Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

ZigBee – technologie bezdrátového přenosu a možnost jejího uplatnění v senzorice

bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Prof. Ing. Zdeněk Bohuslávek, CSc.

Autor: Jiří Ransdorf

PRAHA 2010

P R O H L Á Š E N Í

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „*Zigbee – technologie bezdrátového přenosu a možnost jejího využití v senzorice*“ zpracoval samostatně, a že jsem použil pouze zdrojů, které cituji v seznamu použité literatury.

Ve Štětí, dne 25. 3. 2010 Jiří Ransdorf

P O D Ě K O V Á N Í

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce, panu Prof. Ing. Zdeňku Bohuslávkovi, CSc., za připomínky a postřehy, které mi během vypracovávání mé práce poskytl.

Abstrakt: Cílem mé bakalářské práce bylo podívat se na technologii bezdrátového přenosu ZigBee a pomocí vývojových modulů ZigBee od firmy Freescale nastínit, jak se dá tato technologie využít v praxi. V kapitole „Standard ZigBee“ je popsáno ZigBee jako celek. Dále se tato kapitola zabývá strukturou a zabezpečením sítě. V neposlední řadě je zde popsán vylepšený standard ZigBee PRO. V následující kapitole „Porovnání technologie ZigBee s ostatními standardy“ jsou stručně popsány podobné bezdrátové technologie jako Wifi, Bluetooth, WiMax či IrDA. Poslední kapitola „Koncepční návrh“ se zabývá výhradně vývojovým kitem ZigBit 900 a jeho použitím.

Klíčová slova: ZigBee, ZigBit, Senzor

ZigBee – wireless technology and posibility of its application in sensors

Summary: The goal of this study was to look at the wireless transmission technology ZigBee, and through the development ZigBee modules from the Freescale company to outline how this technology can be used in practice. In the chapter " ZigBee Standard " ZigBee is described as a whole. Furthermore, this chapter deals with the network structure and security. There is also an improved ZigBee PRO standard description here. In the following section "Comparison of ZigBee technology with other standards", there are briefly described similar wireless technologies like WiFi, Bluetooth, WiMax or IrDA. The last chapter "Conceptual design" focuses exclusively on the development kit ZigBit 900 and its use.

Keywords: ZigBee, ZigBit, Sensor

Obsah:

Úvod 7
1. Standard ZigBee 9
1.1. Co je ZigBee 9
1.2. Struktura standardu 10
1.3. Topologie sítě ZigBee 14
1.4. Spotřeba ZigBee 16
1.5. Zabezpečení komunikace 16
1.6. ZigBee Alliance 17
1.7. ZigBee PRO 19
1.8. Použití Standardu ZigBee 20
2. Porovnání technologie ZigBee s ostatními bezdrátovými standardy 22
2.1. Přehled 22
2.2. Stručný popis Bluetooth 23
2.3. Stručný popis WiFi 25
2.4. Stručný popis WiMax 26
2.5. Stručný popis IrDA 28
3. Koncepční návrh 30
3.1. ZigBit moduly zigbee 30
3.2. Vývojový kit ZigBit 900 33
3.3. Vývojová deska MeshBean a její komponenty 34
3.3.1. Senzory 35
3.4. Software 36
3.4.1. WSN Monitor 36
3.4.2. SerialNet 37
3.4.3. BitCloud ZigBee PRO 37
3.5. Použití vývojového kitu ZigBit 900 37
3.6. Studenti vs. Vývojový kit ZigBit 900 38
Závěr 39
Literatura 41
Použité zkratky v textu 43
Seznam obrázků 44
Seznam tabulek 44

Úvod

Úvodem bych chtěl říci, proč jsem si vybral právě *ZigBee – technologie bezdrátového přenosu a možnost jejího uplatnění v senzorice* jako téma pro zpracování bakalářské práce.

Nepatřím ke skupině náruživých elektrotechniků a musím přiznat, že před psaním této práce jsem neměl mnoho praktických zkušeností s bezdrátovým přenosem dat a vlastní bezdrátovou komunikací. Mé zkušenosti se pohybovaly na úrovni běžného uživatele. ZigBee jako takové bylo pro mě naprosto neznámé. ZigBee a vlastní bezdrátová komunikace se mi jevila jako velmi zajímavé a pestré téma, vhodné ke zpracování odborné práce. Každý z nás se v určité míře s bezdrátovou komunikací setkává takřka každodenně. Obklopují a vstupují nám do života různé bezdrátové sítě a já bych do těchto tajů chtěl alespoň trošku proniknout a doufám, že tato práce obohatí při svém vzniku, nejen mé znalosti, ale dokáže jednoduchým způsobem vysvětlit základní principy i ostatním čtenářům, nezasvěcených do této tématiky.

V případě ZigBee se jedná o technologii novějšího typu, která se neustále rozvíjí a ještě není zcela prozkoumaná. O tom svědčí i prameny, z kterých se dá čerpat. Není jich mnoho, jedná se hlavně o cizojazyčnou literaturu, či někdy o nepříliš povedené překlady od výrobců. Pro získání detailního přehledu o problému a zkoumané technologii jsem se zaregistroval u ZigBee Alliance a některé postřehy odtud jsem se snažil zakomponovat i do této práce.

Práce je rozdělena do tří hlavních kapitol, z nichž první se zabývá standardem ZigBee od počátků vývoje, jako i myšlenky vzniku, přes topologii vlastní sítě až k jejímu využití v praxi.

Následující kapitola se podrobně zabývá srovnáním ZigBee s dalšími používanými bezdrátovými standardy. Těchto bezdrátových standardů neustále přibývá a každý z nich má své

specifické využití, ať jde o automatizaci, senzoriku nebo o přenos větších objemů dat či bezdrátové připojení k internetu.

V poslední větší kapitole se chci podívat na vývojový kit ZigBit 900. Vlastněním tohoto zařízení se může pyšnit i Česká zemědělská univerzita v Praze.

1. Standard ZigBee

1.1. Co je ZigBee

ZigBee je bezdrátový, nízkorychlostní, komunikační standard, který je založen na své jednoduchosti. Je určen pro průmyslovou automatizaci, automatizace budov a spotřební elektroniku. Název ZigBee byl odvozen od včelího tance. Jde o bezdrátovou komunikaci rozvíjející se a spravované pod taktovkou mezinárodní organizace ZigBee Alliance a IEEE. ZigBee Alliance si dala za cíl stvořit co nejjednodušší součástku s nízkou spotřebou energie.

V současné době se jedná o zcela novou technologii, jejíž specifikace byla vydána v prosinci roku 2004. ZigBee se snaží vyplnit mezeru na trhu, zde jsou technologie jako Bluetooth či Wifi, které jsou již dostatečně rozšířené, ale jednotlivé aplikace by se daly využít ještě efektivněji, a k tomu slouží ZigBee. ZigBee by mělo svými dobrými vlastnostmi ostatní technologie (Wifi, Bluetooth, IrDA,...) spíše doplňovat, podporovat a rozšiřovat možnosti použití.

Hovoříme-li tedy o ZigBee, jedná se o jednoduchou bezdrátovou komunikační síť založenou na využití fyzické a linkové vrstvy podle mezinárodního standardu IEEE 802.15.4, pro které jsou definována tři komunikační rádiová pásma. Tři pásma proto, že v Americe a v Evropě platí různá kritéria a předpisy. Tak, aby se standard mohl používat po celém světě, je pro něj definováno globální rádiové pásmo ISM 2,4 GHz se 16 kanály a přenosovou rychlostí 250 kb/s. Pro Ameriku a Austrálii platí pásmo 915 MHz s 10 kanály a přenosovou rychlostí 40 kb/s. a konečně třetí poslední pásmo 868 MHz s jedním kanálem a přenosovou rychlostí 20 kb/s je použitelné pro Evropu.

Tab. 1 Přehled rádiových pásem používaných ZigBee

Varianta	2,4 GHz	915 MHz	868 MHz
Frekvenční pásmo	ISM	ISM	
Území	Celý svět	Amerika	Evropa
Přenosová rychlost	250 kbps	40 kbps	20 kbps
Počet kanálů	16	10	1

Zdroj: http://hw.cz

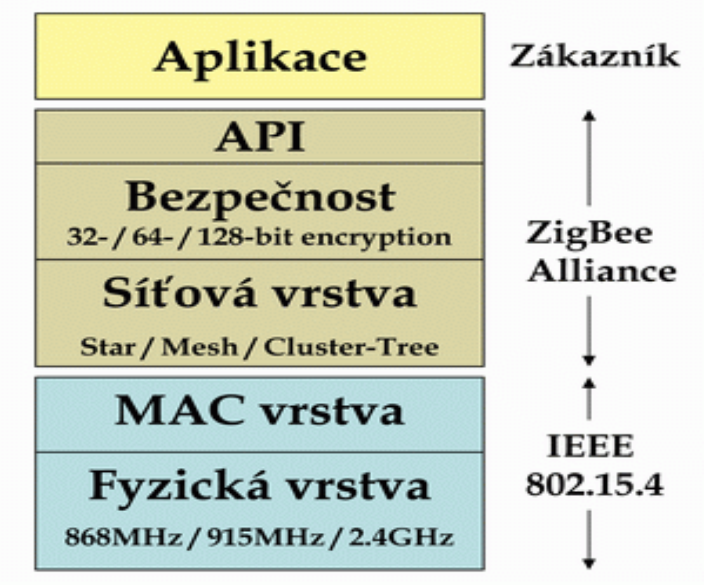
Hlavními kladnými vlastnostmi ZigBee, a také důvodem proč se čím dál více prosazuje na trhu a liší od ostatních standardů, je tzv.″low power″ a ″low cost″, čili nízká spotřeba energie, která jde ruku v ruce s nízkou cenou, tedy s nízkými požadavky na hardware. To je trošku vykompenzováno nízkou přenosovou rychlostí, která však v tomto odvětví u mnoha aplikací plně vyhovuje. ZigBee je tedy vhodné pro aplikace s bateriovým napájením, kde při velmi malé spotřebě můžeme dosahovat vzdálenosti až 100m.

1.2. Struktura standardu

Každý komunikační standard lze popsat OSI modelem, není tomu jinak ani u našeho standardu ZigBee. OSI model můžeme rozdělit do tří skupin podle toho, kým jsou definovány:

- **IEEE 802.15.4** – definuje fyzickou a linkovou vrstvu OSI modelu
- **ZigBee Alliance** – definuje vyšší vrstvy OSI modelu
- **Zákazník** – definuje zákaznickou aplikaci v aplikační vrstvě

Obr. 1 OSI model standardu ZigBee



Zdroj: http://hw.cz/Rozhrani/ART1299-ZigBee---novinka-na-poli-bezdratove-komunikace.html

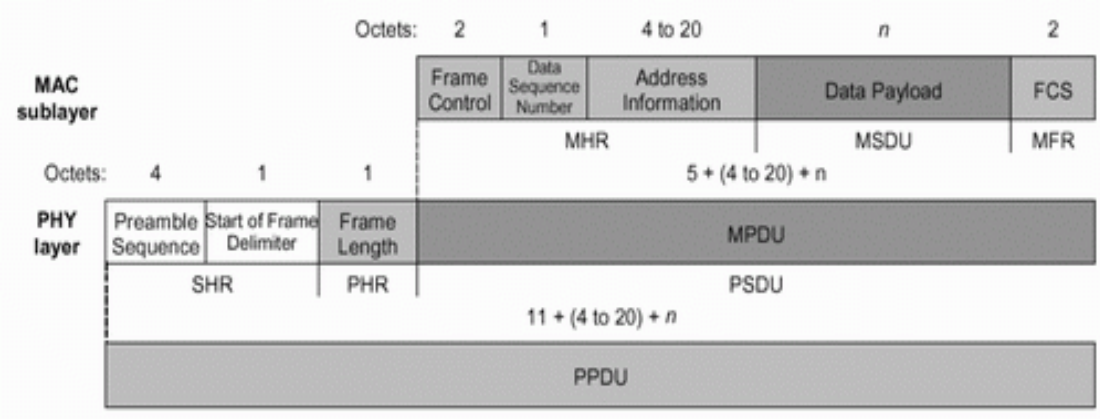
Při přenosu je důležité datový signál modulovat metodou O-QPSK, vzduchem se data přenášejí díky DSSS. To znamená Direct sequence Spread Spektrum, čili technika přímo rozprostřeného spektra. Ten pracuje tak, že každý bit určený k přenosu je nejprve nahrazen určitou bitovou sekvencí a dále je přenášena až tato sekvence bitů. Jedná se o nosný signál. Pro přístup na kanál se využívá metody CSMA/CA. Protokol CSMA/CA, v originále Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance, znamená vícenásobný přístup k médiu s naslouchání nosné části a předcházením kolizí. Tento protokol tedy minimalizuje vznik kolizí a interferencí.

MAC vrstva, neboli v našem případě linková vrstva, spravuje už jen komunikaci mezi jednotlivými zařízeními (uzly sítě) za pomoci rámců. Pro tento případ jsou nastaveny čtyři typy komunikačních rámců. Jednotlivé rámce jsou využívané pro přenos užitečných datových informací, nebo k režijním účelům, s jejichž pomocí se síť sestavuje, spravuje a řídí.

- **Data Frame** – rámec pro přenos užitečné informace pro všechny datové přenosy ve standardu, délka užitečných dat 104 bytu
- **Acknowledgement Frame** – rámec pro přenos potvrzovací informace a je využitelný pouze na úrovni MAC pro potvrzovanou informaci
- **MAC Command Frame** – rámec slouží k centralizovanému konfigurování, nastavení a řízení klientských zařízení v síti ZigBee
- **Beacon Frame** – rámec využívaný k synchronizaci zařízení v síti a je využíván hlavně při nastavení sítě v módu, v němž umožňuje uvádění klientských zařízení do spánkových režimů, a to s extrémně sníženou spotřebou.

Nejčastějším rámcem je datový rámec pro přenos informací. Je složen ze dvou částí. Jedna je fyzická vrstva a druhá MAC vrstva, neboli vrstva linková. Rámec je plně definovaný standardem ZigBee. MAC vrstva obsahuje informace o pořadovém čísle datového paketu, o řízení rámce, o adrese přijímací stanice, kontrolní mechanismus rámce FCS, a také je schopna přenášet data. Fyzická vrstva obsahuje, kromě dříve uvedených vlastností, které se souhrnně nazývají MPDU, informace o délce rámce a o startu rámce. To vše tvoří celkový rámec připravený k odeslání PPDU (PHY Packet Data Unit)

Obr. 2 Datový rámec pro přenos informací



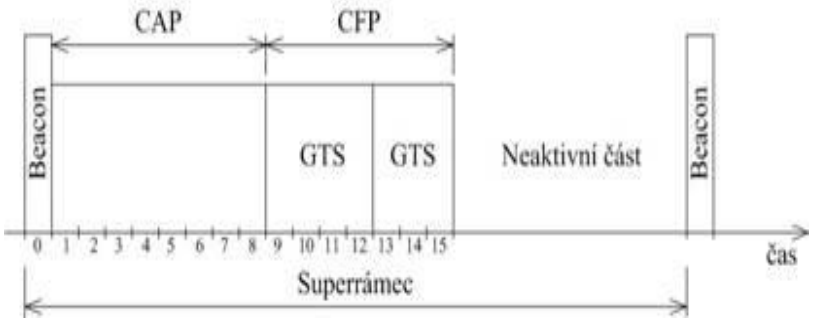
Zdroj: http://hw.cz/novinky/freescale/art1997-bezdratova-komunikace-zigbee-obvody-freescale.html

Kromě běžných rámců standard ZigBee využívá také super - rámec. V jeho případě se nejedná o paket, jako u předcházejících rámců, ale jeho úkolem je dělit čas do jednotlivých slotů, které mají různá zaměření. Takže vypadá jako časové schéma. Super - rámec je definován síťovým koordinátorem a skládá se ze šestnácti časových úseků, které mají stejnou délku.

Jak je patrné na obrázku č. 5, super-rámec je na okrajích ohraničen signálními beacom rámci. Ty synchronizují jednotlivá zařízení, identifikují síť a popisují strukturu celého super rámce. Oblast mezi signálními rámci se dá rozdělit na další dvě části, aktivní a neaktivní. Aktivní část, která zajišťuje komunikaci v rámci sítě a dá se dále rozdělit na CAP (Contension Access Period) a CFP (Contension Free Period). V době trvání CAP je komunikace založena na metodě CSMA/CA, kterou jsme si vysvětlili již v předchozím textu. CFP je rozdělena na několik GTS (Guaranteed Time Slot), která jsou vyhrazena pro prioritní zařízení nebo pro zařízení pomalejší. Neaktivní část je vyhrazena pro režim spánku.

Super – rámce se mohou opakovaně vysílat v intervalech 15 ms až 252 s.

Obr. 3 Struktura super – rámce



Zdroj:http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2006032001

1.3. Topologie sítě ZigBee

ZigBee síť je složena z několika prvků, které se nazývají device, neboli zařízení. Jednotlivá zařízení se od sebe liší svojí funkčností. Každá síť musí být nějak řízena i spravována, a to v našem případě zajišťuje koordinátor sítě. Další dvě zařízení mohou fungovat jen ve spolupráci s koordinátorem a jsou definována jako koncová. Zařízení FFD (Full Function Device) znamená v překladu plně funkční zařízení a musí být v síti nejméně jednou, protože pracuje jako koordinátor sítě. Koncová zařízení dostávají instrukce právě od tohoto koordinátoru a jako koncové zařízení plně postačuje zařízení s redukovanou funkčností, tzv. RFD (Reduced Function Device). Zařízení FFD může také pracovat jako směrovač nebo koncové zařízení stejně jako RFD a může komunikovat jak s RFD, tak i s FFD.

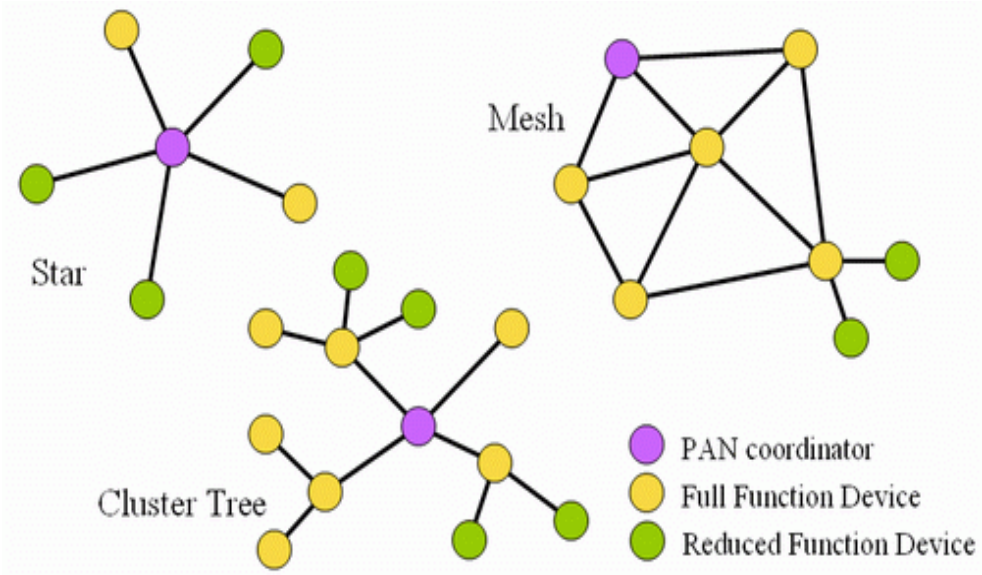
Seskupení jednotlivých zařízení mohou být různá. V sítích ZigBee se používá jako základní topologie topologie typu star (hvězdicová) s centrálním řídícím uzlem. Druhým typem je struktura tree (stromová) a poslední typ, který se používá, struktura mesh (síťová).

V topologii hvězdicové dochází k přenosu mezi zařízeními FFD a RFD, čili zařízeními koncovými, a řídícím koordinátorem sítě, který je pouze jeden. Síť může obsahovat maximálně 65 000 koncových zařízení. Koncová zařízení mají menší požadavky na energii, a tak mohou být napájeny jen baterií. Něco jiného je to u koordinátora. Ten by měl být napájen z elektrické sítě, protože nese větší požadavky na energii. Je to důležité i z hlediska bezpečnosti, koordinátor spravuje celou síť, a tak by mohlo dojít ke zbytečné ztrátě dat. Hvězda se používá u jednodušších sítí s menšími požadavky na dosah.

Topologie typu strom pracuje podobně jako hvězda. Má také jednoho koordinátora v podobě FFD zařízení, ale FFD má i další funkci. Pracuje jako směrovač. Směrovač umožňuje to, že koncová zařízení nemusejí přímo komunikovat s koordinátorem, ale mohou využít směrovač jako prostředníka. To umožňuje větší variabilitu a zvětšení dosahu sítě.

Struktura mesh je propojení předchozích dvou topologií. Výhodná je zejména vícecestná komunikace mezi koordinátorem a koncovými zařízeními.

Obr. 4 Topologie sítě



Zdroj: http://hw.cz/Rozhrani/ART1299-ZigBee---novinka-na-poli-bezdratove-komunikace.html

1.4. Spotřeba ZigBee

U standardu ZigBee je vyžadována co nejmenší spotřeba energie. Protokoly jsou navrhovány za tímto účelem. Dochází k přenosu malého objemu dat, a tak koncová zařízení mohou být napájena bateriově. U koordinátora a směrovačů se to nedoporučuje. Ty by měly být napájeny z elektrické sítě, aby se zamezilo neočekávané ztrátě dat. Koordinátor musí být schopen uložit data všech koncových zařízení a být neustále ve "střehu".

Když nedochází k přenosu dat, koncová zařízení přecházejí do úsporného režimu, a tím spoří značnou část energie.

1.5. Zabezpečení komunikace

Pro zabezpečení komunikace se využívá cyklického kódu. Ten pomáhá odhalovat vzniklé chyby během přenosu dat přes fyzické médium. Každý rámec je doplněn o zbytek po dělení polynomem. Polynom pro standard ZigBee má následující tvar:

$$G_{16}(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$

Pro zvýšení spolehlivosti je přenos dat zajištěn metodou DSSS. Což znamená, že jednotlivé bity se nevysílají samostatně, ale nahradí se početnější sekvencí bitů, která se teprve poté vysílá. Signál se rozšiřuje do celého spektra a je pak odolnější proti rušení.

Lze také zabezpečit, aby se neznámá zařízení nemohla napojit do naší sítě a nedocházelo ke ztrátě dat. Toto zabezpečení probíhá ve třech režimech.

- Nezabezpečený přístup
- Zabezpečený přístup
- Přístup na základě práv

U nezabezpečeného přístupu se může napojit libovolné zařízení, kdežto u přístupu podle práva jsou odmítána data od všech neznámých zařízení.

Zabezpečený přístup se dá krýt několika způsoby. Dá se využít přístup na základě práva nebo odmítat opakující se rámce. Data se dají také šifrovat, a to pomocí standardu AES (Advanced Encryption Standard) jehož nesmírnou výhodou je, že nehrozí zkoušení všech možných klíčů. Poslední službou pro zabezpečený přístup je metoda MIC (Message Integrity Code). Tato metoda MIC je kryptografický kontrolní součet, který je integrován do vysílaného rámce. U přijímaného zařízení se kontroluje hodnota zprávy, a pokud se během přenosu změnila, rámec je odmítnut.

1.6. ZigBee Alliance

Oficiální testovací a certifikační skupina pro zařízení ZigBee. Jedná se o sdružení společností, které se sloučily v jednu organizaci za účelem vytvoření co nejjednodušší součástky pro přenos dat. Cílem ZigBee Alliance je poskytnout spotřebiteli co nejlepší a největší flexibilitu, mobilitu a jednoduchost výstavbou bezdrátových sítí a začlenění jich tak do každodenního lidského života.

ZigBee Alliance již tvoří něco přes sto členů. A nejsou to ledajací členové. Alliance sdružuje i některé velké nadnárodní společnosti, které pomáhají k dosažení určených cílů. Členství je rozděleno do tří úrovní:

- **pořadatel** (Freescale, Philips, Emerson,....)
- **účastník** (LG, Sony, Siemens,....)
- **adopter** (Toshiba, Cedo, V2Com,....)

Naopak některé důležité společnosti v seznamu ZigBee Alliance nenajdeme, i když bychom je tam asi čekali. Jsou to hlavně skandinávské společnosti Nokia a Ericsson. Důvody jsou

prosté. Tyto společnosti se již dříve podílely na vývoji bezdrátové technologie bluetooth a nechtěly stát u zrodu konkurenčních součástek.

ZigBee Alliance se na trhu snaží prezentovat novou strategií. Rozdělila své produkty do více vrstev podle použití a ty prezentuje.

Obr. 5 Logo ZigBee Smart Energy

Zdroj: http://www.zigbee.org/

ZigBee Smart Energy je odvětví, které se zabývá problematikou snížení dopadu na životní prostředí při co největší účinnosti zařízení za přijatelnou cenu. Logo mohou nosit jen certifikované produkty, které prošly důkladnou kontrolou a je zajištěna jejich dokonalá kvalita. Smart Energy zahrnuje například termostaty, měřící jednotky nebo displeje, zabývající se snadným řízením spotřeby energie.

Obr. 6 CTW200

Zdroj:http://www.zigbee.org/Products/CertifiedProducts/ZigBeeSmartEnergy.aspx

Například produkt CTW200 je termostat, který monitoruje, kontroluje a zobrazuje spotřebu energie.

Obr. 7 Logo ZigBee Home Automation

Zdroj: http://www.zigbee.org/

ZigBee Home Automation je cenově dostupný způsob, jak si usnadnit život pomocí domácí automatizace. Znovu logo mohou nosit jen certifikované produkty. Zabývá se hlavně bezpečnostními prvky nebo jednoduchými stmívači světla.

Obr. 8 AlertMe Sensor - snímač pohybu

Zdroj:http://www.zigbee.org/Products/CertifiedProducts/ZigBeeHomeAutomation.aspx

AlertMe Sensor je snímač pohybu. Hlídá místnosti a chodby před nezvanými hosty.

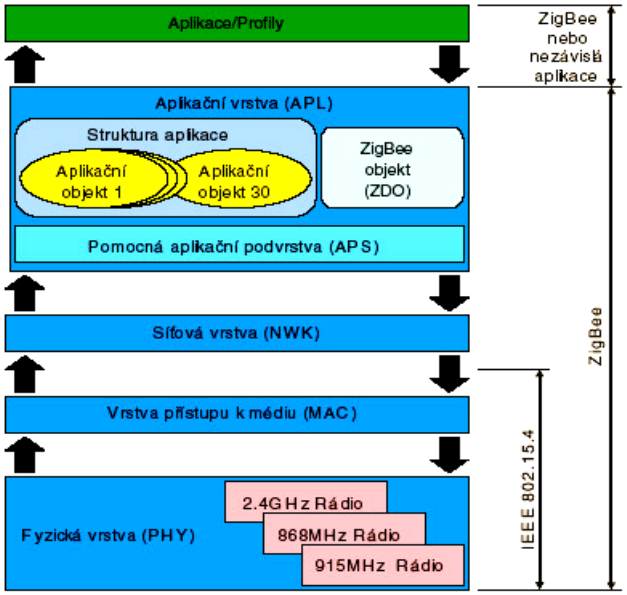
1.7. ZigBee PRO

Běžný standard ZigBee je velice dobrý a zajímavý, ale postupem času se přicházelo na nedostatky zejména v začlenění do velkých sítí s vysokým počtem zařízení. Tyto problémy a nedostatky se nedaly odstranit v původní specifikaci, tak se roku 2006 začala vytvářet specifikace nová, která procházela určitým vývojem. Začalo se jít cestou sjednocení komunikační topologie a hlavní snahou se stává přechod na sítě MESH s důrazem na komunikační bezpečnost, a tak roku 2007 vzniká nová verze ZigBee s původním pracovním názvem ZigBee 2007. Pro obchodní účely vzniká oficiální název ZigBee PRO. Známe tedy dvě oficiální verze komunikačního standardu, klasickou verzi ZigBee a novou ZigBee PRO.

Původně se očekávalo, že vzhledem k charakteru provedených úprav, nebudou mezi sebou schopny standardy (nový a klasický) komunikovat. Platí to jen z části. Za předpokladu

splnění některých podmínek jsou tyto standardy kompatibilní a mohou tedy společně komunikovat.

Obr. 9 Základní popis struktury standardu ZigBee, který je platný i pro novou verzi ZigBee PRO



Zdroj: http://automatizace.hw.cz/zigbee-pro-nova-vylepsena-verze-bezdratove-komunikace-zigbee

1.8. Použití Standardu ZigBee

Jedná se o nízko-rychlostní přenos, takže klient hlavně ocení možnost použití standardu na větší vzdálenost s použitím levné baterie, a to i na několik let. Díky ZigBee je možné vytvořit velké bezdrátové sítě s dlouhou životností a nízkými náklady za vynaložení malé energie.

ZigBee technologie je vhodná pro velké spektrum možností hospodaření s energií. Dá se velmi dobře využívat v průmyslu a zdravotnictví, kde se klade důraz na spolehlivost. Dále se používá při řízení budov, automatizaci, spotřební elektronice či v zabezpečovacích systémech.

Příklady použití zahrnují:

- infrastruktura – pokročilé měření
- bezdrátové detektory kouře a CO
- regulace vytápění
- snímání a monitorování v lékařství
- univerzální dálkové ovladače k set-top boxu
- bezdrátová myš, klávesnice k počítači
- ovládání osvětlení
- kontrola životního prostředí
- komunikace senzorů a řízení motorů v automatizaci
- zabezpečovací systém – senzory, čipové karty
- senzory pro pravidelný sběr dat
- automatické odečty

V hojné míře se využívají vývojové kity, které slouží vývojářům k testování modulů. Testuje se jejich výkon a spotřeba. Z vývojových kitů se dá sestavit i jednoduchá zigbee síť. Na podobu vývojového kitu a jeho vyžívání se zaměříme později v kapitole č. 4.2.

2. Porovnání technologie ZigBee s ostatními bezdrátovými standardy

2.1. Přehled

Bezdrátové sítě můžeme rozdělit na dvě základní:

- bezdrátové lokální sítě WLAN
- osobní sítě WPAN

Sítě WLAN byly původně zamýšleny k podnikové činnosti, ale dnes jsou již nedílnou součástí našeho osobního života. Vynikají svým dosahem, který je až sto metrů, velikou přenosovou rychlostí, která daleko převyšuje ostatní sítě, ale jsou složitější a ani nevynikají svojí spolehlivostí. A tak přichází na scénu osobní síť WPAN, která nemůže konkurovat svým dosahem, ale je vhodnější pro osobní život svou jednoduchostí a hlavně příznivou cenou. Její dosah činí něco okolo 10ti metrů, z toho důvodu se zařadila mezi sítě s malým dosahem.

Výhodou standardu ZigBee je přechod do režimu hibernace, což znamená, že modul přechází do spánkového režimu, ale stále je schopen naslouchat okolí. V tomto stavu spotřeba klesá na 1 až 2 mikroampéry. V případě bluetooth je to 100 mikroampér a u WiFi dokonce desítky miliampér. Rádiová frekvence 2,4 GHz, kterou používá většina standardů, přenáší v případě ZigBee data rychlostí 250kb/s. Bluetooth při větší spotřebě dokáže přenášet data 4x větší rychlostí. Světlo světa již spatřila nová specifikace Bluetooth 2.0 s EDR, která je schopna přenášet data rychlostí až 3Mb/s a to dokáže při poloviční spotřebě.

Tab. 2 Porovnání ZigBee s dalšími známými přenosovými bezdrátovými radiovými technologiemi

Název	GPRS/GSM	WiFi	Bluetooth	ZigBee
Standard	1xRTT/CDMA	802.11b	802.15.1	802.15.4
Aplikační zaměření	Hlas a Data	Web, E-mail, Video	Náhrada za kabel	Monitorování a řízení
Systémové zdroje (paměť)	16MB a více	1MB a více	250KB a více	4-32KB
Životnost baterií	1 až 7	0,5-5	1 až 7	100 až 1000 i více
Max. velikost sítě	1	32	7	65000
Přenosová rychlost (kb/s)	64 až 128	11 000	720	20 až 250
Komunikační dosah (m)	1000 i více	1 až 100	1 až 10	1 až 100
Výhody	Dosažitelnost a kvalita	Flexibilita a rychlost	Cena a jednoduchost	Spolehlivost, nízká spotřeba energie, výkon/cena

Zdroj: http://hw.cz/

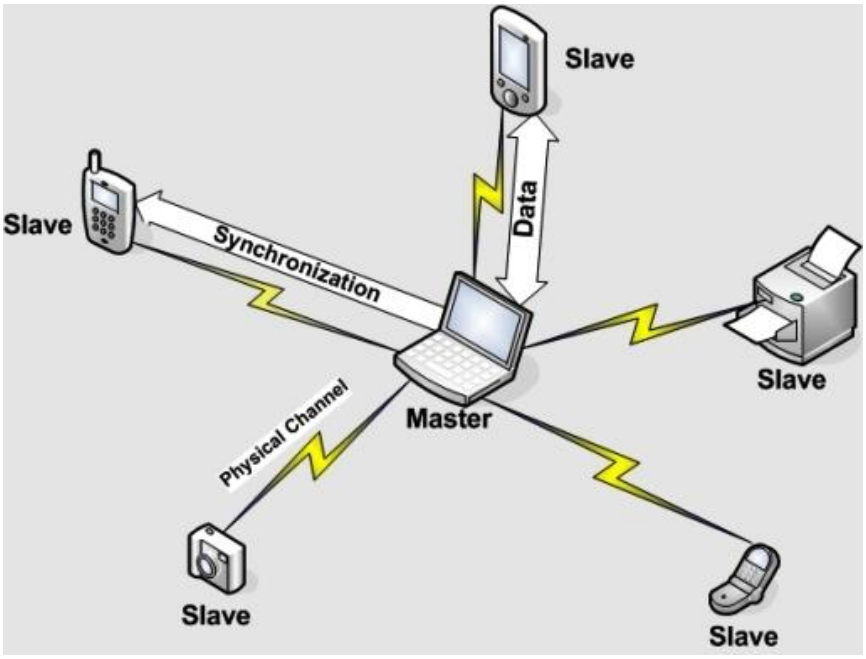
2.2. Stručný popis Bluetooth

Osobní rádiový komunikační standard Bluetooth stál na začátku vývoje bezdrátových komunikačních sítí. Jeho specifikace byla vydána roku 1999. Na jeho vývoji pracuje řada známých firem jako Nokia či Ericsson. Odvození názvu je velmi zajímavé. Název byl odvozen od jednoho skandinávského krále, který sjednotil lid a měl velmi rád borůvky, a tak mu říkali "modrý

zub″, bluetooth má tedy za úkol sjednocovat osobní komunikační zařízení.

Bezdrátový komunikační standard bluetooth je spíše vhodný jako náhrada za kabel. Patří mezi zařízení s malým dosahem a pracuje v osobní síti WPAN. Oproti Wifi má o dost menší nároky na napájení, ale menší přenosovou rychlost a vyniká svou jednoduchostí. Standard bluetooth umožňuje jak dvoubodovou, tak i vícebodovou komunikaci. Nejvíce je však možná vzájemná komunikace se sedmi zařízeními. V praxi to probíhá tak, že když je propojeno více stanic, jedna rádiová stanice z nich je hlavní, ta se nazývá master a může obsluhovat ostatní podřízená zařízení, kterým se říká slave. Pokud chce slave komunikovat s ostatními zařízeními, může tak učinit, ale pouze prostřednictvím hlavní stanice master. Taková síť je znázorněna na obrázku č. 4, kde hlavní stanicí je notebook, který komunikuje s podřízenými stanicemi. Získává data od mobilního zařízení, komunikuje s tiskárnou či dochází k synchronizaci mobilního zařízení.

Obr. 10 Ukázka sítě bluetooth



Zdroj: http://articles.techrepublic.com.com/5100-10878_11-6139987.html

2.3. Stručný popis WiFi

Wifi vytvořila aliance s názvem WECA. Jedná se vlastně o bezdrátovou technologii v bezlicenčním nekoordinovaném pásmu 2,4 GHz, ve kterém také pracují již známé standardy bluetooth a zigbee. Původním cílem WECA bylo bezdrátově propojovat zařízení v lokální síti WLANi. To našlo své využití pro podniky a firmy. Postupem času se začala hojně využívat k bezdrátovému připojení na internet. Dnes jsou zařízení WiFi obsažena v laptopech a i v některých modernějších mobilních telefonech.

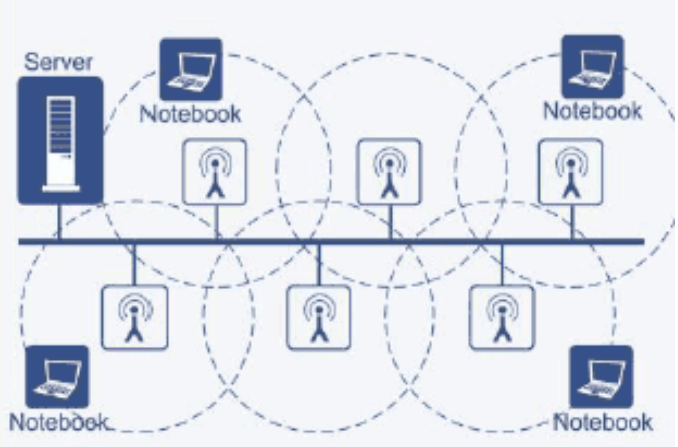
Veškeré sítě s podporou WiFi pracují na buňkovém principu, což znamená, že centrální přístupový bod zprostředkovává připojení všem stanicím v dosahu. Přístupové body se musejí nějak propojit a to je v dnešní době řešeno různými způsoby. Nejběžnějším a taky nejlevnějším způsobem je spojení po lokální kabelové ethernet síti, která je již velmi rozšířena. Další možností je optické vlákno, u kterého se řada odborníků shoduje, že se jedná o technologii budoucnosti. Optické vlákno je skleněné či plastové vlákno, které je schopno přenášet signál pomocí světla plynoucího ve směru podélné osy vlákna. Optické vlákno se začíná hojně používat, protože je schopno přenášet signál na delší vzdálenost a větší rychlostí než je tomu u ostatních komunikací. Dochází k nahrazování dnes běžně používaných kovových vodičů, protože dochází k menším přenosovým ztrátám a jsou dostatečně imunní proti elektromagnetickému rušení.

Klíčovou roli hraje identifikátor SSID. To znamená, že přístupový bod vysílá pravidelně po několika sekundách svůj identifikátor v beacom frame, neboli v majákovém rámci, a člověk se může připojit a vybrat si síť. Síť se dá skrýt tím, že identifikátor přestane pravidelně vysílat, a tedy když se chceme připojit, musíme požádat správce sítě o povolení.

Již je na světě následník WiFi. Měl by se jím stát WiMax, který je možno využívat na delší vzdálenosti a s větším a silnějším signálem. Více si o WiMax povíme v kapitole 3.4.

Na následujícím obrázku je ukázka, jak může taková WiFi síť vypadat. Je zde pevný ethernet, z něhož se propojují jednotlivé access pointy, neboli přístupové body, a teprve z nich dochází k vysílání signálu k jednotlivým notebookům.

Obr. 11 Ukázka provedení WiFi sítě



Zdroj: http://www-kiv.zcu.cz/~simekm/vyuka/pd/zapocty-2003/wi-fi/index.php?id=3

2.4. Stručný popis WiMax

Bezdrátový standard WiMax, celým názvem Worlwide Interoperability for Microwave Access, je absolutní novinkou na trhu. WiMax byl pod označením 802.16 navržen roku 2002 a umožňuje rychlý bezdrátový přístup na internet. Je definován pro frekvenční pásmo od 10 do 66GHz, ale za předpokladu přímé viditelnosti mezi vysílačem a přijímacím adaptérem.Dokáže pracovat až do vzdálenosti 60km. To však již neplatí pro vylepšenou verzi s označením 802.16a, která pracuje ve frekvenčních pásmech od 2 do 11GHz. Otevírá se nám tedy možnost využívat jak licencovaných, tak i bezlicenčních pásem. U standardu 802.16a není potřeba splňovat podmínku přímé

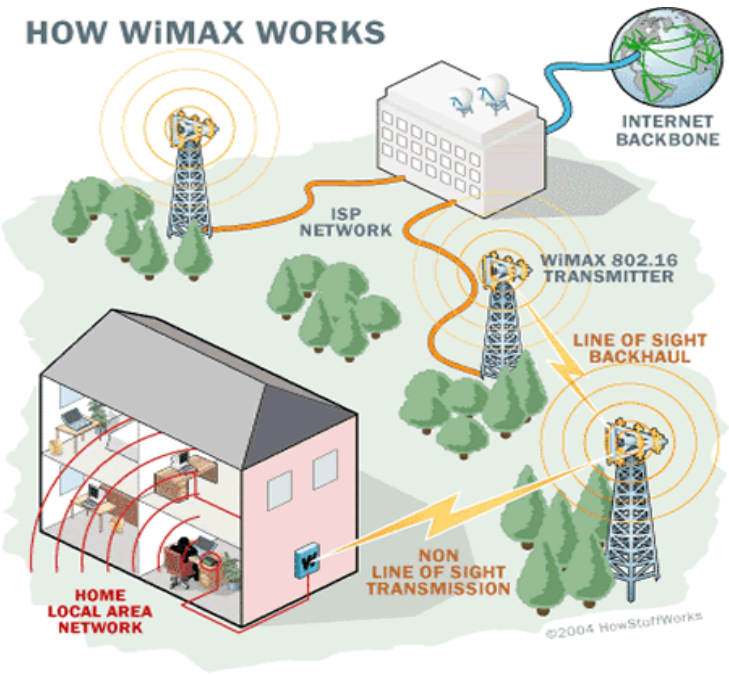
viditelnosti. U tohoto standardu dochází k přenosu v zastavěných oblastech až do několika kilometrů. Uvádí se dokonce číslo 10km.

Kapacita přenosu je poměrně vysoká a dosahuje 74Mb/s pro jeden frekvenční kanál. Ten lze dále rozdělovat na další subkanály a dodávat tak signál do více lokalit současně.

WiMax se částečně podobá WiFi, ale byl navržen právě jako reakce na tento standard. Zavedením WiMax se lze snadno připojovat k internetu na větší vzdálenosti a s větší rychlostí na fyzické vrstvě. Zatímco v případě Wifi, která byla zpočátku zamýšlena k úplně jiným účelům a ne k připojení na internet, se WiMax specializuje zejména na tento problém a to je jeho značná výhoda. Sítě WiMax se svojí rozlohou, spíše než sítím Wifi, podobají rozsáhlým mobilním sítím typu UMTS.

Na obrázku č. 12 je názorně vidět práce systému WiMax. Ta má vlastně dvě části. Jednou je věž, která vysílá signál do okolí a může také pomocí radiové frekvence předávat signál na další věže a vytvářet tak velkou síť, a druhou jsou přijímače signálu.

Obr. 12 Práce systému WiMax



Zdroj: http://www.vincentchow.net/2251/wimax-to-roll-out-in-malaysia-soon

2.5. Stručný popis IrDA

Narozdíl od předchozích standardů, které pro přenos dat využívaly rádiových pásem, IrDA používá k přenosu infračervené záření. Standard byl vytvořený konsorciem IrDA a jeho 1. specifikace byla vydána v roce 1994. IrDA má velmi malý dosah a hlavní myšlenkou jejího využití bylo propojení PC s různými komunikátory, IrDA se postupně rozrůstá na přenos dat mezi mobilními telefony v GSM sítích, či na dálkové ovládání elektroniky.

Komunikace probíhá pomocí infračervených LED diod s vlnovými délkami od 860 do 900nm. Jako přijímač jsou používány PIN fotodiody. PIN fotodiody pracují v generačním režimu a to znamená, že propustí jen ty frekvence, které jsou součástí dané IrDA modulace.

Standard IrDA je definován fyzickou vrstvou a protokoly, které zajišťují komunikaci mezi dvěma zařízeními. Jako první standard byl vyvinut IrDA 1.0, který přenáší data rychlostí od 2400bit/s do 115200bit/s na vzdálenost až 5 metrů. Novější verze IrDA 1.1 obsahuje některá vylepšení na fyzické vrstvě a je schopna přenosu rychlostí až 4Mbit/s. Vzdálenost je však menší. IrDA 1.1 může pracovat pouze do vzdálenosti 1m.

IrDA používá tyto protokoly:

- **Infrared Link Access Protocol(IrLAP)** – jedná se o linkový protokol, zajišťuje zapouzdření rámců, popisuje, jak spolu zařízení IrDA naváží komunikaci, jak komunikaci ukončí nebo jak se budou číslovat, v případě více zařízení v jedné síti je vždy jedno primární a ostatní pracují jako sekundární
- **Infrared Link Management Protocol(IrLMP)** – běží nad IrLAP protokolem, nachází zařízení, která se nabízejí, kontroluje tok dat

- **Transport Protocols()Tiny TP)** – jedná se o vrstvu, která udržuje spojení mezi zařízeními a sama opravuje vzniklé chyby na lince, rozděluje data do paketu

- **Object Exchange Protokol(IrOBEX)** – obsahuje příkazy PUT a GET, díky tomuto protokolu se data mohou přenášet mezi jednotlivými stanicemi

Standard IrDA je součástí mobilních telefonů, PDA a počítačů. Jeho značnou nevýhodou je potřeba přímé viditelnosti. A z toho důvodu už se na jeho vývoj neklade takový důraz a je vytlačován do ústraní. V případě, že počítač standard IrDA neobsahuje, je na trhu IrDA adapter, který se připojí do počítače přes USB kabel a plní stejnou funkci, jak je patrné na obrázku č. 13

Obr. 13 Komunikace mobilního zařízení přes IrDA adaptér

Zdroj: http://www.sixca.com/eng/articles/irda/

3. Koncepční návrh

Naše škola vlastní vývojový kit Zigbit 900 (níže na obrázku č. 17), a tak se na něj podíváme trošku blíže. Abychom byli schopni bezdrátově získávat data, měli by být moduly zigbee integrovány do vývojových desek, které obsahují též senzory tepla, osvětlení, vlhkosti a tak podobně. Díky integraci modulů můžeme desku nakonfigurovat jako uzel ZigBee sítě a přes přepínače DIP je nastavit jako síťového koordinátora nebo jako router. Jedna deska je jako hlavní (koordinátor) a získaná data stahuje přes USB kabel do počítače, kde se data vyhodnocují díky jednoduchým softwarům, které jsou buď součástí dodávky, nebo jsou volně ke stažení na stránkách jednotlivých výrobců.

3.1. ZigBit moduly zigbee

ZigBit jsou nízko-příkonové, velice citlivé moduly. Na svoji velikost mají vysoký obsah funkcí. Jsou založeny na vysílačích společnosti Atmel. Kromě své miniaturnosti zaujmou také velmi nízkou spotřebou v režimu spánku (6μA) a svým dosahem. Ten činí na volném prostranství až 1km a v zástavbě kolem 100m. Zigbit modulů je celá škála a jejich společné vlastnosti jsou popsány v následující tabulce č. 3

Tab. 3 Vlastnosti ZigBit modulů

Parametr	ZigBit
Frekvenční pásmo	2,400-2,483GHz
Datová propustnost	250kbbs
Počet kanálů	16
Maximální výstupní výkon	3dBm
Citlivost (PER 1%)	-101dBm
Napájecí napětí	1,8 - 3,6V
Proudová spotřeba při přijímání	19mA
Proudová spotřeba při vysílání	18mA
Proudová spotřeba v režimu spánku	6µA
Velikost paměti RAM	8kb
Velikost paměti Flash	128kb
Velikost paměti EEPROM	4kb
Teplotní rozsah	-40°C až 85°C

Zdroj: http://hw.cz/

ZigBit AMP modul

Jde pochopitelně o modul založený na standardu ZigBee pracujícím ve frekvenčním pásmu 2,4 GHz s integrovaným U-FL anténním kolektorem. Tento modul je založen na hardwarové platformě AVR Z-link. Nízkopříkonový zesilovač umožňuje dosažení maximální vzdálenosti při zachování malé spotřeby zařízení.

Obr. 14 ZigBit AMP modul

Zdroj: http://www.macroweil.cz

Vlastnosti tohoto modulu

- dosah přes 4km
- rozměry – 38mm x 13,5mm x 2mm
- anténní konektor U-FL
- spotřeba v režimu spánku - 10μA
- napájecí napětí – 3 – 3,6V

ZigBit modul se symetrickým RF výstupem

Tento modul vyniká nejlepší citlivostí, která dosahuje až -104dBm.

Obr. 15 ZigBit modul se symetrickým RF výstupem

Zdroj:http://www.macroweil.cz

Vlastnosti tohoto modulu

- symetrický výstup
- vysoká citlivost -104dBm
- ZigBee Stach s vyspělými funkcemi
- vysoká odolnost proti radiovému rušení

ZigBit modul s dvojitou čipovou anténou

U tohoto modulu jsou patrné jeho větší rozměry, které jsou dány dvojitou anténou.

Obr. 16 ZigBit modul s dvojitou čipovou anténou

Zdroj: http://www.macroweil.cz

Vlastnosti tohoto modulu

- rozměry – 38mm x 13,5mm x 2mm
- vysoká citlivost -104dBm
- široký rozsah podporovaných rozhraní s referenčními softwarovými řadiči
- vysoká odolnost proti radiovému rušení

3.2. Vývojový kit ZigBit 900

Vývojový kit je určen k testování modulů. Testuje se hlavně jejich výkon a spotřeba energie, ale také umožňuje vývojářům vytvářet vlastní vestavěné aplikace pomocí eZeeNet API.

EZeeNet API je softwarový Stack odpovídající standardu ZigBee. Usnadňuje práci ve snímacích, monitorovacích nebo data sběrných aplikacích.

Vývojový kit se skládá:

- 3 vývojové desky MeshBean
- 3 USB kabely
- 2 kabely externího rozhraní
- CD se softwarem a dokumentací

Vývojový kit ZigBit 900 se prodává ve dvou verzích, Complete a Lite. Tyto verze se mezi sebou liší hlavně délkou

profesionální podpory a některými dalšími výhodami. Důležitým ukazatelem je samozřejmě cena produktu, která se u verze Complete pohybuje okolo 22 000,-Kč a Lite je k dostání za 9 500,-Kč.

Obr. 17 Vývojový kit ZigBit 900

Zdroj: ZDK 900 Getting Started..pdf (macroweil.cz)

3.3. Vývojová deska MeshBean a její komponenty

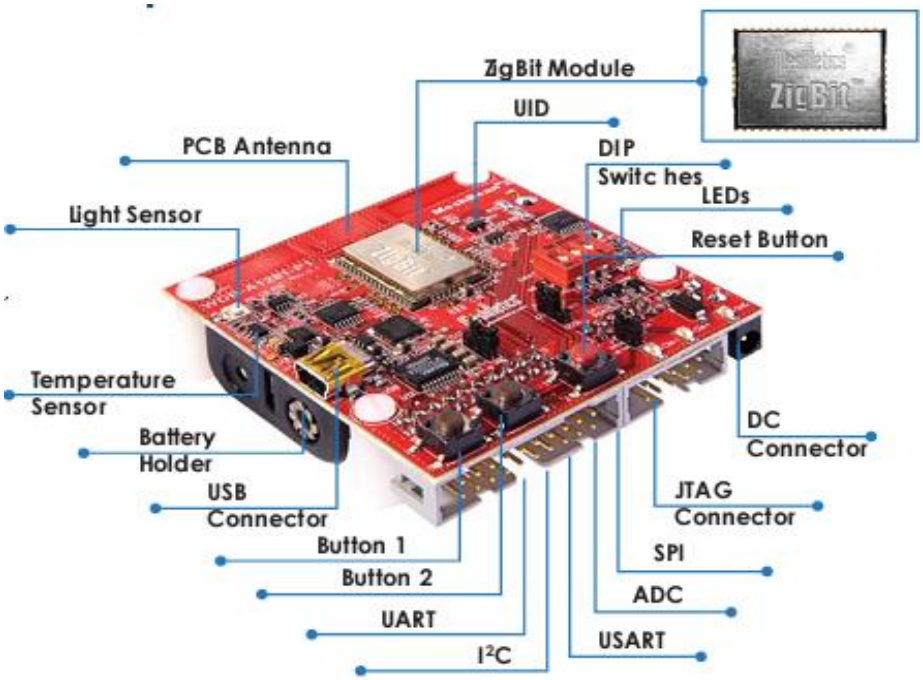
Na desce je mnoho rozhraní pro připojení různých senzorů, což velmi vhodně rozšiřuje použitelnost vývojového kitu. Dva senzory jsou již na desce připraveny k použití. Na desce je senzor světla a senzor teploty. Na desku se nemusejí připojovat jen senzory, ale i další vhodná zařízení. Napájení se dá vyřešit 2 bateriemi AA, síťovým adaptérem nebo přes USB kabel, který se připojí k počítači.

Kromě ZigBit modulu a senzorů na desce také objevíme:

- resetovací tlačítko
- externí anténu
- DIP přepínače
- 3 LED diody
- USB 2.0 port

- 3 svorky pro měření elektrické energie
- napájecí konektor

Obr. 18 Vývojová deska MeshBean



Zdroj: http://hw.cz/novinky/art2585-zigbit-development-tools.html

3.3.1. Senzory

K desce jsou připevněny dva senzory. Teplotní senzor s označením LM73CIMK a světelný senzor TSL2550T. Oba tyto senzory jsou připojeny paralelně k I^2C sběrnici. I^2C sběrnice je dvouvodičové datové propojení mezi jedním nebo několika procesory a speciálními periferními součástkami. Všechny součástky jsou připojeny na téže sběrnici a jsou cíleně vybírány svými adresami. Sběrnice je schopna velmi jednoduše propojovat jednotlivé integrované obvody a dodatečně je i rozšiřovat.

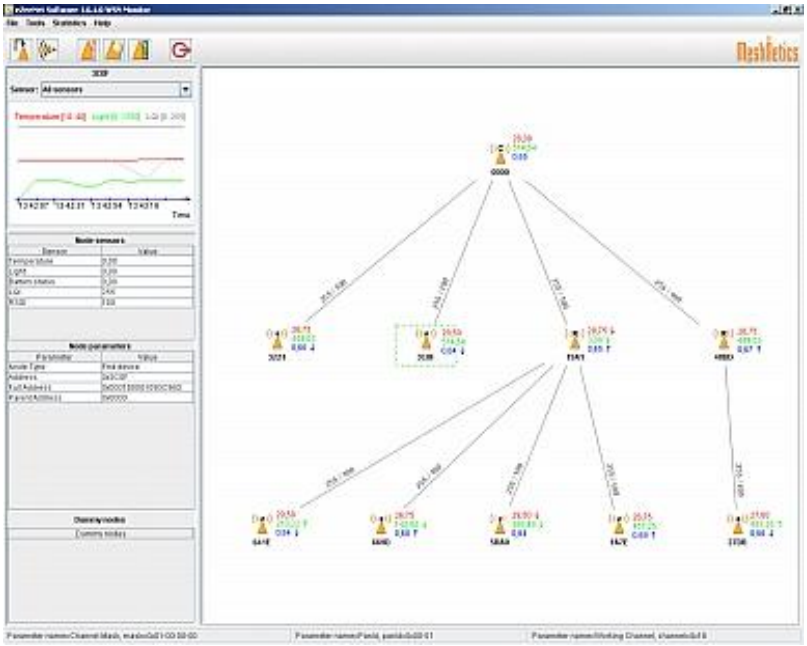
3.4. Software

Software je nedílnou součástí vývojového kitu. Buď se dá využít program a dokumenty dodávané přímo v balení s vývojovým kitem, nebo se spousta programů dá volně stáhnout na stránkách výrobců.

3.4.1. WSN Monitor

WSN Monitor (Wireless Sensor Network) je program pro vizualizaci senzorových sítí od společnosti Meshnetics. Jakmile je do sítě přidán nový uzel, je program schopen automaticky vygenerovat novou podobu sítě a určit jeho topologii. Dá se použít také pro vizualizaci sběru dat a výhodné je také vzdálené nastavování sítě z počítače, kam se data ukládají. Velkou výhodou tohoto programu je jeho jednoduchost a hlavně přehlednost, jak je patrné z následujícího obrázku č. 19, kde je zobrazen monitoring budovy a získávání dat od senzorů tepla a světla.

Obr. 19 Ukázka aplikace WSN Monitor



Zdroj: http://hw.cz/files/redaktor130/050801_WSN_demo.png

3.4.2. SerialNet

SerialNet se používá pro snadný vývoj aplikací za pomoci AT příkazů. To je soubor příkazů, které začínají vždy prefixem AT a umožňují řídit navazování a parametry. Pomocí sériového rozhraní AT je možné programovat desku a nemusí se zasahovat do programované paměti mikrokontroléru MCU.

3.4.3. BitCloud ZigBee PRO

BitCloud se dodává jako software přímo s naším vývojovým kitem a obsahuje rozsáhlou dokumentaci, sadu knihoven a samotný program. BitCloud je program s vestavěným softwarovým stackem od Meshnetics. Jedná se o program poskytující vývojovou platformu pro spolehlivé a bezpečné bezdrátové aplikace běžící na modulech ZigBit. BitCloud software je navržen tak, aby uspokojil širokou škálu uživatelů a umožnil plné spektrum softwarových úprav. Tento software je plně kompatibilní se ZigBee PRO a dalšími standardy ZigBee pro bezdrátové snímání a kontrolu.

3.5. Použití vývojového kitu ZigBit 900

ZigBit 900 se vývojářům hodí nejen pro výzkum spotřeby energie či výkonu zařízení, ale také díky integrovaným senzorům (tepla a světla) pro praktické použití.

Senzory tepla se dají například používat pro měření teploty radiátorů nebo tam, kde potřebujeme mít přehled o aktuální teplotě.

V zemědělství by se dal vývojový kit například vyzkoušet ve sklenících, kde by se měřila a vyhodnocovala potřebná teplota. Do skleníků by se umístily dvě vývojové desky, jejichž napájení by zajišťovaly 2 baterie AA. Zbylá vývojová deska by se použila jako koordinátor sítě. Zde by se musel vyřešit problém s napájením, protože koordinátor musí být napojen přes počítač do elektrické sítě. To by mohlo být vyřešeno prodlužovacím kabelem

a notebookem, který by se nacházel v blízkosti zařízení a obsahoval software WSN Monitor. Časování se nastaví na 20 sekund. To znamená, že každých 20 sekund vyšle senzor data o naměřené teplotě do koordinátoru. Data se shromažďují, zpracovávají a vyhodnocují. Výsledné hodnoty se mohou šířit dále díky internetu.

3.6. Studenti vs. Vývojový kit ZigBit 900

Díky tomu, že ČZU univerzita vlastní tento kit, mohou se s ním studenti setkat na hodinách a vyzkoušet si ho na vlastní kůži. Jejich testování by asi zůstalo v rovině zkoumání teploty či vlhkosti. Další senzory se musí připojovat, kdežto tyto dva má kit již integrované, což nám značně usnadní práci, ale záleželo by určitě na vyučujícím, jak svou hodinu pojme. Předpokládejme, že program WSN monitor je již nainstalován.

1) Vytvoření měřící sítě pro teplotu v učebně – student připojí přes USB desku k počítači (koordinátor sítě), otevře program WSN monitor a rozestaví zbylé dvě desky.

2) Práce s WSN – student zapne jednu desku a ta se hned objeví v programu (vzdálenost, teplota,...), zapne další, další a další, když je má samozřejmě k dispozici, a topologie sítě se sama vygeneruje a objeví se na monitoru; na monitoru je vidět koordinátor (označen 0), router a koncová zařízení; aktuální uzel je v zeleném rámečku a všechna data na monitoru se vztahují právě k němu; v levé části obrazovky se studentovi zobrazují podokna - 1. podokno – graf naměřených dat v určitém intervalu

2. podokno – data vybraného uzlu –(teplota, vlhkost, baterie, signál)
3. podokno – typ uzlu, adresa, ……..
4. podokno – zde se data uspořádávají do tabulky

Veškerá naměřená data se ukládají a studenti s nimi dále mohou pracovat a vyhodnocovat podle uvážení vyučujícího.

Závěr

ZigBee, pojem, který byl a pro mnoho z nás stále je neznámým. Bezdrátová komunikace a vlastní přenos dat jsem si za téma své bakalářské práce vybral hlavně z důvodu mé naprosté neposkvrněnosti tímto tématem. Díky tomu, že jsem se s tímto zařízením v minulosti nikdy nesetkal, neměl jsem k tomuto zařízení a způsobu přenosu dat žádné předsudky ani jiné informace z vlastního použití, které by mohly ovlivnit můj pohled na toto téma. Informace jsem získával z omezených zdrojů, které se většinou vypovídající hodnotou informací shodovaly, a proto je možné je považovat za pravdivé a neklamné. A to i proto, že se jednalo o materiály oficiálního charakteru, nikoliv nepodložené informace z různých diskusních fór, kde může zapisovat informace každý bez toho, aby měl hmotný doklad o pravdivosti svých tvrzení.

ZigBee je svou funkčností velmi podobný dalším technologiím využívaným k přenosu dat, tedy k bezdrátové komunikaci. Z pohledu dnešního běžného uživatele je ZigBee pro domácí užití téměř neznámé. ZigBee Alliance však usilovně pracuje na nápravě. A snaží se svou propagací začlenit zařízení do běžného života každého z nás. Možnosti využití například jsou: bezdrátová myš a klávesnice, dálkové ovladače pro různé spotřebiče nebo pro regulační ventily.

Zařízení typu jako je ZigBee bych doporučil firmám, které využívají malý objem dat, ale v častých intervalech. Tato forma přenosu je velmi stabilní, tedy velmi spolehlivá, a proto je vhodné ji využívat tam, kde chceme docílit jistoty přenosu. Proto je toto zařízení vhodné pro velké firmy, zabývající se například průmyslem, kde je třeba předání dat mezi jednotlivými dílčími úkony výroby.

Z hlediska montáže tohoto zařízení je finanční stránka těchto produktů na nižší finanční úrovni než další zařízení tohoto typu pro bezdrátový přenos dat. Nižší cena tohoto zařízení je určitě jeho nesmírnou výhodou a kladem.

Závěrem bych chtěl říci, že jsem moc rád za výběr tohoto tématu. Obohatilo mě to o spoustu cenných informací. Na začátku jsem zdůraznil, že nejsem žádný odborník přes elektrotechniku, a tak mě překvapilo, jak jednoduché a zároveň přínosné mohou bezdrátové technologie být.

Literatura

1) FARAHANI, Shahin. *ZigBee Wireless Networks and Transceivers*. Oxford: Newnes, 2008. 339 s. ISBN 978-0-7506-8393-7

2) GISLASON, Drew. *ZigBee Wireless Networking*. Oxford: Newnes, 2008. 425 s. ISBN 978-0-7506-8597-9

3) LABIOD, Houda, HOSSAM, Afifi, DE SANTIS, Constantino, *Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee and WiMAX*. Springer, 2007. 316 s. ISBN 978-1-4020-5396-2

4) ZELINKA, Tomáš, SVÍTEK, Miroslav. 1. vydání. *Telekomunikační řešení pro informační systémy síťových odvětví.* Praha: Grada Publishing a.s., 2009. 224 s. ISBN 978-80-247-3232-9

5) Macroweil, s.r.o., Dostupné z: http://www.macroweil.cz/

6) ZigBee - novinka na poli bezdrátové komunikace. Dostupné z: http://hw.cz/Rozhrani/ART1299-ZigBee---novinka-na-poli-bezdratove-komunikace.html

7) ZigBee Alliance. Dostupné z: http://www.zigbee.org/

8) Wikipedia/zigbee, Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/ZigBee

9) Zigbee – LUPA. Dostupné z: http://www.lupa.cz/clanky/zigbee/

10) Automa: ZigBee v praxi: první zkušenosti s novou bezdrátovou technikou. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=30819

11) Univerzální převodník RS-232/ZigBee - Test HW serveru. Dostupné z: http://hw.cz/Firemni-clanky/Macroweil/ART1456-Univerzalni-prevodnik-RS-232-ZigBee---Test-HW-serveru.html

12) IEEE 802.15.4. (ZigBee) OEM moduly. Dostupné z: http://www.spezial.cz/connectblue/ieee-802-15-4-zigbee-oem-moduly.html

13) ZigBee IEEE/802.15.4. RF solutions, tools and kits from TI. Dostupnéz: http://focus.ti.com/analog/docs/gencontent.tsp?familyId=367&genContentId=24190

Použité zkratky v textu

Zkratka	Anglický název	Český překlad
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Institut elektrotechnických a elektrických inženýrů
ISM	Industrial, Scientific, Medical	specifikace radiového rozsahu pro průmysl, vědu a zdravotnictví
DSSS	Direct sequence Spread Spektrum	Technika přímo rozprostřeného spektra
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access/Collision	metoda vícenásobného přístupu k fyzikálnímu médiu
MAC	Medium Access Control	Úroveň pro potvrzovanou komunikaci
FFD	Full Funcrion Device	Plně funkční zařízení v siti ZigBee
RFD	Reduced Function Device	Redukované zařízení v siti ZigBee
PHY	Physical layer	Fyzická vrstva
WPAN	Wireless Personal Area Network	Bezdrátová osobní síť
WLAN	Wireless Local Area Network	Bezdrátová lokální síť
WECA	Wireless Ethernet Compatibiliti Alliance	
SSID	Service Set Identifier	Identifikátor sady služeb

Seznam obrázků

Obr. 1 OSI model standardu ZigBee
Obr. 2 Datový rámec pro přenos informací
Obr. 3 Struktura super – rámce
Obr. 4 Topologie sítě
Obr. 5 Logo ZigBee Smart Energy
Obr. 6 CTW200
Obr. 7 Logo ZigBee Home Automation
Obr. 8 AlertMe Sensor - snímač pohybu
Obr. 9 Základní popis struktury standardu ZigBee, který je platný i pro novou verzi ZigBee PRO
Obr. 10 Ukázka sítě bluetooth
Obr. 11 Ukázka provedení WiFi sítě
Obr. 12 Práce systému WiMax
Obr. 13 Komunikace mobilního zařízení přes IrDA adaptér
Obr. 14 ZigBit AMP modul
Obr. 15 ZigBit modul se symetrickým RF výstupem
Obr. 16 ZigBit modul s dvojitou čipovou anténou
Obr. 17 Vývojový kit ZigBit 900
Obr. 18 Vývojová deska MeshBean
Obr. 19 Ukázka aplikace WSN Monitor

Seznam tabulek

Tab. 1 Přehled rádiových pásem používaných ZigBee
Tab. 2 Porovnání ZigBee s dalšími známými přenosovými bezdrátovými radiovými technologiemi
Tab. 3 Vlastnosti ZigBit modulů