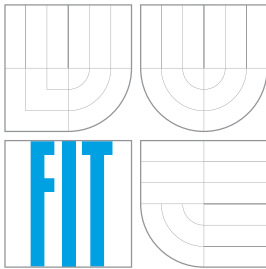


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

MONITOROVÁNÍ SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE S VYUŽITÍM BLUETOOTH LOW ENERGY

ENERGY CONSUMPTION MONITORING USING BLUETOOTH LOW ENERGY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

FILIP JEŽOVICA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ZDENĚK VAŠÍČEK, Ph.D.

BRNO 2016

Vysoké učení technické v Brně - Fakulta informačních technologií

Ústav počítačových systémů

Akademický rok 2015/2016

Zadání bakalářské práce

Řešitel: **Ježovica Filip**

Obor: Informační technologie

Téma: **Monitorování spotřeby elektrické energie s využitím Bluetooth Low Energy**

Energy Consumption Monitoring using Bluetooth Low Energy

Kategorie: Uživatelská rozhraní

Pokyny:

1. Seznamte se s technologií Bluetooth Low Energy (BLE), zaměřte se zejména na způsob přenosu naměřených veličin a dále na řešení dostupná na trhu vhodná k realizaci měřicího bodu vybaveného BLE. Seznamte se s platformou Raspberry PI a způsobem komunikace s zařízeními vybavenými BLE.
2. Navrhněte zařízení, které bude dovolovat měřit spotřebovanou elektrickou energii na základě monitorování impulsního výstupu elektroměru. Při návrhu se snažte o maximalizaci životnosti baterie tohoto zařízení. Raspberry bude sloužit k uchování naměřených informací, jejich analýze a vizualizaci.
3. Zpracujte studii na výše uvedené téma.
4. Navržené zařízení implementujte formou prototypu (např. s využitím existujícího modulu).
5. Vyhodnoťte a diskutujte parametry navrženého řešení.

Literatura:

- Dle pokynů vedoucího.

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

- Splnění bodů 1 a 2 zadání.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování bakalářské práce naleznete na adrese <http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/>

Technická zpráva bakalářské práce musí obsahovat formulaci cíle, charakteristiku současného stavu, teoretická a odborná východiska řešených problémů a specifikaci etap (20 až 30% celkového rozsahu technické zprávy).

Student odevzdá v jednom výtisku technickou zprávu a v elektronické podobě zdrojový text technické zprávy, úplnou programovou dokumentaci a zdrojové texty programů. Informace v elektronické podobě budou uloženy na standardním nepřepisovatelném paměťovém médiu (CD-R, DVD-R, apod.), které bude vloženo do písemné zprávy tak, aby nemohlo dojít k jeho ztrátě při běžné manipulaci.

Vedoucí: **Vašíček Zdeněk, Ing., Ph.D.,** UPSY FIT VUT

Datum zadání: 1. listopadu 2015

Datum odevzdání: 18. května 2016

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta informačních technologií
Ústav počítačových systémů a sítí
602 00 Brno, Božetěchova 2



doc. Ing. Zdeněk Kotásek, CSc.
vedoucí ústavu

Abstrakt

Bakalárska práca sa zaoberá komunikáciou v prostredí bezdrôtových technológií. Cieľom tejto práce je priblížiť čitateľovi možnosti využitia takejto komunikácie na úrovni nízkoenergetických sietí. Tieto informácie sa snaží demonštrovať pri návrhu prototypu komunikujúceho v sieti Bluetooth Low Energy, ktorý sníma svetelné impulzy v obmedzenom priestore elektromeru. Zaznamenané impulzy sú touto technológiou preposielané na archivačné zariadenie.

Abstract

Bachelor thesis deals with communication in a wireless technology environment. The aim of this work is shows to the reader with the possibility of using communication in networks with low energy. It is trying to demonstrate these informations in the design of the prototype which is communicating in Bluetooth Low Energy network. This device is senses light pulses in space limited electricity meter. Recorded pulses are forwarded using this technology to the storage devices.

Kľúčové slová

Bluetooth, Bluetooth Low Energy, BLE, nízkoenergetické siete, Raspberry pi, snímanie svetla

Keywords

Bluetooth, Bluetooth Low Energy, BLE, low energy networks, Raspberry pi, sensing light

Citácia

JEŽOVICA, Filip. *Monitorování spotřeby elektrické energie s využitím Bluetooth Low Energy*. Brno, 2016. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Vašíček Zdeněk.

Monitorování spotřeby elektrické energie s využitím Bluetooth Low Energy

Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto bakalárskou prácu na tému *Monitorování spotřeby elektrické energie s využitím Bluetooth Low Energy* vypracoval samostatne pod vedením pána Zdenka Vašíčka. Práca bola vypracovaná s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov. Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

.....
Filip Ježovica
20. mája 2016

Podakovanie

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce Ing. Zdenku Vašíčkovi, Ph.D. za cenné rady pri spracovaní mojej bakalárskej práce.

© Filip Ježovica, 2016.

Táto práca vznikla ako školské dielo na FIT VUT v Brně. Práca je chránená autorským zákonom a jej využitie bez poskytnutia oprávnenia autorom je nezákonné, s výnimkou zákonne definovaných prípadov.

Obsah

1	Úvod	3
2	Bezdrôtové siete	4
2.1	WWAN - Wireless Wide Area Network	4
2.2	WLAN - Wireless Local Area Network	5
2.3	WPAN - Wireless Personal Area Network	5
2.4	Prehľad	5
3	Nízkoenergetické siete	6
3.1	ZigBee 802.15.4	6
3.2	Bluetooth 802.15.1	7
3.3	Z-wave ITU-T G.9959	9
3.4	Porovnanie	10
4	Technológia Bluetooth	12
4.1	Pôvod názvu	12
4.2	Vznik	12
4.3	Vývoj	13
5	Technická špecifikácia technológie Bluetooth	15
5.1	Architektúra podľa modelu ISO OSI	15
5.2	Fyzická vrstva	16
5.3	Dosah a vyžarovaný výkon	16
5.3.1	Class 1	17
5.3.2	Class 2	17
5.3.3	Class 3	17
5.3.4	Prehľad	17
5.4	Topológia siete	17
5.5	Profily	19
5.5.1	GAP - Generic Access Profile	19
5.5.2	SDAP - Service Discovery Application Profile	19
5.5.3	GATT - Generic Attribute Profile	19
5.5.4	HSP - Headset Profile	19
5.5.5	HFP - Hands-Free Profile	19
5.5.6	HID - Human Interface Device Profile	20
5.5.7	FTP - File Transfer Profile	20
5.6	Bezpečnosť a párovanie	20

6	Návrh prototypu	21
6.1	Požiadavky na prototyp zariadenia	21
6.2	Výber vhodných komponent	21
7	Jednotlivé komponenty	23
7.1	Raspberry pi 3	23
7.1.1	História	23
7.2	Ti CC2541 Keyfob board	24
7.3	Fotorezistor	25
8	Realizácia	26
8.1	Snímač elektrickej energie	26
8.1.1	Fototranzistor	26
8.1.2	Odpor	26
8.1.3	Ti CC2541 Keyfob	27
8.1.4	Finálna zostava	28
8.2	Server pre zber a prezentáciu dát	30
8.2.1	Raspbian	30
8.2.2	Tornado py Web Server	30
8.2.3	SQLite databáza	31
8.3	Vzájomná konektivita	31
8.4	Zníženie spotreby energie	31
9	Záver	33
	Literatúra	35
	Prílohy	38
	Zoznam príloh	39
A	Obsah CD	40

Kapitola 1

Úvod

Bezdrôtové technológie majú v posledných rokoch veľkú obľubu. Rýchlo sa rozvíjajú, pribúdajú nové špecifikácie a protokoly. Snažia sa poskytnúť bezdrôtovú alternatívu ku káblovým prepojom. Takáto alternatíva je pre užívateľov veľmi prívetivá. Poskytuje prehľadný priestor pre ich zariadenia, kde nemusia mať spleť kabeľáže. Takáto kabeľáž častokrát používa rôzne konektory, preto používatelia boli odkázaný na to, aby skladovali rôzne typy káblov. Táto situácia sa poslednými rokmi stáva minulosťou. Už by sme ťažko našli osobný počítač alebo mobilný telefón či tablet bez bezdrôtových modulov ako *Wi-Fi* alebo *Bluetooth*. Najnovším trendom v mobilných zariadeniach je minimalizovať počet konektorov na pripojenie kabeľáže. Dnes sa už využíva i bezdrôtový prenos elektrickej energie pre nabíjanie mobilných zariadení na krátku vzdialenosť.

Veľkú rozvoj je i v oblasti internetu vecí *Internet of Things* a jeho využitia ako senzorových sietí. Cieľom je pripojiť akékoľvek zariadenie do siete. Do budúca sa vyvíja i nízkoenergetický prenos elektrickej energie na väčšie vzdialenosti, čo by priamo podporilo IoT. Tieto malé senzorické zariadenia by v takom prípade nepotrebovali mať vlastný zdroj energie, čo by poskytovalo veľkú výhodu.

Cieľom tejto práce je priblížiť čitateľovi svet bezdrôtových technológií. Práca je zameraná na komunikáciu na krátke vzdialenosti. Najznámejšou a taktiež najrozšírenejšou technológiou v tejto oblasti je *Bluetooth*. Bluetooth už poznáme od doby, keď sa začali využívať bezdrôtové náhlavné súpravy *headset* alebo *handsfree*. Ďalej sa rozšírila i do periférií osobného počítača alebo herných konzol. Dnes už je prítomná i v domácich spotrebičoch alebo malých senzorových zariadeniach. Výhodou je nízka energetická náročnosť technológie.

Práca sa ďalej zaoberá možnosťou zaznamenávať svetelné impulzy výstupu elektromeru pomocou prototypu jednoduchého senzorického zariadenia. Toto zariadenie bude komunikovať s archivačným zariadením práve technológiou Bluetooth. Bluetooth bude pracovať v režime nízkej spotreby ako *Bluetooth Low Energy*. Cieľom je demonštrovať využitie tejto technológie a pokúsiť sa o minimalizáciu spotrebovanej energie.

Kapitola 2

Bezdrôtové siete

Prvá kapitola sa zaoberá uvedením do problematiky vzájomného prepojenia dvoch, poprípade viacerých zariadení. V minulosti sa na akékoľvek prepojenie zariadení využívala technológia káblové prepojenia. S narastajúcim počtom zariadení rôznych typov a využitia sa zistilo, že tento typ prenosového média nie je za určitých podmienok veľmi praktický.

Následne sa začal skúmať bezdrôtový prenos informácií, kde prenosovým médiom bol vzduch. Bezdrôtové spojenie prinieslo vhodnú alternatívu pre prenos informácií. S touto technológiou nie je už viac potrebné prepájať koncové zariadenia pomocou káblov. Pri prepojení na väčšie vzdialenosti sa odbúrali komplikácie spojené s implementáciou kabeláže v zastavaných alebo nedostupných častiach územia. Tímy najnázornejšími príkladmi môžu byť prenos televízneho alebo rádiového vysielania a taktiež prechod z domácich pevných liniek k mobilným telefónom. Ďalšou výhodou tohoto spojenia je sloboda pohybu a to vyhnutím sa nutnosti použiť nepraktické káble na malé vzdialenosti ako napríklad pripojenie periférií (klávesnica, myš, monitor, tlačiareň, ...) k pracovnej stanici. Pri využívaní bezdrôtových sietí je potrebné, aby zariadenie bolo umiestnené alebo sa pohybovalo v oblasti pokrytej signálom.

Dnes je využívanie bezdrôtových technológií na dennom poriadku. Je všade okolo nás. Predsa väčšina z nás používa mobilný telefón, v súčasnosti *smartphone*, ktorý je doslova nabitý bezdrôtovými technológiami ako Wi-Fi, Bluetooth, GSM, NFC, GPS, ... Ďalej môžeme spomenúť rádiové a televízne vysielanie - či už pozemnou bezdrôtovou technológiou alebo satelitnou. Ale samozrejme takýchto protokolov je omnoho viac. Bezdrôtové technológie prenikli do všetkých úrovní z hľadiska rozsahu i pokrytia. Líšia sa rýchlosťou, pokrytím oblasti sieťou, kapacitou prenosu, bezpečnosťou i cenou.

Existujú tri základné druhy bezdrôtových sietí podľa ich využitia.

2.1 WWAN - Wireless Wide Area Network

WWAN *rozsiahle siete* sú siete, ktoré pokrývajú veľké územie. Tieto siete sú väčšinou využívané mobilnými telekomunikačnými technológiami. Medzi tieto technológie patrí GSM, UMTS, CDMA, ... Tieto siete sú šírené pomocou vysielateľov umiestnených na vyvýšených stožiaroch pre lepšie pokrytie oblasti signálom.

2.2 WLAN - Wireless Local Area Network

WLAN *lokálne siete* sú siete, ktoré pokrývajú malé územie napríklad domácnosť, firmu alebo nejaký areál akým môže byť športové ihrisko. Takéto siete si užívatelia vytvárajú sami na svoje vlastné náklady. Hlavným zariadením v lokálnej sieti je bezdrôtový smerovač. Takýto smerovač poskytuje pripojenie ostatným zariadeniam, ktoré sa chcú v sieti komunikovať.

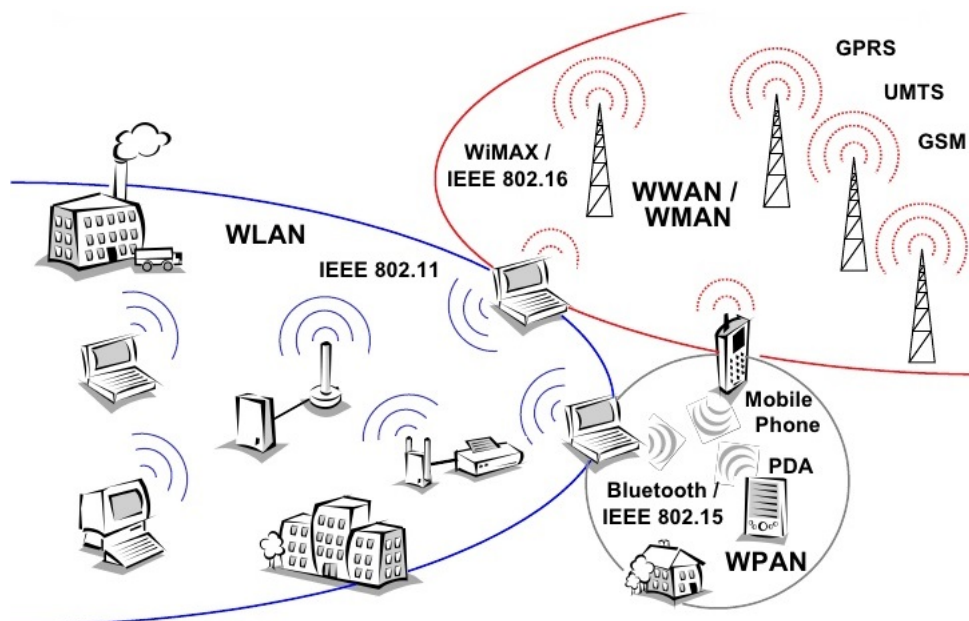
Najznámejšou technológiou WLAN je Wi-Fi (*wireless fidelity*).

2.3 WPAN - Wireless Personal Area Network

WPAN *osobné siete* sú spravidla siete s krátkym dosahom a to len niekoľko metrov, ktoré väčšinou spájajú dve zariadenia, ale je možné vytvoriť spojenie i medzi viacerými koncovými bodmi. Najpoužívanejšími technológiami pre osobné siete sú Bluetooth, IrDA (*Infrared Data Association*) a ďalšie ako napríklad NFC (*Nier Field Communication*) alebo ZigBee. Použitie týchto sietí znižuje nutnosť použitia kabeľáže v osobnej pracovnej oblasti. Bluetooth je najznámejšou a najrozšírenejšou WPAN technológiou. Táto technológia prešla viacerými verziami špecifikácie. O technológii **Bluetooth** si viac prezradíme o niečo nižšie.

2.4 Prehľad

Pre lepšiu predstavu oblasti pokrytia daných typov sietí nám poslúži nasledujúci obrázok.



Obr. 2.1: Prehľad oblasti využitia [3]

Kapitola 3

Nízkoenergetické siete

Pri takomto type siete je kladený dôraz na spotrebu elektrickej energie. Spotreba pre prevádzkovanie nízkoenergetickej bezdrôtovej siete je rádovo niekoľkokrát nižšia ako pri klasických bezdrôtových sieťach ako napríklad Wi-Fi, televízne vysielane. Rýchlosti v takýchto sieťach sú častokrát veľmi nízke. Pomalé rýchlosti nie sú vôbec problémom, pretože aplikácie v týchto sieťach nie sú dátovo náročné. Väčšinou sa jedná o jednoduché údaje ako zapnuté/vypnuté, hodnota teploty, . . . Áno, tieto technológie sa čoraz viac vyskytujú v spojení s novým, rozvíjajúcim sa trendom inteligentných domácností, produktov starostlivosti o zdravie, fitness pomôcok, navigačnej a zabezpečovacej techniky. A takto by sme mohli menovať ešte veľa ďalších aplikácií danej technológie. Všeobecne sa zaužíval pojem '*internet vecí*'.

Medzi najznámejšie technológie nízkoenergetických sieťových technológií patrí *Bluetooth* verzie 4.0 inak označovaný ako *Bluetooth Smart* alebo *Bluetooth Low Energy*, ďalej špecifikácia *ZigBee* a taktiež *Z-wave*.

Tieto technológie väčšinou využívajú *ISM* pásma. Jedná sa o voľné pásma takzvané bezlicenčné. Na komunikáciu v týchto pásmach sa nevzťahujú licenčné poplatky, ale nevýhodou môže byť žiadna garancia právnych postupov proti zarušeniu. Rádiové pásma *ISM* (*industrial, scientific and medical*) sú navrhnuté pre vysielanie v priemyselovej, vedeckej a zdravotníckej oblasti.

Nízkoenergetické siete majú veľký potenciál do budúcnosti a to práve vďaka rýchlo sa rozvíjajúcemu svetu *IoT Internet of Things*. Jedná sa o internet vecí a snahou je prepojiť akúkoľvek štandardnú vec do siete. Môže sa jednať o chladničku v domácnosti, teplomer v izbe, snímače otvorených okien

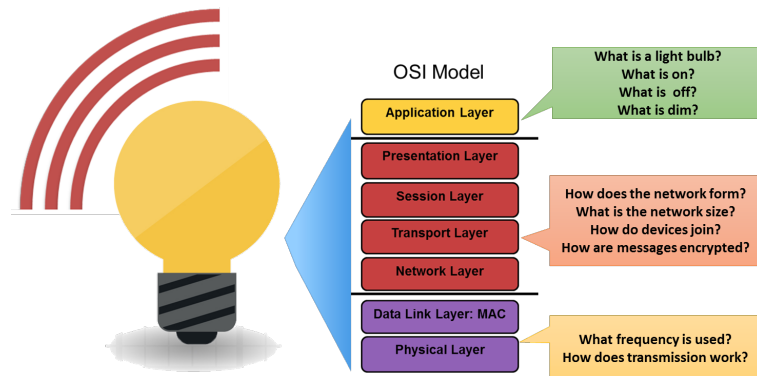
3.1 ZigBee 802.15.4

Ide o technológiu schválenú ako medzinárodný štandard nadnárodnej organizácie *ZigBee Alliance* (*ZBA*) a organizácie *IEEE*. Aliancia *ZBA* zahŕňa viac spoločností, ktoré sa podieľajú na vývoji. Z tých najznámejších spoločností patria medzi ne *Samsung*, *Honeywell*, ďalej *Motorola*, *Philips*, *Siemens*.

Technológia *ZigBee* vychádza zo štandardu *IEEE 802.15.4* v kategórii *PAN* respektíve *WPAN* s možnosťou viacsokového smerovania. Jedná sa o otvorený štandard.

Hlavnou výhodou, ktorou sa špecifikácia *ZigBee* pýši, je vysoká spoľahlivosť, jednoduchá implementácia a v neposlednom rade nízka cena. Jedná sa o prenosovú technológiu pre nízkovýkonné a nízkoenergetické zariadenia.

Protokol ZigBee je tvorený tromi vrstvami. Medzi ne patrí fyzická vrstva, ďalej sieťová vrstva a aplikačná. Zabezpečenie je realizované na sieťovej vrstve a to s využitím 128 bitového šifrovania AES.



Obr. 3.1: Model ISO OSI aplikačného štandardu ZigBee [25]

Protokol je nenáročný na systémové požiadavky, nakoľko zaberá približne 30 kilobajtov pamäte. Vďaka tomu je možná jeho implementácia i na 8-bitových mikrokontroléroch.

Technológia operuje v bezlicenčných rádiových pásmach nasledovne:

- 16 kanálov v pásme 2.4 GHz celosvetovo
- 1 kanál v pásme 868 MHz pre Európsky región
- 10 kanálov v pásme 915 MHz pre Ameriku
- 920 MHz v Japonsku

Sieťové zariadenia majú v 802.15.4 dva typy adresácie. Zariadenia využívajú 64 bitovú MAC adresu, podobne ako v sieti Ethernet, a ďalej 16 bitovú skrátenú adresáciu. Táto skrátená adresácia je logická a môže sa meniť pri každom pripojení do siete. Zariadení, ktoré je možné pripojiť do jednej siete je veľké množstvo - 65 536.

Špecifikácia ZigBee definuje tri základné topológie tejto siete. Sú nimi star (hviezda), tree (strom) a mesh. Topológiu strom je možné získať úpravou topológie hviezda. Najpoužívanejšou topológiou pri využívaní technológie ZigBee je mesh. Vzniká kombináciou topológie strom a hviezda.

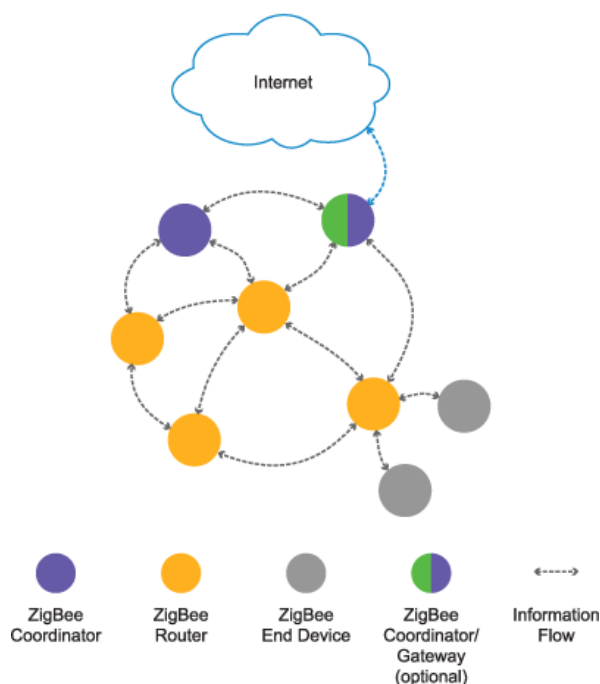
Ďalej rozlišujeme niekoľko typov zariadení z pohľadu funkčnosti siete. V každej ZigBee sieti existuje jedno zariadenie typu koordinátor. Toto zariadenie sa stará o komunikáciu medzi koncovými zariadeniami *ZigBee End Devices* a zároveň vytvára koreň stromu siete. Koncovými zariadeniami môžu byť rôzne senzory zbierajúce informácie. Posledným typom zariadenia je takzvaný smerovač *ZigBee Router*. Tento smerovač má za úlohu rozšíriť sieť.

Táto technológia je väčšinou využívaná pre výstavbu takzvaných senzorových sietí.[24]

3.2 Bluetooth 802.15.1

Bluetooth je bezdrôtová štandardizovaná technológia pre výmenu dát na krátke vzdialenosti. Technológia Bluetooth bola vyvinutá bývalou škandinávskou spoločnosťou Ericsson v roku 1994. Hlavnou myšlienkou pre vývoj tejto technológie bola možnosť využiť ju ako

ZigBee Network Topology



Obr. 3.2: Model sieťovej topológie - ZigBee mesh [26]

bezdrôtovú alternatívu ku sériovým dátovým káblom. Základná špecifikácia Bluetooth definuje dosah najmenej 10 metrov. Bola vytvorená ako otvorený štandard pre umožnenie vzájomnej komunikácie a následne i spolupráce rôznych typov produktov a zariadení vo viacerých priemyselných odvetviach.[23]

Následne v roku 1998 vznikla skupina Bluetooth SIG (Bluetooth Special Interest Group). Táto skupina je tvorcom a správcom špecifikácie jadra služieb Bluetooth.

Zariadenia využívajúce tejto technológie komunikujú na báze *point to point* a *point to multipoint* prenosu. Jednoduchú sieť tvoria dve zariadenia. Jedno zariadenie sa stáva hlavným *master* zariadením a ostatné podriadené *slave* zariadením. Master zariadenie je riadiacou jednotkou a riadi komunikáciu. Takto vytvorená sieť tvorí základnú jednotku takzvaný pikonet. V podstate sa jedná o ad-hoc počítačovú sieť. V jednom pikonete môže byť maximálne 8 zariadení. Vyššou úrovňou je *scatternet*, ktorý je tvorený prepojením viacerých pikonetov.

Do všeobecného povedomia sa Bluetooth dostal práve v spojení s mobilnými telefónmi ako náhrada za infračervený prenos (IrDA). Častokrát ako bezdrôtová náhlavná súprava *headset* pre prenos zvuku pri telefonovaní.

Neskôr bezdrôtové vstupné a výstupné zariadenia ako klávesnice, počítačové myši, tlačiarne a iné. Dnes novým trendom je špecifikácia Bluetooth 4.0 nazývaný *Bluetooth Low Energy* alebo Bluetooth Smart. Jeho hlavnou výhodou je nízka spotreba energie, kompatibilita a dostupnosť vo väčšine inteligentných zariadení ako počítače, mobilné telefóny, automobily,...

Technológiu Bluetooth a Bluetooth Low Energy si podrobnejšie predstavíme neskôr.



Obr. 3.3: Najznámejšie Bluetooth zariadenie - headset [17]

3.3 Z-wave ITU-T G.9959

Z-wave je medzinárodne štandardizovanou technológiou podobne ako ZigBee, avšak tu sa jedná práve o proprietárny štandard. Tento bezdrôtový štandard bol vyvinutý spoločnosťou *Zensys A/S* v spolupráci so *Sigma Designs*. Štandard je reprezentovaný *Z-Wave Alliance* a je podporovaný viac ako 160-timi spoločnosťami po celom svete. O vývoj a spoľahlivosť tejto technológie sa stará konzorcium výrobcov patriacich do tejto aliancie. Medzi najznámejšie patria napríklad AT&T, Cisco, Jasco, Verizon a iné. I keď sa nejedná o otvorený štandard, je k dispozícii zákazníkovi. Jeho využitie je najviac zastúpené v oblasti rozrastajúcich sa inteligentných domácností (*smart home*) a celkovo *smart* riešení.[22]

Začlenenie Z-wave *MAC* a *PHY* vrstvy do štandardu G.9959 inštitúciou *International Telecommunications Union (ITU)* zabezpečilo ďalší rast a nevyhnutnú interoperabilitu Z-wave technológie. Práve tento dôležitý medzník zaručuje maximálnu kompatibilitu a schopnosť prepojenia zariadení pracujúcich s bezdrôtovou technológiou Z-wave. Koncovému užívateľovi to zabezpečuje nezávislosť na zariadeniach od jedného výrobcu.[8]

Každé zariadenie, ktoré je vyvíjané pre využitie technológie Z-wave musí byť certifikované. Takúto certifikáciu poskytuje Z-wave aliancia. Tento proces zaručuje interoperabilitu a ďalej i spätnú kompatibilitu.

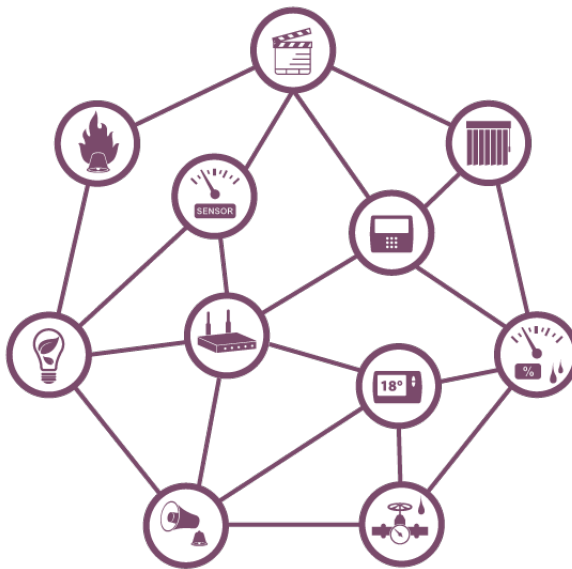
Hlavným rozdielom oproti iným technológiám je certifikácia na úrovni celého zariadenia a nie len certifikácia, ktorá zahŕňa iba rádiovú komunikáciu ako je to u ZigBee.[15]

Špecifikácia Z-wave využíva nízkoenergetické rádiové úzko rozsahové pásmo pod 1GHz. Využitie ISM bezlicenčného pásma podľa krajín je rozdelené nasledovne:

- 868.42 pre Európsky región
- 908.42 MHz pre Ameriku a Kanadu
- v ostatných krajinách podľa miestnych regulácií

Najjednoduchšia Z-wave sieť pozostáva s primárneho kontroléru *primary controller* a aspoň jedného koncového uzlu *node*. Kontrolér je podmienkou pre fungovanie siete, pretože riadi všetky ostatné uzly. Ďalej má u seba uložené routovaciu tabuľku pre všetky uzly vyskytujúce sa v sieti. V tejto tabuľke sú dostupné informácie akou cestou je možné komunikovať s určitým koncovým uzlom. Koncovým uzlom môže byť napríklad merač spotreby energie odoberanej z niektorej elektrickej zásuvky.

Výhodou siete Z-wave je využívanie *mesh* topológie. Takáto topológia umožňuje uzlom, ktoré nie sú v pokrytí primárneho kontroléru, pripojiť sa do rovnakej siete. Takéto pripojenie nie priamou cestou ku kontroléru ale s využitím prostredníka respektíve môže sa vyskytnúť viac takýchto prostredníkov. Prostredníkom je taktiež uzol. Takýto uzol sa pripojí na akýkoľvek iný uzol v jeho dosahu a využije možnosti preposlať komunikáciu cez svoje vlastné zdroje. V rámci jednej bezdrôtovej Z-wave siete je možná komunikácia medzi 232 zariadeniami.



Obr. 3.4: Znázornenie využitia technológie Z-wave [15]

Pri využívaní v oblasti inteligentných systémov v budovách a ich komunikácie v bezdrôtovej sfére je potrebné dbať i na bezpečnosť. Tá je realizovaná symetrickým šifrovaním AES-128, ktoré sa v súčasnosti využíva i v elektronickom bankovníctve.

3.4 Porovnanie

V odvetví nízkoenergetických bezdrôtových technológií sa všetci vývojári snažia poskytnúť svoje protokoly s dôrazom na nízku spotrebu energie ale pri tom sa snažia poskytnúť čo najefektívnejšiu použiteľnosť. Jednotlivé technológie sa líšia svojim dosahom, rýchlosťou prenosu, počtom aktívnych zariadení v danej sieti, fyzikálnymi vlastnosťami. Prehľad najznámejších technológií tohto druhu a ich porovnanie si ukážeme v nasledujúcej tabuľke.

	ZigBee	Z-Wave	6LoWPAN	DASH7	Bluetooth BLE	DECT ULE	Wi-Fi (802.11n)
Operating Frequency	2.4 GHz, 915 MHz, 868 MHz	900 MHz	2.4 GHz	433 MHz	2.4 GHz	1.9 GHz	2.4 GHz, 5 GHz
Max. Outdoor Range	~ 500 m	~ 100 m	~ 200 m	~ 2000 m	~ 50 m	~ 300 m	~ 100 m
Max. Data Rate	250 Kbps	40 Kbps	200 Kbps	27.8 / 200 Kbps	~ 1 Mbps	~ 1 Mbps	~ 600 Mbps
Max. Nodes	65,536	232	~ 100	Too many	N/A for BLE; 8 is default for Classic Bluetooth	~ 400	N/A
Average Current Consumption	Tx: 25-35 mA; Rx: 20-30 mA;	Tx: 30-40 mA; Rx: 20-30 mA;	Tx: 20-35 mA; Rx: 12-25 mA;	Tx: 14-25 mA; Rx: 3-7 mA;	Tx: 15-20 mA; Rx: 15-20 mA;	?	Tx: 220+ mA; Rx: 215+ mA;
Multi-hop Capabilities	Yes	Yes	Yes	2 hops only, extra hops can be added with RPL	No	Yes	No
Certification / Qualification Cost	Medium	Medium	Low	High	High	?	High
Development Community Adoption	High	High	Medium	Low	Medium	Low	High
Interoperability	High	High	Low	Medium	Medium	Medium	High
Reliability	Low	Low	Low	High	Medium	Low	Medium
Suitable for Industrial / Military?	No	No	No	Yes	Yes	N/A	Yes

Obr. 3.5: Porovnanie nízkoenergetických technológií [21]

Kapitola 4

Technológia Bluetooth

V tejto kapitole si všeobecné informácie o technológii Bluetooth získané z predchádzajúcej kapitoly rozšírime a preberieme oveľa detailnejšie. Pozrieme sa do histórie, s akou myšlienkou táto technológia vznikla, zistíme prečo získala názov aký poznáme, prejdeme vývojom a štruktúrou protokolu.

4.1 Pôvod názvu

Názov Bluetooth, v preklade *modrý zub*, pochádza z desiateho storočia ako spomienka na dánskeho kráľa Harald-a Blåtand-a v angličtine Harold Bluetooth. Kráľ Harold pomohol zjednotiť bojujúce oblasti, ktoré dnes poznáme ako Nórsko, Švédsko a Dánsko. Tak ako kráľ Harold v minulosti spojil tieto bojujúce krajiny, tak bol vytvorený otvorený štandard pre umožnenie vzájomného prepojenia, primárne na prenos hlasu a dát. Aby sa nová technológia ujala, museli tento štandard prijať dve z najväčších spoločností, ktoré sa zaoberali výrobou mobilných telefónov, Nokia a Ericsson. A tým vznikla i spolupráca dvoch konkurenčných firiem.

4.2 Vznik

Pre vznik tejto technológie bola hlavnou myšlienkou predstava bezdrôtovej alternatívy k sériovým dátovým káblom. Cieľom bolo vytvoriť univerzálny štandard osobnej siete. Takýto typ siete možno označiť ako PAN *Personal Area Networks*, ale vo sfére bezdrôtovej komunikácie označovaná ako WPAN *Wireless Personal Area Networks*.

Prvým konceptom bezdrôtovej technológie Bluetooth sa zaoberala švédská firma Ericsson už v roku 1994. Koncept vyvíjali Jaapo Haartsen a Sven Mattisson, zamestnanci Ericssonu. Neskôr sa k Ericssonu pridala firma NOKIA a v roku 1998 založili a predstavili SIG *Bluetooth Special Interest Group* spolu so spoločnosťami Intel, Toshiba a IBM.

Následne boli špecifikácie sformalizované podľa Bluetooth SIG. Prvá platná špecifikácia bola uverejnená a schválená v roku 1999 práve skupinou Bluetooth SIG. Jednalo sa o verziu Bluetooth 1.0a. Po tomto zverejnení sa k skupine pridala spoločnosť Microsoft ešte v roku 1999. Neskôr sa pridávali i ďalší, z najaktívnejších, napríklad Lenovo v roku 2005, Apple v roku 2015. Dnes má skupina Bluetooth SIG takmer tridsať tisíc členov a stále sa rozrastá. Členovia sú rozdelení do viacerých úrovní podľa aktivity. Najaktívnejší členovia majú označenie *Promoter* a majú najväčší vplyv na strategické a technologické smerovanie technológie Bluetooth ako celku. Medzi ne patria najväčší hráči.

- Nokia Corporation
- Lenovo (Singapore) Pte Ltd.
- Ericsson AB
- Apple, Inc.
- Intel Corporation
- Toshiba Corporation

4.3 Vývoj

Od pôvodnej špecifikácie ubehlo už veľa rokov. Všetko okolo nás sa vyvíja, zdokonaľuje a taktiež sa opravujú závažné nedostatky. Tak i technológia Bluetooth neostala stagnovať a prešla viacerými zmenami. Dôraz bol kladený i na spätnú kompatibilitu, ktorá zostala zachovaná naprieč všetkými verziami. V tejto podkapitole budeme čerpať z nasledujúcich zdrojov [16] [9] [12] [10].

- Verzia Bluetooth 1.0a

Táto verzia bola prvou schválenou a implementovanou špecifikáciou, ktorú oznámili v roku 1999.

- Verzia Bluetooth 1.0b

1.0b bola oznámená v tom istom roku. Prinášala iba malé zmeny. Tieto dve verzie stále obsahovali množstvo chýb a obsahovala povinné hardvérové adresy, čo predstavovalo možné problémy do budúcnosti. Bola vyžadovaná zmena a tak prišla ďalšia verzia.

- Verzia Bluetooth 1.1

Bola prijatá v roku 2002. Opravovala veľa nedostatkov predchádzajúcej verzie. Veľkým úspechom sa stalo dosiahnutie schválenia od organizácie IEEE, konkrétne sa jednalo o štandard IEEE 802.15.1.

- Verzia Bluetooth 1.2

Schválená roku 2003 a hlavnými rysmi tejto verzie je zavedenie takzvaného preskakovania frekvencií (AFH), ktoré malo zlepšiť odolnosť voči rušeniu.

- Verzia Bluetooth 2.0

Prináša dátové prenosy na úrovni 3 Mbit/s práve vďaka EDR *Enhanced Data Rate* pri polovičnej spotrebe.

- Verzia Bluetooth 2.1 + EDR

Hlavným zdokonalením bolo jednoduché a bezpečné párovanie (SSP) a ďalšie zníženie spotreby elektrickej energie. Verzia bola prijatá v roku 2007.

- Verzia Bluetooth 3.0 + HS

Schválená roku 2009. Zvyšuje dátovú priepustnosť na 24 Mbit/s. Pre tieto vysokorýchlostné prenosy vytvára súbežné spojenie s využitím technológie 802.11 známej ako Wi-Fi. Pre vysokorýchlostný prenos je mať obe zariadenia vybavené verziou Bluetooth 3.0 + HS.

- Verzia Bluetooth 4.0

Táto verzia prináša veľké zníženie využitia elektrickej energie na prenos. Toto zníženie je možné využiť len pri zariadeniach s nízkym prenosom dát. Pri vyšších prenosových rýchlostiach sa využije spätná kompatibilita a zvolí sa verzia 3.0 + HS. Ďalším zásadným vylepšením je prechod na šifrovanie AES-128. Verzia pochádza z roku 2010.

- Verzia Bluetooth 4.1

Túto verziu schválili v roku 2013. Prináša podporu pre sieťovú komunikáciu prostredníctvom protokolu IPv6. Do protokolu bol navyše pridaný kanál cez ktorý práve toto sieťovanie bude prebiehať. Mení sa i doba, po ktorej uplynutí by sa malo zariadenie odpojiť. Tá sa zvýšila až na tri minúty, čo sa pozitívne prejaví na menšej spotrebe energie.

- Verzia Bluetooth 4.2

Posledná známa verzia, ktorá bola schválená koncom roku 2014. Pri nízkom odbere elektrickej energie zlepšila dátovú priepustnosť vďaka zväčšeniu dátového paketu z 27 bytov na 251 bytov čo predstavuje približne 800 kbit/s. Zlepšenie sa týka i zabezpečenia protokolu, kde sa snaží zamedziť odpočúvaniu pri párovaní. Riešením má byť práve implementácia verejného kľúča pre autentifikáciu.

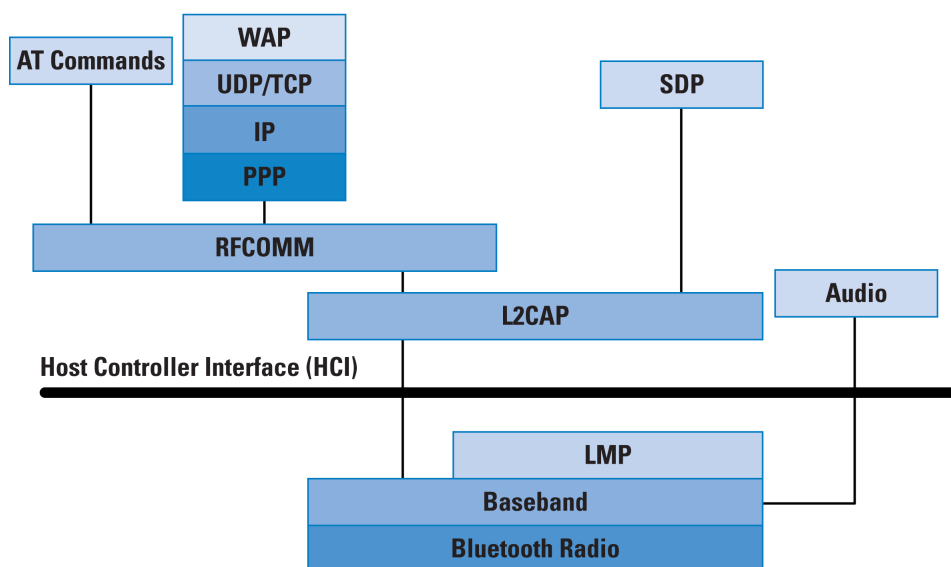
Výhodou nových verzií 4.1 a 4.2 je možnosť aktualizácie z verzie 4.0. Táto aktualizácia je čisto softvérová, v konečnom dôsledku stačí nahráť nový firmware alebo nainštalovať nový ovládač pre Bluetooth sieťovú kartu.

Kapitola 5

Technická špecifikácia technológie Bluetooth

V tejto kapitole sa budeme zaoberať technickými informáciami, ktoré sa týkajú bezdrôtovej technológie Bluetooth. Rozoberieme si štruktúru protokolu na fyzickej vrstve, v akých pásmach a akým spôsobom je realizovaný prenos dát a zvuku. Ďalej sa pozrieme na možný dosah i spotrebovaný výkon.

5.1 Architektúra podľa modelu ISO OSI



Obr. 5.1: Vrstvy podľa Bluetooth stack (ISO OSI) [13]

Štandard IEEE 802.15.1 je iný ako bežné rádiové štandardy. Nedefinuje len fyzickú vrstvu - rádiovú časť - Bluetooth Radio a Baseband. Štandard zahŕňa podľa Bluetooth Stack, ako je možné vidieť aj vyššie na obrázku, i linkovú vrstvu (LMP) a (L2CAP) *Logical Link Control and Adaptation Protocol*.

LMP je používané pre spravovanie prepojenia medzi koncovými bodmi. LMP pokrýva využitie pre autentizáciu, šifrovanie, prepínanie rolí medzi master a slave a riadenie výkonu.

L2CAP ponúka služby využívané vyššími vrstvami práve pre zostavenie spojenia, odpojenie, čítanie a zápis dát, použitie príkazu ping a iné.

Ďalej štandard využíva i všeobecne používaný protokol pre rádiovú komunikáciu (RFCOMM), ktorý poskytuje emuláciu sériových portov práve cez L2CAP. Poskytuje možnosť až 60 súčasných pripojení medzi dvoma Bluetooth zariadeniami. Najbežnejšia je emulácia rozhrania RS-232, ktorá zahŕňa signály ako Request To Send (RTS), Clear To Send (CTS), Data Terminal Ready (DTR),...

(SDP) *Service Discovery Protocol* slúži na dynamické zisťovanie služieb.

Okrem toho, (HCI) *Host Controller Interface*, opäť všeobecne používaný protokol, poskytuje jednotné príkazové rozhranie pre kontrolér základného pásma (baseband controller) a linkovú správu pre prístup k hardvérovým registrom.

5.2 Fyzická vrstva

Technológia Bluetooth mala za to, aby systém pracoval interoperatívne a to dokonca i v globálnej sfére. Práve preto sa k bezdrôtovým rádiovým prenosom v technológii Bluetooth používa bezlicenčné ISM pásmo na frekvencii 2,4 GHz. V toto pásme sa operuje v rozmedzí spektra 2.4 až 2.485 GHz. Celková šírka pásma je 80 MHz. Každý kanál má šírku 1 MHz a z toho vyplýva, že použiteľných frekvenčných kanálov protokolu Bluetooth je práve 79.

V bezlicenčných pásmach treba rátať s nepriaznivými vplyvmi ako napríklad zarušenosť prostredia. Tento problém sa snaží aspoň z časti riešiť systém FHSS *Frequency Hopping Spread Spectrum*. Jedná sa o metódu rozprestretého spektra. Táto metóda funguje na princípe preskakovania (hopping) medzi všetkými použiteľnými kanálmi (79). Frekvencia prepnutia kanálu sa vyskytuje 1600 krát za jednu sekundu. Z toho vyplýva, že pulzná frekvencia mikrovlnného signálu je 1600 Hz. Tieto hodnoty platia pri komunikácii a prenose základnej veľkosti paketov. Pri niektorých prenosoch je možné veľkosť paketu zväčšiť. Tým sa ovplyvní základná nosná frekvencia, ktorá sa zníži.

Základný systém využíva moduláciu fázového posunu, kde teoretická rýchlosť prenosu môže dosiahnuť na úrovni 1 Mbit/s. Neskôr táto rýchlosť prestala postačovať a prišli na to, že rôznymi modifikáciami tejto modulácie je možné získať navýšenie rýchlostí.

Podľa novej špecifikácie káblového rozhrania *USB 3.0* pribúda pre pásmo 2.4 GHz ďalší problém, a to v podobe ďalšieho rušenia. Rozhranie USB 3.0 pracuje veľmi blízko frekvenciám, ktoré využíva Bluetooth. To môže mať za následok pokles dátovej priepustnosti bezdrôtovej technológie alebo úplnej strate spojenia medzi jednotlivými zariadeniami. Na riešenie vzniknutého problému môžeme zvážiť viaceré stratégie. Najjednoduchšou môže byť zvýšiť vzdialenosť USB 3 zariadení od Bluetooth. Ďalej sa odporúča použiť tienenie kabeľáže pre USB 3 alebo náročnejšie, ktoré kladú nároky na výrobcov a to použiť dodatočné vnútorné tienenie USB komponent. [6]

5.3 Dosah a vyžarovaný výkon

Vyžarovaný výkon je priamo závislý na požadovanom dosahu takejto komunikácie. Štandard rozdeľujeme do troch základných tried (Class 1, Class 2 a Class 3). Dosahovaný výkon sa pohybuje v rozmedzí 0.25 mW až po 100 mW a ktomu je priamo závislý i dosah v rozmedzí 1 až 100 metrov.

5.3.1 Class 1

Táto trieda sa využíva predovšetkým pre vytváranie WPAN Bluetooth lokálnych sietí. Tvorba takýchto lokálnych sietí vyžaduje i primeraný dosah. A tak je možné teoreticky dosiahnuť 100 metrové pokrytie sieťou. Maximálny povolený vyžarovací výkon pre túto triedu je 100mW. Spodný odber nepresiahne 1 mW. Použitie takejto triedy je vhodné pre master zariadenia.

5.3.2 Class 2

Táto trieda disponuje s 10 metrovým dosahom. Táto trieda je najznámejšia hlavne vďaka mobilným telefónom. Maximálny vyžarovaný výkon je stanovený na 10 mW. Spodný odber by nemal presiahnuť 0.25 mW.

5.3.3 Class 3

Táto trieda je energeticky veľmi úsporná, pretože maximálny vyžarovací výkon nepresiahne 1 mW. Minimálny odber je tak ako v predchádzajúcej triede 0.25 mW.

5.3.4 Prehľad

Môžeme sa pozrieť na prehľadný zoznam tried Class 1 až Class 3 v nasledujúcej tabuľke.

Power Class	Maximum Output Power (Pmax)	Nominal Output Power	Minimum Output Power ¹⁾	Power Control
1	100 mW (20 dBm)	N/A	1 mW (0 dBm)	Pmin<+4 dBm to Pmax Optional: Pmin ²⁾ to Pmax
2	2.5 mW (4 dBm)	1 mW (0 dBm)	0.25 mW (-6 dBm)	Optional: Pmin ²⁾ to Pmax
3	1 mW (0 dBm)	N/A	N/A	Optional: Pmin ²⁾ to Pmax

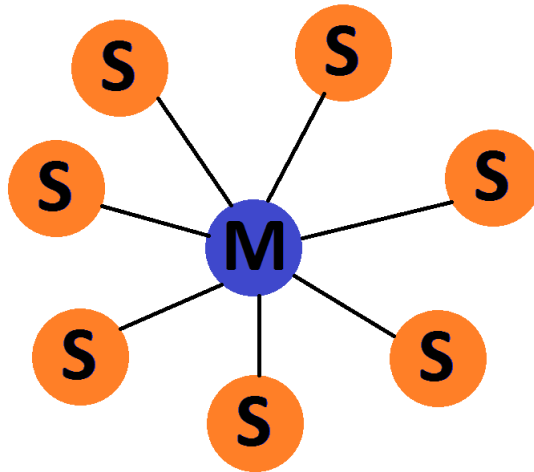
Obr. 5.2: Prehľad tried technológie Bluetooth [2]

5.4 Topológia siete

Sieť, ktorá je tvorená za využitia technológie Bluetooth je tvorená minimálne dva zariadeniami, nakoľko sa jedná o sieť typu *ad-hoc*. Jedno zo zariadení v sieti sa stáva *master* zariadením a ostatné *slave* zariadeniami. Master zariadenie sa stáva riadiacím zariadením a ostatné zdieľajú od neho synchronizačný signál. Tento signál definuje master zariadenie.

Jedna takáto sieť sa nazýva *pikonet* a môže byť v nej aktívnych maximálne 8 zariadení.

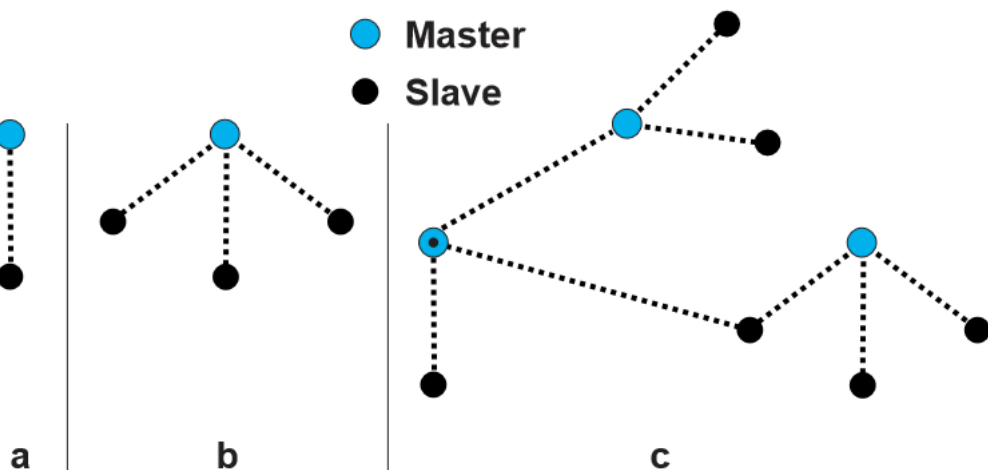
Z ôsmich zariadení sa vyskytuje jedno zariadenie master a 7 slave zariadení. Tieto master a slave role je možné meniť medzi zariadeniami. Zmena je možná na základe dohody medzi týmito zariadeniami a teda slave sa môže stať masterom a naopak. Názorným príkladom



Obr. 5.3: Piconet s jedným master (M) zariadením a siedmimi slave (S)

môže byť pripojenie Bluetooth náhlavnej súpravy na prenos zvuku. Súprava iniciuje spojenie, ktorým sa snaží pripojiť k mobilnému telefónu. Táto súprava sa stáva masterom práve kvôli faktu, že je iniciátorom pripojenia. Následne po pripojení sa vzdáva byť masterom a preberá rolu slave zariadenia.

Pre väčšiu škálovateľnosť je pridaná podpora vytvárať väčšie siete (zložené) takzvané *scatternety*. Scatternet je vlastne spojením dvoch a viacerých piconetov. V takejto zloženej sieti niektoré zariadenia môžu hrať úlohu mastera pre jeden určitý piconet a zároveň i úlohu slave zariadenia pre inú piconet sieť. Ak je jedno zariadenie súčasne masterom pre 7 zariadení je všetko v poriadku. Ale môžu nastať komplikácie, ak sa jedno zariadenie stane slave zariadením, ktoré bude mať viacerých masterov. Každý master môže nadstaviť iný synchronizačný signál a problémom pre slave zariadenie je určiť, ktorý signál uvažovať za vedúci. Verzia Bluetooth 4.0 túto možnosť zakazuje, ale verzia 4.1 umožňuje pre low-energy operačný mód.



Obr. 5.4: Základný piconet (a), multi-slave piconet (b) a scatternet (c) [12]

5.5 Profily

Profily protokolu Bluetooth určujú, akým spôsobom budú jednotlivé moduly Bluetooth využívané. Aby bolo vôbec možné využívať túto technológiu, zariadenie musí byť taktiež kompatibilné s určitou podmnožinou týchto profilov. Profily poskytujú štandardy, ktoré by mali výrobcovia dodržať, aby bolo možné dané zariadenie využívať správnym spôsobom. Špecifické protokoly sú viazané na konkrétne verzie špecifikácie Bluetooth.

Profil môže využívať základné funkcie špecifikácie Bluetooth. Ďalej pri tvorbe profilu by mali byť definované niektoré dôležité informácie ako napríklad akým spôsobom sa budú dáta prenášať, alebo s akým typom dát sa bude pracovať.

Existuje široká škála Bluetooth profilov, ktoré popisujú rôzne typy aplikácií a využitia. Stále sa vyvíjajú, každou novou verziou špecifikácie Bluetooth vznikajú i ďalšie nové. Preto si my spomenieme len zopár najvýznamnejších. Bluetooth Low Energy používa vlastnú, špeciálnu sadu profilov. Táto podsekcia čerpá informácie zo špecifikácie Bluetooth Core 4.2.[12]

5.5.1 GAP - Generic Access Profile

Tento profil je základným profilom, ktorý poskytuje služby hľadania iných zariadení v dosahu a založenia pripojenia. Bez tohoto profilu by komunikácia nebola možná. GAP profil poskytuje základ pre všetky ostatné profily.

5.5.2 SDAP - Service Discovery Application Profile

Ďalším dôležitým a nevyhnutným profilom je Service Discovery Application Profile (SDAP), ktorý slúži na zisťovanie aké služby (profily) sú k dispozícii na ktoromkoľvek zariadení.

5.5.3 GATT - Generic Attribute Profile

Špecializovaný pre špecifikáciu Bluetooth Low Energy a taktiež dôležitý pre náš prototyp zariadenia. Poskytuje služby prehľadávania iných zariadení v dosahu a definuje služby pre BLE. Ďalej definuje, ako pomocou ATT profilu prehľadávať, čítať i zapisovať údaje o atribútoch.

5.5.4 HSP - Headset Profile

Tento profil nie je síce nevyhnutným profilom pre fungovanie akéhokoľvek zariadenia, ale zato najznámejší v rozšírenej využiteľnosti. Poskytuje podporu pre bezdrôtové slúchadlá takzvaný headset pre použitie s mobilnými telefónmi, PDA alebo osobnými počítačmi. Tento profil využíva synchronnú linku - SCO (Synchronous Connection Oriented link) pre zvuk. Ten je kódovaný 64 kbit/s v CVSD alebo PCM. Ďalej obsahuje podmnožinu AT príkazov pre zdvihnutie hovoru, zavesenie a ovládanie hlasitosti v sluchadle.

5.5.5 HFP - Hands-Free Profile

Je podobným protokolom ako HSP. Stal sa bežným protokolom používaným v osobných automobiloch. Taktiež využíva SCO. Verzia 1.6 pridáva podporu pre širokopásmový záznam reči s kodekom mSBC, ktorý je 16 kHz mono konfiguráciou kodeku SBC použitým v A2DP profile.

5.5.6 HID - Human Interface Device Profile

Medzi tie známejšie patrí i HID, profil poskytujúci podporu pre bezdrôtové klávesnice, myši, joysticky. Dbá na čo najnižšiu odozvu a zároveň čo najmenšie nároky na výkon. Medzi najnovšie trendy patria ovládače pre Playstation alebo Wii konzolu. Tento profil vychádza zo špecifikácie USB HID, ktorý je implementovaný v operačných systémoch. Tým je zjednodušená implementácia pre hostiteľa.

5.5.7 FTP - File Transfer Profile

Protokol slúži na prenos dát, konkrétne prenos súborov rôznych typov.

5.6 Bezpečnosť a párovanie

Párovanie pomáha chrániť účastníkov komunikácie. Väčšinou prebieha pomocou zadania dohodnutého pin kódu, ktorý je potrebné uviesť na každom zariadení. Takéto párovanie sa vykonáva na požiadanie jedného zo zariadení manuálne, alebo pri uskutočnení prvého prenosu. Pri uskutočňovaní prvého prenosu sú účastníci vyzvaný k tomuto bezpečnostnému kroku automaticky. Dohodnú sa na spoločnom kľúči a začnú komunikovať. Pri ďalšom pripojení nie je potreba znovu párovať zariadenia.

V ranných verziách, z pohľadu dneska, nebola komunikácia šifrovaná dostatočne a je zraniteľná. Od verzie Bluetooth 4.0 pribúda šifrovanie AES-128, ktoré zabezpečuje omnoho bezpečnejšiu komunikáciu. Verzia 4.2 sa ďalej snaží obmedziť možnosti odpočúvania protokolu pri párovaní. Pridáva implementáciu verejného kľuča pre autentifikáciu.

Kapitola 6

Návrh prototypu

V tejto kapitole si priblížime základné požiadavky, ktoré vyplývajú z cieľov práce. Predstavíme si štruktúru navrhovaného prototypu a zhodnotíme jeho komponenty. Následne si o výbere jednotlivých komponentov prezradíme detailnejšie informácie, ktoré nás viedli využiť práve tieto.

6.1 Požiadavky na prototyp zariadenia

Zariadením má byť zostava, ktorá sa skladá zo zariadenia pre záznam a zariadenia pre uchovanie hodnôt a následnú reprezentáciu dát.

- Zariadenie pre záznam (senzor)

Toto zariadenie má byť schopné snímať svetelné impulzy z led diódového výstupu elektromera. Impulzy, ktoré toto zariadenie zaznamená budú preposlané do zariadenia pre uchovanie nameraných hodnôt. Senzor nemá priamy prístup k elektrickej energii. Bude napájané pomocou batérií. Cieľom je predĺžiť životnosť týchto batérií. V rámci šetrenia energie bude ako komunikačný protokol použitý Bluetooth Low Energy.

- Zariadenie pre uchovanie nameraných informácií (server)

Server bude mať priamy prístup k napájaniu - bude napájaný z elektrickej siete. Pre komunikáciu so senzorom bude taktiež použitý Bluetooth Low Energy. Toto zariadenie, po nazbieraní informácií, bude tieto dáta reprezentovať do siete LAN. Pripojenie k tejto sieti bude realizované cez Ethernet alebo Wi-Fi. Prezentované budú pre osobné počítače alebo mobilné telefóny, prostredníctvom webovej aplikácie.

6.2 Výber vhodných komponent

- Zariadenie pre záznam (senzor)

Zariadenie by malo byť malých rozmerov, aby sa dalo ľahko umiestniť do meracej skrine elektromeru. Ďalej by malo podporovať komunikáciu cez Bluetooth v režime Low Energy kôli spotrebe energie. Ako vhodné zariadenie sme vybrali *Ti CC2541 Keyfob board* od známej spoločnosti Texas Instruments. Výhodou je, že spoločnosť poskytuje svoje vývojárske nástroje zdarma pre nekomerčné alebo študijné účely. Ďalej poskytujú i softvérové knižnice Bluetooth Low Energy Software Stack.

Kedže bude mať zariadenie zaznamenávať svetelné impulzy, Keyfob board svetelný snímač neobsahuje, bude potrebné takýto snímač navrhnuť a pripojiť k tejto platforme.

Ako snímač svetla použijeme fototranzistor.

- Zariadenie pre uchovanie nameraných informácií (server)

Informácie, ktoré budú preposielané na toto zariadenie nebudú dátovo veľmi náročné. Bude sa jednať len o jednoduché údaje o aký senzor sa jedná, jeho adresa, a v daný okamih počet zaznamenaných hodnôt. Pre takto dátovo nenáročnú aplikáciu nebude potrebný výkonný hardware, preto je možné siahnuť po lacnom hardvéri, ktorý má nízku spotrebu, ale obsahuje všetko čo bude potrebné pre komunikáciu s nízkoenergetickým senzorom.

Jedná sa o Raspberry pi, malý jednodoskový počítač veľkosti kreditnej karty. Raspberry pi verzie 3 obsahuje integrovaný modul Bluetooth Low Energy ako aj Wi-Fi. Preto máme za to, že je vhodnou komponentov k cieľovej zostave.

O Raspberry pi od nadácie Raspberry Pi Foundation i Keyfob board od spoločnosti Texas Instruments bude viac informácií v nasledujúcej kapitole.

Kapitola 7

Jednotlivé komponenty

7.1 Raspberry pi 3

Raspberry pi je jednočipovým počítačom, ktorý kladie dôraz na jednoduchosť, nízke náklady a malú veľkosť. Pri týchto prednostiach poskytuje i dostačujúci výkon. Výkonom sa môže rovnať starším počítačom. Obsahuje základné I/O porty ako USB, Ethernet, HDMI, Jack 3.5, dokonca i GPIO.



Obr. 7.1: Mini-počítač Raspberry pi 3 [14]

7.1.1 História

Toto zariadenie bolo vyvíjané v Anglicku (UK) nadáciou Raspberry Pi Foundation. Raspberry si už prešlo svojim vývojom a máme k dispozícii viac verzií.

- Verzia 1

Prvá generácia tohoto počítača bola uvedená vo februári 2012. Jednalo sa o dva modely. Základný model A a model B s vyššou špecifikáciou. O rok neskôr boli predstavené modely A+ a B+. Model B+ prichádza s 512MB RAM modulom.

Táto verzia mala osadený jednojadrový ARM procesor 700 MHz.

- Verzia 2

Druhá generácia bola predstavená taktiež vo februári ale roku 2015. Tento krát sa už jedná iba o model B. Ten disponuje štvorjadrovým procesorom ARM Cortex-A7 s taktom 900 MHz a 32-bitovou architektúrou. Zvýšila sa i pamäť RAM a to na 1 GB.

- Verzia 3

Tretia generácia čoraz viac populárneho mini-počítača bola zverejnená vo februári 2016. Hlavnými črtami je zvýšenie výkonu vďaka štvorjadrovému procesoru ARM Cortex-A53 s taktom 1.2 GHz a 64-bitovou architektúrou. Ďalej je priamo implementovaný rádiový modul Wi-Fi spolu s Bluetooth 4.1 Low Energy.

[4]

7.2 Ti CC2541 Keyfob board

Doska Keyfob vznikla ako produkt spoločnosti Texas Instruments. Táto firma sa zaoberá výrobou integrovaných čipov a obvodov. Bola založená v roku 1941 partiou štyroch priateľov. Medzi ich prvé produkty patril tranzistorový rozhlasový prijímač, ručná kalkulačka a prvý jendochipový mikropočítač. Následne na to získala patent na mikroprocesor. Dnes najnovším trendom je svet vecí, tak prečo by takýto výrobca nešiel s vývojom vpred.

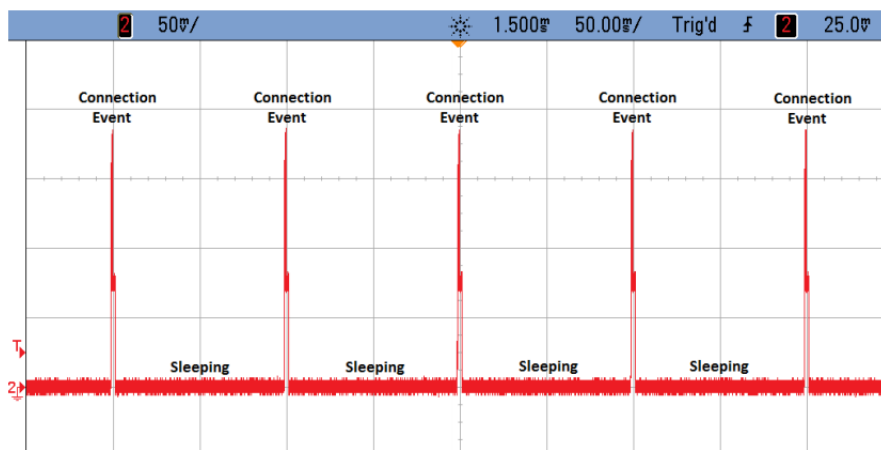
Keyfob je vývojárskym nástrojom pre svet Internet of Things. Kit CC2541 Keyfob je referenčným dizajnom pre vývoj softvéru pre technológiu Bluetooth Low Energy (BLE).



Obr. 7.2: Ti CC2541 Keyfob board [7]

Toto zariadenie pracuje ako periférne Bluetooth zariadenie a obsahuje modifikovateľný software, ktorý môže byť prispôbený na rôzne aplikácie. Táto doska zároveň obsahuje zopár senzorov ako tlačidlá a akcelerometer alebo iných prvkov ako bzučiak *buzzer* alebo led. Demo aplikácia demonštruje využitie BLE GATT servisných profilov.

Toto zariadenie je napájané hodinovou batériou (CR 2032 3 V). Zariadenie šetrí energiu prechodom do režimu spánku, kedy bezdrôtová časť nevysiela. Keď je potrebné prebudí sa,



Obr. 7.3: Spotreba energie v režime spánku(sleep) a v režime pripájania [7]

odošle údaje a zase prejde do režimu spánku. Takýmto spôsobom zariadenie vydrží pracovať na jedinej batérii i celý rok. Záleží od intervalu prechodov do aktívneho režimu.

V zariadení je osadený čip CC2541, ktorý je typu SoC *System on chip* pre nízkoenergetické aplikácie v ISM pásme 2.4 GHz. Má 8 kbit RAM a 128 alebo 256 kbit flash pamäť.[7]

7.3 Fotorezistor

Snímač elektrickej energie sa skladá zo senzoru neelektrickej veličiny fotosenzoru. Takýmto senzorom môže byť viac súčiastok, ktoré majú špecifické vlastnosti.

- fotodióda
- fototranzistor
- fotorezistor
- fototyristor
- a ďalšie

Pre účely tejto práce bol vybraný fototranzistor - polovodičový fotodetektor. Fototranzistor je opto-elektrická súčiastka, ktorá pohlcuje svetlo a tým vytvára prúd. Prúd je tvorený výsledkom fotoelektrického javu vo fotodióde. Tento prúd je následne zosilnený tranzistorom, ktorým je i zvýšená citlivosť.

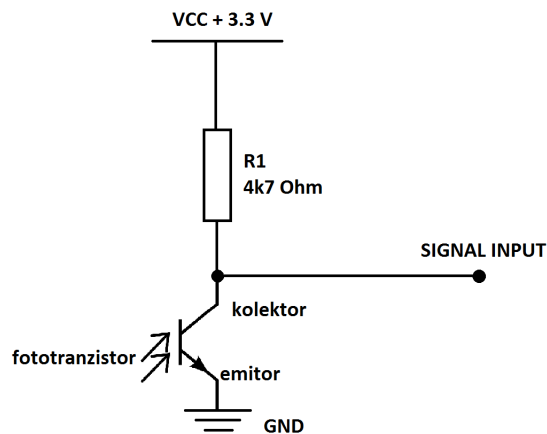
Fototranzistor má dve elektródy narozdiel od tranzistoru, ktorý ich má tri. Treťou sa stáva priehľadná prechodná časť. Tú je možné osvietiť, čo spôsobí generáciu páru elektrón-diera, ktorá spôsobí presun častíc do báze a tým sa zväčší prúd.[11]

Kapitola 8

Realizácia

8.1 Snímač elektrickej energie

Snímač bude zložený z týchto dvoch komponent podľa schémy. Fototranzistor bude potrebné navyše obaliť čiernou tieniacou vrstvou aby neprichádzalo svetlo z iného zdroja ako je potrebné. Takýto zdroj svetla môže byť napríklad denné svetlo a znamenalo by to rušivý element a priamo by to ovplyvnilo presnosť nameraných údajov.



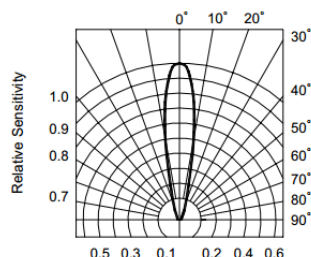
Obr. 8.1: Schéma obvodu snímača svetla

8.1.1 Fototranzistor

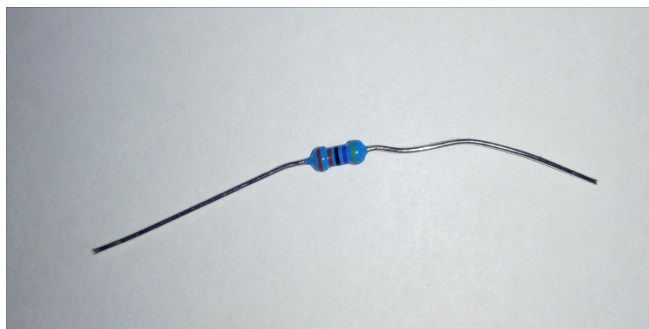
Fototranzistor, ktorý je v práci použitý má označenie LTR-3208 (IRE5) a jeho výrobcom je LITE ON. Jeho parametre sú 940nm 30V 0,8mA 0.1W 5mm. Pre účely práce je vhodnou súčiastkou.

8.1.2 Odpor

Použitý rezistor (odpor) pre túto zostavu je 4K7. Jedná sa o metalizovaný metalizovaný rezistor 4K7 Ohm. Jeho parametre sú $P_z = 0,6$ W, Tolerancia = 1 %, TK = 50 ppm/K. Odpor použijeme pre ochranu vstupných portov dosky a pre správne fungovanie záznamu impulzov z fototranzistoru.



Obr. 8.2: Diagram senzitivity fototranzistoru



Obr. 8.3: Odpor 4k7 Ohm [18]

8.1.3 Ti CC2541 Keyfob

Pre toto zariadenie sú k dispozícii softvérové knižnice pre základnú správu zariadenia a implementácia niektorých BLE profilov (napríklad HeartRate, GATT, ...). Pripojenie snímača je možné k vyvedeným testovacím portom, ktoré sú dostupné z vrchnej strany zariadenia a je možné k nim pripojiť prepojovacie káble. To uľahčí prácu pri debugovaní, pretože nie je nutné vodiče pre testovanie spájkovať.

Tieto porty sú vedené k niektorým súčastiam, ktoré sú na doske implementované. Sú to napríklad akcelerometer alebo tlačítka. Tieto súčastky pri programovaní firmware deaktivujeme, aby neovplyvňovali merané hodnoty. Teraz sú porty voľné a môžeme ich softvérovo namapovať podľa potreby.

Mapovanie portu a obsluha prerušenia

Pre realizáciu snímania impulzov stačí mapovať jeden port. K tomuto portu bude privedený vodič, ktorý je pripojený na kolektor fototranzistoru. Ďalšie porty nie je potrebné mapovať, pretože konektory pripojíme na VCC + 3.3V a GND.

Mapovaný port je potrebné softvérovo nastaviť ako port typu INPUT. Ďalej je nutné povoliť hardvérové prerušenia. A nakoniec nastaviť obsluhu tohto prerušenia.

Obsluha prerušenia bude spočívať v zmene v pamäťovej jednotke. Konkrétne bude inkrementovať hodnotu pamäťovej bunky, ktorá reprezentuje počet prijatých impulzov - prerušení. Táto hodnota nie je priamo preposielaná na archivačné zariadenie, je iba pripravená na odoslanie. Odoslanie prebehne vo vhodný okamžik. Tento okamžik bude definovaný v implementácii vlastného Bluetooth Low Energy profilu.

Pri implementácii je možné využiť balík základných knižníc a príkladov pre programovanie firmware. Kompilácia a nahrávanie binárnych súborov bude prebiehať pomocou pro-

stredia IAR Workbench IDE. Základom pre realizáciu je demo projekt *Keyfob*. Mapovanie portu, povolenie prerušenia je možné nasledujúcim kódom.

Definovanie konštánt:

```
# hal_key.c
#define HAL_PHOTO_PORT    P0
#define HAL_PHOTO_BIT     BV(6)
#define HAL_PHOTO_SEL     POSEL
#define HAL_PHOTO_DIR     P0DIR
#define HAL_PHOTO_IEN     IEN1
#define HAL_PHOTO_ICTL    POIEN
#define HAL_PHOTO_ICTLBIT BV(6)
#define HAL_PHOTO_IENBIT  BV(5)
#define HAL_PHOTO_PXIFG   P0IFG
#define HAL_PHOTO_EDGEBIT BV(0)
```

```
# hal_key.h
#define HAL_PHOTO 0x02
```

Ďalej je potrebné nakonfigurovať porty ako porty GPIO

```
POSEL = 0; // Configure Port 0 as GPIO
P0DIR = 0xBC; // P0.0 and P0.1 as input (buttons) P0.6 phototransistor
P0 = 0x43; // low except for P0.0 and P0.1 and P0.6
```

Poslednou úpravou je samotná obsluha prerušenia, ktorá sa doplní do funkcie

```
static void keyfobapp_HandleKeys( uint8 shift , uint8 keys )
```

V obsluhu je použitá globálna premenná pre možnosť jednoduchého prístupu z rôznych častí projektu. Táto premenná predstavuje počet zaznamenaných impulzov.

Implementácia Bluetooth Low Energy profilu

Základným predpokladom pre zvýšenie výdrže batérií je udržať zariadenie v režime spánku dovtedy, dokým prebudenie nie je nevyhnutné. Táto skutočnosť sa priamo týka bezdrôtového prenosu. Vypnutím vysielania znížime spotrebu.

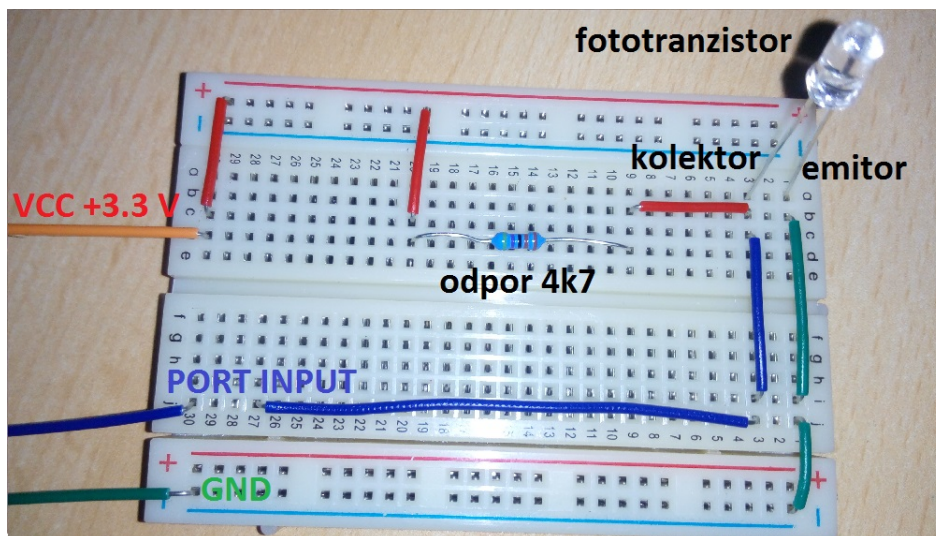
Preto hlavnou konfiguráciou BLE profilu bude časovač, ktorý určí ako často sa bezdrôtová časť aktivuje, nadviaže komunikáciu a zašle dáta. Nie je potrebné tieto dáta zasielať každých 10 milisekúnd. Pre výsledné zariadenie je vhodné nastaviť takýto časovač napríklad na 1 až 10 minút. Pri testovaní je toto veľmi dlhá doba, preto je vhodnejšie pri vývoji tento časovač skrátiť napríklad na 1-5 sekúnd.

Ďalej stanovíme atribúty profilu GATT, v ktorých budú zasielané informácie. Dôležitým atribútom bude počet nameraných impulzov. Tie sú dostupné v prichystanej pamäťovej bunke. Údaje sa skopírujú a prepošlú archivačnému zariadeniu (Raspberry pi).

8.1.4 Finálna zostava

Keďže sa jedná o prototyp nebolo nutné zostavu miniaturizovať. Práve naopak, pre názornosť je obvod zostavy prehľadne pripojený na kontaktnom poli. Fototranzistor a odpor je pripojený na kontaktné pole, kde spolu s prepojovacími káblami tvorí navrhovaný obvod.

Fyzický obvod je možné vidieť na obrázku nižšie.

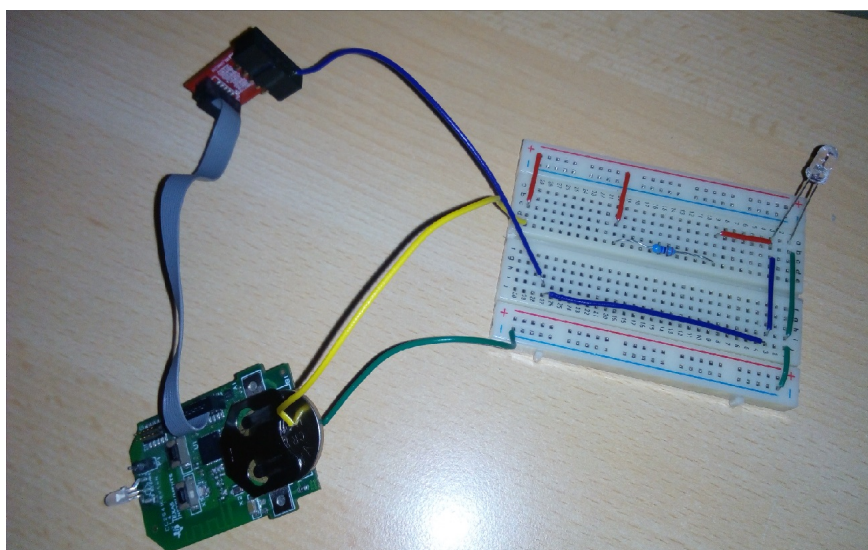


Obr. 8.4: Fyzická realizácia obvodu

Na obrázku je vidno kontaktnú dosku a osadené komponenty. Červené káble znázorňujú napätie + 3.3V, zelenými káblami je privedené uzemnenie GND. Fialový kábel odvádza výsledné napätie, ktoré bude privedené na vstupný port *INPUT* zaznamenávacej dosky Keyfob. Tá tieto analógové signály prevedie na digitálny pomocou analógovo-digitálneho prevodníku. Pre softvérovú časť to znamená nástupnú a zostupnú hranu, inak prezentovanú ako binárna hodnota *True* alebo *False*.

Programové vybavenie je nakonfigurované na reakciu pri **zostupnej** hrane. Pri tejto skutočnosti sa vo vnútornej pamäti inkrementuje čítač. Tento snímač predstavuje počet impulzov svetla alebo v našom prípade počet spotrebovaných kilo-Watov elektrickej energie v domácnosti.

Na priloženom obrázku môžeme vidieť fyzickú realizáciu hotovej zostavy s pripojenou vývojovou doskou Keyfob (P0-6, VCC 3,3V, GND).



Obr. 8.5: Fyzická realizácia obvodu pripojeného k zariadeniu Keyfob (P0-6)

Do budúca je možné túto zostavu priamo implementovať ako dodatočný komponent pre vývojovú dosku Keyfob. Práve tu by sa rátalo s minimalizáciou, aby sa z tejto zostavy stalo veľmi kompaktné a použiteľné zariadenie.

8.2 Server pre zber a prezentáciu dát

8.2.1 Raspbian

Pre tento účel použité zariadenie Raspberry pi. Operačným systémom, ktorý je vhodný na použitie je *Raspbian*. Raspbian je oficiálne podporovaný nadáciou Raspberry Pi Foundation. Vhodnou verziou je *RASPBIAN JESSIE LITE*. Tento systém je minimálnym obrazom systému Debian Jessie. Vo svojom základe má príkazový riadok, cez ktorý je možné systém ovládať. V rámci šetrenia pamäte a výkonu, nemá grafické rozhranie ani žiadne nepotrebné aplikácie ako kancelárske nástroje, prehrávače, . . . Takto odľahčený systém je pre účel práce vhodný.

Systém je potrebné nahráť na pamäťovú kartu *micro SD*. Pri prvom spustení nadstavíme základné požiadavky. Tými sú pripojenie do siete LAN prostredníctvom technológie Ethernet alebo technológie bezdrôtového pripojenia Wi-Fi. Po pripojení je možné ovládať Raspberry pi cez sieť a to práve pripojením na konzolu cez zabezpečený protokol *SSH*, kde sa nám sprístupní príkazový riadok.

Na komunikáciu cez bezdrôtovú technológiu Bluetooth budú použité knižnice bluepy a bluez.[19] Následne je možné otestovať konektivitu pomocou nasledujúcich príkazov.

```
$ hcitool lescan
$ hcitool lecc 00:11:22:33:44:55
```

Serverovou službou bude program spustený v jazyku python. Služba bude skenovať okolie a čakať na pripojenie. Následne zaslanú hodnotu uloží do sqlite databáze.

8.2.2 Tornado py Web Server

Pre prezentáciu dát bude webová aplikácia, ktorej prístupy bude riadiť webový server *Tornado Web Server*. Tento server je webovým frameworkom, ktorý je napísaný v programovacom jazyku python. Táto skutočnosť je výhodou, pretože najpoužívanejším jazykom pri vývoji aplikácií na Raspberry pi je práve skriptovací programovací jazyk python. Tento server poskytuje neblokujúcu podporu HTTP protokolu a ďalej poskytuje desaťtisíce otvorených pripojení.[1]

Pre automatickú inštaláciu je možné použiť príkaz:

```
$ pip install tornado
```

Alebo pre manuálnu inštaláciu:

```
$ tar xvzf tornado-4.3.tar.gz
$ cd tornado-4.3
$ python setup.py build
$ sudo python setup.py install
```

8.2.3 SQLite databáza

Dáta budú archivované v lokálnej databáze. Pre tento účel sa hodí databázová knižnica *SQLite*. SQLite je integrovaným databázovým engine-om. Narozdiel od ostatných databázových aplikácií nemá bežiaci serverový proces alebo službu. SQLite pri požiadavkách na databázu priamo číta a zapisuje do bežných súborov na disku. Potom celá databáza je uložená v jedinom súbore na disku. Táto databázová obsluha nie je veľmi pamäťovo náročná, nakoľko zaberá menej ako 500 KiB pri plnej podpore všetkých funkcií. Miesto je možné ešte viac šetriť, ak nie sú potrebné niektoré voliteľné funkcie, tak zaberá menej ako 300 KiB.[5]

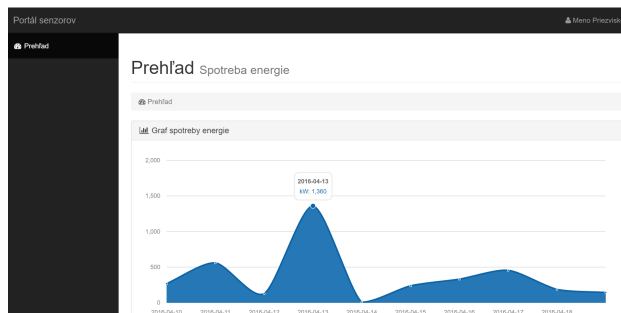
Inštalácia a vytvorenie databázy je veľmi jednoduché. V linuxovom prostredí, ktoré používame (Raspbian), pre inštaláciu stačí spustiť tento príkaz:

```
$ sudo apt-get install sqlite3
```

a následne pre vytvorenie databázového súboru:

```
$ sqlite3 mydatabase.db
```

Samotná webová aplikácia môže vyzeráť ako je znázornené na obrázku.



Obr. 8.6: Návrh webovej aplikácie

Pre túto webovú aplikáciu bude využitá knižnica SB Admin.[20]

8.3 Vzájomná konektivita

Komunikácia medzi archivačným serverom a senzorom pre zber dát je realizovaná za využitia bezdrôtovej technológie Bluetooth Low Energy. Technológia poskytuje nízku spotrebu, ktorá je pre výdrž na batériu veľmi dôležitá.

Teoretickým minimom pre umožnenie komunikácie je poznať hardvérové adresy Bluetooth adaptéra, aby nebolo potrebné zariadenie zakaždým vyhľadávať.

Raspberry pi ako server bude čakať pokiaľ sa v dosahu nevyskytne konkrétne snímacie zariadenie. Následne sa iniciuje komunikácia, dáta sa budú preposlané a archivované v databázovom systéme. Po ukončení komunikácie senzor vypína bezdrôtový modul a prechádza do režimu spánku. Takýmto spôsobom to pokračuje stále znova a znova.

Pri odosielaní informácií o počte impulzov je zasielaná i informácia o stave batérie, pre prípadné upozornenie na výmenu.

8.4 Zníženie spotreby energie

Údaje snímané zo senzoru sú zaznamenané a ihneď na to sa spustí modul konektivity Bluetooth LE a informácie sa prenášajú na server. Takéto správanie môže negatívne ovplyvniť

spotrebu energie batérie senzoru.

Vhodnejším riešením je konektivitu realizovať vo vhodných časových intervaloch. Nie je potrebné informácie zasielať každú sekundu, ba dokonca ani každú minútu. Počas nečinnosti bezdrôtového modulu má zariadenie veľmi nízku spotrebu. V tomto režime môže snímať svetelné informácie a ukladať ich vo vnútornej pamäti. Vo vhodný okamžik je aktivovaný bezdrôtový modul, nadviaže sa komunikácia a dáta sú prenesené na archivačný server. Vhodným okamihom môže byť 10 minút. Takýmto časovým intervalom rapídne znížime spotrebu oproti odosielaniu informácií každú sekundu. Výrobca udáva výdrž batérie do jedného roku pri použití bezdrôtového modulu každú sekundu. Pri 10 minútovom intervale síce pridáme o rýchle *real-time* informácie o stave spotreby, ale poskytneme nám to oveľa dlhšiu výdrž.

Kapitola 9

Záver

Táto bakalárska práca sa zaoberala technológiami pre bezdrôtový prenos informácií. Hlavnou technológiou, ktorá bola prezentovaná bol Bluetooth a jeho štandard Bluetooth Low Energy pre komunikáciu v menšej vzdialenosti so zameraním na čo najnižšiu spotrebu elektrickej energie. Technológia Bluetooth bola vybraná práve pre jej masové rozšírenie, malým rozmerom, nízkej cene a hlavne jej univerzálnosti.

Cielom tejto práce bolo predstaviť nízkoenergetické bezdrôtové siete a následne demonštrovať vybranú technológiu. Demonštrácia prebiehala prostredníctvom návrhu prototypu zariadenia, ktoré bolo schopné zaznamenávať svetelné impulzy elektromeru. Tieto informácie zariadenie uchováva vo svojej pamäti a v určitých intervaloch nadväzuje komunikáciu so zariadením, ktoré je určené na archiváciu a následne prezentáciu týchto dát. Týmto zariadením sa stal mini počítač Raspberry pi verzie 3, práve pre jeho jednoduchosť a zároveň komplexnosť. Ako zariadenie pre snímanie svetelných impulzov bola použitá vývojová doska Ti KeyFob s čipom CC2541. Komunikácia týchto zariadení prebiehala prostredníctvom už spomínanej technológie Bluetooth Low Energy.

Prvá časť práce bola venovaná zoznámeniu sa s výhodami použitia bezdrôtových sietí a ich snahe vytlačiť klasické drôtové. Bola znázornená analógia podľa oblasti pokrytia sietí s predstavením zastupujúcich protokolov.

Následne boli prezentované nízkoenergetické bezdrôtové technológie, ich výhody, využitie a spojitosť s rozvíjajúcim sa internetom vecí IoT. Predstavené boli najznámejšie protokoly zastupujúce tieto technológie ako ZigBee, Bluetooth a Z-wave. Tieto protokoly poskytujú rôzne výhody a možnosti. Tie boli na záver porovnané.

V ďalšej časti je zameranie venované pre podrobné vysvetlenie protokolu Bluetooth s technickým štandardom IEEE 802.15.1. Bluetooth si prešiel svojim dlhým vývojom, ktorý je popísaný chronologicky podľa verzií. Ďalej je predstavený systém komunikácie zariadení, možnosti vytvárania topológií i technikami zabráňujúcimi rušeniu prenosu. Ďalej sa táto časť venuje výkonnostným triedam s priamym ovplyvnením dosahu a nakoniec bezpečnosťou a párovaním zariadení.

Posledná časť bakalárskej práce sa venuje samostatnému návrhu spomínaného prototypu. Najskôr sú zhrnuté všetky požiadavky na tento prototyp a následne je zdôvodnený výber vhodných komponent. Ďalej sú jednotlivé komponenty všeobecne predstavené a popísané ich výhody a možnosti využitia.

Následne je práca zameraná na realizáciu prototypu. Tu sú uvedené použité softvérové riešenia, využitie knižníc tretích strán a príklady použitia. Na koniec sú uvedené možnosti zníženia spotreby elektrickej energie a celkové zefektívnenie riešenia.

Literatúra

- [1] Authors, T. T.: *Tornado Web Server – Tornado 4.3 documentation*. 2016 [cit. 2016-04-10], [Online; navštíveno 10.4.2016].
URL <http://www.tornadoweb.org/en/stable/>
- [2] Chand, G.: *Bluetooth Technology – An IOT device*. 2015-08-18 [cit. 2016-04-10], [Online; navštíveno 10.4.2016].
URL <http://www.letustweak.com/miscellaneous/bluetooth-technology-an-iot-device/>
- [3] Europe, S. N.: *Networking Basics*. 2011-09-26 [cit. 2016-04-10], [Online; navštíveno 10.4.2016].
URL <http://www.slideshare.net/smceu/networking-basics-9423264>
- [4] Foundation, R. P.: *Raspberry Pi - Teach, Learn, and Make with Raspberry Pi*. 2014-07-06 [cit. 2016-04-10], [Online; navštíveno 10.4.2016].
URL <https://www.raspberrypi.org>
- [5] Haldar, S.: *SQLite Database System Design and Implementation (Second Edition, Version 1): (2nd edition, version 2 available at https://books.google.com/books/?id=yWzwCwAAQBAJ; see all my books at https://books.google.com/books/?id=zSbxCwAAQBAJ)*. Sibsankar Haldar, 2015.
URL <https://books.google.cz/books?id=OEJ1CQAAQBAJ>
- [6] Intel: *USB 3.0* Radio Frequency Interference Impact on 2.4 GHz Wireless Devices*. 2012-04-18 [cit. 2016-04-10], [Online; navštíveno 10.4.2016].
URL <http://www.usb.org/developers/whitepapers/327216.pdf>
- [7] a Joakim Lindh, S. K.: *Measuring Bluetooth Low Energy Power Consumption*. 2012-04-13 [cit. 2016-04-10], [Online; navštíveno 10.4.2016].
URL <http://www.ti.com/lit/an/swra347a/swra347a.pdf>
- [8] a Mariana Jakobová, P. P.: *Sigma Designs' Z-Wave Technology Recognized by International Telecommunication Union (ITU) [online]*. Sigma Designs, 2012-01-12 [cit. 2016-05-15], [Online; navštíveno 15.5.2016].
URL <http://www.sigmadesigns.com/news/sigma-designs-z-wave-technology-recognized-by-international-telecommunication-union>
- [9] Olšan, J.: *Bluetooth dostal novou verzi 4.1. Je univerzálnější a chystá se na internet věci [online]*. Bluetooth SIG, 2013-12-07 [cit. 2016-04-10], [Online; navštíveno 10.4.2016].
URL <http://www.cnews.cz/bluetooth-dostal-novou-verzi-4-1-je-univerzalnejsi-chysta-se-na-internet-veci>

- [10] Pavlis, J.: *Bluetooth 4.2 - možnost pro řešení světa internetových věcí*. 2014-12-17 [cit. 2016-04-10], [Online; navštíveno 10.4.2016].
URL <http://notebook.cz/clanky/technologie/2014/bluetooth-4-2>
- [11] Reichl, J.: *Fototranzistor :: MEF*. 2006 [cit. 2016-05-10], [Online; navštíveno 10.5.2016].
URL <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/347-fototranzistor>
- [12] SIG, B.: *BLUETOOTH SPECIFICATION Version 4.2 [online]*. Bluetooth SIG, 2014-02-12 [cit. 2016-04-10], [Online; navštíveno 10.4.2016].
URL https://www.bluetooth.org/DocMan/handlers/DownloadDoc.ashx?doc_id=286439&_ga=1.117572681.1523192834.1463488379
- [13] Sridhar, T.: *Wi-Fi, Bluetooth and WiMAX - The Internet Protocol Journal, Volume 11, No. 4*. 2014-09-08 [cit. 2016-04-10], [Online; navštíveno 10.4.2016].
URL <http://www.cisco.com/c/en/us/about/press/internet-protocol-journal/back-issues/table-contents-42/114-wifi.html>
- [14] Upton, E.: *Raspberry Pi 3 on sale now at \$35 - Raspberry Pi*. 2016-02-29 [cit. 2016-04-10], [Online; navštíveno 10.4.2016].
URL <https://www.raspberrypi.org/blog/raspberry-pi-3-on-sale/>
- [15] WWW stránky: *About Z-Wave - Sigma Designs*. [Online; navštíveno 15.5.2016].
URL http://z-wave.sigmadesigns.com/about_z-wave
- [16] WWW stránky: *adopted specifications*. [Online; navštíveno 1.5.2016].
URL <https://www.bluetooth.com/specifications/adopted-specifications>
- [17] WWW stránky: *Bluetooth*. [Online; navštíveno 20.4.2016].
URL <https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- [18] WWW stránky: *ltr-3208-ire5*. [Online; navštíveno 14.5.2016].
URL <http://www.gme.cz/img/cache/doc/520/004/ltr-3208-ire5-datasheet-1.pdf>
- [19] WWW stránky: *RPi Bluetooth LE*. [Online; navštíveno 14.5.2016].
URL http://www.elinux.org/RPi_Bluetooth_LE
- [20] WWW stránky: *SB Admin*. [Online; navštíveno 14.5.2016].
URL <http://startbootstrap.com/>
- [21] WWW stránky: *Short-Range Wireless: Comparison of the Key Technologies*. [Online; navštíveno 20.4.2016].
URL <http://www.iot.idv.tw/ucenter/forum.php?mod=viewthread&tid=112>
- [22] WWW stránky: *The Internet of Things is powered by Z-Wave*. [Online; navštíveno 15.5.2016].
URL <http://z-wavealliance.org/>
- [23] WWW stránky: *The Story Behind Bluetooth Technology | Bluetooth Technology Website*. [Online; navštíveno 12.5.2016].
URL <https://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/bluetooth>

- [24] WWW stránky: *The ZigBee Alliance / Control your World*. [Online; navštíveno 15.5.2016].
URL <http://www.zigbee.org>
- [25] WWW stránky: *ZigBee 3.0: The Foundation for the Internet of Things*. [Online; navštíveno 15.5.2016].
URL <http://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/zigbee3-0/>
- [26] WWW stránky: *ZigBee PRO with Green Power*. [Online; navštíveno 15.5.2016].
URL <http://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/network-specifications/zigbeepro/>

Prílohy

Zoznam príloh

A Obsah CD

40

Príloha A

Obsah CD

Na kompaktný disk boli boli priložené nasledujúce časti bakalárskej práce:

- `./latex/*` – Latex zdrojové súbory technickej správy
- `./src/*` – Zdrojové súbory
- `./src/readme` – informácie o zdrojových súboroch
- `./sprava.pdf` – PDF verzia technickej správy