatření již nasazeného a opatření navrhovaného co nejpřesnější, musíme zohlednit možnost regulace příkonu osvětlovací soustavy na základě naměřené intenzity denního osvětlení. U aktuálně nasazeného opatření je osvětlovací

soustava využita na 33,3 %, 66,6 % nebo 100 %. V případě regulace halogenidových výbojek však není možné jejich příkon regulovat pod 50 %. Vypočteme tedy průměrné procento příkonu, který bude osvětlovací soustava v době přítomnosti osob odebírat.

$$PrumProcentoPrikonu = \frac{1}{3} * 100 \% + \frac{1}{3} * 66,6 \% + \frac{1}{3} * 50 \% = 72,2 \%$$

$$E_{ROKHSOS} = PrumProcentoPrikonu * DobaVyzitiVProcentech * E_{ROKBEZOP}$$

$$E_{ROKHSOS} = 0,722 * 0,1836 * 73,584 MWh = 9,754 MWh$$

Výsledná spotřeba energie je tedy

$$E_{ROKH} = E_{ROKHBEZOS} + E_{ROKHSOS} = 39,791 MWh,$$

z čehož plyne možnost uspořit oproti stávajícímu opatření 9,268 MWh elektrické energie ročně. Výhodou tohoto řešení je především plynulá regulace příkonu osvětlovací soustavy a také zachování rovnoměrnosti osvětlení v souladu se světelně-technickým návrhem osvětlovací soustavy. Nevýhoda spočívá ve vyšší investiční náročnosti tohoto opatření.

Svítlidla s LED světelnými zdroji

V současnosti je velkým trendem používání světelných zdrojů využívajících ke generování světla LED diody. Hlavními důvody jsou nízký příkon světelného zdroje, jeho rychlý start (<0,1 s) a možnost stmívání v rozmezí 0 % – 100 % příkonu.

Halogenidové výbojky, jež jsou aktuálně v osvětlovací soustavě využívány, nelze nahradit LED světelným zdrojem bez nutnosti vyměnit celé svítidlo. Jelikož by se v případě této varianty optimalizace světelné soustavy jednalo o kompletní výměnu svítidel za jiná, přichází do úvahy hned několik variant. Příkladem mohou být panelová LED svítidla, zářivková svítidla s LED trubicemi či závěsná svítidla s LED světelným zdrojem. V rámci této práce budeme předpokládat nahrazení aktuálních svítidel svítidly závěsnými.

Pro zachování stejného světelného toku, jakým disponuje svítidlo s 400 W halogenidovou výbojkou, je nutné použít LED závěsné svítidlo s příkonem 300 W.

Vzhledem k tomu, že došlo k výměně svítidel, je nutné opět spočítat příkon nové světelné soustavy a množství elektrické energie spotřebované soustavou za rok provozu.

$$P_{LBEZOP} = PocetSvitidel * PrikonSvitidla = 21 * 300 W = 6,3 kW$$

$$E_{ROKLBEZOP} = PocetHodinProvozu * P_{BEZOP}$$

$$E_{ROKLBEZOP} = (24 * 365) h * 6,3 kW = 55 188 kWh = 55,188 MWh$$

Již zmiňovanou výhodou LED světelných zdrojů oproti halogenidovým výbojkám je možnost jejich regulace v rozmezí 0 % – 100 % příkonu. Ačkoliv je možné LED svítidla bez jakýchkoliv omezení úplně vypnout, není to z pohledu bezpečnosti v osvětlovaných prostorech vhodné. Budeme tedy předpokládat, že soustava bude v době nepřítomnosti

osob v osvětlovaném prostoru regulována minimálně na 20 % jejího příkonu. Při výpočtech budeme počítat se stejným průměrným využitím prostor jako v podkapitole 8.5.3, tedy 18,36 %.

$$E_{ROKLBEZOS} = MinProcentoPrikonu * DobaVyzitiVProcentech * E_{ROKLBEZOP}$$

$$E_{ROKLBEZOS} = 0,2 * 0,8164 * 55,188 MWh = 9,011 MWh$$

V době, kdy se ve skladu osoby nacházejí, budeme počítat s tím, že svítidla budou pracovat ve stejném režimu jako je tomu u aktuální osvětlovací soustavy (soustava bude regulována na 33,3 %, 66,6 % a 100 %, přičemž v každém stavu stráví stejnou dobu).

$$PrumProcentoPrikonu = \frac{1}{3} * 100 \% + \frac{1}{3} * 66,6 \% + \frac{1}{3} * 33,3 \% = 66,6 \%$$

$$E_{ROKLSOS} = PrumProcentoPrikonu * DobaVyzitiVProcentech * E_{ROKLBEZOP}$$

$$E_{ROKLSOS} = 0,666 * 0,1836 * 55,188 MWh = 6,748 MWh$$

Výsledná spotřeba energie je tedy

$$E_{ROKL} = E_{ROKLBEZOS} + E_{ROKLSOS} = 15,759 MWh,$$

z čehož plyne možnost uspořit oproti stávajícímu opatření 33,3 MWh elektrické energie ročně. Jak můžeme vidět z propočtů, hlavní výhodou využití LED světelných zdrojů je jejich nízká spotřeba elektrické energie, která je ve spojitosti s využitím regulace účinným nástrojem při snižování nákladů vynaložených na provoz osvětlovacích soustav. Jelikož se však jedná o technologii, jenž je v prostředí průmyslového osvětlování nová, je nutné počítat s vysokými pořizovacími náklady takového řešení. Za nevýhodu LED světelných zdrojů lze považovat také jejich nízkou teplotní odolnost ($-40C^{\circ} - 50C^{\circ}$), která může být v případě některých průmyslových provozů nedostatečná.

Kapitola 9

Závěr

V závěrečné kapitole shrneme výsledky dosažené v průběhu práce, popíšeme si možnosti dalšího vývoje projektu a také oblasti, ve kterých by mohl nalézt uplatnění.

9.1 Zhodnocení dosažených výsledků

V první části závěrečné kapitoly zhodnotíme, jakých výsledků bylo dosaženo z pohledu HW části projektu a jakých z pohledu SW části.

9.1.1 Zhodnocení dosažených výsledků – HW

V rámci HW části práce byly navrženy, vyrobeny a posléze osazeny celkem tři různé desky plošných spojů.

Centrální jednotka

Centrální jednotka je řízena pomocí mikrokontroléru Freescale řady Kinetis KL25, k němuž jsou připojeny veškeré periferie zahrnující LCD displej, RTC obvod pro uchování času, klávesnici, microSD kartu pro uložení naměřených dat, konektor sloužící k připojení XBEE modulu a čip W5500 pro připojení k síti. Do návrhu schématu a desky plošných spojů centrální jednotky byl rovněž začleněn čip FTDI FT232, díky kterému je možné se přes USB rozhraní připojit k XBEE modulu a konfigurovat jej prostřednictvím programu XCTU.

Schéma zapojení centrální jednotky obsahuje celkem dvě známé chyby. Jedná se o připojení výstupu tlačítek klávesnice na nesprávné piny pouzdra mikrokontroléru a připojení napájecího napětí k jinému pinu LCD displeje než je uvedeno v jeho referenčním manuálu. Obě tyto chyby byly nalezeny a opraveny v průběhu procesu testování funkčnosti desky plošných spojů. Během testování bylo rovněž zjištěno, že při vyšších přenosových rychlostech na rozhraní SPI, prostřednictvím kterého je připojena k mikrokontroléru microSD karta, dochází k přeslechům. Vzhledem k faktu, že se v případě realizované aplikace po SPI přenáší malé množství dat, stačilo snížit rychlost přenosu a problém se již neobjevuje.

Směrovač a koncové zařízení

Návrh schématu a desky plošných spojů je v případě směrovače a koncového zařízení velmi podobný, a proto zhodnotíme hardwarové provedení těchto typů zařízení souhrně.

Zařízení jsou řízena mikrokontrolérem NXP řady LPC81XM, ke kterému jsou připojeny periferie. Mezi společné periferie patří PIR senzor, XBEE modul pro bezdrátovou komunikaci a také konektor umožňující připojení senzoru vlhkosti a teploty DHT22. Hardware koncového zařízení navíc zahrnuje také napěťový dělič umožňující informovat okolí o aktuálním stavu baterie.

V průběhu osazování desek plošných spojů ani při následném testování funkčnosti zařízení nebyly zjištěny žádné chyby v návrhu.

9.1.2 Zhodnocení dosažených výsledků – SW

Zařízení systému jsou řízena pomocí softwaru, jenž se v případě jednotlivých typů zařízení liší. Uvedeme zde tedy popis tohoto softwarového vybavení.

Centrální jednotka

Software centrální jednotky byl vyvíjen na vývojové platformě Freescale FRDM-KL25Z. Díky tomu bylo možné naimplementovat software potřebný k řízení činnosti jednotky před výrobou desky plošných spojů a ověřit si také funkci navržených obvodů.

Nejnižší vrstvu softwaru tvoří moduly implementující ovladače rozhraní použitých ke komunikaci se všemi periferiemi připojenými k mikrokontroléru. Do této vrstvy můžeme zahrnout moduly SPI, I2C, UART a GPIO.

Na moduly uvedené v předchozím odstavci jsou navázány moduly vyšších vrstev. V případě microSD karty komunikující přes SPI se jedná o moduly SD, FAT a XML, přičemž modul FAT je realizován prostřednictvím knihovny umožňující práci se souborovým systémem FAT32. Obvod RTC a LCD displej, jejichž ovladače jsou implementovány v rámci modulů RTC a LCD, navazují na modul I2C. Funkce pracující s hardwarovým modulem pro bezdrátovou komunikaci jsou implementovány v modulu XBEE, jenž využívá funkcionalitu poskytovanou modulem UART. Poslední modul nejnižší vrstvy softwaru je modul GPIO, jehož služby využívá modul KEYBOARD pracující s klávesnicí.

Moduly uvedené výše nejsou kompletním výčtem všech softwarových modulů v projektu obsažených, poskytují však ucelený přehled o struktuře softwarového vybavení.

V průběhu testování a nasazení systému nebyly v rámci softwaru zjištěny žádné problémy, které by znemožňovaly správnou činnost zařízení.

Směrovač a koncové zařízení

Aktuální implementace softwaru směrovače a koncového zařízení pracuje na velmi jednoduchém principu. Oba dva typy zařízení reagují na přijetí přerušení od PIR senzoru a distribuují jej dál na vstupní pin XBEE modulu, který odešle XBEE paket odpovídající aktuální logické úrovni zapojení vstupního pinu. Software koncových zařízení obsahuje kromě této funkcionality ještě ovládání pinu, který slouží k uspávání a probouzení XBEE modulu.

Vzhledem k jednoduchosti principů použitých při realizaci softwaru směrovače a koncového zařízení nebyly objeveny žádné jeho nedostatky.

9.2 Možnosti budoucího vývoje

V krátkosti si nyní uvedeme možnosti dalšího vývoje hardwarové i softwarové části projektu.

9.2.1 Možnosti budoucího vývoje – HW

Centrální jednotka

U centrální jednotky by bylo vhodné zaměřit se na optimalizaci desky plošných spojů, aby již nedocházelo k přeslechům na SPI rozhraní, které se vyskytovaly v případě vyšších přenosových rychlostí.

Směrovač a koncové zařízení

V případě budoucího použití systému, jenž nemusí sloužit pouze k monitorování pohybu a přítomnosti osob, by bylo vhodné vytvořit senzorové uzly tak, aby byly modulární. Představit si to můžeme tak, že deska plošných spojů by obsahovala různé typy konektorů, které by sloužily pro připojení různých typů senzorů.

U koncových zařízení stojí za zvážení využití akumulátoru namísto čtyř AA baterií. Pokud by se systém využíval pravidelně, došlo by tak nejen k úspoře času spojeného s výměnou baterií, ale také k úspoře finančních prostředků.

9.2.2 Možnosti budoucího vývoje – SW

Centrální jednotka

V případě centrální jednotky by bylo vhodné doimplementovat software, který by umožňoval práci s čipem W5500. Díky tomu by celý systém bylo možné připojit do TCP/IP síť a okamžitě posílat naměřená data jejím prostřednictvím ke zpracování. Zpracování dat by mohlo zahrnovat například jejich vizualizaci.

Směrovač a koncové zařízení

Z pohledu obou typů zařízení by bylo vhodné doimplementovat do firmwaru funkcionalitu umožňující oboustrannou komunikaci mezi centrální jednotkou a senzory. Zmíněná funkce firmware by umožňovala např. vzdálenou konfiguraci senzorových uzlů sítě.

Ačkoliv u koncových zařízení umožňuje hardware zjistit aktuální stav baterie, v současné verzi firmwaru pro tuto funkci neexistuje podpora. Vhodným rozšířením je tedy implementace cyklického odesílání stavu baterie do centrální jednotky.

9.3 Celkové zhodnocení

Navržený systém splňuje funkci požadovanou na základě specifikace uvedené v zadání diplomové práce. Systém byl nasazen po dobu dvou týdnů ve skladových prostorech průmyslového podniku zabývajícího se výrobou komponent pro automobilový průmysl a po celou dobu pracoval bezchybně. Na základě naměřených dat byly vytvořeny návrhy opatření, které vedou ke zvýšení energetické efektivity osvětlovací soustavy monitorovaného prostoru.

V příloze B můžeme nalézt zhodnocení spolupráce s firmou Brose vypracované Ing. Davidem Jelínkem zajišťujícím správu budov.

Literatura

- [1] ADRIO COMMUNICATIONS. *ZigBee Technology Tutorial* [online]. [cit. 1. ledna 2015]. Dostupné na: www.radio-electronics.com/info/wireless/zigbee/zigbee.php.
- [2] BAR CODE GRAPHICS. *What is RFID* [online]. [cit. 30. prosince 2014]. Dostupné na: www.epc-rfid.info/rfid.
- [3] BASIC ELECTRONICS TUTORIALS. *The Current Transformer* [online]. [cit. 31. prosince 2014]. Dostupné na: www.electronics-tutorials.ws/transformer/current-transformer.html.
- [4] BASIC ELECTRONICS TUTORIALS. *Hall Effect Sensor* [online]. [cit. 31. prosince 2014]. Dostupné na: www.electronics-tutorials.ws/electromagnetism/hall-effect.html.
- [5] BASIC ELECTRONICS TUTORIALS. *Light Sensors* [online]. [cit. 1. ledna 2015]. Dostupné na: www.electronics-tutorials.ws/io/io_4.html.
- [6] BASIC ELECTRONICS TUTORIALS. *Optocoupler Tutorial Introduction* [online]. [cit. 1. ledna 2015]. Dostupné na: www.electronics-tutorials.ws/blog/optocoupler.html.
- [7] BLUETOOTH SIG. *A Look at the Basics of Bluetooth Technology* [online]. [cit. 1. ledna 2015]. Dostupné na: www.bluetooth.com/Pages/Basics.aspx.
- [8] BLUETOOTH SIG. *Welcome to Bluetooth Technology 101* [online]. [cit. 1. ledna 2015]. Dostupné na: www.bluetooth.com/Pages/Fast-Facts.aspx.
- [9] BRENT MILLER. *Bluetooth and Other Wireless Technologies* [online]. [cit. 2. ledna 2015]. Dostupné na: www.informit.com/articles/article.aspx?p=24265&seqNum=3.
- [10] BRICHER REGLOMAT. *Light barriers* [online]. [cit. 30. prosince 2014]. Dostupné na: reglomat.bircher.com/uploads/media/Lichtschranken_e.pdf.
- [11] CCM BENCHMARK. *Introduction to Wi-Fi (802.11 or WiFi)* [online]. [cit. 1. ledna 2015]. Dostupné na: en.kioskea.net/contents/802-introduction-to-wi-fi-802-11-or-wifi.
- [12] DIGI INTERNATIONAL. *An Introduction to Wi-Fi* [online]. [cit. 1. ledna 2015]. Dostupné na: ftp1.digi.com/support/documentation/0190170_b.pdf.

- [13] DIGI INTERNATIONAL. *XBee DigiMesh 2.4 – Wireless connectivity using the DigiMesh protocol* [online]. [cit. 1. ledna 2015]. Dostupné na: www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/zigbee-mesh-module/xbee-digimesh-2-4#specs.
- [14] DIGI INTERNATIONAL. *XBee Wi-Fi* [online]. [cit. 1. ledna 2015]. Dostupné na: www.digi.com/pdf/ds_xbeewifi.pdf.
- [15] DIGI INTERNATIONAL. *ZigBee Wireless Standard* [online]. [cit. 1. ledna 2015]. Dostupné na: www.digi.com/technology/rf-articles/wireless-zigbee.
- [16] DIGI-KEY CORPORATION. *Bluetooth Goes Ultra-Low-Power* [online]. [cit. 1. ledna 2015]. Dostupné na: www.digikey.com/en/articles/techzone/2011/dec/bluetooth-goes-ultra-low-power.
- [17] ECOAMICA TECHNOLOGIES LLP. *Technology* [online]. [cit. 29. prosince 2014]. Dostupné na: www.ecosirius.com/technology.html.
- [18] ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. *Seebeck effect* [online]. [cit. 30. prosince 2014]. Dostupné na: www.britannica.com/EBchecked/topic/532358/Seebeck-effect.
- [19] FCC PUBLIC. *RFID - principy, typy, možnosti použití* [online]. [cit. 30. prosince 2014]. Dostupné na: www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=44083.
- [20] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *FRDM-KL25Z User's Manual* [online]. [cit. 5. dubna 2015]. Dostupné na: cache.freescale.com/files/32bit/doc/user_guide/FRDMKL25ZUM.zip?fsp=1.
- [21] GRAVITECH. *XBee ZB ZigBee Mesh Module 2.4GHz 2mW with Wire Antenna* [online]. [cit. 5. dubna 2015]. Dostupné na: ep.yimg.com/ca/I/yhst-27389313707334_2252_127389036.
- [22] GUNTER ZIELOSKO. *A PIR motion detector* [online]. [cit. 29. prosince 2014]. Dostupné na: www.lima.com.tr/BasicTiger/Applications/PDF/appn_068e_A%20PIR%20motion%20sensor.pdf.
- [23] HABEL, J., DVOŘÁČEK, K., DVOŘÁČEK, V. et al. *Světlo a osvětlování*. [b.m.]: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [24] HOME SECURITY GURU. *Microwave Motion Detector Guide* [online]. [cit. 29. prosince 2014]. Dostupné na: www.homesecurityguru.com/microwave-motion-sensors.
- [25] HONEYWELL. *Hall-effect Open-loop Current Sensor Application* [online]. [cit. 31. prosince 2014]. Dostupné na: sensing.honeywell.com/index.php?ci_id=51431.
- [26] HONEYWELL. *HALL EFFECT SENSING AND APPLICATION* [online]. [cit. 31. prosince 2014]. Dostupné na: sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-sensors-magneto-resistive-hall-effect-applications-005715-2-en.pdf.

- [27] ITEAD INTELLIGENT SYSTEMS CO.LTD. *PIR MOTION SENSOR MODULE* [online]. [cit. 5. dubna 2015]. Dostupné na: imall.iteadstudio.com/im120628009.html.
- [28] KAMAL KOHLI. *PIR Sensor in Motion Detection and Identification System* [online]. [cit. 29. prosince 2014]. Dostupné na: electronicsmaker.com/em/admin/pdfs/free/SENSOR.pdf.
- [29] MALINOWSKI, R. *Bezdrátový systém pro vyhodnocení řízení osvětlení v budovách s cílem získat informace vedoucí k úsporám*. Brno: FIT VUT v Brně, 2012. Bakalářská práce.
- [30] MIDAS DISPLAYS. *Specification MCCOG21605B6W-BNMLWI* [online]. [cit. 7. dubna 2015]. Dostupné na: www.farnell.com/datasheets/1811619.pdf.
- [31] NXP. *LPC81x User manual* [online]. [cit. 6. dubna 2015]. Dostupné na: www.nxp.com/documents/user_manual/UM10601.pdf.
- [32] NXP. *PCF8563* [online]. [cit. 5. dubna 2015]. Dostupné na: www.nxp.com/documents/data_sheet/PCF8563.pdf.
- [33] OMRON. *Usage of D6T-44L / D6T-8L Thermal sensor* [online]. [cit. 30. prosince 2014]. Dostupné na: www.omron.com/ecb/products/sensor/special/mems/pdf/AN-D6T-01EN_r2.pdf.
- [34] PAMMVI GROUP OF COMPANIES. *STEINEL Ultrasonic Motion Sensors* [online]. [cit. 29. prosince 2014]. Dostupné na: ultrasonicsensor.wordpress.com/2011/09/10/ultrasonic-motion-sensor.
- [35] PATRIK TRNČÁK. *Výbojkopedie - halogenidové výbojky Tesla* [online]. [cit. 4. května 2015]. Dostupné na: www.vybojky-zarovky.cz/vp_halogenid.html.
- [36] POWER ELECTRONIC MEASUREMENTS. *What is a Rogowski Coil?* [online]. [cit. 30. prosince 2014]. Dostupné na: www.pemuk.com/how-it-works.aspx.
- [37] PREETI JAIN. *Motion Detectors or Motion Sensors* [online]. [cit. 29. prosince 2014]. Dostupné na: www.engineersgarage.com/articles/motion-detection-sensors?page=4.
- [38] RANDY RUSSELL. *Voltage Transformers in Electric Circuits* [online]. [cit. 31. prosince 2014]. Dostupné na: www.windows2universe.org/physical_science/physics/electricity/images/transformer_diagram_big.gif.
- [39] RICHEE. *XBee S2 Quick Reference Guide/Cheat Sheet and Video Tutorials to Getting Started* [online]. [cit. 5. dubna 2015]. Dostupné na: www.tunnelsup.com/images/XBee-Quick-Reference-Guide.pdf.
- [40] ROBERT RACZ. *Hall Effect Sensing Technology Aids PDU Design* [online]. [cit. 31. prosince 2014]. Dostupné na: powerelectronics.com/electromechanical/hall-effect-sensing-technology-aids-pdu-design.

- [41] ROCKWELL AUTOMATION. *Presence Sensing Safety Devices* [online]. [cit. 30. prosince 2014]. Dostupné na: [<literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/ca/s117-ca502_-en-p.pdf>](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/ca/s117-ca502_-en-p.pdf).
- [42] STACK EXCHANGE. *How can I detect a power outage with a microcontroller?* [online]. [cit. 1. ledna 2015]. Dostupné na: [<electronics.stackexchange.com/questions/17008/how-can-i-detect-a-power-outage-with-a-microcontroller>](http://electronics.stackexchange.com/questions/17008/how-can-i-detect-a-power-outage-with-a-microcontroller).
- [43] T&M ATLANTIC. *Rogowski coil* [online]. [cit. 30. prosince 2014]. Dostupné na: [<www.tmatlantic.com/encyclopedia/index.php?ELEMENT_ID=16812>](http://www.tmatlantic.com/encyclopedia/index.php?ELEMENT_ID=16812).
- [44] ULTRA-EMBEDDED. *FAT16/32 File System Library* [online]. [cit. 4. ledna 2015]. Dostupné na: [<ultra-embedded.com/fat_filelib>](http://ultra-embedded.com/fat_filelib).
- [45] VISHAY TELEFUNKEN. *Integrated Low Profile Transceiver Module for Telecom Applications 9.6 kbit/s to 1.152 Mbit/s Data Transmission Rate* [online]. [cit. 2. ledna 2015]. Dostupné na: [<www.vishay.com/docs/82533/82533.pdf>](http://www.vishay.com/docs/82533/82533.pdf).
- [46] YOUR ELECTRICAL HOME. *Current Transformer (C.T.)* [online]. [cit. 31. prosince 2014]. Dostupné na: [<yourelectrichome.blogspot.cz/2011/08/current-transformer-ct.html>](http://yourelectrichome.blogspot.cz/2011/08/current-transformer-ct.html).

Příloha A

Obsah CD

Příložené CD obsahuje:

- Schémata zapojení a návrhy desek plošných spojů v programu Eagle
- Zdrojové soubory centrální jednotky, směrovače a koncového zařízení v jazyce C
- Dokumentaci ve formátu PDF
- Zdrojové soubory dokumentace v sázecím systému L^AT_EX

Příloha B

Zhodnocení spolupráce



Využití systému monitoringu přítomnosti osob ve výrobním závodě

Systém monitoringu přítomnosti osob je pro potřeby návrhů energeticky úsporných opatření a výpočtech ekonomické návratnosti v průmyslové praxi a managementu správy budov použitelný a funkční. Pro důkladnější analýzu dat je potřeba většího počtu měření, popř. provést opakované měření s odstupem času.

Z pohledu praktického využití jsou výhody systému zejména v jednoduché instalaci a bezúdržbovém provozu. Data lze využít nejen pro potřeby měření osvětlení, ale i pro jiné účely v provozní praxi a návrhů při optimalizaci energetických opatření, např. v nastavení řízení vytápění a větrání budov, efektivní zajištění mikroklimatických podmínek prostoru, popř. využití k analýze poruch v jednotlivých sekcích bezobslužných skladů s automatizovaných provezech (zjišťování četnosti drobných oprav a údržby v prostorech, která nejsou jiným způsobem analyzována) nebo pro potřebu logistiky jako podpůrné data pro efektivní rozložení materiálu ve skladovacím prostoru.

David Jelínek
Gebäude-Instandhaltung

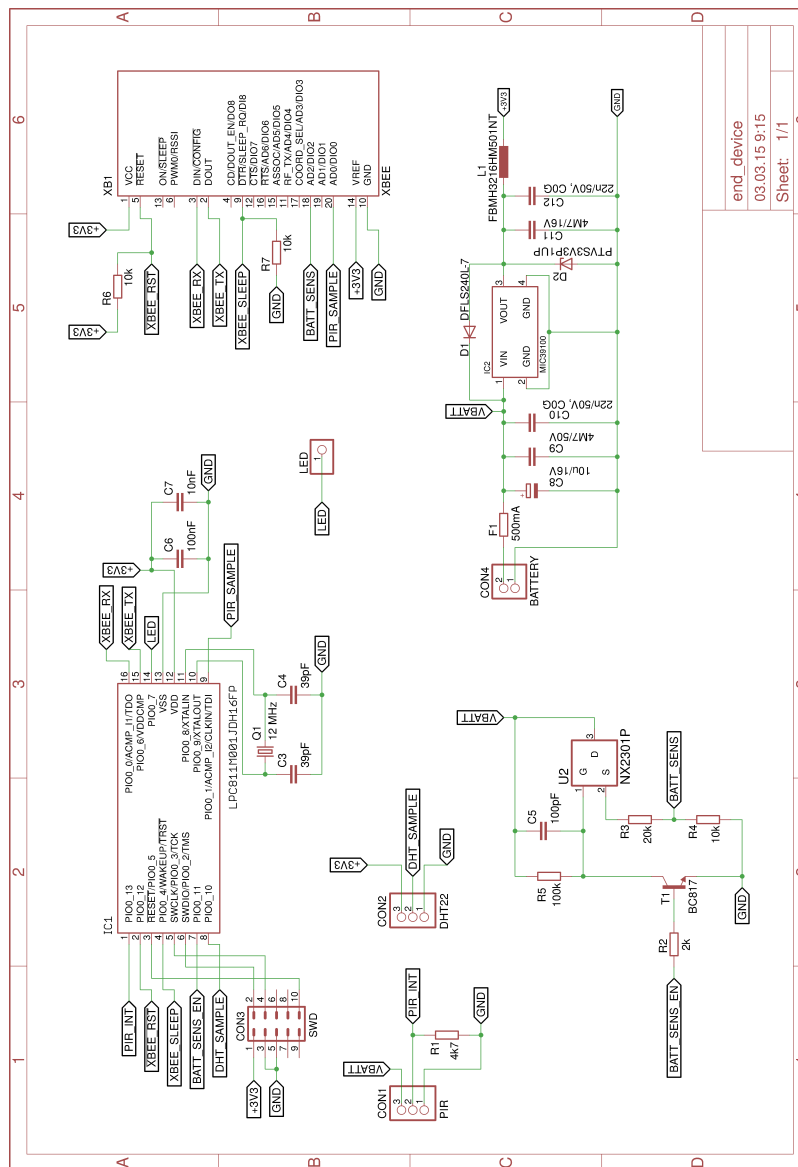
Brose CZ spol. s r.o.
Průmyslový park 302
742 21 Kopytovice
Czech Republic
Mobile: +420 725 38 6391

Index: 201 Verfasser: Jelínek, David Funktion: OST/GI Seite:1/1 Speicher-Dat.: 24. 5. 15
Ablage: \\brose.net\users\kop\home\Jjelinda\UserDir\Desktop\DP Malinowski.docx
Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser vertraulichen Unterlage(n), Verwertung und Mitteilung ihres Inhaltes ist nicht ohne unsere vorherige schriftliche Genehmigung gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Alle Rechte für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmuster-Eintragung vorbehalten.
The copying, use, distribution or disclosure of the confidential and proprietary information contained in this document(s) is strictly prohibited without prior written consent. Any breach shall subject the infringing party to remedies. The owner reserves all rights in the event of the grant of a patent or the registration of a utility model or design.

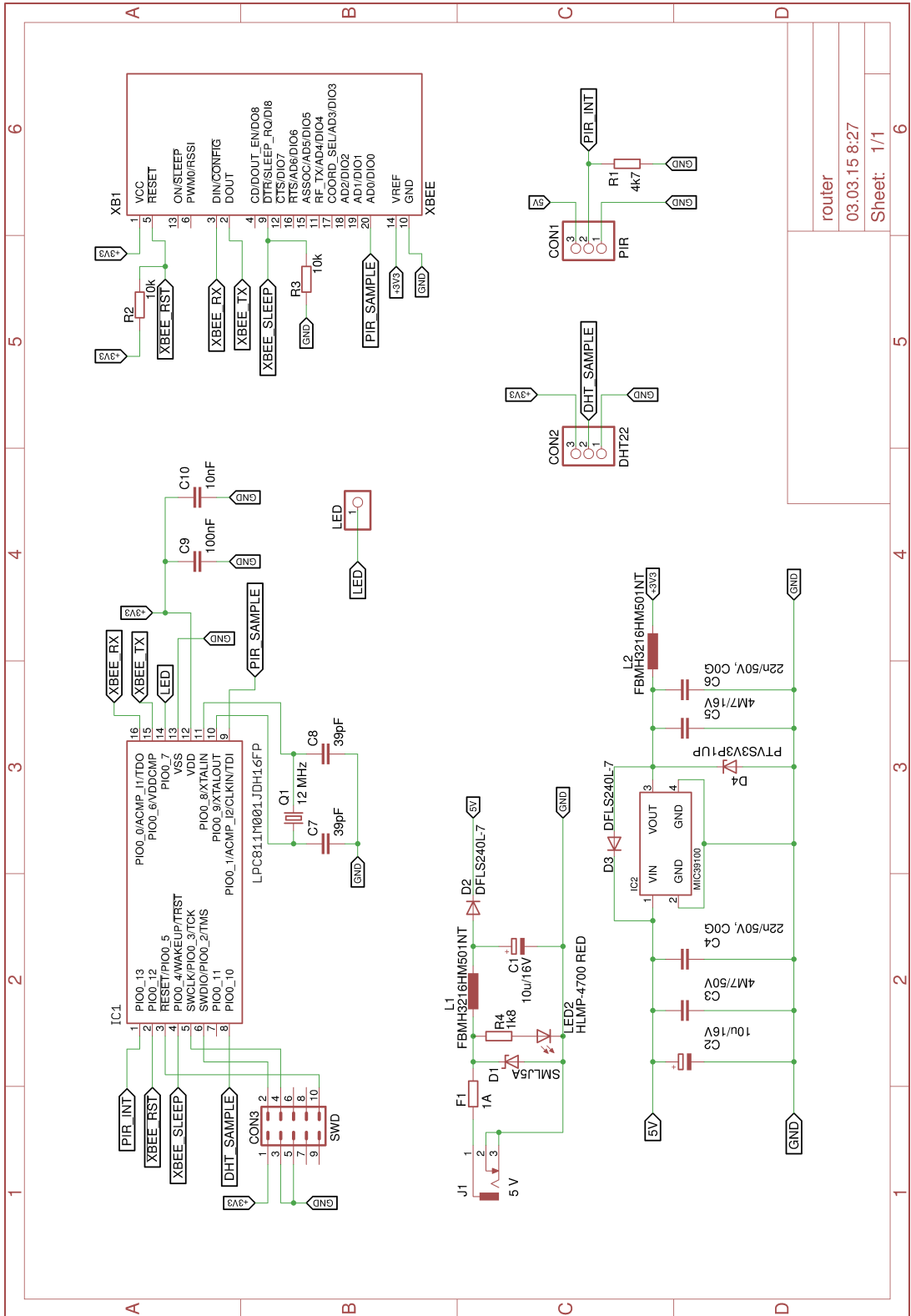
Obrázek B.1: Zhodnocení spolupráce firmou Brose

Příloha C

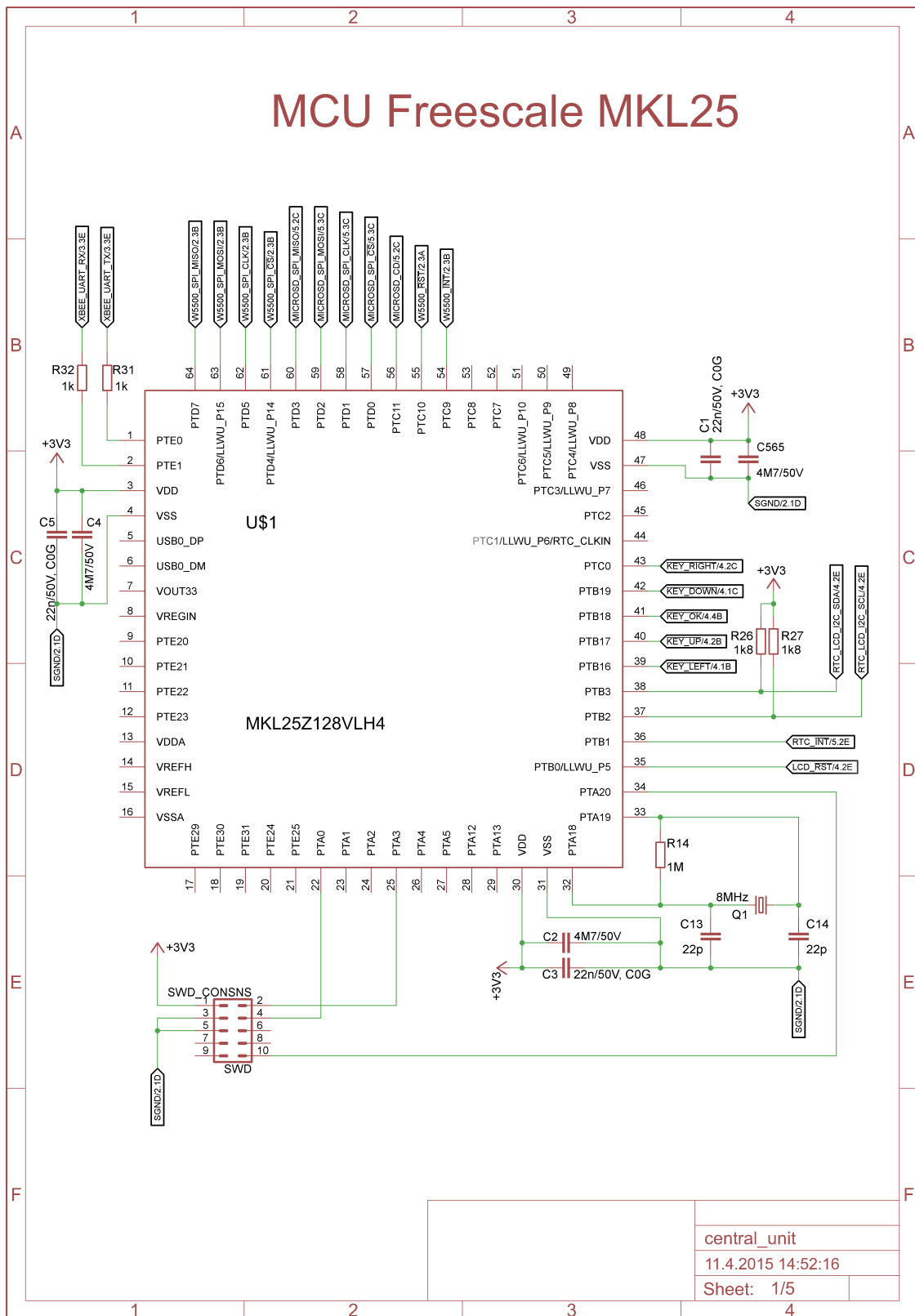
Schémata zapojení



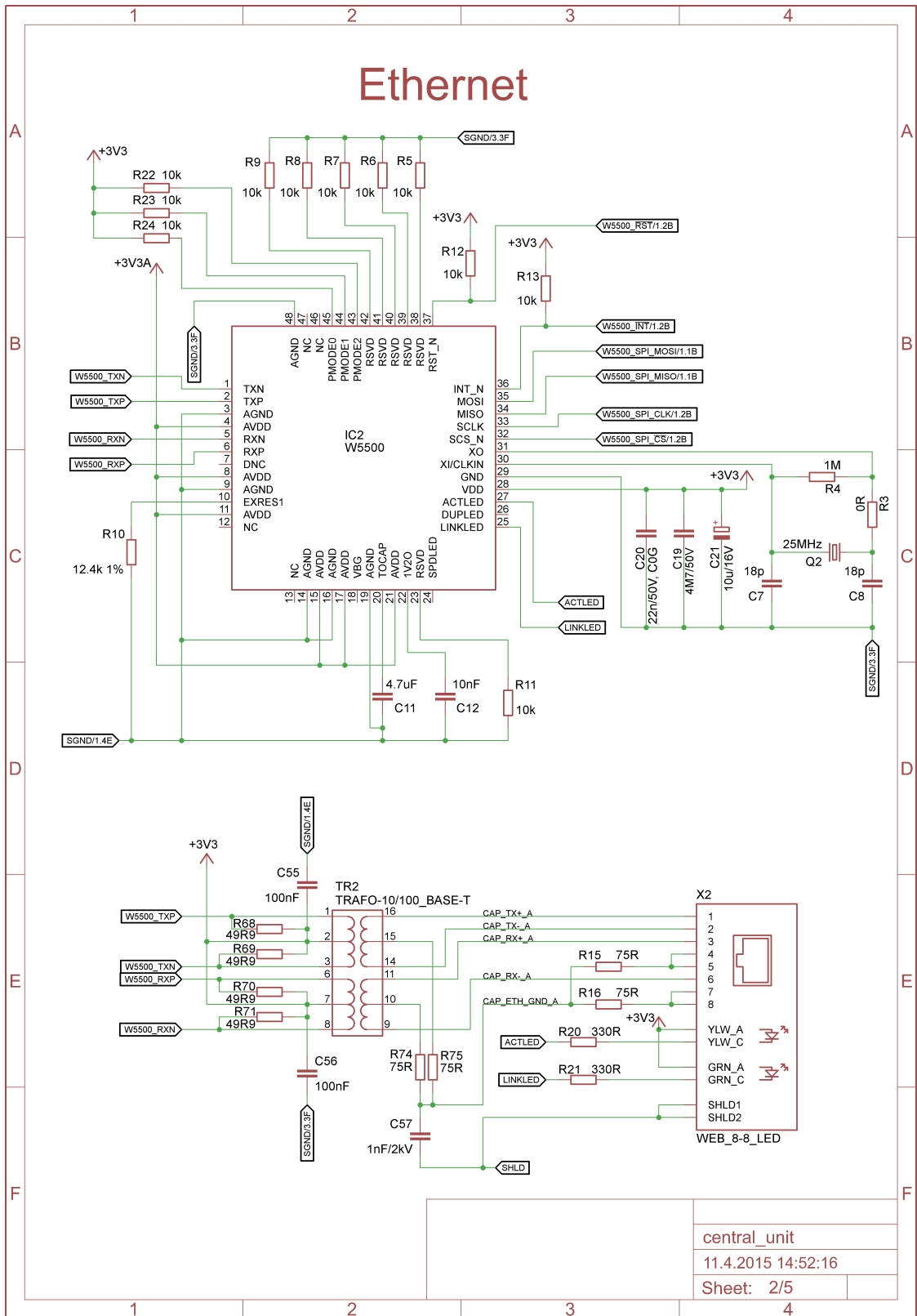
Obrázek C.1: Schéma koncového zařízení



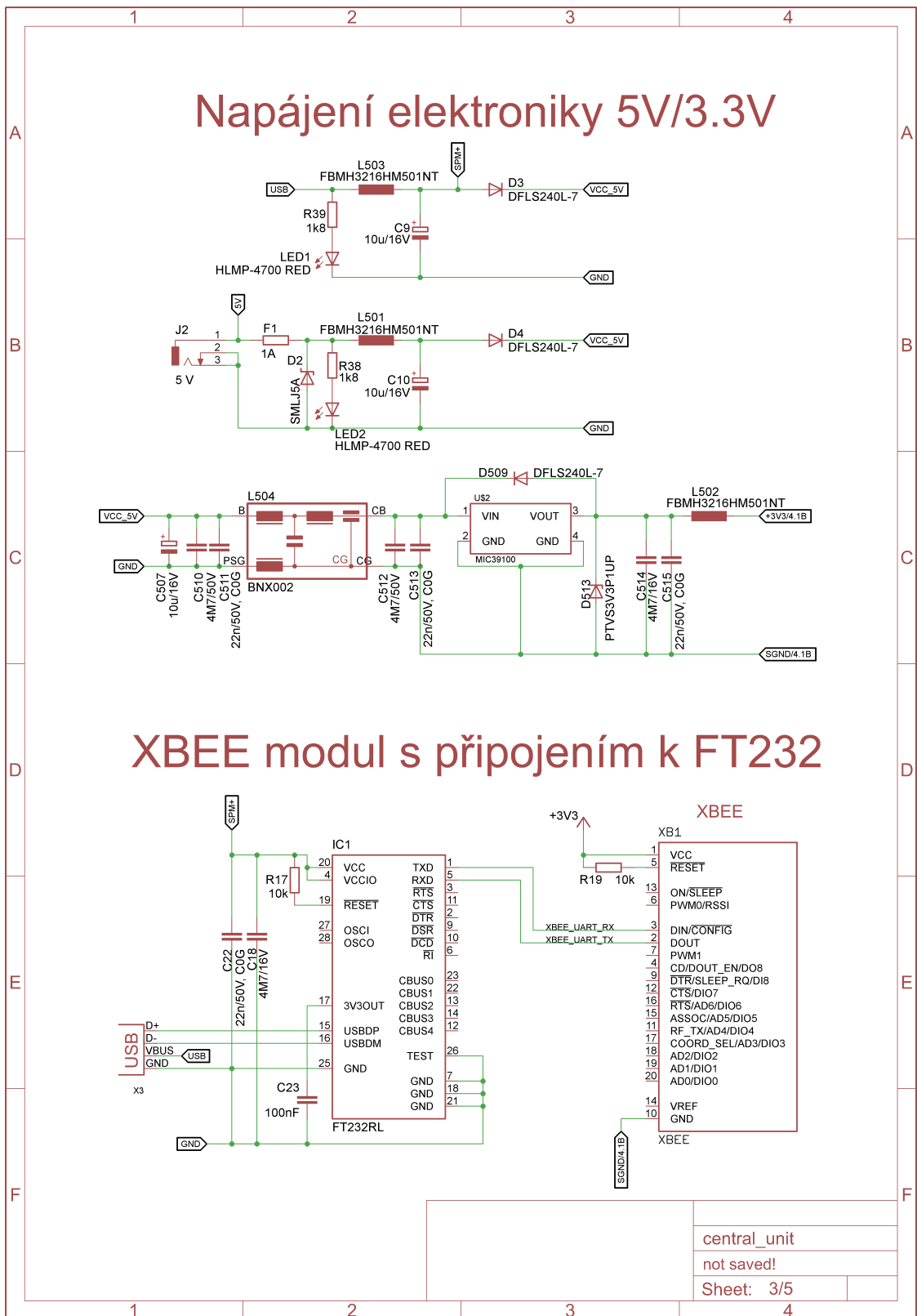
Obrázek C.2: Schéma směrovače



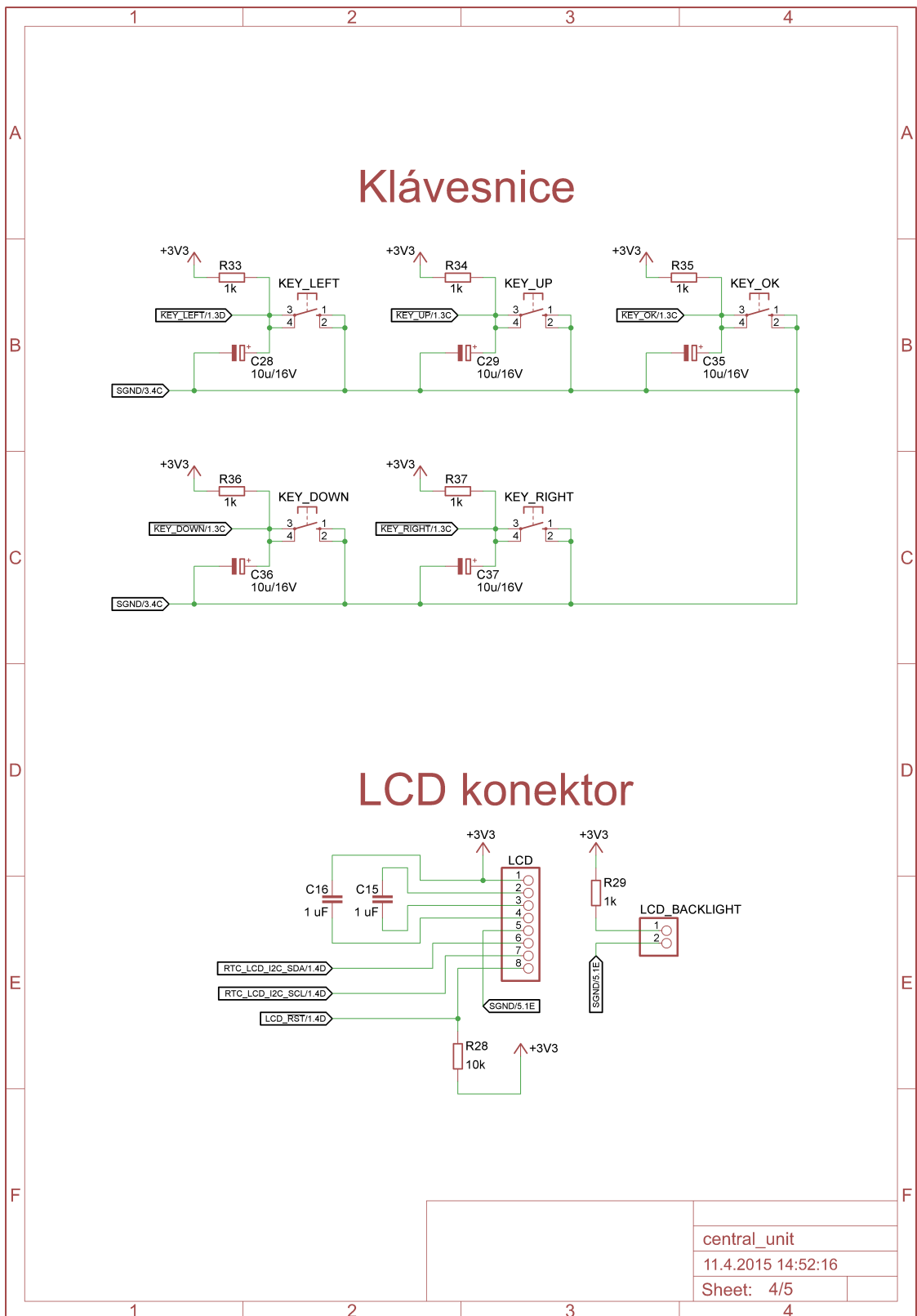
Obrázek C.3: Schéma centrální jednotky - část první



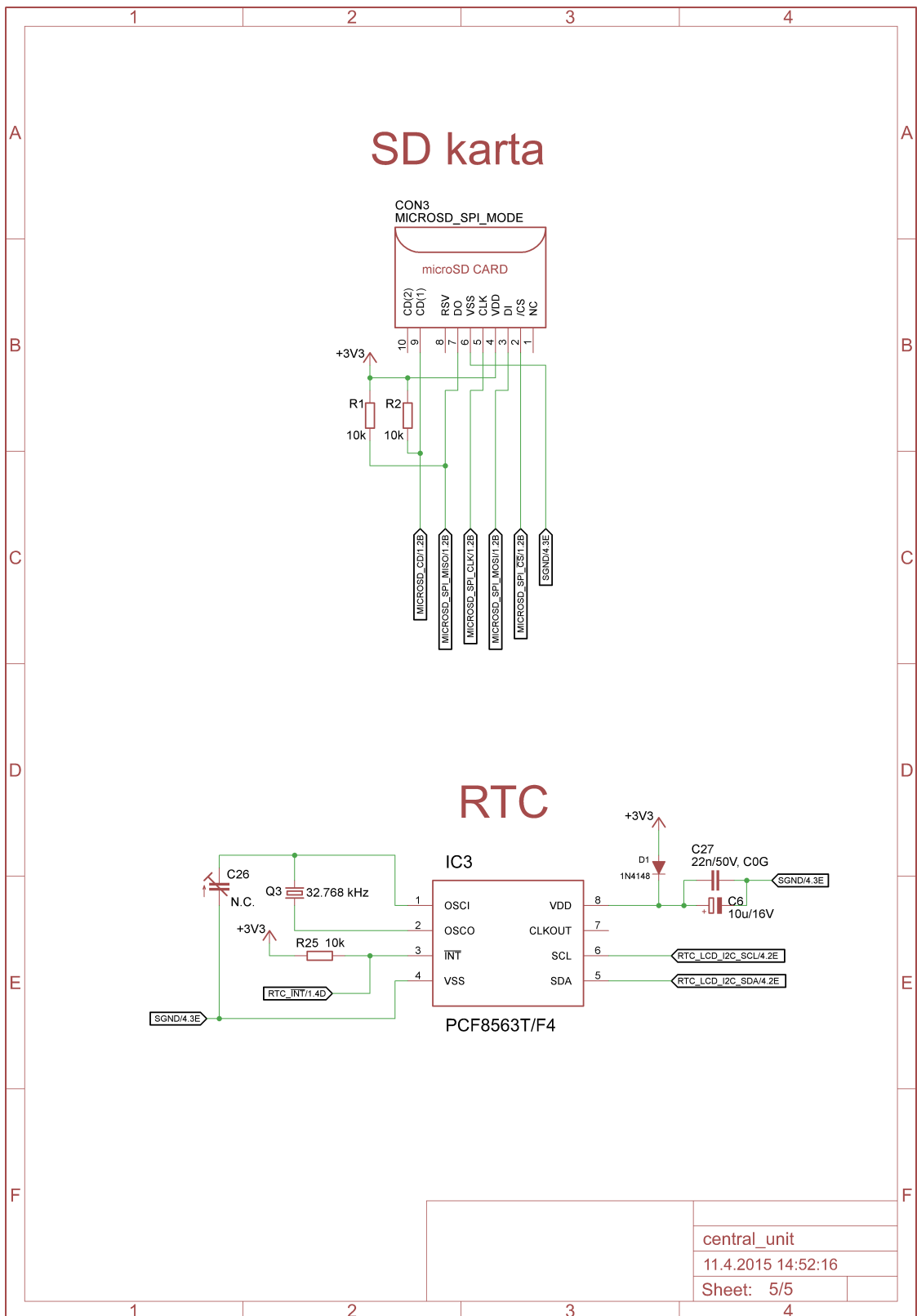
Obrázek C.4: Schéma centrální jednotky - část druhá



Obrázek C.5: Schéma centrální jednotky - část třetí



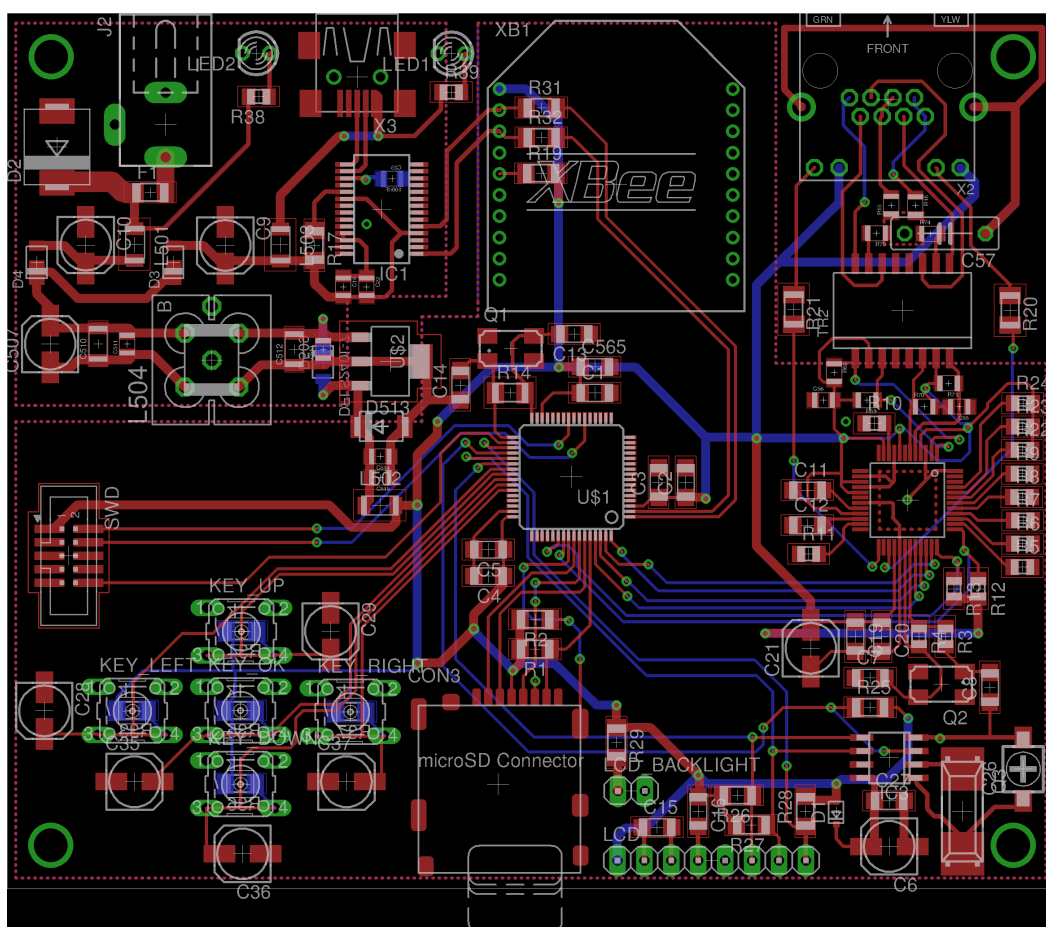
Obrázek C.6: Schéma centrální jednotky - část čtvrtá



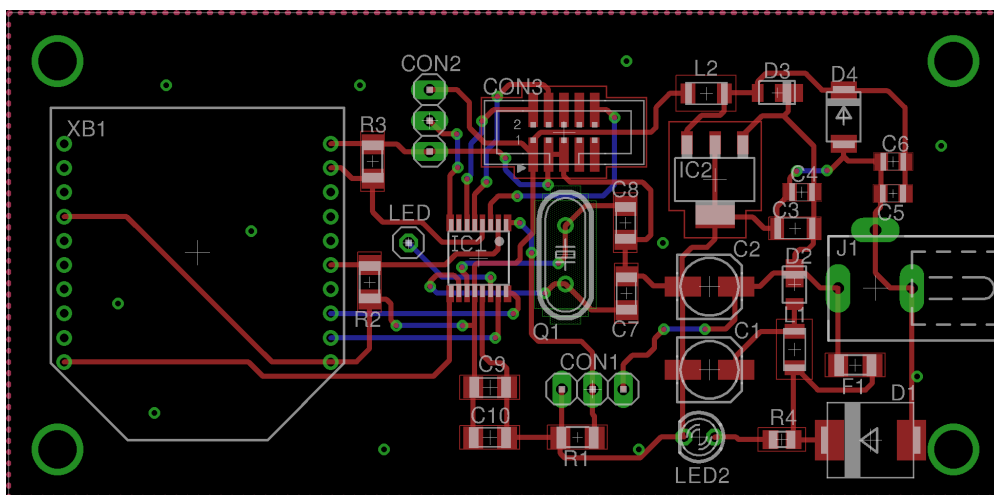
Obrázek C.7: Schéma centrální jednotky - část pátá

Příloha D

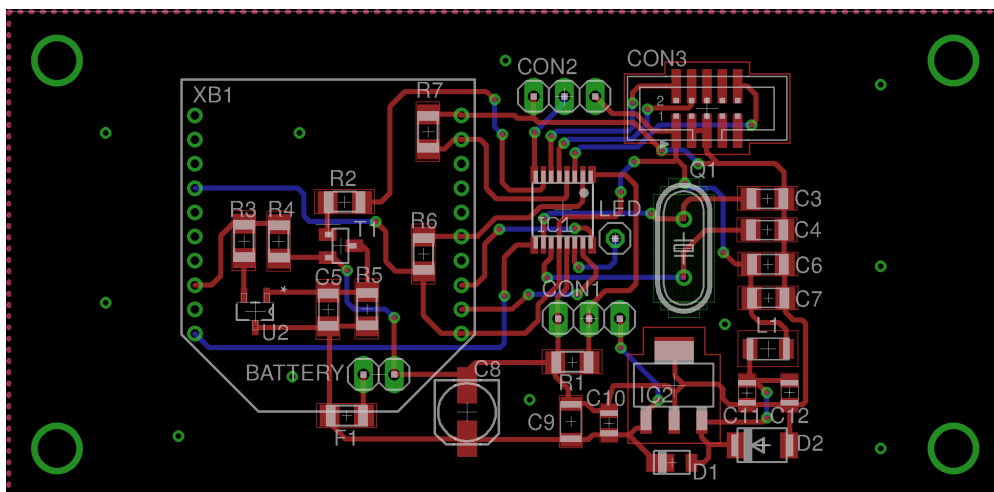
Desky plošných spojů



Obrázek D.1: Deska plošných spojů centrální jednotky



Obrázek D.2: Deska plošných spojů směrovače



Obrázek D.3: Deska plošných spojů koncového zařízení

Příloha E

Obrazová příloha



Obrázek E.1: Centrální jednotka



Obrázek E.2: Senzorový uzel