

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

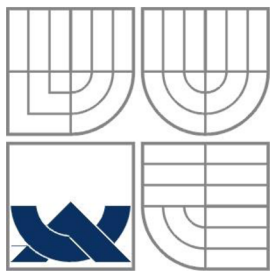
SENZORY PRE INTELIGENTNÚ DOMÁCNOSŤ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

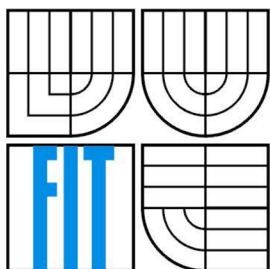
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

DÁVID DANAJ

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

SENZORY PRO INTELIGENTNÍ DOMÁCNOST

SENSORS FOR INTELLIGENT HOME

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

DÁVID DANAJ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. PAVOL KORČEK

BRNO 2014

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá bezdrátovou komunikací senzorů inteligentní domácnosti. V práci jsou popsány existující komerční řešení a námi vyvíjený systém. Pro bezdrátovou komunikaci je v našem systému využíván protokol MiWi. Detailněji jsou také popsány vlastnosti implementovaného aplikačního protokolu, nepřímá komunikace, připojování do sítě, obnova nastavení senzoru, přepínání do režimu spánku a samotná činnost senzorů.

Abstract

This bachelor thesis is aimed on the wireless communication of sensors located in an intelligent home. The thesis describes existing commercial solutions and the system developed by us. The MiWi protocol is used for the wireless communication of sensors. Characteristics of the implemented application protocol, indirect communication, joining to a network, restoring settings of a sensor, switching to sleep mode and main activity of sensors are described more in detail.

Klíčová slova

Inteligentní dům, senzor, bezdrátová komunikace, MiWi, Microchip

Keywords

Intelligent home, sensor, wireless communication, MiWi, Microchip

Citace

Danaj Dávid: Senzory pro inteligentní domácnost, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2014

Senzory pre inteligentnú domácnosť

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Pavla Korčeka. Další informace mi poskytl konzultant Ing. Josef Hájek. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....
Dávid Danaj
16.05.2014

Pod'akovanie

Chcel by som poďakovať Ing. Pavlovi Korčekovi za pomoc a cenné rady pri riešení bakalárskej práce. Moje poďakovanie tiež patrí Ing. Josefovi Hájkovi za spoluprácu a pomoc pri riešení implementačnej časti práce.

© Dávid Danaj, 2014

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.....	2
2	Inteligentná domácnosť.....	4
2.1	Existujúce riešenia	4
2.1.1	Insight Home	5
2.1.2	Yatun	6
2.1.3	ELKO EP	7
2.1.4	Haidy	8
2.1.5	CannyNet	9
3	Vyvíjaný systém.....	10
4	Senzory	12
4.1	Popis HW.....	12
4.2	MiWi.....	13
5	Návrh riešenia	17
5.1	Komunikácia.....	17
5.1.1	Aplikačný protokol	18
5.1.2	Nepriama komunikácia.....	20
5.2	Nenáročnosť obsluhy	22
5.2.1	Pripájanie do siete.....	22
5.2.2	Obnovenie siete	25
5.3	Úspora energie	26
5.3.1	Uspávanie senzoru	26
5.3.2	Hlavná činnosť senzoru	28
6	Testovanie	30
7	Záver	32

1 Úvod

Už od praveku je zrejماً snaha ľudí o zjednodušenie a zefektívnenie každodenných činností. V posledných rokoch je táto snaha podporovaná predovšetkým rýchlym vývojom nových technológií. V dnešnej dobe sa nachádzajú počítačové systémy takmer všade. Pomáhajú nám riadiť automobily a dopravu, pracovať efektívnejšie, chrániť náš majetok, šetriť financie aj životné prostredie, ponúkajú nám zábavu a predovšetkým uľahčujú a spríjemňujú opakujúce sa činnosti. Ako ukázkový príklad môžeme uviesť moderné automobily, ktoré sú ovládané centrálnym riadiacim systémom, vybavené automatickou klimatizáciou, LCD displejmi s navigáciou, premietajú dôležité informácie na čelné sklo, automaticky ovládajú svetlá, samé sa dokážu odomknúť a zamknúť, zjednodušujú parkovanie pomocou kamerových systémov, prípadne parkujú úplne samé a v neposlednej rade merajú spotrebu pohonných hmôt.

Väčšina ľudí trávi viac času doma ako v aute na cestách. Preto je pochopiteľné, že spomínané systémy modernizácie sa začínajú objavovať aj v našich domácnostiach. Sú efektívne predovšetkým pre spravovanie väčších objektov ako napríklad kancelárie alebo veľké rodinné domy. Tieto systémy v súčasnosti ponúkajú päť podsystémov. Sú to podsystémy pomáhajúce v oblastiach bezpečnosti, úspor, pohodlia, zábavy a ekológie. Inteligentná domácnosť je spravidla tvorená riadiacou jednotkou systému a skupinami senzorov a aktuátorov.

Vzhľadom na komplexnosť celého riešenia inteligentnej domácnosti bude táto práca zameraná predovšetkým na senzory, pomocou ktorých získavame informácie z okolia systému. Senzormi sme schopní merať hodnoty fyzikálnych veličín prostredia ako sú napríklad teplota, tlak, intenzita svetla a hluku, vlhkosť a emisie CO₂. Sensory môžeme nazývať inteligentnými, lebo dokážu komunikovať so svojim okolím a prispôbovať svoju činnosť aktuálnej situácii.

Senzory inteligentných domácnosti je možné rozdeliť na dve skupiny podľa spôsobu prenášania dát. Sú to senzory bezdrôtové a drôtové. Výhody drôtových senzorov sú predovšetkým v jednoduchšej komunikácii a stálom napájaní. Taktiež je toto riešenie lacnejšie a bezpečnejšie. Naopak bezdrôtový spôsob umožňuje využívať funkcie inteligentnej domácnosti aj bez nutnosti stavebných úprav, je jednoduchší na inštaláciu a dá sa flexibilne rozširovať. Ak chceme využívať prednosti bezdrôtového spôsobu prenosu dát, je nutné vyriešiť s tým súvisiace problémy. Bezdrôtové riešenie je náchylnejšie na neoprávnené narušenie a treba zabezpečiť bezpečnosť takejto siete. Sensor na svoj chod potrebuje energiu, pričom jediným vhodným riešením je napájanie z batérií. Vzhľadom na obmedzenú kapacitu batérií sa úsilie sústreďuje na čo najnižšiu spotrebu energie senzorom. Ďalšími obmedzujúcimi faktormi sú dosah rádiového signálu a rušenie komunikácie inými zariadeniami.

Cieľom tejto práce je vytvoriť sieť komunikujúcich senzorov pre účely inteligentnej domácnosti. Táto úloha je veľmi všeobecná a rozsiahla a preto sa na jej vyriešení bude podieľať menší tím študentov. Problém je možné rozdeliť na niekoľko celkov, čo umožňuje pracovať na konkrétnych úlohách samostatne. V tejto práci budem riešiť predovšetkým bezdrôtovú komunikáciu prvkov v domácnosti a samotnú činnosť týchto prvkov. Výstupom komunikačnej časti práce by mali byť zariadenia schopné vytvoriť sieť, bezpečne sa pripojiť do siete, komunikovať pomocou určeného protokolu a komunikovať s PAN koordinátorom aj v prípade, že sa nenachádzajú v jeho rádiovom dosahu. Časť zaoberajúca sa samotnou funkciou senzorov by mala byť sústredená predovšetkým na

úsporu energie a fungovanie senzorov s čo najmenším možným zásahom užívateľov. Medzi také funkcie patrí napríklad pripojenie zariadenia do siete v prípade výpadku siete a znovuoobnovenie nastavení v prípade nečakaného vypnutia senzoru.

V prvej časti práce je vysvetlené, čo je inteligentná domácnosť a taktiež sú uvedené príklady už existujúcich riešení na trhu. V náväznosti na to je popísaný nami vyvíjaný systém a zhrnuté jeho výhody a nevýhody. V ďalšej kapitole sa dozvieme o hardvérovom vybavení používanom pri riešení práce a využívanom bezdrôtovom protokole. V piatej kapitole sú detailne rozobraté problémy, ktoré práca rieši a spôsob akým boli vyriešené. Posledná kapitola sa venuje testovaniu výsledkov práce.

2 Inteligentná domácnosť

Inteligentný dom je taký dom, ktorý zaisťuje optimálne vnútorné prostredie pre komfort osôb prostredníctvom stavebnej konštrukcie, techniky prostredia, riadiacich systémov, služieb a manažmentu. Je efektívny ekonomicky, energeticky, aj z hľadiska pôsobenia na vonkajšie prostredie a umožňuje viacúčelové použitie a rekonfiguráciu. Inteligentný dom reaguje na potreby obyvateľov s cieľom zvýšiť ich pohodlie, spríjemniť im zábavu, zaručiť čo najvyššie bezpečie a znížiť náklady na prevádzku. Často sa tiež používajú termíny ako „digitálna domácnosť“, „digitálny dom“ alebo „múdry dom“[1].

Inteligentné domácnosti sú spravidla modulárne systémy. Ich základ tvorí centrálny systém, často nazývaný aj srdce alebo mozog inteligentnej domácnosti. Toto pomenovanie je mierne zavádzajúce z dôvodu, že väčšina existujúcich riešení je schopná pracovať aj pri výpadku centrálného systému. Všetky podsystémy fungujú ďalej, akurát ich nie je možné centrálné ovládať. Ďalšími prvkami sú senzory a aktívne prvky, takzvané aktuátory. Úlohou sensorov je sledovať stav okolia pomocou merania fyzikálnych veličín. Na základe týchto hodnôt systém upravuje svoju činnosť. Aktuátory fungujú opačne ako senzory. Systém pomocou aktuátorov mení stav svojho okolia. Napríklad mení intenzitu svetla, ovláda žalúzie, alebo zapína a vypína spotrebiče. V prípade drôtovej inštalácie je súčasťou systému aj štruktúrovaná kabeláž. Pre prenos riadiacich signálov sa najčastejšie využíva kábel typu CAT5e, pre prenos dát sa využíva typ s rýchlejšim prenosom dát CAT6a a pre spojenie viacerých domácností na rozsiahlejšom pozemku sa využívajú optické káble. Optické káble ponúkajú vysokú prenosovú rýchlosť, ale ich obstarávacia cena je vyššia a nie je možné pomocou nich napájať koncové zariadenia[1]. Inteligentné domácnosti je zvyčajne možné ovládať odkiaľkoľvek prenosom dát cez internet. Riadiť systém je možné pomocou internetového prehliadača, aplikáciami pre android alebo iPhone, využitím inteligentnej televízie a v niektorých prípadoch dokonca pomocou SMS správ.

2.1 Existujúce riešenia

Prvé inteligentné domácnosti vznikali v 90. rokoch minulého storočia v USA. Vzhľadom na vtedy ešte vysokú cenu potrebných zariadení sa začali rozširovať až v 21. storočí. Prvý európsky inteligentný dom vznikol v roku 1995 v Bruseli v rámci projektu *Living Tomorrow*¹. Jeho hlavným účelom je ukazovať verejnosti najnovšie postupy vo vývoji technológií pre domácnosti. Na českom trhu začali vznikať prvé spoločnosti primárne orientované na inteligentné domácnosti okolo roku 2005². Keďže je toto odvetvie u nás pomerne mladé, na trhu je iba niekoľko väčších firiem špecializujúcich sa výhradne na inteligentné domácnosti. Zariadenia, ktoré pomáhajú automatizovať domácnosť však ponúka aj mnoho iných spoločností. Firmy je ďalej možné deliť podľa vývoja ich systému. Existujú firmy ponúkajúce pre český trh riešenia veľkých zahraničných firiem, ako aj české, vyvíjajúce svoje vlastné riešenia. Zahraničné systémy, ďalej spomínané v práci, ponúkajú firmy *Insight Home* a *Yatun*. Svoje vlastné systémy ponúkajú napríklad firmy *ELKO EP*, *Haidy* a *CannyNet*.

¹ www.livingtomorrow.com/en/livingtomorrow/about/history

² Na základe informácií z webovej stránky spoločnosti Stakohome Network s.r.o. www.inteligentni-byt.cz

2.1.1 Insight Home

Spoločnosť *Insight Home*³ ponúka systém svetovej značky *AMX*⁴. Tento systém sa predáva až v 140 krajinách sveta. Okrem kvalitného prevedenia je veľkou výhodou firmy *AMX* široká ponuka produktov. Ako príklad neobvyklých produktov stojí za zmienku napúšťanie a zohrievanie vane, ovládanie zavlažovacieho systému, integrácia veternej elektrárne alebo integrácia vinotéky. Dôkazom spoľahlivosti tohto systému je jeho využívanie v konferenčnom komplexe bieleho domu vo Washingtone⁵.

Spoločnosť ponúka široké spektrum riešení inteligentnej domácnosti. Je možné využiť ako drôtovú technológiu, tak aj bezdrôtovú so zapojením do hviezdy, alebo zbernice. V prípade hviezdicovej topológie sú všetky vypínače a tlačidlá vedené do takzvaného rozvádzača. Rovnako je do tohto rozvádzača zapojená všetka kabeľáž slúžiaca na ovládanie zariadení. Toto zapojenie vytvára tvar hviezdy. Výhody tejto inštalácie sú predovšetkým jej spoľahlivosť, kde zapojené prvky nie sú závislé na iných prvkoch a nízka obstarávacia cena. Hlavnou nevýhodou je množstvo potrebnej kabeľáže. Pri použití zbernicovej topológie sa jednotlivé prvky pripájajú na zbernicu, ktorá vedie do rozvádzača. Ako štandard pre komunikáciu sa používa protokol KNX/EIB[1]. Výhodou tohto spôsobu je nižšia náročnosť na kabeľáž. Jeho nevýhodami sú cena, ktorá je vyššia z dôvodu použitia systémových tlačidiel KNX, nemožnosť súčasnej komunikácie viacerých zariadení a v prípade poruchy nedostupnosť všetkých zariadení nachádzajúcich sa až za miestom poruchy. Firma *Insight Home* taktiež ponúka bezdrôtové riešenie. Uvedené nedostatky tohto riešenia sú nižšia spoľahlivosť, rýchlosť, bezpečnosť, vyššie obstarávacie náklady a potreba výmeny batérií.

Súčasťou systému InHome je moderné užívateľské rozhranie, pomocou ktorého je možné ovládať prvky jednotlivo aj po skupinách. Ponúka sa zobrazenie mapy budovy spolu s možnosťou priamo ovládať jednotlivé prvky.

Pre minimalizovanie rizika spojeného s výpadkom prúdu sa používa akumulátorová batéria. Väčšinou sa však používa iba krátkodobu na čas potrebný na naštartovanie záložných generátorov.

³ www.insighthome.eu

⁴ www.amx.com

⁵ www.amxgovsolutions.com/federalStateLocal.aspx



Obr. 2.1 Systémová elektroinštalácia s hviezdicovou topológiou spoločnosti *Insight Home*. Prevzaté z [1].

2.1.2 Yatun

Ďalšou spoločnosťou zakladajúcou na systéme vyvinutom v zahraničí je *Yatun*⁶. Ponúka systém Control4, ktorého hlavnou prednosťou je jeho otvorenosť voči ostatným výrobcam. Základná myšlienka tohto projektu je zjednotenie výrobkov od najrôznejších výrobcov a možnosť ovládať všetko centrálné. Vďaka tejto politike je možné používať výrobky iných výrobcov spolu so systémom Control4. Pod týmto systémom je možné spájať väčšinu ostatných existujúcich riešení do jedného. Firma *Yatun* rovnako ako systém Control4 sa špecializujú na zvukovú a vizuálnu techniku, čo môže byť vhodným doplnením ostatných výrobcov.

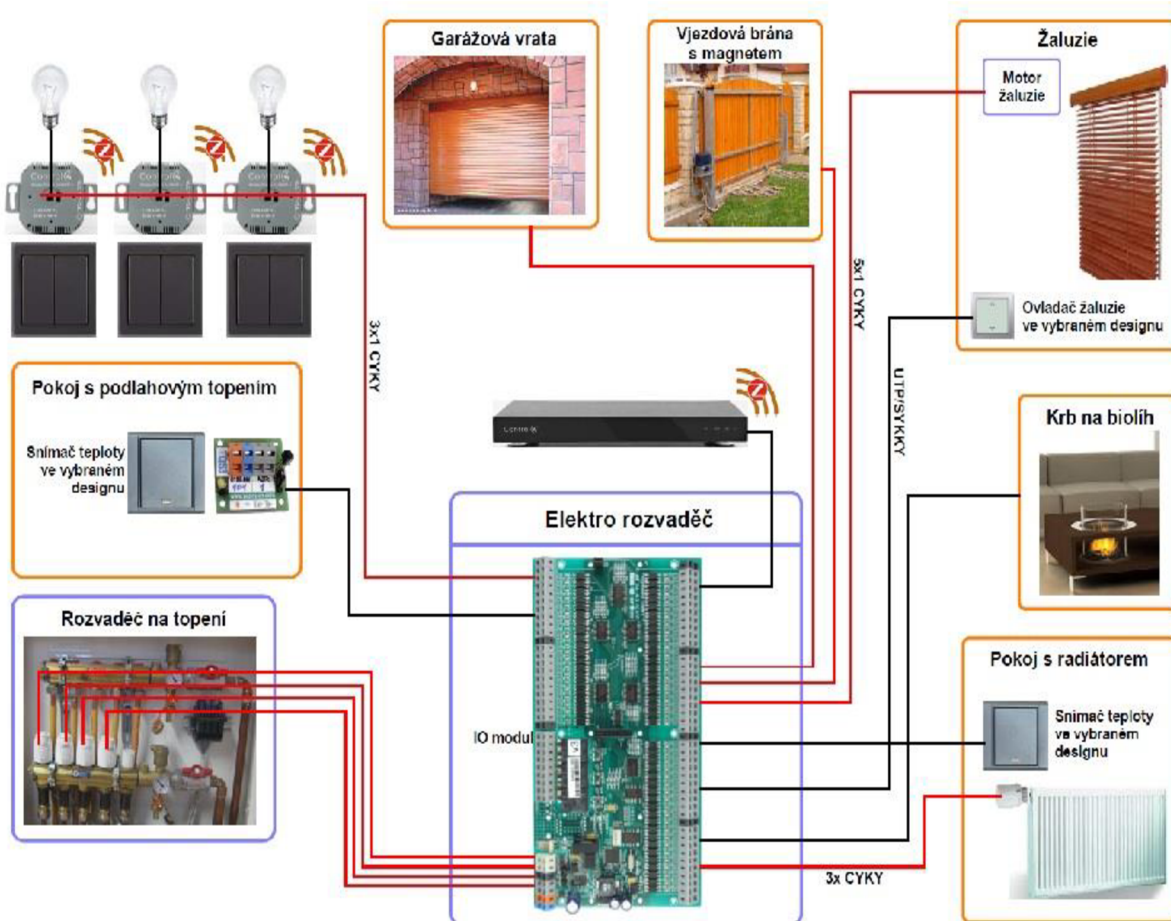
Tento systém využíva prenosu dát cez Ethernet a TCP/IP protokol. V prípade použitia bezdrôtových technológií využíva protokol ZigBee s neobmedzenou (mesh) topológiou.

Tento systém prišiel ako prvý s možnosťou dokupovania si aplikácií do inteligentnej domácnosti. Možnosť kúpiť si aplikáciu je na webovej stránke⁷.

⁶ www.yatun.cz

⁷ www.4store.com

V ponuke sa nachádzajú 3 bezdrôtové senzory. Modul WCS10-R je vybavený dvomi nezávislými diaľkovo ovládateľnými výstupnými kontaktmi relé, jedným magnetickým kontaktom pre spätnú signalizáciu stavu a teplomerom. Modul taktiež slúži ako opakovač pre predĺženie dosahu ostatných ZigBee zariadení. Zariadenia komunikujú na frekvencii 2.4 GHz s prenosovou rýchlosťou 250 kbps. Sú dostupné 2 verzie modulu. Verzia s vonkajšou anténou má dosah približne 90 metrov, zatiaľ čo verzia s vnútornou anténou má dosah približne 45 metrov. Spotreba takéhoto modulu pri všetkých funkciách aktívnych sa pohybuje okolo 100 mA.



Obr. 2.2 Ukážka jednoduché inštalácie systému Control4. Prevzaté z www.yatun.cz.

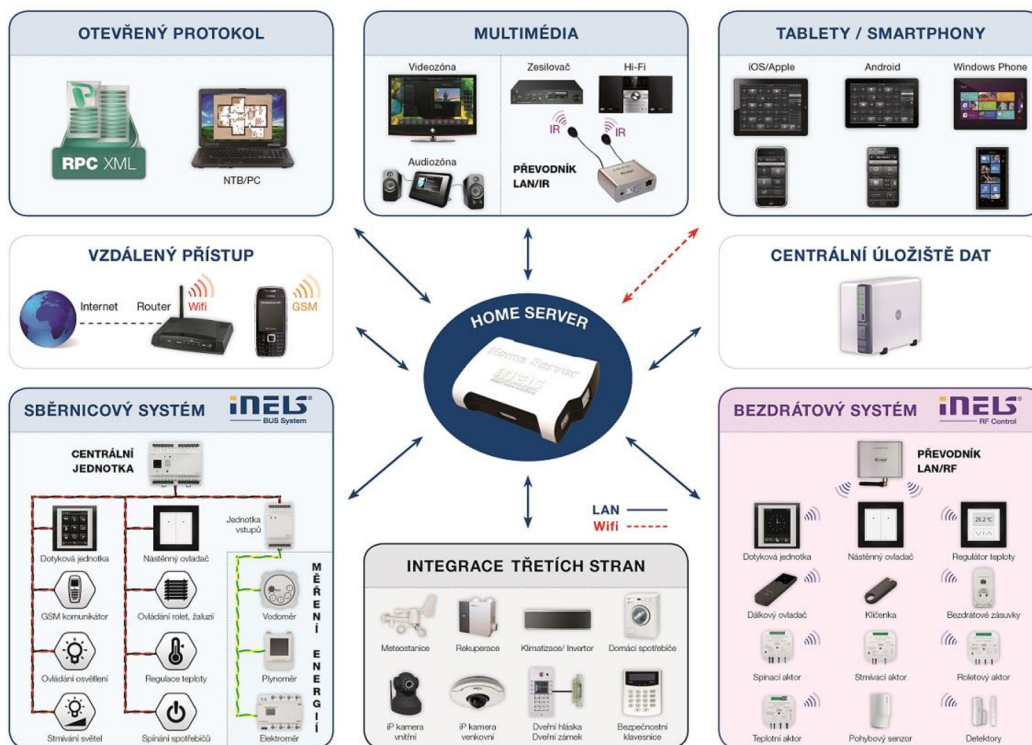
2.1.3 ELKO EP

ELKO EP je významná spoločnosť na českom trhu, ktorá sa zaoberá elektroinštaláciami už 20 rokov. V tejto oblasti jej patrí 80% podiel na trhu v Českej republike a 4. pozícia v rámci Európy. V súčasnosti exportuje do 60 krajín sveta⁸.

Firma *ELKO EP* ponúka kompletne riešenie inteligentnej domácnosti. Súčasťou systému je ovládanie pomocou počítača, nástenných panelov, inteligentnej televízie, android a iOS aplikáciami, diaľkovým ovládaním, SMS, prípadne aj kľúčenkou. Zaujímavými senzormi v ponuke sú okenný detektor a záplavový detektor. Medzi výhody určite patrí aj prehľadný cenový konfiguratívny nástroj na internetových stránkach, ktorý pomáha zákazníčkovi zorientovať sa v cenových ponukách.

⁸ Podľa informácií uvedených na oficiálnej webovej stránke spoločnosti www.elkoep.cz

Spoločnosť ponúka systém bezdrôtový iNELS RF Control aj drôtový iNELS BUS System. Drôtové riešenie využíva zbernicovú topológiu. Bezdrôtový spôsob prenosu dát pracuje na frekvencii 868 MHz.



Obr. 2.3 Diagram systému iNELS. Prevzaté z www.inels.cz.

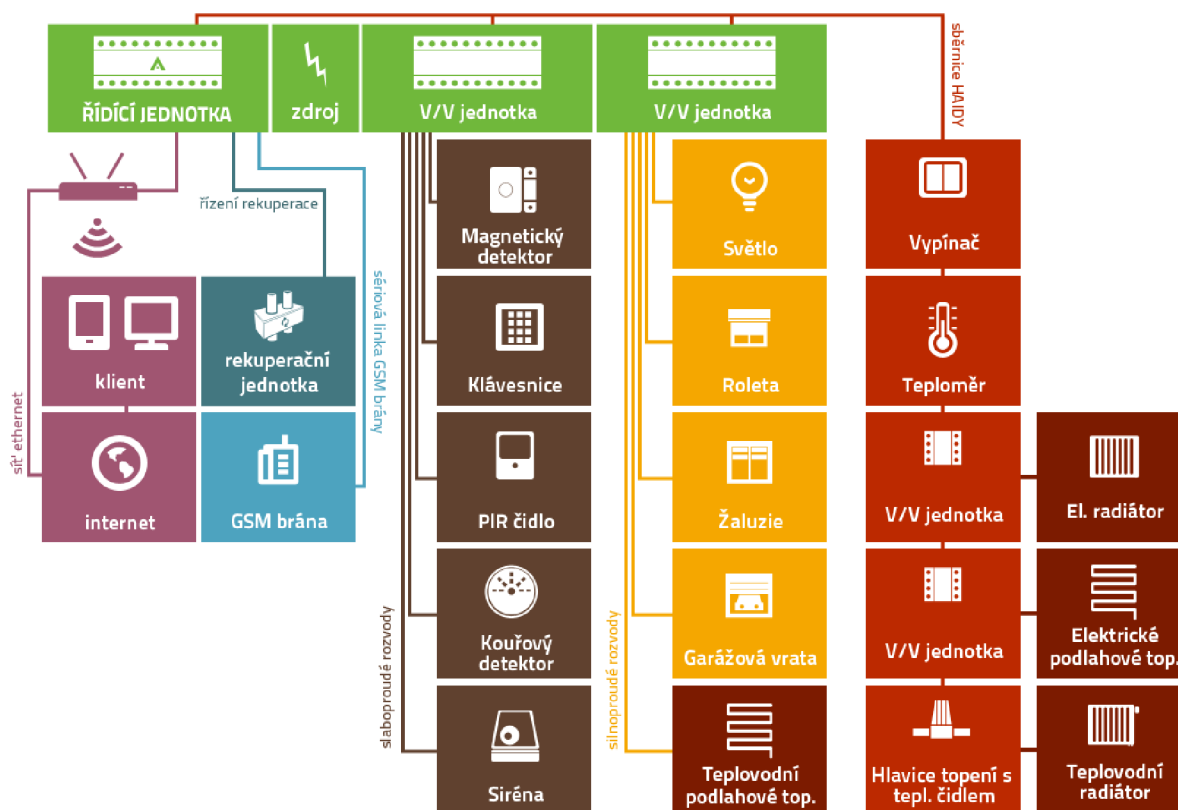
2.1.4 Haidy

Spoločnosť *Haidy*⁹ sa špecializuje na ovládanie inteligentných domov a domácností od roku 2006. Ponúka dve rôzne verzie systému v podobe Haidy Home a Haidy Plus. Komplexnejší systém Haidy Plus obsahuje navyše možnosť ovládať multimédia, podporuje kamerový systém, ovládanie bazéna a ponúka riadiaci systém pre jednoduché ovládanie domácnosti. Pri inštalácii je využívaná kombinácia hviezdicovej a zbernicovej topológie, v závislosti od konkrétnych podmienok zákazníka. Pomocou bezdrôtových prvkov je možné ovládať multifunkčné vypínače, spínače svetiel, zásuvky a všetky typy vykurovacích zón. Komunikácia prebieha na frekvencii 868 MHz.

Riešenie Haidy Plus dokáže odolať výpadkom centrálného riadiaceho systému, kedy jeho podsystémy sú schopné pracovať autonómne.

Spoločnosť taktiež ponúka vysokú modularitu, kde si zákazník môže nakombinovať výsledné riešenie presne podľa svojich potrieb.

⁹ www.haidy.cz



Obr. 2.4 Topológia systému Haidy Home. Prevzaté z www.haidy.cz.

2.1.5 CannyNet

*CannyNet*¹⁰ patrí medzi mladšie spoločnosti na trhu. Vznikla v roku 2011 so špecializáciou výhradne na inteligentné domy.

Využíva sa niekoľko spôsobov prenosu dát v závislosti od požiadaviek na systém. Komunikácia môže prebiehať po štandardnom 230 V elektroinštalačnom rozvode, nezávislej dvojdrôtovej zbernici, Ethernetovej kabeláži alebo prostredníctvom Wi-Fi. Pri využití elektroinštalačných rozvodov sa používa protokol PLCBUS, pri nezávislej zbernici protokol MODBUS. Sieťová komunikácia prostredníctvom Ethernetu je ovládaná protokolom TCP/IP. Vzdialený prístup využíva protokol HTTPS so šifrovaním pomocou SSL. Pre zabezpečenie Wi-Fi siete je použitý šifrovací mechanizmus WPA2-PSK/AES. Bezpečnosť systému je ďalej podporená prihlasovacím menom a heslom o minimálnej dĺžke 8 znakov a bezpečnostným pin kódom potrebným pri ovládaní niektorých funkcií inteligentnej domácnosti.

Inšpiratívnym spôsobom je vyriešené párovanie ovládacieho programu s mikromodulmi. Na pridanie modulu do systému nie je potrebný programátor. Prebieha stlačením tlačidla v ovládacom programe a na module, do ktorého sa nahrá kód, pomocou ktorého je potom modul jednoznačne identifikovaný.

Samozrejmosťou je možnosť nakupovania logických celkov systému po častiach.

¹⁰ www.cannynet.com

3 Vyvíjaný systém

Cieľom experimentálneho systému vyvíjaného na FIT VUT je robiť výskum na modernom systéme, ktorý by bol pre užívateľa jednoduchý, modulárny a pohodlný. Pod pojmom jednoduchý rozumieme systém, ktorý by mal byť okrem prirodzeného ovládania nenáročný aj na samotnú inštaláciu. Pri využití bezdrôtových technológií sa eliminuje použitie kabeláže a zároveň sa zabezpečí modularita.

Systém bude umožňovať ovládanie pomocou smartphonu, počítača, inteligentnej televízie, tabletu alebo nástennej dotykovej obrazovky. Tieto zariadenia budú komunikovať so serverom prostredníctvom internetu.

Server bude tvoriť riadiacu jednotku inteligentnej domácnosti. Bude zodpovedný za riadenie chodu domácnosti, ukladanie dát a zabezpečovanie komunikácie s ostatnými časťami systému. Na internete bude dostupný pod verejnou IP adresou/menom. Využívanie dát na internete vyžaduje vyššiu úroveň bezpečnosti. Tu sa ponúka riešenie komunikácie prostredníctvom zabezpečeného VPN kanála. Serverová aplikácia bude pracovať ako konkurentný server schopný obsluhovať viac požiadaviek súčasne. Paralelné vykonávanie požiadaviek bude implementované pomocou vlákien. Vzhľadom na vysoké nároky na efektívnosť aplikácie bude táto aplikácia implementovaná v jazyku C/C++. Informácie ukladané na servery budú mať formu XML súborov. Medzi dôležité súčasti serveru bude patriť aj schopnosť prístupovať k dátam súčasne z viacerých zdrojov.

Ďalším prvkom systému bude domáci router poskytujúci pripojenie k internetu. Prostredníctvom tohto routera bude server komunikovať s adaptérom.

Komunikácia medzi adaptérom a routrom bude prebiehať cez Ethernet port, USB port alebo ideálne bezdrôtovo. V prípade využitia bezdrôtového spôsobu je nutné riešiť samostatné napájanie adaptéra. Pri použití USB komunikácie je možné adaptér napájať priamo z routera. Na napájanie cez Ethernet je potrebný PoE (Power over Ethernet) injektor. Úlohou adaptéra bude spravovať senzory a aktuátory v domácnosti a komunikovať so serverom. Adaptér si musí uchovávať informácie o aktuálnom stave siete a prvkoch v nej zapojených. Komunikovať s adaptérom budú môcť iba prvky, ktoré s ním už v minulosti komunikovali. Z tohto dôvodu je nutné, aby boli nové prvky s adaptérom spárované ešte pred zahájením prenosu dát. V prípade výpadku internetu je nutné, aby domácnosť mohla aspoň čiastočne fungovať ďalej. Vďaka logike, ktorá bude implementovaná priamo v adaptéri, bude zabezpečený chod základných funkcií systému aj bez prístupu na internet. Na plnohodnotné zabezpečenie všetkých funkcií adaptéra bude použitá doska A10-OlinuXino-LIME¹¹ od spoločnosti Olimex¹² upravená pre naše potreby. Z originálnej dosky budú odstránené niektoré nevyužité periférie a doplnený externý obvod reálneho času. Ako operačný systém bude využitý Linux vytvorený pomocou nástroja *OpenEmbedded*¹³.

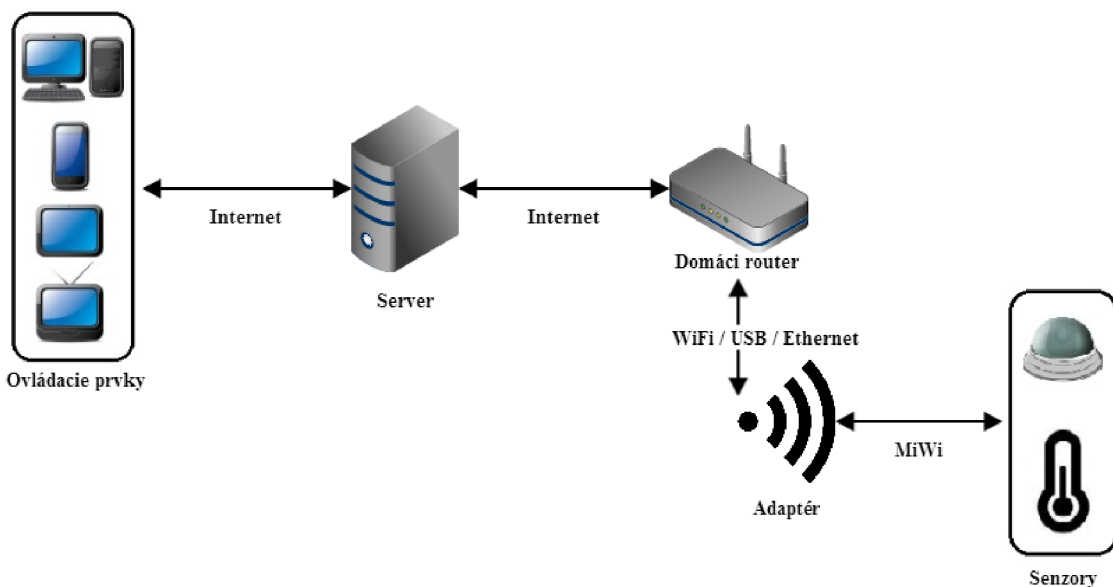
Bezdrôtové koncové prvky tvoria najspodnejšiu vrstvu architektúry. Ich úlohou bude získavať informácie z okolia v prípade senzorov, alebo meniť stav okolia v prípade aktuátorov. Koncové prvky, ktoré budú pripojené k stálemu zdroju napájania môžu slúžiť ako opakovač pre predĺženie rádiového dosahu ostatných prvkov. Pri senzoch napájaných z batérií je potrebné čo najviac minimalizovať ich spotrebu energie. Keďže dáta zo senzorov nepotrebujeme získavať kontinuálne, je

¹¹ www.olimex.com/wiki/A10-OLinuXino-LIME

¹² www.olimex.com/

¹³ www.openembedded.org/wiki/Main_Page

možné ich uspávať. Senzor bude aktívny iba na čas potrebný na zmeranie veličiny a odoslanie dát adaptéru. Po zvyšok času sa bude nachádzať v režime spánku s minimálnou spotrebou energie. Spolu s dátami sa bude odosielať aj stav batérií, ktorý bude viditeľný na koncových riadiacich zariadeniach, kde včas informuje o potrebe výmeny batérie. Naopak aktuátory budú aktívne naslúchať, či majú niečo vykonať. Na komunikáciu medzi prvkami a adaptérom bude využitý protokol spoločnosti *Microchip* s názvom MiWi. Komunikácia bude prebiehať na voľnej frekvencii 868 MHz[2]. Pridávanie prvkov do systému by malo byť čo najjednoduchšie, bez nutnosti prítomnosti technika. Zároveň by však malo byť bezpečné a chránene proti možnému zneužitiu. Pri využití vo väčších priestoroch je potrebné, aby aj senzory mimo rádiového dosahu adaptéra mohli prenášať potrebné informácie. V neposlednej rade je vhodné vytvoriť senzory s ohľadom na nenáročnú údržbu užívateľom. Tomu napríklad, okrem uspávania, pomôže aj systém automatického pripájania do siete v prípade výpadku senzoru, napríklad pri vybití batérie. Adaptér by mal byť schopný spolupracovať aj s prvkami iných výrobcov.



Obr. 3.1 Architektúra popísaného systému.

4 Senzory

Senzory v inteligentnej domácnosti slúžia na získavanie informácií zo svojho okolia a odosielajú tieto dáta ďalej do centrálnej riadiacej jednotky. V našom systéme sa používajú mikrokontroléry od spoločnosti *Microchip*¹⁴. Komunikácia medzi mikrokontrolérmi a adaptérom prebieha pomocou voľne dostupného protokolu MiWi, taktiež od spoločnosti *Microchip*[3].

4.1 Popis HW

Hardvérovú časť senzoru tvorí vývojová doska nazvaná *MiWi Demo Board*[4]. Jej podoba aj s popisom je zobrazená na Obr. 4.1. Spolu s niekoľkými ukázkovými programami slúži ako nástroj na ukážku využitia protokolu MiWi. Na doske sú pre interakciu s užívateľom osadené 2 tlačidlá, LCD displej a 3 LED diódy. Jadro modulu tvorí 8-bitový procesor schopný pracovať na frekvencii až 8 MHz[5]. Pre režim spánku sa využíva 32 KHz kryštál, vďaka ktorému sa spotreba procesoru v tomto režime blíži 20 μ A. Ďalšími funkciami procesoru, ktoré pri našej práci využijeme sú prerušenia, *watchdog* časovač, prenos dát pomocou SPI (Serial Peripheral Interface) zbernice a spôsoby komunikácie pomocou USART (Universal Synchronous/Asynchronous Receiver and Transmitter) a I2C (Inter-Integrated Circuit). USART a I2C využijeme na získavanie dát z externých senzorov merajúcich stav okolia. V prípade potreby je možné využiť tiež obvod RTCC (Real-Time Clock and Calendar), alebo 10 bitový A/D prevodník. V nasledujúcich fázach vývoja senzorov sa počíta s nahradením vývojovej dosky novým, na mieru upraveným hardvérom.

Na uloženie dát a programu sú využité pamäte EEPROM o veľkosti 2 Kb a FLASH umožňujúca využiť až 1 Mb. Modul je taktiež schopný merať teplotu okolia pomocou teplotného senzoru umiestneného priamo na doske. Tento senzor využijeme iba pre testovacie účely počas vývoja. Vzhľadom na jeho presnosť, určujúcu teplotu s možnou odchýlkou až 6 $^{\circ}$ C¹⁵, nie je vhodný pre využitie v našom systéme a bude musieť byť nahradený externým, presnejším senzorom. Na meranie teploty a relatívnej vlhkosti použijeme senzor DHT11 od spoločnosti *D-Robotics*, ktorý meria teplotu s maximálnou možnou odchýlkou 2 $^{\circ}$ C a rozlíšením 1 $^{\circ}$ C[12]. Relatívna vlhkosť je meraná s presnosťou na 1% a maximálnou odchýlkou 5%. Rozpätie merateľných hodnôt je od 0 do 50 $^{\circ}$ C pri teplote a od 20 do 90 % pri relatívnej vlhkosti. Typický napájací prúd senzoru, pri frekvencii merania raz za sekundu, sa pohybuje od 0,2 mA do 1 mA. Tlak bude meraný pomocou senzoru BMP180 od firmy *Bosch*, s maximálnou odchýlkou 6 hPa[13]. Tlak je meraný s presnosťou 0,01 hPa. Rozpätie merateľných hodnôt je od 300 do 1100 hPa. Tento senzor meria aj teplotu v rozsahu od 0 do 65 $^{\circ}$ C, s presnosťou 0,1 $^{\circ}$ C a maximálnou odchýlkou 2 $^{\circ}$ C. Typický napájací prúd senzoru, pri frekvencii merania raz za sekundu, je 0,5 mA. Na meranie tlaku bude použitý aj senzor MPL115A1 od spoločnosti *Freescale*, s maximálnou odchýlkou 10 hPa[14]. Senzor meria tlak s presnosťou 1,5 hPa a merateľný rozsah hodnôt je od 500 do 1150 hPa. Typický napájací prúd senzoru je, rovnako ako pri senzore BMP180, 0,5 mA.

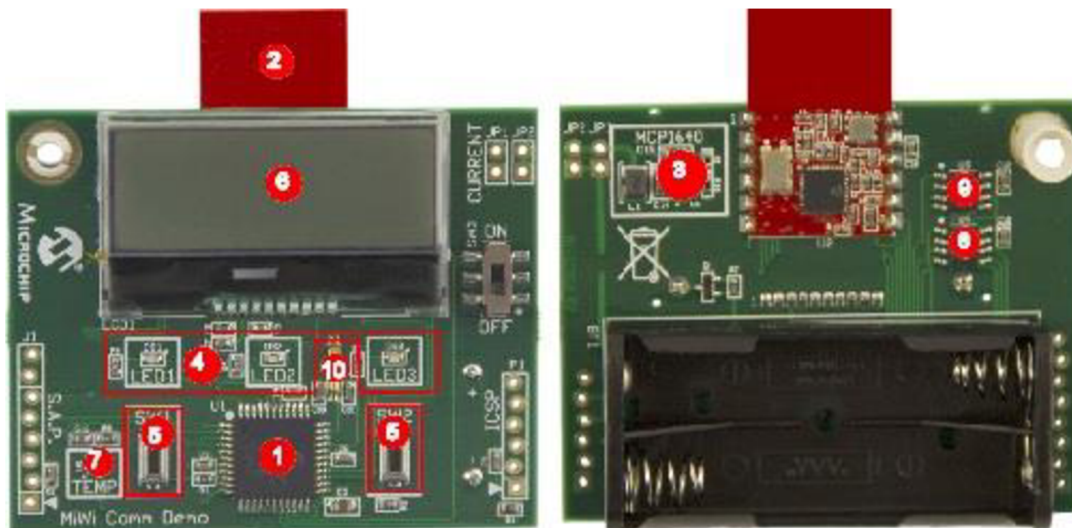
¹⁴ www.microchip.com

¹⁵ Informácia prevzatá zo stránok výrobcu

www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?product=MCP9700

Na komunikáciu sa využíva 915 MHz rádiový modul s integrovanou anténou, pripojený pomocou 4-drôtového SPI rozhrania[6]. Tento modul podporuje využitie režimu spánku a prerušení. V režime spánku má rádiový modul odber prúdu typicky 0,1 μA . V porovnaní so spotrebou počas prenosu dát, ktorá je 3 mA pri prijímaní a 25 mA pri odosielaní, je možné ušetriť značnú časť energie. Prenos dát dosahuje rýchlosti 200 kbps, maximálny vysielací výkon je možné nastaviť na 13 dBm.

Doska ďalej umožňuje nastavenie vzniku prerušení pri stlačení tlačidla, čo využijeme na prebúdzenie senzorov z režimu spánku. Prebudiť senzory bude možné aj pomocou *watchdog* časovača s rozsahom periódy od 4 milisekúnd do 131 sekúnd.



Obr. 4.1 MiWi Demo Board. Prevzaté z [4].

1. 8-bitový mikrokontrolér PIC18F46J50
2. Rádiový modul MRF89XAM8A
3. +3.3 V napäťový regulátor MCP1640
4. 3 LED diódy
5. 2 tlačidlá
6. LCD displej 2x16 znakov
7. Teplotný senzor MCP9700
8. 2 Kbit SPI EEPROM s unikátnou MAC adresou
9. 1 Mbit SPI Serial Flash
10. 32 KHz kryštál pre režim spánku

4.2 MiWi

MiWi je vlastné bezdrôtové riešenie firmy *Microchip*, ktoré urýchľuje a uľahčuje vývoj aplikácií využívajúcich bezdrôtovú komunikáciu[7]. Základ tohto riešenia tvorí štandard pre bezdrôtové osobné siete (wireless personal area network – WPAN) IEEE 802.15.4, ktorý špecifikuje fyzickú a linkovú vrstvu podľa referenčného ISO/OSI modelu. Tento štandard sa sústreďuje predovšetkým na

nízku cenu, pamäťovú náročnosť a minimálnu spotrebu energie. Z tohto dôvodu je jeho primárne využitie vo vstavaných zariadeniach.

V porovnaní s riešením ZigBee, založenom na rovnakom štandarde, je využitie MiWi predovšetkým v menších sieťach. Jeho výhodou je veľkosť programovej časti protokolu, ktorá sa pohybuje od 4 do 25 KB u MiWi a od 64 až po 128 KB u ZigBee[15]. Taktiež vyžaduje menej miesta v nenapájanej pamäti. Riešenie MiWi ukladá do pamäte približne 128 B dát, zatiaľ čo ZigBee približne 2 KB. Ďalšou výhodou je cena za využívanie protokolu. *Microchip* ponúka využívanie MiWi bez poplatkov. Jedinou podmienkou je nutnosť využitia mikrokontrolérov od *Microchipu*. Nevýhodou MiWi riešenia je jeho obmedzenie maximálnej veľkosti siete na 64 koordinátorov a približne 8000 koncových uzlov s maximálnym množstvom skokov paketov 65. Porovnanie protokolov je zhrnuté v Tab. 4.1.

	MiWi	MiWi PRO	ZigBee
Veľkosť siete	1024 Uzlov 8 Koordinátorov 4 Skoky	8192 Uzlov 64 Koordinátorov 65 Skokov	65535 Uzlov Neobmedzený počet koordinátorov a skokov
Veľkosť programovej časti	16 – 32 KB	13 – 25 KB	64 – 128 KB
Veľkosť nenapájanej pamäte	Voliteľná	> 128 B	~ 2 KB

Tab. 4.1 Porovnanie bezdrôtových protokolov. Informácie získané zo zdrojov [7], [8], [9] a [15].

Komunikácia môže prebiehať na frekvenciách bez potreby licencie, ako 868 MHz využívaných v Európe, 902–928 MHz v Severnej Amerike alebo 2.4 GHz s celosvetovým využitím[2]. Je možné komunikovať aj na frekvencii s potrebou získania licencie, ako je pásmo 434 MHz v Európe. Väčšina bezdrôtových modulov je schopná posielat' a prijímat' dáta rýchlosťou do 250 kbps. *Microchip* však ponúka aj moduly s väčšou prenosovou rýchlosťou, ako napríklad modul MRF24XA¹⁶, ktorý dosahuje rýchlosť 2 Mbps.

Riešenie MiWi definuje 3 rôzne typy zariadení. PAN (Personal Area Network) koordinátor, koordinátor a koncové zariadenie. PAN koordinátor musí byť prítomný v každej sieti. Je to zariadenie, ktoré vytvorí a ďalej spravuje sieť. Koordinátor je zariadenie so všetkou funkcionalitou, schopný routovať správy a spravovať svojich potomkov, ktorými sú koncové zariadenia. PAN koordinátor, ani koordinátor sa nemôžu prepínať do režimu spánku. Posledným typom je koncové zariadenie. Koncové zariadenie komunikuje s ostatnými prvkami siete výhradne prostredníctvom svojho rodičovského koordinátora. Koncové zariadenie nepreosiela ani neukladá správy od iných zariadení a preto je možné šetriť energiu prepínaním do režimu spánku. Ak sa počas fázy spánku snaží nejaký prvok siete komunikovať s koncovým zariadením, správa je uložená v jeho rodičovskom koordinátore a odoslaná po prebudení.

Balík MiWi Development Enviroment obsahuje 3 rôzne protokoly. Najjednoduchší protokol **MiWi P2P** (Peer-to-Peer) umožňuje iba priamu komunikáciu medzi 2 zariadeniami. Z toho vyplýva,

¹⁶ www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en561038

že maximálny počet skokov medzi zariadeniami je 1. Jediná možná topológia pri využití P2P protokolu je hviezdicová, kde sú všetky koncové prvky pripojené priamo k PAN koordinátoru. Protokol MiWi P2P predefinováva všetky MAC príkazy zo štandardu IEEE 802.15.4.

O niečo komplexnejší je protokol **MiWi**. Umožňuje použiť až 8 koordinátorov. Pri maximálnom počte 127 koncových zariadení pripojených k jednému rodičovskému koordinátoru je možné do siete zapojiť 1024 prvkov spolu s jedným PAN koordinátorom. Vďaka maximálnemu počtu skokov paketov zvýšenom na 4 skoky je možné využiť neobmedzenú (mesh) topológiu. Takisto je tým umožnený vznik soкетов, čo sú vlastne virtuálne nepriame spojenia medzi zariadeniami, ktoré sa nachádzajú mimo svoj rádiový dosah.

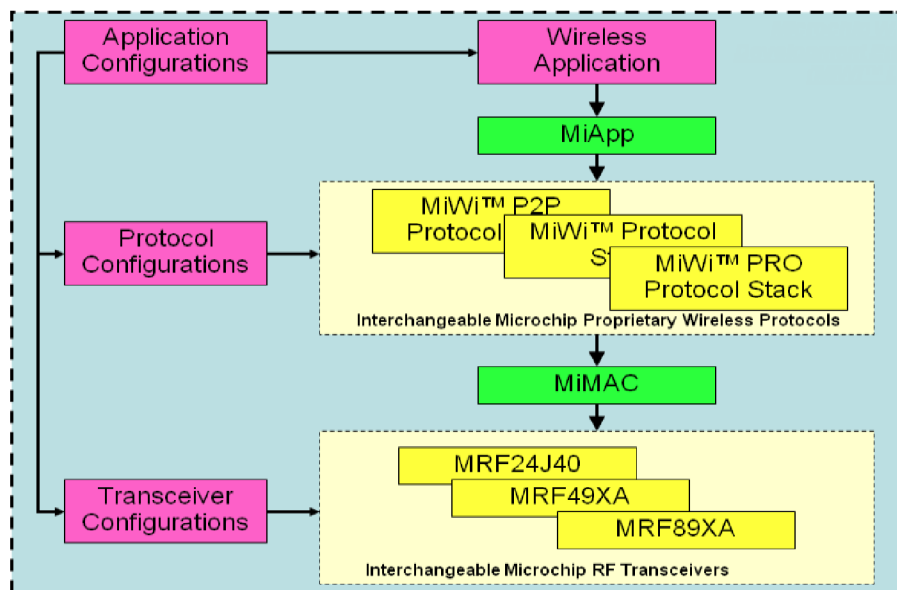
Protokol umožňujúci fungovanie väčšej siete sa nazýva **MiWi PRO**. S týmto protokolom je možné použiť až 64 koordinátorov, čo spolu tvorí 8192 prvkov v sieti s jedným PAN koordinátorom. Maximálny počet skokov paketov je 65. Poskytuje všetky výhody predchádzajúceho protokolu a upravuje niektoré jeho funkcie. Na routovanie správ využíva routovanie pomocou stromu. Protokol podporuje tieto funkcie:

1. Hand-shake proces
 - Umožňuje zariadeniam navzájom sa poznať. V iných protokoloch nazývané aj párovanie. Vďaka tejto funkcionalite je možné komunikovať medzi zariadeniami priamo, bez použitia broadcastového odosielania správ.
2. Uspávanie koncových zariadení
 - Táto funkcionalita zabezpečuje ukladanie správ pre spiace zariadenia a réžiu s tým spojenú.
3. Nepriame správy
 - Vďaka nepriamym správam spolu môžu komunikovať aj zariadenia mimo svoj rádiový dosah.
4. Šifrovanie komunikácie
 - Zabezpečuje šifrovanie bezdrôtovej komunikácie. Nastavenia šifrovania sú uložené v konfiguračnom súbore rádiového modulu.
5. Aktívne vyhľadávanie siete
 - Pomocou tejto funkcionality sú zariadenia schopné vyhľadať existujúce siete.
6. Skenovanie šumu kanálov
 - Využiteľné predovšetkým pre PAN koordinátor. Využitie tejto funkcie spočíva vo výbere kanála s najnižšou úrovňou šumu.
7. Zmena kanála siete
 - Zabezpečuje možnosť zmeny kanála siete aj počas behu programu. Typicky nadväzuje na skenovanie šumu kanálov.
8. Obnovenie siete po vypnutí alebo výpadku energie
 - Ukladanie kritických informácií o sieti do nenapájanej pamäte a následne obnovenie siete po vypnutí.
9. Vylepšená požiadavka na dáta
 - Možnosť priamo so zobudením rádia odoslať dáta.
10. Synchronizácia času
 - Keď je viac zariadení pripojených k jednému koordinátoru, pridelia sa im časové úseky v ktorých môžu komunikovať, aby sa predišlo konfliktom.

Súčasťou balíka MiWi Development Environment sú dve rozhrania umožňujúce súčasné použitie rôznych komunikačných modulov a protokolov. Vďaka nim je možné meniť hardvérovú konfiguráciu zariadenia alebo použiť protokol s minimálnymi potrebnými zmenami v programovej časti.

Jednotné rozhranie medzi aplikačnou vrstvou a MiWi protokolmi vytvára **MiApp** (Application Programming Interface)[10]. Medzi hlavné výhody použitia tohto rozhrania patrí zjednodušenie práce programátora, zameniteľnosť použitých protokolov bez veľkých zmien v programe a po zoznámení sa s rozhraním jednoduchá implementácia ďalších projektov bez ohľadu na použitý protokol a hardvér. MiApp rozhranie je tvorené funkciami na ovládanie MiWi protokolov a konfiguračnými nastaveniami.

Rozhranie **MiMAC** (Media Access Controller) umožňuje prístup ku kanálu a adresovanie a prenášanie dát[11]. Podľa referenčného modelu ISO/OSI reprezentuje linkovú vrstvu. Využitie tohto rozhrania umožňuje jednotnú komunikáciu s bezdrôtovými modulmi od firmy *Microchip*. Z toho vyplýva, že je možné zamieňať hardvérovú konfiguráciu s minimálnym vplyvom na programovú časť. Súčasťou tohto rozhrania je aj bezpečnostný modul pre prijímače, ktoré nemajú hardvér so zabezpečením.



Obr. 4.2 MiWi DE diagram. Prevzaté z [3].

5 Návrh riešenia

V tejto kapitole bližšie popíšem problémy, ktoré táto práca rieši a spôsob akým sú riešené. Zadanie práce je možné rozdeliť na tri väčšie časti, komunikácia zariadení, funkcie uľahčujúce obsluhu zariadení a spôsoby efektívneho využitia energie. Prvá časť je zameraná predovšetkým na správne a bezpečné fungovanie siete a komunikácie medzi prvkami. V druhej časti sa venujem funkciám, ktoré minimalizujú náročnosť na inštaláciu zariadení a ich obsluhu. Posledná časť ukazuje možnosti, ako efektívne využiť energiu a čo možno najviac predĺžiť životnosť batérií.

5.1 Komunikácia

Komunikácia senzornej časti vyvíjanej inteligentnej domácnosti bola navrhnutá ako bezdrôtové riešenie. Na jej implementáciu sme zvolili protokol MiWi, vid' Kapitola 4.2. Jedná sa o protokol spoločnosti *Microchip*, ktorý nám sprostredkoval najnižšiu vrstvu komunikácie. Jeho využitím sa výrazne uľahčili niektoré časti vývoja. Nevýhodou použitia tohto protokolu je veľmi stroho napísaná dokumentácia a zdrojový kód nezodpovedajúci niektorým návykom správneho programovania.

V našej sieti sa vyskytujú tri typy zariadení. PAN koordinátor, koordinátor a koncové zariadenie. PAN koordinátor, rovnako ako ostatné koordinátory je nepretržite pripojený k zdroju elektrickej energie, zatiaľ čo koncové zariadenia šetria energiu prepínaním sa do režimu spánku. Z toho vyplýva aj rozdielny spôsob komunikácie týchto zariadení. PAN koordinátor a koordinátory spolu môžu komunikovať v ľubovoľnom čase, pričom aktívne očakávajú nové správy. Vzhľadom na to, že koncové zariadenie trávi väčšinu času v režime spánku, nie je možné mu kedykoľvek zaslať správu. Správy zasielané pre koncové zariadenie sa ukladajú do pamäte koordinátora, ktorý je rodičom tohto zariadenia.

Počet správ uložených v jednom koordinátore je obmedzený. Momentálne je počet uložených správ obmedzený na 16. V prípade potreby je možné túto hodnotu ďalej upravovať v závislosti od voľnej pamäte RAM. Veľkosť jednej správy je 53 bytov. Dostupná pamäť na našej vývojovej doske pre vykonávanie programu je 3776 bytov. Od tejto veľkosti je ešte nutné odpočítať priestor potrebný pre ukladanie ostatných dát. Aby bolo možné ukladať viac správ, je okrem limitu potrebné upraviť aj spojovací súbor prekladača (tzv. *linker file*). Implicitný spojovací súbor prekladača C18 predpokladá ukladanie dátových blokov do veľkosti 256 bytov. Vzhľadom na počet správ a veľkosť jednej správy 53 bytov je potrebné spojiť viac dátových blokov do jedného väčšieho celku. To nám umožňuje práve úprava spojovacieho súboru.

Aby sa rodič dozvedel, že je možné odoslať zariadeniu správu, je nutné aby zariadenie odoslalo požiadavku na túto správu. Po prijatí jednej požiadavky koordinátor, v prípade, že má uloženú nejakú správu pre tento prvok, ju odošle naspäť. Po vyžiadaní správy sa vždy vráti najviac jedna správa. Pre získanie viacerých správ je potrebné odoslať viac požiadaviek. Aj v prípade, že je odoslaná správa koncovému zariadeniu, ktoré práve nie je v režime spánku, aby ju bol koordinátor schopný odoslať, je nutné, aby si o ňu toto zariadenie najprv zažiadalo.

Pre lepšiu predstavu o vzájomných prepojeniach medzi úlohami prvkov v sieti a v našom systéme slúži Tab. 5.1.

Úloha v sieti	Úloha v systéme	Maximálny počet
PAN koordinátor	Rádio adaptéra	1
Koordinátor	Aktuátor / Senzor	64
Koncové zariadenie	Senzor	8128

Tab. 5.1 Porovnanie úloh prvkov v sieti s úlohami v celom systéme.

Úlohu PAN koordinátora vždy zastáva iba jedno zariadenie pripojené priamo k adaptéru. Funkciu koordinátora môže zastávať senzor pripojený k stálemu zdroju energie, aktuátor, alebo senzor spojený s aktuátorom na jednom prvku. Keďže každý aktuátor pre vykonávanie svojej činnosti v ľubovoľnom čase musí byť pripojený do siete a k stálemu zdroju energie, všetky aktuátory zastávajú úlohu koordinátora. Koncové zariadenia v sieti predstavujú senzory, ktoré sú napájané z batérií.

5.1.1 Aplikačný protokol

Pri návrhu aplikačného protokolu musíme brať ohľad na už existujúci protokol MiWi. Niektoré potrebné dáta pre náš systém sa dajú získať z informácií poskytovaných protokolom a preto ich nie je nutné duplikovať aj do nami navrhnutého protokolu na aplikačnej úrovni. Medzi tieto dáta patrí adresa odosielateľa, veľkosť dát v aplikačnej časti paketu a hodnoty RSSI a LQI. Veľkosť MiWi hlavičky paketu je 11 bytov, vid' Tab. 5.2. Spolu s ďalšími potrebnými informáciami pre protokol MiWi a zapnutou funkciou zabezpečenia, je potrebné vyhraďiť 32 B pre potreby protokolu. Vzhľadom na maximálnu možnú veľkosť paketu obmedzenú na 64 B nám ostáva na využitie zvyšných 32 B.

Bity	Význam
0 - 7	Počet skokov
8 - 15	Kontrola rámca
16 - 31	Cieľové PANID ¹⁷
32 - 47	Cieľová adresa
48 - 63	Zdrojové PANID
64 - 79	Zdrojová adresa
80 - 87	Sekvenčné číslo

Tab. 5.2 Hlavička paketu protokolu MiWi PRO.

Prvá hodnota v hlavičke MiWi paketu určuje počet skokov, koľko krát je ešte možné poslať paket. Keď je táto hodnota rovná nule, paket sa už ďalej neposiela. Kontrola rámca je byte rezervovaný na budúce funkcie protokolu a na vyžiadanie potvrdenia o prijatí paketu (Ack). Ostatné hodnoty nám určujú adresy prijemcu, odosielateľa a sekvenčné číslo paketu.

Z dôvodu rôznych funkcií jednotlivých prvkov v systéme bolo vytvorených aj niekoľko rôznych typov paketov v závislosti od toho, pre aký prvok je paket určený. Pakety odosielané z aktuátorov alebo senzorov, určené pre adaptér, majú tvar znázornený v Tab. 5.3.

¹⁷ Skratka z anglického Personal Area Network Identifier

Bity	Význam
0 - 15	Verzia protokolu
16 - 31	Stav batérie
32 - 39	Počet prenášaných veličín, max = 5
40 - 47	Rezervované – pad byte
48 - XX	Zoznam dvojíc Typ:Hodnota

Tab. 5.3 Informácie v pakete od senzorov/aktuátorov pre adaptér.

Prvé 2 B hlavičky nesú informáciu o verzii použitého protokolu, aby bolo možné v budúcnosti upravovať formát paketu. Ďalšie 2 B informujú o aktuálnom stave batérie prvku z ktorého sa odosiela správa. Táto informácia je potrebná pre včasnú informáciu užívateľa o potrebe výmeny batérie. Počet prenášaných veličín určuje koľko dvojíc typ:hodnota je prenášaných na konci paketu. Obmedzenie na maximálny počet dvojíc vzniklo kvôli obmedzeniu na maximálnu veľkosť paketu priamo v MiWi. V prípade nutnosti preniesť viac informácií je potrebné vytvoriť a odoslať ďalší paket. Možnosti týchto dvojíc sú zobrazené v Tab. 5.4. V prípade rozširovania systému o ďalšie typy senzorov alebo aktuátorov je možné doplniť nový typ a rozšíriť protokol.

Typ	Význam	Jednotka	Veľkosť v bytoch
0x00	Teplota	°C	4
0x01	Vlhkosť	%r	4
0x02	Tlak	hPa	4
0x03	Zapnutie – senzor	On/Off	1
0x04	Zapnutie – aktuátor	On/Off	1
0x05	Intenzita svetla	lx	4
0x06	Intenzita hluku	dB	4
0x07	Emisie CO ₂	ppm	4

Tab. 5.4 Zoznamy dvojíc Typ:Hodnota.

Pre zefektívnenie výpočtov na 8-bitovom procesore budú merané informácie prenášané v celočíselnej podobe o veľkosti 4 B. Hodnoty budú vynásobené konštantnou hodnotou 100, čo znamená, že napríklad teplota 25,6 °C bude reprezentovaná hodnotou 2560.

Zvyšné 2 typy paketov slúžia na prenášanie informácií medzi adaptérom a senzorom, aktuátorom, alebo prípadne možnou kombináciou aktuátora a senzoru. Tieto pakety majú spoločné prvé 3 B. Paket určený pre aktuátor alebo aktuátor spojený so senzorom obsahuje navyše informácie o počte prenášaných dvojíc a pole týchto dvojíc typu typ:hodnota. Spoločnú časť paketov tvoria informácie o potvrdení, či server dodal informáciu o nových hodnotách a hodnotou určujúcou o koľko sekúnd má senzor znovu odoslať dáta. V prípade, že server nedodal novú hodnotu sa zvyšok paketu automaticky zahadzuje. Podoba paketu od adaptéru pre senzor je znázornená v Tab. 5.5.

Bity	Význam
0 - 7	Dodal server informáciu o čase zobudenia?
8 - 23	Čas ďalšieho zobudenia

Tab. 5.5 Informácie v pakete od adaptéra pre senzor.

Ďalší typ je spoločný pre paket určený pre aktuátor spolu s paketom určeným pre senzor spojený s aktuátorom. Rozdiel je iba v prenášaných hodnotách. V pakete pre aktuátor je prvý byte vždy rovný hodnote 0xFF z dôvodu, že aktuátor sa neuspáva, ani neodosiela dáta v určených časových intervaloch. Z rovnakého dôvodu sú ďalšie dva byty rovné nule. Nasledujúci byte oznamuje počet prenášaných dvojíc na konci paketu. Maximálny počet dvojíc je z rovnakého dôvodu ako pri pakete od senzoru pre adaptér obmedzený na 5. Na konci paketu sú uložené tieto dvojice.

V pakete pre aktuátor spojený so senzorom predstavuje prvý byte, rovnako ako v pakete pre senzor informáciu, či server dodal informáciu o nových hodnotách. Hodnota ďalšieho bytu určuje čas, za ktorý sa majú odoslať dáta zo senzoru. Napriek tomu sa zariadenie nemôže uspať, lebo spĺňa aj funkciu aktuátora. Zvyšok paketu súhlasí s paketom určeným pre aktuátor. Formát paketu je znázornený v Tab. 5.6.

Bity	Význam
0 - 7	Dodal server informáciu o čase odoslania dát?
8 - 23	Čas ďalšieho odoslania dát
24 - 31	Počet prenášaných dvojíc, max = 5
32 - XX	Dvojice typ:hodnota

Tab. 5.6 Informácie v paketoch od adaptéra pre aktuátor alebo kombináciu aktuátor/senzor.

Vytváranie paketov je implementované pomocou volania 2 funkcií. Prvá funkcia slúži na vytvorenie paketu so všetkými potrebnými informáciami. Druhou funkciou je možné do paketu pridávať dvojice typ:hodnota. V závislosti na počte pridaných dvojíc do paketu sa upravuje aj hodnota udávajúca počet dvojíc. Súčasťou tejto funkcie je aj kontrola upozorňujúca na prekročenie maximálneho možného počtu dvojíc v jednom pakete. Volanie prvej funkcie je odlišné na koncových zariadeniach a na PAN koordinátore. Funkcia na pridávanie dvojíc do paketu je rovnaká pre všetky typy zariadení. Rozdiel je iba v pozícii bytu, ktorý reprezentuje počet dvojíc v pakete. Tento rozdiel je ošetrený pomocou rôzne definovaného indexu pri odlišnom type zariadenia.

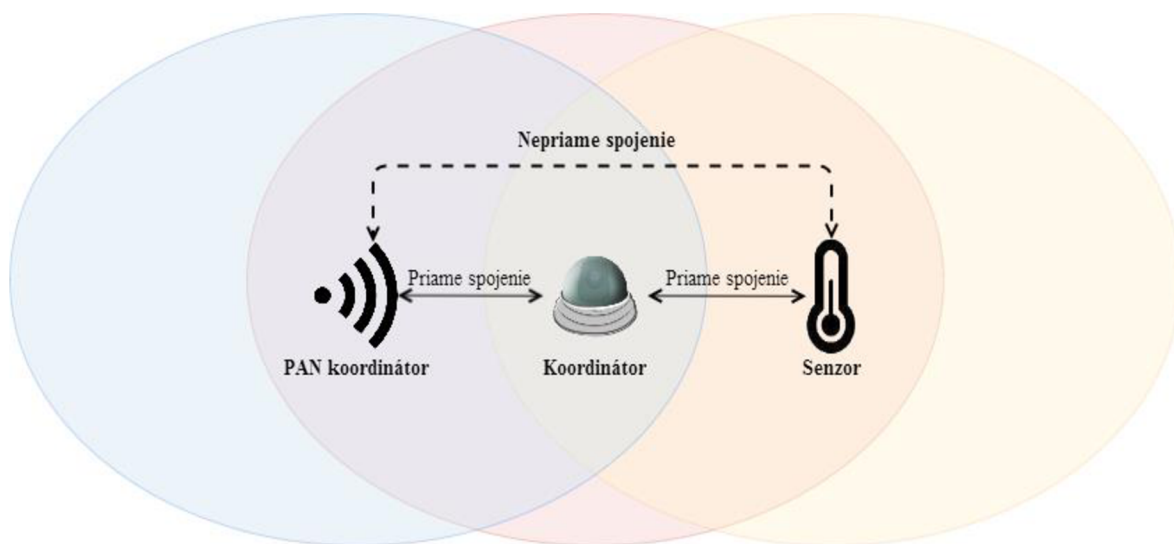
5.1.2 Nepriama komunikácia

Pri využívaní systému vo väčších domácnostiach, prípadne iných priestoroch je veľmi pravdepodobné, že nebude možné, aby sa všetky prvky nachádzali v svojom rádiovom dosahu. Aj z toho dôvodu je výhodne využívať sieť s mesh topológiou. Pri využití routovania správ pomocou protokolu MiWi PRO je možné komunikovať aj medzi zariadeniami mimo svoj rádiový dosah. Táto funkcia bude mať najväčšie využitie pri senzoroch, ktoré budú ďalej od PAN koordinátora a do siete budú pripojené prostredníctvom jedného z koordinátorov. Samotný protokol neumožňuje využívať

túto funkciu implicitne, lebo po pripojení nového senzoru do siete neprebieha globálna aktualizácia tabuliek na všetkých prvkoch v sieti. To znamená, že po pripojení zariadenia ku koordinátoru nie je ďalej posielaná informácia do siete o prijatí nového zariadenia. Takémuto zariadeniu nie je možné poslať správu z PAN koordinátora a tým pádom ani z adaptéra a serveru.

Vzhľadom na nemennú adresu PAN koordinátora v sieti, ktorá je vždy rovná hodnote 0x0000, je možné odoslať správu zo zariadenia pre PAN koordinátor. Správu posielanú z nového zariadenia je možné odoslať, lebo jeho rodič pozná cestu k PAN koordinátoru. Vďaka tomu je možné upozorniť PAN koordinátor o pripojení nového zariadenia do siete.

Pre využitie nepriamej komunikácie v protokole MiWi je nutné vytvoriť nepriame spojenie (socket) medzi oboma prvkami. Toto riešenie je mierne komplikované z dôvodu, že obe zariadenia sa musia pokúsiť vytvoriť spojenie takmer súčasne. Implicitné nastavenie intervalu, počas ktorého sa zariadenie snaží nadviazať nepriame spojenie je nastavená na tri sekundy. Vďaka spomínanej možnosti odoslať paket zo zariadenia na PAN koordinátor, je možné aj správne načasovať vytvorenie nepriameho spojenia. Funkcii na vytvorenie spojenia je možné ešte predať parameter určujúci index do tabuľky nájdených zariadení pomocou funkcie aktívneho hľadania siete. Z toho vyplýva, že je možné najprv na novom zariadení preskúmať sieť a nájsť PAN koordinátor. Následne vytvoriť nepriame spojenie výhradne s ním. Bez tejto procedúry sa zariadenie pokúsi pripojiť k akémukoľvek zariadeniu, ktoré sa v tej chvíli tiež pokúša vytvoriť nepriame spojenie. Bez použitia funkcie aktívneho hľadania by sa mohlo stať, že sa zariadenie nespáruje s PAN koordinátorom, ale s nejakým iným zariadením. Ukážka nepriameho spojenia je zobrazená na Obr. 5.1.



Obr. 5.1 Princíp fungovania nepriameho spojenia.

5.2 Nenáročnosť obsluhy

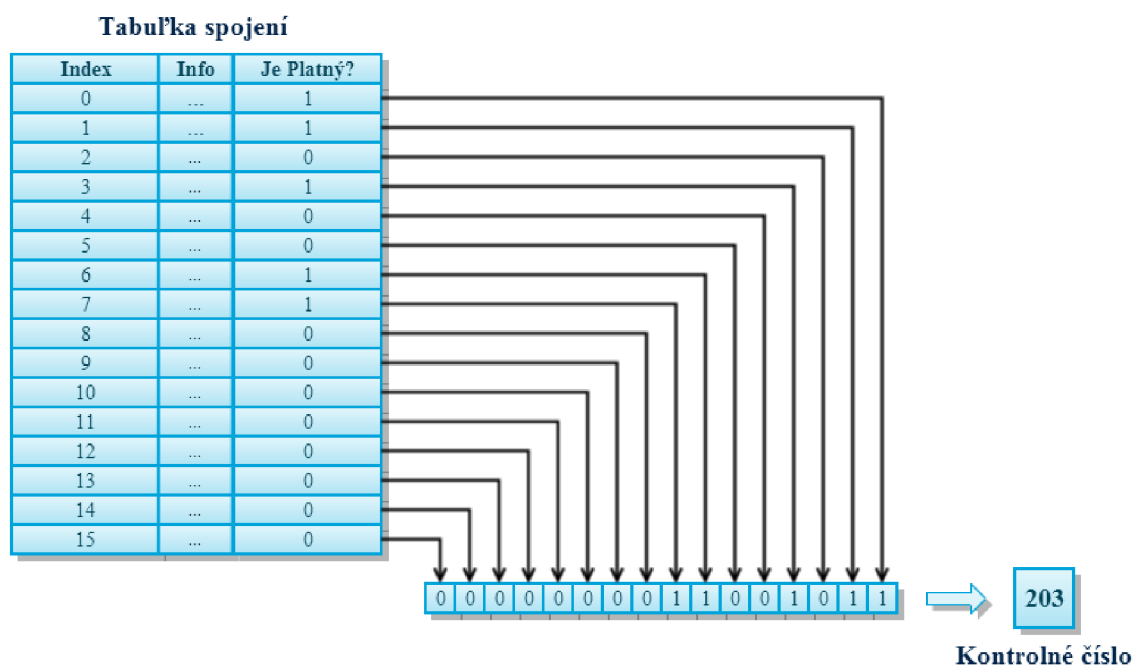
Okrem spoľahlivej a bezpečnej komunikácie v rámci siete chceme vytvoriť senzory, ktoré budú čo najviac samostatné. Samostatné z pohľadu minimalizovania fyzickej interakcie s užívateľom. Ako už bolo spomenuté v Kapitole 3, senzorová sieť v domácnosti má byť prispôbená na nenáročné rozširovanie siete. To je zabezpečené pomocou systému pre pripájanie nového zariadenia do siete bez nutnosti prítomnosti technika a programovania zariadenia.

5.2.1 Pripájanie do siete

Vzhľadom na povahu siete spravujúcej chod celej domácnosti je veľmi dôležité predchádzať situáciám, ktoré by mohli viesť k zneužitiu siete. Prostredníctvom tejto siete sa budú prenášať informácie, ktoré by sa v nesprávnych rukách mohli premeniť na nebezpečný nástroj. Predstava ovládania domácnosti neoprávnenou osobou je dostatočným dôvodom na venovanie zvýšenej pozornosti bezpečnostným aspektom systému.

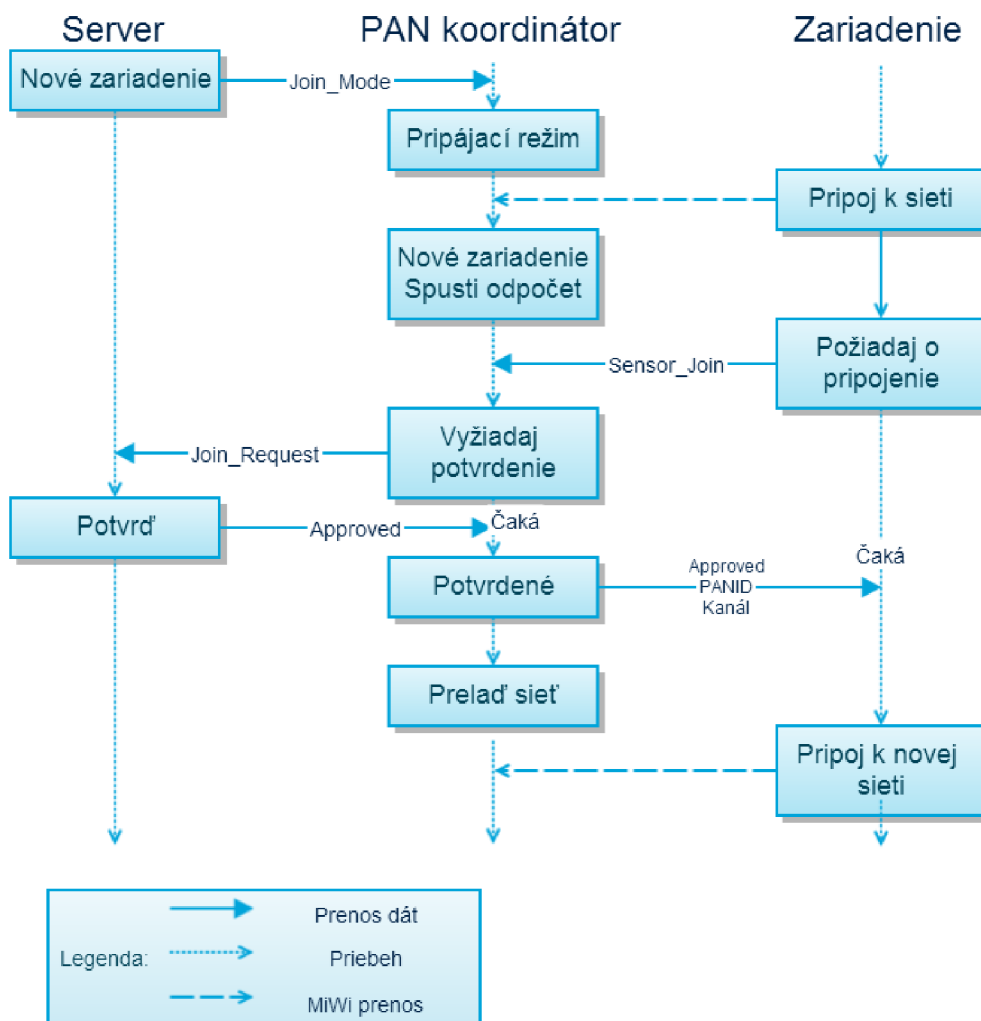
Možnosť ako predísť pripojeniu cudzieho zariadenia do siete je viac. Ako bolo spomínané v Kapitole 2.1, jednou z možností je pripojenie zariadení priamo technikom. Návrh nášho systému sa však sústreďuje na jednoduchosť a umožňuje rozširovanie senzorovej siete aj bez prítomnosti technika. Ako možnosť predchádzania pripojenia nechceného zariadenia do siete sa ponúka implementovať prihlasovanie s nutnosťou potvrdenia zo strany užívateľa. V našom prípade to znamená, že každý senzor, ktorý sa bude pripájať do siete, bude musieť byť potvrdený užívateľom. Toto prihlasovanie bude prebiehať v sieti na vopred určenom kanáli k PAN koordinátoru s vopred určeným PANID. Po úspešnom pripojení a potvrdení nového zariadenia mu PAN koordinátor odošle informácie o sieti, do ktorej sa má pripojiť a uloží si ho do tabuľky spojení. Táto sieť je nastavená, aby reagovala iba na prvky, ktoré už sú prítomné v tabuľke, čo znamená, že bez absolvovania procedúry pripojovania nie je možné túto sieť vyhľadať a pokúsiť sa k nej pripojiť. To platí aj pre prípad, že by niekto poznal kanál siete a jej PANID.

Prepnutie do režimu pripájania prebieha príkazom od užívateľa, ktorého požiadavka je odoslaná od serveru pre PAN koordinátor. Po prijatí príkazu PAN koordinátor dočasne zastaví beh siete a preladí sa na vopred dohodnutú pripájaciu sieť. Súčasne sprístupní túto sieť všetkým zariadeniam. Pripájací režim je možné kedykoľvek zastaviť a vrátiť naspäť všetky vykonané zmeny. V tejto fáze PAN koordinátor aktívne sleduje, či sa k nemu pripojilo nejaké zariadenie. Táto kontrola prebieha pomocou aktívneho sledovania, či je nastavený bit v tabuľke spojení informujúci o tom, že táto položka je platná. Pred zapnutím pripájacieho módu sa z tejto informácie vytvorí kontrolné číslo, pričom každý bit tohto čísla reprezentuje jednu položku v tabuľke. Ak je v tabuľke platná položka, zapíše sa na daný bit hodnota 1, ak nie je, zapíše sa 0. Následne sa v režime pripájania opäť kontroluje tabuľka a vytvára nové číslo. Ak je nové číslo väčšie ako číslo získané pri spustení režimu, znamená to, že sa k PAN koordinátoru pripojilo nové zariadenie. Spôsob vytvárania kontrolného čísla je zobrazený na Obr. 5.2.



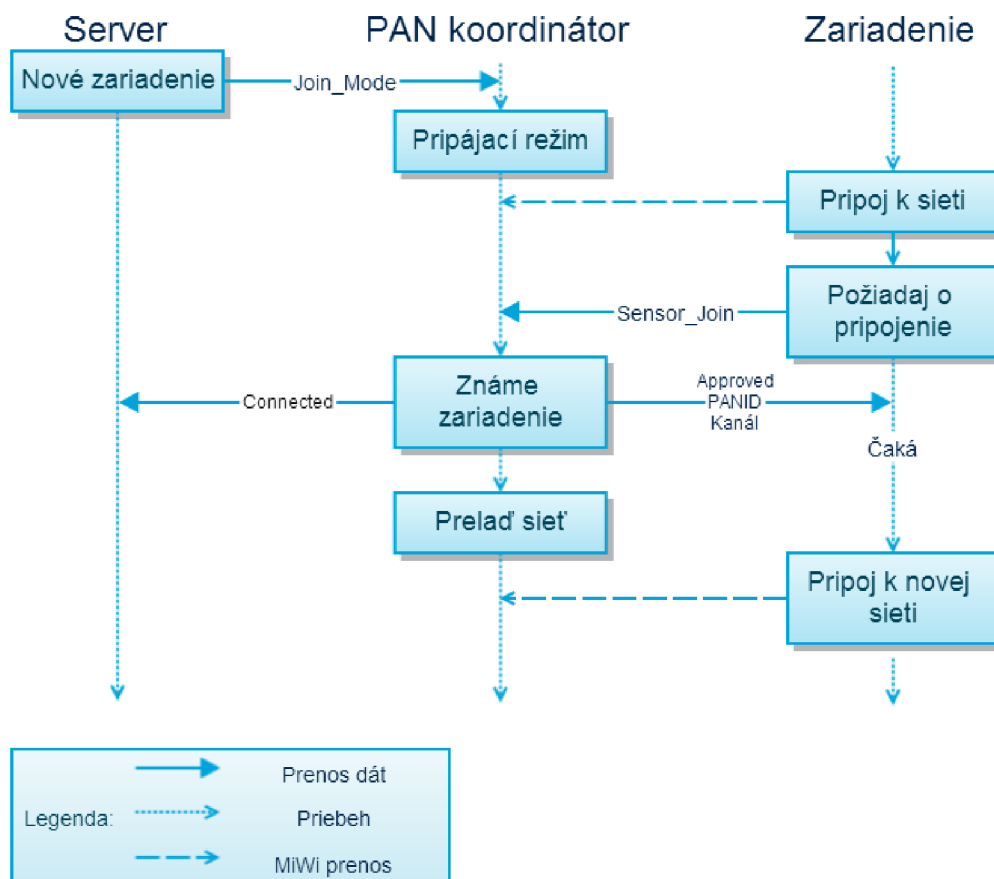
Obr. 5.2 Vytváranie kontrolného čísla z tabuľky spojení.

Pripájanie nového prvku sa spúšťa stlačením tlačidla na tomto prvku. Z dôvodu ešte jednoduchšej užívateľskej obsluhy sa do budúcnosti plánuje nahradiť funkciu tlačidla akcelerometrom, kontrolujúcim pohyb senzoru. Pripájanie do siete by potom bolo možné spustiť pohybom, napríklad zatrasením. Po spustení režimu sa prvok preladí na dohodnutý kanál, kde sa snaží vyhľadať sieť s príslušným PANID. Ak nájde hľadanú sieť, pokúsi sa vytvoriť spojenie s PAN koordinátorom. V tejto chvíli PAN koordinátor zistí, že sa k nemu pripojilo nové zariadenie a dočasne zablokuje všetky ostatné pokusy o pripojenie iných zariadení. Okamžite po pripojení nového prvku sa spustí odpočet s definovanou dĺžkou trvania, počas ktorého PAN koordinátor očakáva správu s vyžiadanim o pripojenie do siete. V prípade, že táto správa nepríde, nové zariadenie je vymazané z tabuľky spojení a PAN koordinátor sa vráti do stavu, v ktorom očakáva nové zariadenia. Ak v danom časovom úseku príde správa s požiadanim o pripojenie do siete, PAN koordinátor spracuje túto správu a odošle informáciu o pokuse pripojenia nového zariadenia na server. V tejto chvíli obidve zariadenia čakajú na užívateľovu odpoveď o prijatí. V prípade kladnej odpovede od serveru odošle PAN koordinátor novému zariadeniu správu o prijatí do siete a informácie o kanále a PANID siete na ktorej pracuje inteligentná domácnosť. Zároveň upraví jeho záznam v tabuľke spojení, aby s ním bolo možné neskôr komunikovať. Ak užívateľ zariadenie odmietne, PAN koordinátor tomuto zariadeniu pošle informáciu o odmietnutí a odstráni jeho záznam z tabuľky spojení, aby sa zariadenie nemohlo pripojiť bez akceptovania užívateľom v režime pripájania. Po odoslaní informácií sa PAN koordinátor preladí naspäť na pracovnú sieť a opäť nastaví režim povolojúci pripojenie iba zariadení uložených v tabuľke spojení. Zariadenie, ktoré bolo prijaté počas procesu pripájania sa po uplynutí definovaného času pripojí do pracovnej siete, ktorej údaje získalo z poslednej správy. Diagram zachycujúci priebeh pripájania zariadenia do siete je zobrazený na Obr. 5.3.



Obr. 5.3 Diagram úspešného pripojenia nového zariadenia do siete.

V prípade, že sa o pripojenie pokúša zariadenie, ktoré sa už nachádza v tabuľke spojení PAN koordinátora, čo znamená, že už bolo v pracovnej sieti, nie je potrebné potvrdzovať zariadenie užívateľom. Kontrola a pripojenie prebehne automaticky. Táto možnosť má využitie pre aktualizovanie siete, napríklad v prípade prenesenia senzoru mimo dosah jeho rodiča. Diagram vysvetľujúci priebeh pripájania zariadenia, ktoré už bolo predtým pripojené k PAN koordinátoru je zobrazený na Obr. 5.4.



Obr. 5.4 Diagram úspešného pripojenia zariadenia do siete, ktoré už bolo predtým pripojené.

5.2.2 Obnovenie siete

Funkcia obnovenia nastavení siete po neočakávanom zlyhaní je jedným zo spôsobov ako zautomatizovať beh systému a zjednodušiť jeho obsluhu. Vďaka implementovaniu tejto funkcionality sa zníži réžia potrebná na udržanie systému v správnom chode.

Aby bolo možné obnoviť sieť, je potrebné ukladať dôležité informácie o sieti. Keďže táto obnova má byť využívaná prevažne po neočakávanom vypnutí senzoru, je potrebné informácie ukladať do nenapájanej pamäte. Komunikácia s pamäťou prebieha pomocou SPI rozhrania. Ukladané informácie spolu s potrebným počtom voľných bytov v pamäti sú zobrazené v Tab. 5.7.

Uložená informácia	Počet bytov
PANID	2
Kanál	1
Úroveň povolenia pripájania	1
Tabuľka spojení	176 (11 B jeden záznam * 16 počet záznamov)
Index do tabuľky spojení	11
Počítadlo odchádzajúcich rámcov	4
Krátka adresa	2
Index rodiča v tabuľke spojení	1

Tab. 5.7 Informácie ukladané do nenapájanej pamäte a potrebná veľkosť pamäte.

Pri zapnutí senzoru sa volá funkcia na inicializáciu nastavení siete. Pomocou parametra je možné určiť, aby sa funkcia pokúsila pripojiť do siete, ktorej informácie sú uložené v nenapájanej pamäti.

Aby bolo možné overiť úspešnosť pripojenia do siete a skontrolovať, či je zariadenie pripojené do správnej siete, boli implementované funkcie PING a PONG. Vďaka tejto kontrole môžeme predísť situáciám, kde sa senzor pokúsil pripojiť napríklad do našej preddefinovanej pripájacej siete a nemal informáciu o tom, že nie je v pracovnej sieti inteligentnej domácnosti. Po znovuobnovení siete odošle senzor správu s definovanou hodnotou, reprezentujúcou význam funkcie PING, a očakáva odpoveď. PAN koordinátor počas svojej bežnej činnosti kontroluje, či neprijal správu s týmto významom. V prípade, že prijal túto správu, odošle naspäť odpoveď s definovanou hodnotou reprezentujúcou význam funkcie PONG. Ak senzor získa odpoveď, znamená to, že je pripojený do správnej pracovnej siete a môže ďalej pokračovať vo vykonávaní svojej bežnej činnosti. Ak nepríde odpoveď od PAN koordinátora, senzor sa uspí a čaká na príkaz spúšťajúci pripájací režim opísaný v Kapitole 5.2.1.

5.3 Úspora energie

Vzhľadom na charakter bezdrôtových senzorov, ktoré pre svoj chod potrebujú energiu z batérií, je nutné venovať dostatočnú pozornosť práve minimalizovaniu spotreby energie. Čím viac sme schopní znížiť priemernú spotrebu senzoru, tým dlhšie vydrží batéria a o to menej starostí má užívateľ s výmenou batérií. Z toho vyplýva, že šetrenie energie má okrem ekologických dôvodov aj priamy vplyv na jednoduchosť obsluhy systému. Minimalizovať spotrebu sa dá rôznymi spôsobmi. V tejto podkapitole sa budeme venovať efektívnosti hlavnej činnosti programu a detailnejšie si vysvetlíme ako funguje uspávanie senzorov.

5.3.1 Uspávanie senzoru

Väčšina dát získavaná zo senzorov sa v priebehu času mení relatívne pomaly, vďaka čomu nie je potrebné získavať informácie nepretržite. Medzi dvoma meraniami hodnôt je možné senzor uspať bez obmedzenia jeho funkčnosti. Čas, na ktorý sa senzor uspí, nie je daný konštantne, ale je možné ho meniť pred každým uspaním. Tento čas je určený serverom a senzor sa ho dozvie z paketu, ktorý prijíma od adaptéra, vid' Tab. 5.5.

Po prijatí paketu a vykonaní všetkých potrebných úloh sa volá funkcia na uspanie senzoru. Súčasťou tejto funkcie je uspanie rádia, prepočet času na počet cyklov (viď ďalej) a samotné uspanie procesora na daný čas, v uvedenom poradí.

Na zobudenie senzora z režimu spánku využívame dva možné spôsoby. Jeden z nich je zobudenie po danom časovom úseku pomocou *watchdog* časovača. Druhý spôsob je zobudenie stlačením tlačidla, ktoré vyvolá prerušenie. Interval časovača *watchdog* nie je možné meniť za behu programu. Nominálna perióda *watchdog* časovača v našom procesore je typicky 4 ms[5]. V závislosti od prostredia sa táto hodnota môže pohybovať v rozmedzí od 2,67 ms až po 5,53 ms. Z toho vyplýva, že meranie času pomocou *watchdog* časovača nikdy nebude úplne presné, napriek tomu je pre naše účely dostačujúce. Táto dĺžka je ďalej upravená pomocou 16 bitovej hodnoty tzv. *postscaler*-a, vďaka ktorému môžeme dosiahnuť hodnoty periódy od 4 ms, až po 131 sekúnd. Nastavenie *postscaler*-a je nemenné počas behu programu. Z toho vyplýva, že vlastne nie sme schopní meniť čas, na ktorý sa senzor uspí. Riešením je uspať senzor toľko krát ihneď po sebe, až dosiahneme požadovanú dobu spánku. Aby takéto riešenie bolo efektívne, je potrebné vhodne nastaviť dĺžku jednej periódy *watchdog*-u. Príliš krátka perióda by znamenala časté prebúdzanie a uspávanie senzoru. Naopak, príliš dlhý interval by mohol spôsobiť, že by bol senzor uspatý na dlhšiu dobu, ako je požadované od servera. Určiť optimálnu hodnotu periódy časovača nám pomôže spoločné testovanie všetkých súčasti systému. Pre potreby tejto práce a testovania je perióda nastavená na 1,024 s.

Keďže poznáme čas jednej periódy časovača, aj čas, počas ktorého má byť zariadenie v režime spánku, môžeme dopočítať, koľko krát je potrebné ho uspať. Výpočet je znázornený v Rovnici (1). Využitie prebúdzania pomocou *watchdog*-u má aj svoje nevýhody. Hlavným nedostatkom je mierna časová odchýlka. Pri dĺžke periódy 1,024 sekundy sa maximálna možná odchýlka rovná 512 milisekúndám. Táto odchýlka môže byť aj väčšia v závislosti od aktuálneho rozdielu nominálnej hodnoty periódy *watchdog* časovača a typickej nominálnej hodnoty 4 ms.

$$Počet\ cyklov = \frac{Nastavený\ čas\ (ms)}{Čas\ jednej\ periódy\ časovača\ (ms)} \quad (1)$$

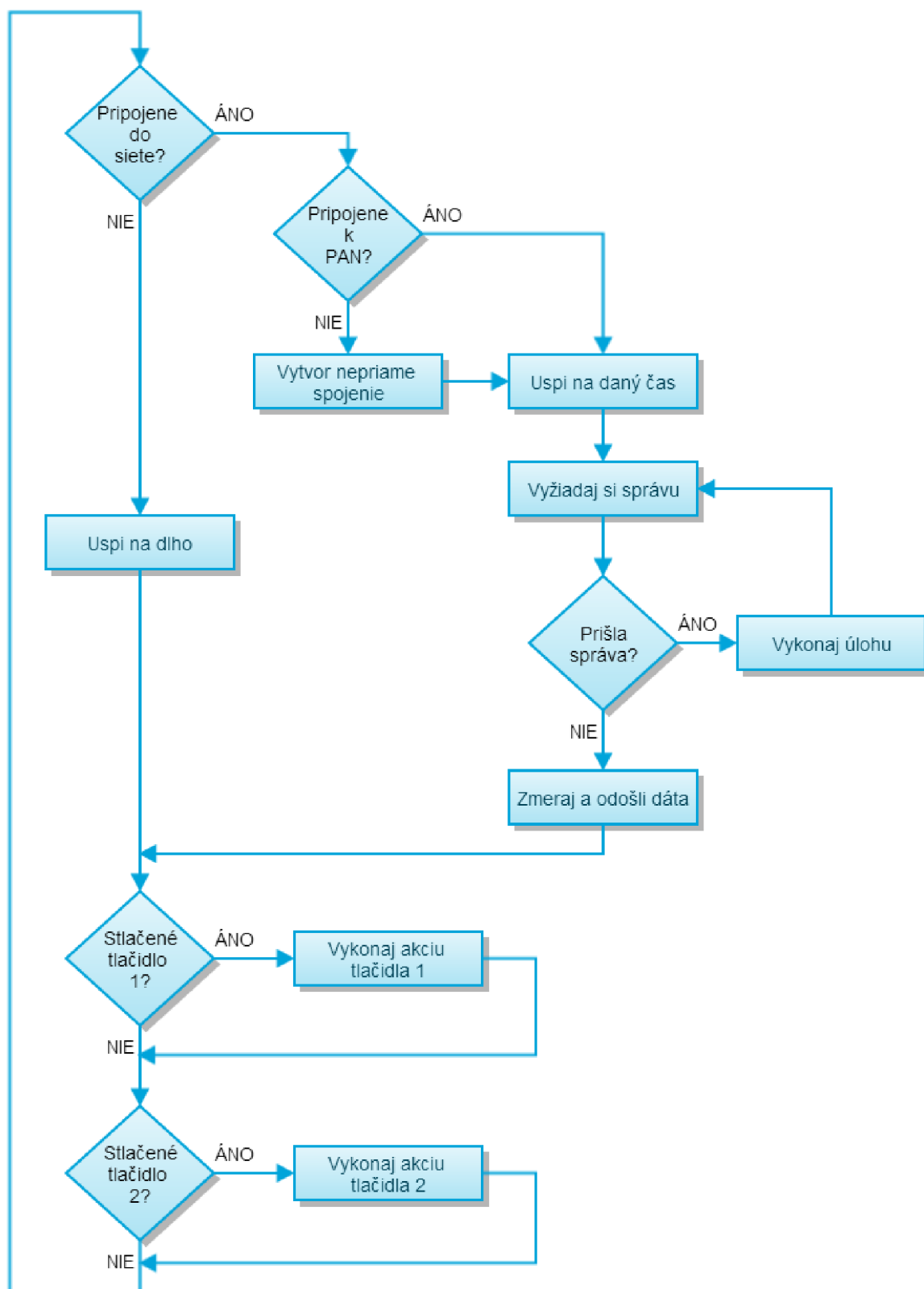
Aby bolo možné fyzicky ovládať senzor, napriek tomu, že väčšinu času trávi v režime spánku, je potrebné nastaviť tlačidlá tak, aby vyvolávali prerušenia a prebudili senzor. Po vyvolaní prerušenia treba ukončiť cyklus počítajúci počet uspaní, aby sa zariadenie neuspávalo okamžite ďalej. Obe tlačidlá na vývojovej doske sa nachádzajú na takzvaných premapovateľných pinoch, vďaka čomu je možné nastaviť, aby ich stlačenie vyvolávalo externé prerušenie. V prerušení sa kontroluje, aká činnosť ho vyvolala a nastaví sa hodnota reprezentujúca stlačenie tlačidla, na základe ktorej sa v hlavnom cykle programu vykoná príslušná akcia.

5.3.2 Hlavná činnosť senzoru

V rámci snahy o úsporu energie je potrebné zaoberať sa nielen uspávaním senzoru ale aj efektívnym využitím času, kedy senzor nie je v režime spánku. Optimalizácie návrhu hlavnej funkcie programu začínajú už pri zapnutí. Nemôžeme porovnávať jednorazovú úsporu pri inicializácii senzoru s optimalizáciou hlavného cyklu programu. Preto sa naša snaha sústreďí predovšetkým na vytvorenie čo najjednoduchšieho programu, bez vykonávania zbytočných operácií.

Beh programu začína inicializáciou hardvéru, po ktorej nasleduje obnovenie nastavení siete z nenapájanej pamäte. Po obnovení siete sa pomocou funkcie PING, opísanej v Kapitole 5.2.2, kontroluje, či je senzor pripojený v pracovnej sieti systému. Ak je pripojený do správnej siete, nastaví vysielací výkon rádia podľa hodnoty získanej z nenapájanej pamäte. Táto hodnota sa do pamäte ukladá na konci režimu pripájania, kde sa postupným znižovaním vysielacieho výkonu určí minimálne dostačujúce nastavenie výkonu rádia. Po nastavení vysielacieho výkonu rádia pokračuje vo vykonávaní hlavného cyklu programu s prednastaveným intervalom uspávania. Ak sa pri volaní funkcie PING zistí, že sa senzor nepripojil do správnej siete, nastaví sa hodnota reprezentujúca nepripojenie do siete. V hlavnom cykle sa kontroluje táto premenná a v prípade, že je nastavená na hodnotu s významom nepripojeného senzoru, senzor sa uspí na definovaný, dostatočne dlhý čas a čaká na zobudenie tlačidlom.

Hlavný cyklus programu sa dá rozdeliť na štyri časti. V prvej časti sa kontroluje pripojenie do siete a k PAN koordinátoru a uspáva senzor na dobu určenú serverom. Po uplynutí tohto času sa senzor zobudí a postupne si vyžiada od svojho rodičovského koordinátora všetky správy. Po prijatí každej správy sa vykoná činnosť určená v správe a uloží sa nový interval prebúdzania. V tretej fáze senzor získa hodnoty z meracích čidiel a odošle ich adaptéru. Na konci cyklu sa skontroluje hodnota premennej udávajúca stlačenie tlačidiel. Táto premenná je nastavovaná v obsluhu prerušenia po stlačení tlačidla. Samotné vykonanie funkcie sa nachádza v hlavnom cykle programu, aby sme predchádzali vykonávaniu časovo náročných funkcií v obslužnej rutine prerušenia. Po ukončení činnosti zahájenej tlačidlom sa spomínaná hodnota nastaví na hodnotu reprezentujúcu nestlačené tlačidlá. Cyklus ďalej pokračuje na začiatku, kontrolami pripojení a uspaním senzoru. Diagram zachycujúci hlavný cyklus programu je zobrazený na Obr. 5.5.



Obr. 5.5 Hlavný cyklus programu senzoru.

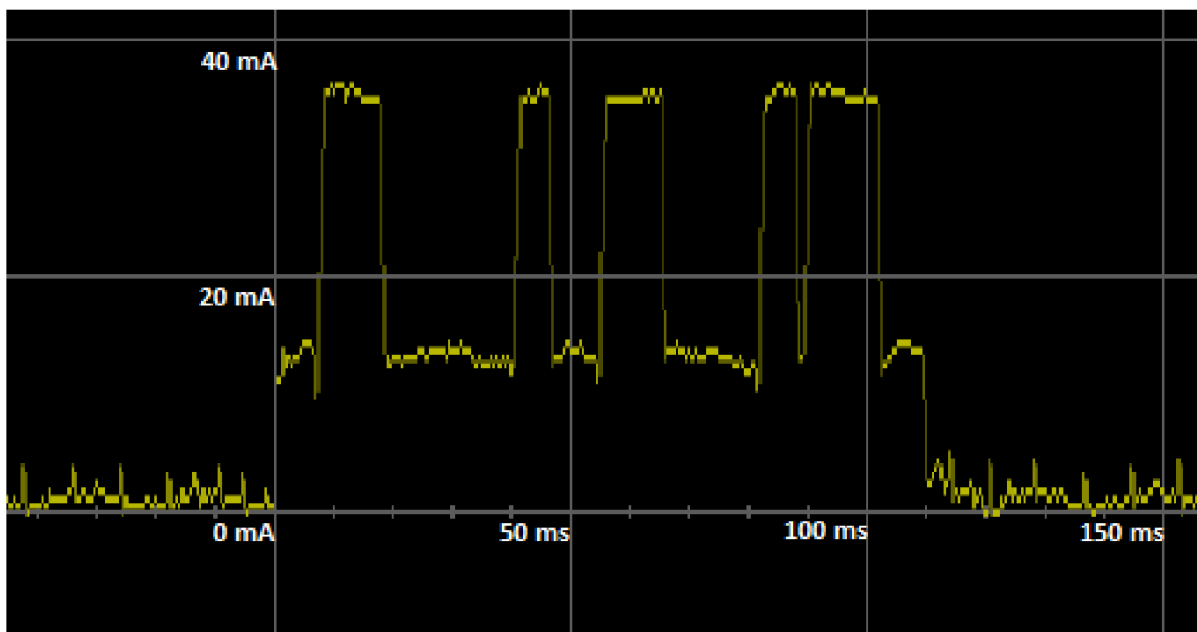
6 Testovanie

Počas vývoja aplikácie sme kládli dôraz na testovanie jednotlivých častí aplikácie samostatne. Každá implementovaná časť bola z praktických dôvodov testovaná osamote, iba s minimálnou potrebnou simuláciou ostatných funkcií. Tento spôsob testovania výrazne skrátil dobu potrebnú na vykonanie jednotlivých testov. Ako príklad môžeme uviesť testovanie uspávania senzoru, počas ktorého sme nepotrebovali využívať funkciu, relatívne zdĺhavého, pripájania do siete a nastavovania sily rádia.

Cieľom testovania jednotlivých častí systému bolo simulovať čo najviac situácií, ktoré môžu pri používaní programu nastať. Vďaka detailnému testovaniu každej funkcionality sa výrazne uľahčilo opravovanie programátorských aj návrhových chýb a následné testovanie senzoru ako celku.

Po dokončení a otestovaní celku bolo potrebné integrovať tento celok do systému. Testovanie celého systému, prebiehalo iteratívne po dokončení každej časti. Výsledkom tohto testovania bola kontrola integrácie novej časti do systému a overenie očakávanej funkčnosti systému. Počas tohto testovania boli opätovne otestované všetky už implementované funkcionality.

Súčasťou testovania bolo aj meranie spotreby zariadenia počas jeho typickej činnosti. Typická činnosť programu je bližšie popísaná v Kapitole 5.3.2. Interval prebúdzania pre testovacie účely bol nastavený na 10 sekúnd. Na Obr. 6.1 je zobrazená hodnota napájacieho prúdu počas vykonávania časti jedného cyklu hlavnej činnosti programu.



Obr. 6.1 Hodnota napájacieho prúdu v priebehu času.

Na obrázku môžeme vidieť minimálny odber prúdu senzoru v režime spánku. Režim spánku na obrázku predstavujú hodnoty bližšie sa 0 mA v ľavej a pravej časti. V skutočnosti je odber prúdu v tomto režime ešte nižší ako na obrázku. Rozdiel je spôsobený obmedzeným rozsahom použitého osciloskopu a šumom merania. Pri typickom napájacom prúde oscilátora v režime spánku $1,3 \mu\text{A}$, *watchdog* časovača $3,2 \mu\text{A}$ a $160 \mu\text{A}$ potrebných pre displej je približná hodnota odberu prúdu počas

spánku $165 \mu\text{A}$ [5][16]. Táto hodnota bude vo finálnej verzii senzoru ešte nižšia, z dôvodu odstránenia displeja s relatívne veľkým odberom prúdu. Maximálny odber prúdu senzor dosahuje pri odosielaní dát. Na obrázku je vidieť 5 odoslaných správ senzorom. Toto testovanie vychádza z predpokladu, že senzor reálne v domácnosti odošle počas jedného cyklu práve 5 správ. V analógii ku Kapitole 5.3.2 je na obrázku vidieť počet aj typ odosielaných správ. Druhá a štvrtá správa (na obrázku správy s kratším časom odosielenia) predstavujú odosielanie potvrdzovacích paketov (Ack). Prvá a tretia správa sú pakety pre rodiča s požiadavkou na dáta. Posledná správa predstavuje odoslanie nameraných hodnôt senzorom. Vykonanie úloh programu od zobudenia senzoru po jeho uspanie trvá približne 110 ms. K tejto hodnote je ešte potrebné pripočítať získavanie meraných dát, napríklad od teplotného senzoru. Pri použití spomínaných senzorov trvá typické meranie približne 4 ms. Pri uvážení dĺžky intervalu medzi dvomi prebudzeniami senzoru je zrejma úspora energie dosiahnutá využitím režimu spánku. Z nameraných dát sme vypočítali hodnotu priemerného odberu prúdu senzoru počas jeho bežnej činnosti. Výsledky výpočtu sú skreslené z dôvodu odhadovania presných hodnôt z obrázka. Pri využití displeja počítame s odberom $0,165 \text{ mA}$ v režime spánku. Podľa hodnôt odhadnutých z obrázka, priemerný odber prúdu sa blíži hodnote $0,41 \text{ mA}$. Po odčítaní odberu displeja sa priemerný odber senzoru bude blížiť hodnote $0,25 \text{ mA}$. Pri uvážení kapacity lítiovej AAA batérie 1200 mAh a priemerného odberu $0,25 \text{ mA}$ by v ideálnom prípade vydržali batérie v senzore 416 dní. Túto hodnotu sa v reálnom prostredí nepodarí dosiahnuť kvôli vplyvom vonkajšieho prostredia na životnosť batérie. Po započítaní koeficientu zohľadňujúceho vplyv prostredia je odhadovaná priemerná životnosť batérií 291 dní. Ako koeficient bola použitá hodnota $0,7$. Meraním hodnôt pomocou osciloskopu sme nezaznamenali úplne presné výsledky z dôvodu merania príliš nízkych hodnôt a šumu pri meraní. Mierna nepresnosť môže byť spôsobená aj použitým obvodom na prevod prúdu na napätie a meraním tohto napätia pomocou napäťovej sondy. Napriek tomu majú výsledky testovania dostatočnú výpovednú hodnotu.

Vzhľadom na povahu aplikácie a obmedzené možnosti testovania pri vývoji vstavaných systémov prebiehalo testovanie manuálne v podobe simulovania rôznych prípadov použitia. Keďže pri takmer každom novom teste bolo potrebné naprogramovať hneď niekoľko zariadení, fáza testovania tvorila značnú časť vývoja. Použitie nástroja na ladenie programu bolo obmedzené na využitie iba pri niektorých funkciách senzoru. Pri testovaní bezdrôtovej komunikácie a častiach systému využívajúcich túto komunikáciu nebolo možné použiť ladiaci nástroj z dôvodu komunikácie protokolu MiWi na pozadí programu. Aby sme z ladiaceho nástroja získali relevantné informácie, je potrebné zastaviť beh programu, čo spôsobí problém pri komunikácii, stratu paketov, vypršanie kontrolných časových úsekov, prípadne úplne znemožní testovanie aplikácie, až do ďalšieho spustenia testu. Pri uvážení tohto obmedzenia sme pri testovaní využívali kontrolné výpisy senzora na displej, výpisy PAN koordinátora pomocou SPI a adaptéra na terminál spustený na počítači a indikáciu stavu zariadenia pomocou LED diód.

7 Záver

Cieľom tejto práce bolo navrhnuť systém pre komunikáciu a získavanie informácií zo senzorov s využitím bezdrôtovej komunikácie. Navrhnutý systém implementovať a otestovať ako súčasť celého systému inteligentnej domácnosti.

Výsledkom práce je na reálnom hardvéri otestovaná aplikácia určená pre senzory v inteligentnej domácnosti. Všetka funkcionalita bola implementovaná vo forme znovu použiteľných knižníc, ktoré spĺňajú všetky stanovené požiadavky. Týmto požiadavkami bola užívateľská jednoduchosť obsluhy senzorov a maximálna úspora energie. Bezdrôtová komunikácia medzi zariadeniami prebieha s využitím navrhnutého aplikačného protokolu. Zo všetkých zariadení v sieti vieme zistiť potrebné informácie, aj v prípade, že sa nenachádzajú v rádiovom dosahu PAN koordinátora. Senzory je jednoducho možné pripojiť do siete, bez nutnosti ich programovania pre konkrétnu domácnosť. V súvislosti s pripájaním do siete bol kladený dôraz na udržanie vysokej úrovne bezpečnosti systému. Zariadenie vyžaduje minimálnu starostlivosť zo strany užívateľa, čomu napomáha aj automatické obnovenie nastavení siete po zapnutí senzoru. Jediná interakcia medzi senzorom a užívateľom prebieha pri konfigurácii senzoru a pri výmene batérií. Aby bol systém ešte jednoduchší na používanie, bola veľká pozornosť venovaná spotrebe energie, vďaka čomu sa predĺžil interval potreby výmeny batérií. Najväčšie úspory energie sa nám podarilo dosiahnuť pomocou využívania režimu spánku a jednoduchosťou hlavného cyklu programu. Senzor trávi väčšinu času v režime spánku, pričom sa prebúda iba na čas nevyhnutný na vykonanie úloh a odoslanie informácií.

Implementácia bola otestovaná simuláciami bežného používania, ako aj testovaním situácií, ktorých výskyt je menej pravdepodobný.

Pri ďalšom vývoji projektu je možné rozšíriť funkcionalitu senzorov pomocou využitia viacerých typov senzorov, ako napríklad senzor na meranie intenzity svetla alebo hluku. V oblasti komunikácie sa nachádza priestor na vylepšenie bezpečnosti v podobe implementácie vlastného šifrovania, prípadne kontroly časových známkov paketov, čo by znemožnilo neoprávnené odchytyvanie a preposielanie paketov. Pre zjednodušenie užívateľskej obsluhy je možné odstrániť zo senzoru tlačidlá a ich funkciu nahradiť akcelerometrom a ovládať senzor pohybmi. Využitie tohto riešenia by sa mohlo uplatniť napríklad pri prenášaní senzoru, kedy by sa automaticky spustilo nastavovanie vysielacieho výkonu rádiového modulu. V oblasti zaoberajúcej sa úsporou energie je priestor na experimentovanie s režimom hlbokého spánku, prípadne na ďalšie vylepšovanie prechodu do a z režimu spánku. Ďalšou možnosťou ako ušetriť energiu by mohlo byť využitie funkcionality vylepšenej požiadavky na dáta, spomenutej v Kapitole 4.2, implementovanej v protokole MiWi PRO. Pomocou tejto funkcionality by sme mohli skrátiť čas strávený mimo režimu spánku o čas jedného vysielania dát. Tým by sme momentálny priemerný počet odoslania správ v jednom cykle znížili z 5 na 4. Znížiť počet odosielaných správ, a tým pádom aj čas strávený mimo režimu spánku, by bolo možné aj rozšírením protokolu o informáciu udávajúcu počet uložených správ na koordinátore pre senzor, alebo informáciu určujúcu, či má koordinátor ešte ďalšiu správu pre senzor. Týmto rozšírením by sa zabránilo odosielaniu poslednej požiadavky na dáta, na ktorú koordinátor odpovedá negatívne. Taktiež by sa v tomto prípade neodosielal potvrdzujúci paket (Ack) o prijatí tejto správy. Týmto spôsobom je v budúcnosti možné skrátiť čas činnosti senzoru o takmer polovicu.

Po dokončení jednotlivých častí systému vyvíjanej inteligentnej domácnosti bude nasledovať testovanie systému ako celku. Vzhľadom na komplexnosť a ambície systému sa bude pokračovať aj vo vývoji senzorov, ich ďalšom zdokonaľovaní a rozširovaní funkcionality.

Literatúra

- [1] Průcha, J.: Chytré bydlení [online]. Praha: c2012, aktualizované 2012-18-09 [cit. 2014-01-04]. Dostupné na URL: <http://www.insighthome.eu/Chytre-bydleni/Chytre-bydleni.pdf>
- [2] Česká republika. Všeobecné oprávnění č. VO-R/10/04.2012-7 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení krátkého dosahu. In: <http://www.ctu.cz/ctu-informuje/jak-postupovat/radiove-kmitocty/vyuzivani-vymezenyh-radiovyh-kmitoctu.html>. Praha, 24. dubna 2012. Dostupné z: http://www.ctu.cz/cs/download/oop/rok_2012/vo-r_10-04_2012-07.pdf
- [3] MiWi™ Protocol: Personal Area Networks. MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED. *MiWi™ Protocol* [online]. © 1998-2014 [cit. 2014-05-07]. Dostupné z: <http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/technology/personalareanetworks/technology/home.html>
- [4] MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED. *MiWi™ Demo Kit User's Guide*. U.S.A., 2012. ISBN 978-1-62076-575-3. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70687A.pdf>
- [5] MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED. *PIC18F46J50 Family Data Sheet: 28/44-Pin, Low-Power, High-Performance USB Microcontrollers with nanoWatt XLP™ Technology*. U.S.A., 2009. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39931b.pdf>
- [6] MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED. *915 MHz Ultra Low-Power Sub-GHz Transceiver Module*. U.S.A., 2011 - 2012. ISBN 978-1-62076-816-7. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/75017B.pdf>
- [7] MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED. *Microchip MiWi™ PRO Wireless Networking Protocol*. U.S.A., 2011. ISBN 978-1-60932-891-7. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/01371A.pdf>
- [8] MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED. *Microchip MiWi™ Wireless Networking Protocol Stack*. U.S.A., 2010. ISBN 978-1-60932-346-2. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/AN1066%20-%20MiWi%20App%20Note.pdf>
- [9] MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED. *Microchip ZigBee® PRO Feature Set Protocol Stack*. U.S.A., 2009. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/01255A.pdf>

- [10] MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED. Microchip Wireless (MiWi™) Application Programming Interface – MiApp. U.S.A, 2009. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/01284A.pdf>

- [11] MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED. *Microchip Wireless (MiWi™) Media Access Controller – MiMAC*. U.S.A, 2009. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/01283a.pdf>

- [12] D-ROBOTICS UK. *DHT11 Humidity & Temperature Sensor*. 2010. Dostupné z: <http://www.micro4you.com/files/sensor/DHT11.pdf>

- [13] BOSCH SENSORTEC GMBH. *BMP180: Digital pressure sensor*. rev. 2.5. Germany, 2013. Dostupné z: <http://www.adafruit.com/datasheets/BST-BMP180-DS000-09.pdf>

- [14] FREESCALE SEMICONDUCTOR, Inc. *Miniature SPI Digital Barometer*. rev. 7. 2013. Dostupné z: http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPL115A1.pdf

- [15] MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED. *1649 WN2: MiWi™ Development Environment*. 2012. Dostupné z: http://www.microchipkorea.co.kr/Libs/asp/download.asp?dir=tb_data&filename=1600_1.pdf&rename=1649.pdf&dat_sq=1600

- [16] SITRONIX TECHNOLOGY CORP. *ST7032: Dot Matrix LCD Controller/Driver*. ver. 1.4. 2008. Dostupné z: http://www.newhavendisplay.com/app_notes/ST7032.pdf

Príloha A

Obsah CD

`src/End-device/` - Zdrojové súbory a projekt pre Koncové Zariadenie.
`src/PAN-coordinator/` - Zdrojové súbory a projekt pre PAN Koordinátor.
`src/Coordinator/` - Zdrojové súbory a projekt pre Koordinátor.
`src/lib/` - Spoločné knižnice pre projekty.
`technicka_sprava/` - Zdrojové súbory technickej správy.
`doc/` - Programová dokumentácia.
`README` - Súbor s popisom obsahu CD.
`Senzory pre inteligentnu domacnost.pdf` - Technická správa.