

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

MINIATURIZÁCIA A ZVÝŠENIE DOSAHU MODULU
W-DMX V1.0

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. MARTIN ROJČEK

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

MINIATURIZACE A ZVÝŠENÍ DOSAHU MODULU W-DMX V1.0

MINITURIZATION AND RANGE EXTENSION OF W-DMX V1.0

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

BC. MARTIN ROJČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. VÁCLAV ŠIMEK

BRNO 2010

Zadání diplomové práce

Řešitel: **Rojček Martin, Bc.**

Obor: Počítačové systémy a sítě

Téma: **Miniaturizace a zvýšení dosahu modulu W-DMX v1.0**

Miniaturization and Range Extension of W-DMX v1.0 Module

Kategorie: Počítačové sítě

Pokyny:

1. Důkladně se seznamte s modulem pro bezdrátový přenos signálu W-DMX v1.0. Zaměřte se hlavně na jeho obvodovou realizaci.
2. Ověřte možnost zvýšení dosahu a to zejména uvnitř budov, kde je mnoho překážek. Za jednu z alternativ vezměte obvody typu "FRONT-END".
3. Zvažte potřebné změny (obvodové), které bude nutné provést, aby bylo možné systém miniaturizovat na velikost konektoru XLR. Poté navrhnete základní blokové schéma vylepšeného systému.
4. Vytvořte schéma zapojení pro celý modul W-DMX, kde se zaměřte zejména na část pro zvýšení dosahu signálu a na odstranění nedostatků první verze.
5. V návrhovém systému vytvořte desku plošného spoje v miniaturizované verzi připojitelné do konektoru XLR.
6. Demonstrujte funkčnost vylepšeného systému a porovnejte jeho parametry s původním řešením. Zhodnoťte dosažené výsledky.

Literatura:

- Dle pokynů vedoucího.

Při obhajobě semestrální části diplomového projektu je požadováno:

- Splnění bodů 1-3 zadání.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování diplomové práce naleznete na adrese

<http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/>

Technická zpráva diplomové práce musí obsahovat formulaci cíle, charakteristiku současného stavu, teoretická a odborná východiska řešených problémů a specifikaci etap, které byly vyřešeny v rámci ročníkového a semestrálního projektu (30 až 40% celkového rozsahu technické zprávy).

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

Vedoucí: **Šimek Václav, Ing., UPSY FIT VUT**

Konzultant: Polóni Pavol, Ing., UPSY FIT VUT

Datum zadání: 21. září 2009

Datum odevzdání: 26. května 2010

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta informačních technologií

Ústav počítačových systémů a sítí

602 00 Brno, Božetěchova 2



doc. Ing. Zdeněk Kotásek, CSc.

vedoucí ústavu

Miniaturizácia a zvýšenie dosahu modulu W-DMX v1.0

Prehlásenie

Prehlasujem, že som túto diplomovú prácu vypracoval samostatne pod vedením Ing. Pavla Polóniho a Ing. Václava Šimka.

Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

.....
Martin Rojček
22.05.2010

Pod'akovanie

Chcem sa poďakovať svojmu konzultantovi pánovi Ing. Pavlovi Polónimu a vedúcemu tejto diplomovej práce pánovi Ing. Václavovi Šimkovi za ústretovosť, trpezlivosť, pochopenie, usmernenie správnym smerom a mnoho dobrých rád.

© Martin Rojček, 2010

Táto práca vznikla ako školské dielo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práca je chránená autorským zákonom a jej použitie bez udelenia oprávnenia autorom je nezákonné, s výnimkou zákonom definovaných prípadov.

Abstrakt

Cieľom diplomovej práce bolo navrhnuť bezdrôtový systém, ktorý by bol primárne určený pre použitie v oblasti svetelnej techniky. Umožnil by bezdrôtové prepojenie svetelných zariadení komunikujúcich protokolom DMX512 prostredníctvom bezdrôtového transceivera nRF2401A. Vychádza z návrhu, ktorý však nebol kvôli svojim pomerne veľkým rozmerom a krátkemu dosahu prakticky použiteľný. Nedostatok krátkeho dosahu práca rieši RF zosilňovačom RF5722, pričom sa zaoberá aj jeho ďalšími možnosťami ako použitím antén s väčším ziskom, obvody typu Front-end a frekvenčným agilným protokolom založeným na preskakovaní frekvencie. Práca sa súčasne sústreďuje na minimalizáciu rozmerov modulu použitím SMD súčiastok a netriviálnych konštrukčných úprav a to so snahou umiestniť ho do konektora XLR. DPS systému je navrhnutá v prostredí Eagle.

Abstract

The aim of this master thesis is to design a wireless system which would be primarily used for a control of stage lighting. Our idea is to establish wireless links, that will carry DMX512 protocol, between individual lighting devices based on wireless transceiver nRF2401A. The foundation of our project comes from a previous design, which was not completely suitable for a practical use because of its rather large proportions and a short RF range. The project resolves the issue of relatively short range coverage through the deployment of RF amplifier RF5722. In the same time, it also takes into account other technical aspects such as the use of antennas with a higher gain, front-end circuits or increased transmission reliability through frequency hopping scheme. Proper attention is also given to a minimalization of the module dimensions by using SMD components and layout adjustments, so it would be possible to place the whole board inside XLR connector. Set of printed circuit boards with the specified characteristics, which is the expected outcome of our project, were designed with Eagle PCB design environment.

Kľúčová slová

Miniaturizácia, vstavaný systém, bezdrôtový prenos, transceiver, zvýšenie dosahu, HCS08, RF zosilňovač, DMX512, XLR, Front-end.

Keywords

Miniaturization, Embedded System, Wireless Communication, Transceiver, Range Extension, HCS08, DMX512, RF amplifier, XLR, Front-end.

Obsah

Obsah	4
1 Úvod.....	6
2 Návrh a vývoj vstavaných systémov	8
2.1 Vstavaný systém.....	8
2.2 Návrh vstavaných systémov	8
2.2.1 Špecifikácia požiadaviek	9
2.2.2 Výber vhodnej platformy	9
2.2.3 Rozdelenie hardvéru/softvéru	10
2.2.4 Návrh hardvéru	11
2.2.5 Návrh softvéru	11
3 Modul W-DMX v1.0	12
3.1 Bloková schéma W-DMX v1.0 v systéme	12
3.2 Obvodová realizácia W-DMX v1.0.....	12
3.2.1 Bezdrôtový transceiver - nRF2401A	12
3.2.2 Prevodník úrovni - MAX3075E.....	13
3.2.3 Riadiaca jednotka – HCS08GT60.....	14
3.3 Komunikácia modulu W-DMX v1.0.....	16
3.3.1 Komunikácia mikrokontroléra – rozhrania SPI a SCI	16
3.3.2 Režimy prenosu transceivera nRF2401A	17
3.3.3 Komunikácia modulu so svetelným efektom (resp. svetelným pultom) – DMX512.....	19
4 Zvýšenie dosahu bezdrôtového prenosu	22
4.1 RF zosilňovače	22
4.1.1 Zosilňovač RF5722.....	23
4.1.2 Zosilňovač UPG2301TQ	25
4.2 Antény	26
4.2.1 Parametre antén.....	26
4.2.2 Šírenie rádiového signálu.....	27
4.3 Obvody typu Front-end	29
4.3.1 Obvod RF5725 typu Front-end.....	30
4.4 Preskakovanie frekvencie (Frequency Hopping)	32
4.4.1 Frekvenčný agilný protokol pre nRF24XX	33
5 Návrh zmien modulu W-DMX v1.0	35
5.1 Miniaturizácia.....	35
5.1.1 SMD.....	35

5.1.2	Konštrukčné úpravy	36
5.2	Konektor XLR.....	36
5.3	Bloková schéma vylepšeného systému W-DMX v2.0.....	38
6	Bezdrôtové technológie.....	39
6.1	Prehľad bezdrôtových technológií	39
6.2	Modulácie a technológie súvisiace s modulom W-DMX.....	40
6.2.1	Modulácia FSK	40
6.2.2	Modulácia GFSK	41
6.2.3	Bluetooth.....	42
6.2.4	Modulácia OFDM.....	43
6.2.5	IEEE 802.11 b/g/n.....	44
7	Hardvérový návrh a oživenie modulu W-DMX v2.0 a RF zosilňovača	46
7.1	Mikrokontrolér MC9S08QE128.....	46
7.2	Bloková schéma	48
7.2.1	Obvodová schéma.....	50
7.3	Dosky plošných spojov	52
7.4	Oživenie	54
8	Softvérový návrh a testovanie modulu W-DMX v2.0 a RF zosilňovača.....	55
8.1	Softvér	55
8.1.1	Vysielanie dát.....	55
8.1.2	Prijímanie dát.....	57
8.2	Testovanie modulu	59
	Záver.....	61

1 Úvod

V súčasnosti sa veľkej obľube teší trend používania bezdrôtových zariadení, akými sú napríklad bezdrôtová klávesnica, bezdrôtová myš, bezdrôtové slúchadlá atď. Veľa vecí, ktorými sme doteraz boli „pripútaní“ k určitému systému, sa realizujú bezdrôtovo a dávajú nám relatívnu voľnosť. Navyše bezdrôtové systémy šetria zdroje (WiFi LAN namiesto množstva medených UTP káblov) a umožňujú realizovať prenos tam, kde by to bol značný problém (napr. maják na ostrove neďaleko pobrežia obsahujúci meteostanicu, ktorú potrebujeme pripojiť do siete, pretože posiela údaje o súčasnom stave počasia). Všetko má však aj svoje nevýhody. Kvôli značnému počtu bezdrôtových zariadení je potrebné počítať s ich ovplyvňovaním a rušením. Kto však vyskúšal nejakú bezdrôtovú technológiu, ktorá mu umožnila istú slobodu a komfort, sa bude len ťažko vracieť k zariadeniam pripojeným káblami.

Táto práca sa zaoberá riešením ovládania svetelnej techniky (skenery, rotačné hlavy, meniče farieb apod.), ktoré komunikujú prostredníctvom protokolu DMX512 (a sú poprepájané DMX káblami), bezdrôtovo. Určite ste videli na nejakom koncerte, festivale alebo podujatí, kde bolo množstvo audio a svetelnej techniky, koľko káblov je potrebné k prepojeniu týchto zariadení a kam sa s nimi často musia technici dostať (vysoké konštrukcie apod.). Niekedy je problém udržať v spleti káblov poriadok a tiež umiestniť ich tak, aby neprekážali. Na ich správne a vhodné prepojenie je taktiež potrebný určitý čas, ktorý by bolo možné použitím bezdrôtových modulov minimalizovať. Práve bezdrôtové riešenie by teda mohlo tieto problémy značne uľahčiť.

Druhá kapitola pojednáva o návrhu vstaveného systému všeobecne a o možnostiach, ktoré musí návrhár zohľadniť. Táto kapitola je poňatá len ako jemný úvod a nezachádza do podrobností. Snaží sa problematiku návrhu vstavaných systémov skôr naznačiť a nie ju podrobne popísať. Systém W-DMX síce nie je navrhovaný úplne od začiatku, pretože návrh sa snaží vylepšiť pôvodnú verziu modulu W-DMX v1.0 s dôrazom na jeho dosah a miniaturizáciu kvôli jeho praktickému využitiu, napriek tomu bolo potrebné opäť postupovať podľa základných bodov pri návrhu a vývoji vstaveného systému: prehodnotiť požiadavky, vybrať vhodnú platformu, rozdeliť HW/SW, navrhnuť HW a SW a nakoniec oživiť a testovať vytvorené zariadenie.

Tretia kapitola rozoberá modul W-DMX v1.0, ktorý je objektom vylepšenia – miniaturizácie a zväčšenia jeho bezdrôtového dosahu. Je tu popísané riadenie modulu, ktoré tvorí mikrokontrolér rady HCS08, transceiver nRF2401 zabezpečujúci bezdrôtový prenos, prevodník úrovni umožňujúci komunikáciu riadiacej jednotky a ovládacieho prvku svetelného efektu alebo svetelného efektu. Dôležitá je komunikácia medzi jednotlivými časťami systému (komunikácia mikrokontroléra prostredníctvom rozhraní PCI a SPI, komunikácia svetelného pultu a efektov prostredníctvom protokolu DMX512) ako aj medzi systémami navzájom (prenos prostredníctvom bezdrôtového transceivera), ktorú tu tiež približujem.

Štvrtá kapitola sa zameriava na problematiku zvýšenia dosahu bezdrôtového prenosu modulu W-DMX v1.0, hlavne na možnosti, ktoré budú pre tento modul najpravdepodobnejšie využiteľné. Sú nimi hardvérové riešenia, ako je použitie antény s väčším ziskom, zaujímavé je tiež využitie obvodu typu Front-end alebo RF zosilňovača. Zaoberal som sa tiež jednou softvérovou možnosťou a to preskakovaním frekvencie (Frequency Hopping), s ktorou súvisí frekvenčný agilný protokol pre obvody nRF24xx. Tento protokol nie je typickým príkladom preskakovania frekvencie, no má určité črty, vďaka ktorým ich môžeme spojiť do súvislosti. Ku každej teoretickej možnosti je uvedený vhodný obvod alebo praktické riešenia pre použitie v module W-DMX v2.0.

Piata kapitola obsahuje návrhy zmien modulu W-DMX v1.0, ktoré sú sústredené hlavne na miniaturizáciu systému. S tým súvisia súčiastky SMD a návrh rôznych konštrukčných úprav, ktoré budú realizované na bezdrôtovom module tak, aby mohol byť umiestnený do konektora XLR.

Konektor XLR je tu popísaný z elektrickej stránky ako aj z hľadiska rozmerov, ktoré sú pre modul W-DMX nemenej dôležité. V tejto kapitole tiež nájdete blokovú schému vylepšeného systému modulu W-DMX v1.0.

Šiesta kapitola sa venuje bezdrôtovým technológiám, ktoré súvisia s modulom W-DMX. V úvode je zhrnutý prehľad dnes najpoužívanejších bezdrôtových technológií. Ďalej sú popísané modulácie GFSK, ktorú využíva bezdrôtový transceiver, FSK, z ktorej modulácia GFSK vychádza, a modulácia OFDM, ktorú využíva použitý RF zosilňovač. Moduláciu GFSK využíva technológia Bluetooth - je blízka bezdrôtovému prenosu, ktorým komunikuje modul W-DMX; modulácia OFDM je použitá vo WiFi štandardoch 802.11 b/g/n, pre ktoré je primárne určený vybraný RF zosilňovač. To sú dôvody, prečo sú tu tieto technológie bližšie popísané.

Siedma kapitola sa sústreďuje na popis hardvérového návrhu modulu W-DMX v2.0. Popisuje mikrokontrolér, ktorý bolo vhodné vymeniť za pôvodný a použiť, blokovú a obvodovú schému modulu W-DMX v2.0 a RF zosilňovača, ako aj ich dosky plošných spojov. Nemalý dôraz je tiež kladený na priblíženie problematiky oživenia vyrobeného zariadenia.

Posledná, ôsma kapitola rozoberá softvérový návrh z hľadiska vysielania a prijímania bezdrôtového signálu, s čím súvisí režim ShockBurstTM, ktorý je základom obidvoch častí. V tejto kapitole je tiež možné nájsť podrobnejšie informácie k implementovanému softvéru modulu. Jednu z najdôležitejších častí tvorí testovanie zariadenia, ktoré odhalí, ako sa podarilo zrealizovať všetky teoretické úvahy a či systém pracuje podľa predstáv.

2 Návrh a vývoj vstavaných systémov

Vo väčšine zariadení, ale aj mnohých iných výrobkov, ktoré nás obklopujú, môžeme nájsť vstavané systémy (*embedded systems*). Ich využívanie nájdeme napríklad v automobiloch, lietadlách, domácnostiach (práčky, chladničky, televízory, apod.), lekárskeho prístrojoch, spotrebnej elektronike (fotoaparáty, videokamery, mobilné telefóny), v priemyselnej oblasti (jednotky pre automatické riadenie výroby), hračkách atď. Vstavané systémy dodávajú týmto zariadeniam potrebnú inteligenciu. Hoci si ich prítomnosť často nevedomujeme, vstavané systémy sú všade okolo nás a bez nich by sme si dnes život už nevedeli predstaviť.

2.1 Vstavaný systém

Európska strategická iniciatíva definuje *embedded* (vstavané) systémy ako kombináciu hardvéru a softvéru, ktorých zmyslom je riadiť externý proces, zariadenie alebo systém. [2]

Ďalšia definícia vstavaného systému pána Waynea Hendrixa Wolfa hovorí, že je to akékoľvek zariadenie, ktoré obsahuje programovateľný počítač, ale jeho hlavným účelom nie je byť počítačom. [3]

Dôležitou požiadavkou ďalšieho rozširovania vstavaných systémov je ich bezproblémová integrácia s okolím a zároveň potreba rešpektovania obmedzení reálneho sveta. Dôvody pre nasadenie vstavaných systémov sú:

- zvýšenie bezpečnosti
- zvýšenie spoľahlivosti
- zníženie ceny
- zníženie spotreby energie
- úspora miesta
- zaistenie požadovanej funkcie

Vstavané systémy sú umiestnené vo fyzickom prostredí a ako také sú s ním nepretržite v interakcii. Toto vyžaduje niekoľko špecifických vlastností:

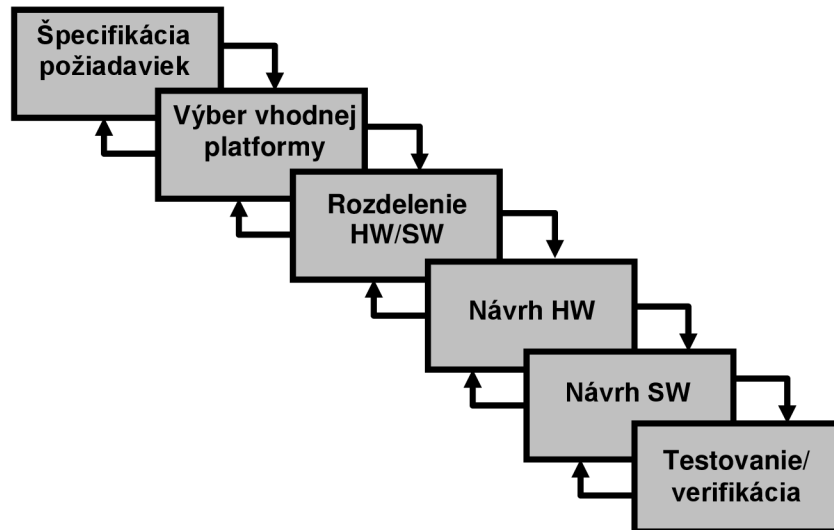
- **reaktívnosť** – sú v stálom spojení s prostredím, v ktorom sú umiestnené,
- **autonómnosť** - plnenie svojej funkcie bez ľudského zásahu na dlhšiu dobu,
- **kritickosť** - jej stupeň závisí na vplyvoch odchýlky od normálneho správania na spoľahlivé a bezpečné splnenie úlohy.

2.2 Návrh vstavaných systémov

Návrh vstavaných systémov by mal a spravidla aj prebieha v niekoľkých etapách, z ktorých každá má svoje špecifiká. V jednotlivých etapách je mnohokrát potrebné vrátiť sa k predchádzajúcej etape a prehodnotiť, poprípade zmeniť vtedy zvolený postup (je to znázornené na obrázku 1).

Postup návrhu vstavaných systémov môžeme rozdeliť na etapy:

1. špecifikácia požiadaviek,
2. výber vhodnej platformy,
3. rozdelenie hardvéru/softvéru,
4. návrh hardvéru,
5. návrh softvéru,
6. verifikácia/testovanie.



Obrázok 1: Etapy návrhu vstavaných systémov

Jednotlivé etapy nemusia prebiehať v časovom slede za sebou (napr. vracanie sa k predchádzajúcim etapám, ale aj v iných prípadoch). Niektoré etapy môžu prebiehať paralelne. Typickým príkladom je návrh softvéru a hardvéru. Napriek tomu, že etapy návrhu je možné do istej miery prispôbovať potrebám návrhárov a podmienkam pri návrhu, je predsa len dobré dodržať určitú časovú postupnosť.

2.2.1 Špecifikácia požiadaviek

Špecifikácia požiadaviek vychádza z požadovaných vlastností navrhovaného systému. Pomocou špecifikácie sa vytvorí detailnejší popis toho, čo sa chce dosiahnuť. Špecifikácia však stanovuje ako sa má systém správať a vyzerať, ale nie ako to dosiahneme.

Požiadavky môžu byť **funkčné** a **nefunkčné**. Musíme samozrejme zabezpečiť základnú funkčnosť vstavaného systému, ale funkčný popis nie je často dostačujúci. Typické nefunkčné požiadavky sú: výkon, cena, fyzická veľkosť a hmotnosť, spotreba energie.

Pre hlbší rozbor potrebných požiadaviek na systém posudzujeme ďalšie vlastnosti, ako sú: spoľahlivosť systému, životnosť, komunikačné rozhranie, užívateľské rozhranie (človek/stroj), normy a štandardy budúceho systému, vstupy systému, ošetrovanie chýb a neštandardných stavov, kapacita zariadení (koľko vstupných požiadaviek zároveň má systém spracovať), voľby/režimy/možnosti, bezpečnostné požiadavky, ďalšie (niekedy špecifické) požiadavky.

2.2.2 Výber vhodnej platformy

Na začiatku tejto časti by som rád spresnil pojmy mikrokontrolér a mikroprocesor, ktorými sa budeme zaoberať a ktoré sa často nie celkom správne chápu.

Mikroprocesor – je samostatný čip s vysokou úrovňou integrácie, ktorého jadrom je CPU (procesor – základná riadiaca a výkonná jednotka) a môže mať aj určité ďalšie jednotky (napr. cache – rýchlu vyrovnávaciu pamäť, aritmetickú jednotku v plávajúcej rádovej čiarky, pipelineovú a superskalárnu jednotku), ktoré sú dodatočne pridané a ich zámerom je rýchlejšie spracovávanie inštrukcií[4].

Mikrokontrolér - je špeciálny druh mikroprocesora pre zákaznícky špecifické koncové aplikácie. Má síce obmedzenú výpočtovú kapacitu, no má rozšírené vstupno-výstupné funkcie a počet funkčných jednotiek na čipe [4].

Mikrokontroléry majú popri procesorovom jadre integrované skoro všetky základné prvky, ktoré mikroprocesor potrebuje k funkcii: procesorové jadro, pamäť RAM, pamäť s programom, časovače, vstupno-výstupné zariadenia (I/O kontroléry). K základnej funkcii potrebujú málo, obvykle len

napájanie a zdroj hodinového signálu, obvykle vnútorný oscilátor s pripojeným vonkajším kryštálom (často býva zabudovaný menej presný vnútorný RC-oscilátor). Pre správnu funkciu mikrokontroléra je vhodné pripojiť aj resetovací obvod, aj keď mnohé mikrokontroléry ho majú už integrovaný. Návrhár musí zhodnotiť, či bude mať mikrokontrolér požadovaný výkon – bude stačiť na výpočtovú náročnosť problému (prípadne nebude príliš zložité rozhranie človek/stroj) alebo naopak, či nebude mikrokontrolér príliš zložité riešenie jednoduchého systému, pre ktorý existuje povedzme špecializovaný obvod.

Kritériá, podľa ktorých návrhár vyberie ten správny mikrokontrolér:

- **Rýchlosť** - súvisí s výpočtovým výkonom a ten samozrejme s cenou.
- **Veľkosť pamäte RAM** - požiadavky na pamäť dát.
- **Potreba pamäte ROM**
- **Architektúra pamäte** (Harvardská verzus Von Neumannovská).
- **Počet a parametre vstupov a výstupov** – od počtu vstupov a výstupov závisí aj veľkosť a prevedenie púzdra mikrokontroléra.
- **Rozhrania** – ak dopredu vieme, že budeme potrebovať isté rozhranie, je dobré keď nami vybraný mikrokontrolér bude mať jeho podporu v sebe vstavanú.
- **Napájanie** – rôzne mikrokontroléry majú rôznu spotrebu (ako ju aj rôzne riadia) energie.
- **Počet prerušení** – zväžia sa podľa asynchrónnych udalostí, ktoré treba obslužiť okamžite.
- **Faktor reálneho času** – je úzko spojený s rýchlosťou a požadovaným
- **Typ prostredia** – v ktorom sa mikrokontrolér bude nachádzať
- **Životný cyklus**
- **Schopnosti užívateľa** – ich skúsenosti idú ruka v ruke s užívateľským rozhraním
- **„Skutočné“ požiadavky**

2.2.3 Rozdelenie hardvéru/softvéru

Pri realizácii vstavaného systému vyvstáva problém, ktoré časti systému budeme riešiť hardvérovo a ktoré softvérovo. Toto niekedy býva neľahká úloha. Vo väčšine ju posudzujeme podľa toho, ktoré náklady chceme minimalizovať:

- **Minimalizácia nákladov na vývoj** – je vhodná pri výrobe malého počtu kusov. Vstavaný systém sa v tomto prípade bude realizovať z väčšej časti hardvérovo. Vyvíjať softvér pre niekoľko kusov, ktorého funkciu môže jednoducho zaistiť hotový obvod, je neefektívne. Realizácia funkcie hardvérom prináša vyšší výkon, čo je tiež faktor, podľa ktorého sa návrhár rozhoduje v otázke softvér verzus hardvér. Hardvér pracuje paralelne, čo sa dá softvérom len ťažko dosiahnuť (jedna inštrukcia v danom okamihu). Výhodou je, že hardvérové súčasti bývajú odladené a treba ich „len“ správne pospájať a softvérovo (často nie zložito) obslužiť. Na druhej strane nevýhodou je, že chyba sa opravuje ťažko a nákladne. Hardvér sa nedá jednoducho kopírovať ako softvér a treba ho zaplatiť v každom vyrobenom kuse.
- **Minimalizácia nákladov na výrobu** – sa ukáže ako vhodnou voľbou pri masovej výrobe, kde je možné ušetriť na hardvérovej podpore – použije sa mikrokontrolér s jednoduchým výkonným jadrom (a dostatočujúcou kapacitou pamäti) bez nepotrebných periférií; ušetria sa takisto obvody na doske, ktoré môže implementovať softvér. Náklady na jeho vývoj sa rozložia medzi veľký počet kusov. Spravidla sa jedná o jednorazovú investíciu, pričom vyvinutý softvér sa skopíruje príslušný počet krát. Vďaka softvérovému riešeniu sa zariadenie dá jednoducho upgradovať a tiež odstrániť chybu nie je také zložité ako pri hardvérovom riešení, kde to môže znamenať výmenu súčiastok, prípadne ich zapojenia. Avšak riziko vzniku chyby je u softvéru väčšie – hardvérové súčasti bývajú odladené, no softvér sa často musí vyvinúť celý.

2.2.4 Návrh hardvéru

K návrhu hardvéru vstavaného systému v podstate existujú dva prístupy:

- *navrhnuť vstavaný systém buď ako klasický počítačový systém s mikroprocesorom* - základom je univerzálny mikroprocesor s primeraným výkonom, pamäť a periférne obvody, ktoré vytvárajú rozhranie. Úlohou návrhára je vybrať vhodné komponenty, ich prepojenie ako aj prepojenie s okolím, či so zariadením, v ktorom sa bude vstavaný systém nachádzať.

- *navrhnuť vstavaný systém ako systém s mikrokontrolérom* - vzhľadom k tomu, že dnes existuje nepreberné množstvo mikrokontrolérov rôznych výkonov, kapacitou pamäte pre program a dáta, rôznym počtom vstupne/výstupných portov a ďalších periférií integrovaných na čipe, je to dnes najčastejší spôsob návrhu vstavaného systému. Pre mnohé riešenia stačí vybrať vhodný mikrokontrolér s vhodným príslušenstvom a vybaviť ho už len minimálnym počtom potrebných externých komponentov, aby bol schopný nami požadovanej činnosti.

2.2.5 Návrh softvéru

Princíp použitia softvéru vo vstavaných systémoch je v mnohých ohľadoch rovnaký ako softvér osobných počítačov. Hlavný rozdiel je v tom, že vstavaný softvér vyžaduje omnoho viac interakcií so systémovými hardvérovými prvkami, pritom však musí vystačiť s obmedzenými prostriedkami. Ďalšie rozdiely vstavaného softvéru a softvéru pre osobné počítače sú:

- Softvér pre vstavané systémy musí bežať v reálnom čase
- Softvér pre vstavané systémy musí pracovať s konkrétnym hardvérom, pre ktorý je vyvinutý.
- Návrh softvéru pre vstavané systémy nepočíta s podporou operačného systému

Vysoké požiadavky sa kladú na *spoľahlivosť* softvéru vo vstavaných systémoch.

Návrhár sa potrebuje rozhodnúť pre jednu z ciest návrhu softvéru podľa niekoľkých typov softvérových architektúr pre vstavané systémy, akými sú:

Všetko v jednej hlavnej slučke – testujú sa v nej vstupy prerušení a vstupných zariadení, volajú sa z nej podprogramy, ktoré implementujú všetky funkcie.

Stavový automat – softvér prechádza medzi jednotlivými stavmi automatu a v každom okamihu sa v jednom z nich nachádza. V tomto stave sú posudzované len vstupy a vykonávané len tie funkcie, ktoré sú pre tento stav irelevantné.

Sústava stavových automatov – v tomto prípade má každý proces či funkcia svoje unikátne stavy.

Inkrementálny stavový automat – každý proces vykoná pár inštrukcií toho stavu, ktorý je práve aktívny a potom odovzdá vykonávanie ďalšieho procesu.

Real-Time Operation System (RTOS) – jeho použitie sa predpokladá u naozaj zložitého vstavaného systému, kde sa vyplatí. Réžia na prevádzku operačného systému musí byť v porovnaní so softvérom zaisťujúcim aplikačnú funkciu dostatočne malá.

S návrhom softvéru úzko súvisí aj obsluha asynchrónnych udalostí. Sú to udalosti, ktorých okamžik príchodu nemožno z hľadiska vstavaného systému predvídať. Prístupy, medzi ktorými bude návrhár voliť ten vhodnejší, sú dva:

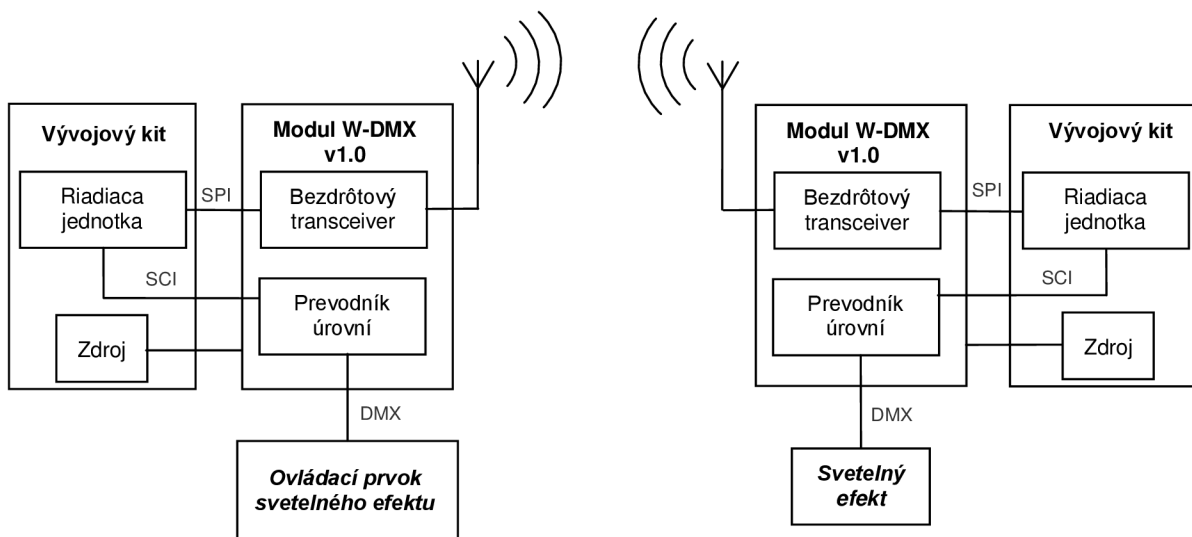
Polling – v slučke sa neustále testuje, či došlo k udalosti. Ak zistí, že áno, udalosť sa patrične obsluží. Výhodou je jednoduchosť, nevýhodou je zbytočné zaťaženie procesora, ktorý namiesto užitočnej práce pasívne čaká.

Prerušenie – tu sa naopak procesor žiadnym čakaním nezaobera. Čakanie na prerušenie zabezpečuje špeciálny hardvér – je to síce časť procesora, no tá sa však odohráva mimo jeho výkonnú časť. Keď vznikne prerušenie, program ho obsluží obslužnou rutinou, čo je softvér popisujúci reakciu na udalosť. Prerušenie môžeme považovať za hardvérovú alternatívu obsluhy asynchrónnej udalosti, polling zase za čisto softvérovú možnosť. [1]

3 Modul W-DMX v1.0

Modul W-DMX v1.0 je modul umožňujúci bezdrôtový prenos signálu prostredníctvom RF. Prenášaný signál sú dáta vo forme sériového protokolu DMX 512. Modul je určený na komunikáciu medzi ovládacím prvkom svetelných (príp. iných) efektov a samotnými svetlami.

3.1 Bloková schéma W-DMX v1.0 v systéme



Obrázok 2: Bloková schéma W-DMX v1.0

Hlavné časti modulu W-DMX v1.0 tvorí bezdrôtový transceiver a prevodník úrovni. Modul je riadený externe, pričom komunikácia prebieha prostredníctvom SCI. Aby bolo možné pripojiť modul k ovládaciemu prvku svetelného efektu alebo k svetelnému efektu, ktoré komunikujú cez DMX 512, je potrebný prevodník úrovni. Komunikácia medzi modulmi sa uskutočňuje smerom od ovládacieho prvku svetelného efektu k svetelnému efektu. Diferenciálny DMX signál sa v prvom module pretransformuje do postupnosti logických „1“ a „0“, o čo sa postará prevodník úrovni. Dáta sa spracujú riadiacou jednotkou a cez bezdrôtový transceiver, ktorý je tu v úlohe vysielача (transmittera), sa vyšlú do modulu pripojeného k svetelnému efektu. Bezdrôtový transceiver tu plní funkciu prijímača. Opäť sa o spracovanie dát postará riadiaca jednotka, ktorá ich pošle do pripojeného svetelného efektu. O to, aby prichádzajúcemu signálu svetelný efekt „rozumel“, sa opäť postará prevodník úrovni.

3.2 Obvodová realizácia W-DMX v1.0

3.2.1 Bezdrôtový transceiver - nRF2401A

Základom modulu je obvod nRF2401a. Je to jednočipový transceiver pre celosvetové pásmo 2,4 – 2,5 GHz rádiovkej skupiny ISM (Industrial, scientific and medical). Transceiver sa skladá z plne integrovaného frekvenčného syntetizátora, prúdového zosilňovača, kryštálového oscilátora a modulátora. Výstupný výkon a frekvenčné kanály sú ľahko programovateľné pomocou 3-vodičového sériového rozhrania. Odber prúdu je veľmi nízky, len 10,5mA pri vysielacom výkone o -5dBm a 18 mA v prijímacom režime. Vstavané režimy vypnutia od zdroja ešte viac uľahčujú realizáciu úspory

energie. Aplikácie, kde ho je možné použiť sú napr. bezdrôtová myš, klávesnica, joystick, diaľkové centrálné zamykanie, bezdrôtová dátová komunikácia atď.

- Jednoduchý čip GFSK transceiver v malom 24-pinovom puzdre (QFN24 5x5mm)
- Prenosová rýchlosť od 0 do 1 Mbps
- Len 2 externé komponenty
- Viackanálové operácie
 - 125 kanálov
 - Čas spínania kanálov <200μ
 - Podpora *Frequency hopping*
- Vyhľadovanie dát/taktované opätovné získavanie dát
- Výpočet adresy a CRC
- *DuoCeiver™* pre topológiu súčasného dvojitého prijímania
- *ShockBurst™* režim pre ultranízokopríkonové operácie a odstavovanie činnosti MCU
- Rozsah napájania: od 1,9 do 3,6V
- Nízky napájací prúd (TX), typicky 10,5mA špička @ -5dBm výstupný výkon
- Nízky napájací prúd (RX), typicky 18 mA špička v prijímacom režime
- 100% RF testovaný
- Bez potreby externého SAW filtru
- Použitie v celom svete [5]

Parameter	Hodnota	Jednotka
Minimálne napájacie napätie	1,9	V
Maximálny výstupný výkon	0	dBm
Maximálna rýchlosť prenosu dát	1000	Kbps
Napájací prúd pri vysielaní @ -5dBm výstupný výkon	10,5	mA
Napájací prúd v prijímacom režime	18	mA
Rozsah teplôt	od -40 do +85	°C
Citlivosť	-93	dBm
Napájací prúd v režime odpájania zdroja	400	nA

Tabuľka 1: Dôležité hodnoty transceivera nRF2401A [5].

3.2.2 Prevodník úrovni - MAX3075E

MAX3075E je druhý obvod, ktorý modul W-DMX v1.0 obsahuje. Tento obvod plní funkciu prevodníka úrovni. Totiž DMX zbernicu potrebujeme pripojiť k modulu W-DMX v1.0 a to je realizované prostredníctvom rozhrania SCI. DMX 512 ako aj modul SCI je asynchrónna sériová komunikácia. Problém je však v tom, že majú rozdielne napätové úrovne. Vývody SCI modulu pracujú s logickými úrovňami „0“ (blízka potenciálu zeme) a „1“ (blízka napájaciemu napätiu mikrokontroléra), kým DMX je diferenciálny spoj (spoj, kde sú dáta definované rozdielovým napätím medzi dvoma vodičmi).

Obvod MAX3075E je transceiver, ktorého hlavné časti sú ovládač a prijímač. Je určený pre half-duplex komunikáciu (buď len vysielanie alebo len prijímanie dát). Keď teda bude modul W-DMX pripojený k ovládacímu prvku svetelných efektov (vysielanie dát), bude v činnosti prijímač obvodu MAX3075 – na vstupoch prijme rozdielové (diferenciálne) napätie a ďalej, na svojom, výstupe pracuje s logickými hodnotami. Naopak, v prípade pripojenia modulu k svetelnému efektu (prijímanie dát) je v činnosti ovládač obvodu – logické hodnoty na vstupe pretransformuje na rozdielové napätie, cez ktoré komunikuje so svetelným efektom.

Tieto zariadenia patria k obvodom zabezpečeným proti zlyhaniu (*Fail-safe*), zaručujúce vysokú logickú hodnotu (logickú „1“) na výstupe prijímača v prípade, keď sú vstupy prijímača otvorené alebo v skrute. Výstupy prijímača sú v logickej „1“, ak sú všetky vysieláče na zbernici odpojené (vysoká impedancia). Obvod obsahuje možnosť rýchleho prepnutia bez nutnosti vypnúť zariadenie (*Hot-swap*) na elimináciu zbytočných prechodov zbernice pri zapnutí alebo vložení bez vypnutia zariadenia.

Všetky zariadenia fungujú z jediného 3,3V napájania. Ovládače sú obmedzené výstupným skratovým prúdom. Tepelné vypínanie obvodov chráni ovládače pred nadmerným stratovým výkonom. Keď je aktivovaný, tepelné vypínanie obvodov dáva výstupy ovládača do stavu vysokej impedancie. Aplikácie, v ktorých nachádza obvod MAX3075 uplatnenie, sú svetelné systémy, priemyselné riadenie, telekomunikácie, bezpečnostné systémy a prístrojová technika.

- 3,3V činnosť
- Ochrana pred elektrostatickým výbojom pre RS-485 vstupno-výstupné piny
- $\pm 15\text{kV}$ model ľudského tela
- Prijímač zabezpečený proti zlyhaniu, pretože zachováva EIA/TIA-485 kompatibilitu
- Vstupná štruktúra rýchleho prepínania bez potreby vypnúť zariadenie na \overline{DE} a \overline{RE}
- Rozšírená maximálna rýchlosť zmeny signálu (*Slew-rate*) limitujúca uľahčenie bezchybného šírenia dát
- Nízko-prúdový vypínací režim
- Povoľuje až 256 transceiverov na zbernici
- K dispozícii v priemyslovo-štandardných 8-pinových SO puzdrách [6]

Parameter	Hodnota	Jednotka
Napájacie napätie (V_{CC})	+6	V
Napätie riadiaceho vstupu (\overline{RE} , DE, SLR, H/\overline{F} , TXP, RXP)	-0,3 do +6	V
Napätie vstupu ovládača (DI)	-0,3 do +6	V
Napätie výstupu ovládača (Z, Y, A, B)	-8 do +13	V
Napätie vstupu prijímača (A, B)	-8 do +13	V
Napätie výstupu prijímača (RO)	-0,3 do ($V_{CC} + 0,3$)	V
Výstupný prúd ovládača	± 250	mA
Rozsah teplôt	od -40 do +85	$^{\circ}\text{C}$

Tabuľka 2: Dôležité hodnoty prevodníka úrovni MAX3075E [6]

3.2.3 Riadiaca jednotka – HCS08GT60

Mikrokontrolér MC9S08GT patrí do skupiny lacných, veľmi výkonných 8-bitových mikrokontrolérov (MCUs) rodiny HCS08. Všetky mikrokontroléry tejto rodiny používajú rozšírené jadro HCS08 a sú dostupné s rôznymi variantmi modulov, veľkostí pamäte, typov pamäte a typov puzdier.

Všeobecné vlastnosti rodiny HCS08:

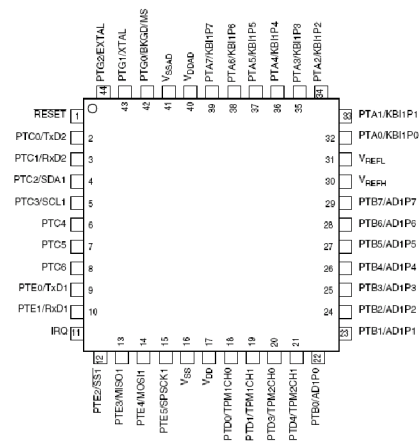
- 40-MHz HCS08 CPU (central processor unit)
- HCS08 inštrukčná sada s pridanými BGND inštrukciami
- Systém ladenia programu na pozadí
- Schopnosť dočasného zastavenia (breakpoint) umožňuje jednoduché nastavenie tohto zastavenia počas ladenia obvodu (plus ďalšie dva breakpointy v module ladenia na čípe)
- Ladiaci modul obsahuje dva komparátory a deväť spúšťacích módov. Osem inteligentných front pre ukladanie zmeny toku adresy a dáta vzniknuté len pri udalosti. Ladiaci modul podporuje dvojité značku a platnosť breakpointov.

- Podpora až 32 zdrojov prerušenia/resetov
- Módy úspory energie: Wait + 3 stop módy
- Ochrana systému:
 - Voliteľný reset modulu správneho behu programu (*Watchdog*)
 - Detekcia nízkeho napätia s resetom alebo prerušením
 - Detekcia nepovoleného opcodu s resetom
 - Detekcia nepovolenej adresy s resetom (niektoré zariadenia nemajú nepovolené adresy)

Vlastnosti mikrokontrolérov série MC9S08GT:

- Súčasťou obvodu programovacia pamäť FLASH na čipe s blokom možnosti ochrany a zabezpečenia
- RAM na čipe
- 8-kanálový, 10-bitový analógovo číslicový prevodník (*ATD – Analog-to-digital*)
- Dva moduly sériového komunikačného rozhrania (*SCI – Serial Communications Interface*)
- Modul sériového periférneho rozhrania (*SPI – Serial Peripheral Interface*)
- Viac možností zdroja taktu:
 - Vnútorne generovaný takt s $\pm 0,2\%$ rozlíšenia hrany $\pm 0,5\%$ odchýlka medzi napätiami
 - Kryštál
 - Rezonátor
 - Externé hodiny
- Modul prepojenia medzi integrovanými obvodmi (*IIC – Inter-integrated Circuit*) pracujúci až do 100kbps
- Jeden 3-kanálový a jeden 5-kanálový 16-bitový časovač/pulzne šírkový modulátor (*TPM – Timer/Pulse Width Modulator*) s voliteľným zachytením vstupu, porovnaním výstupu a možnosť zarovnanie na hranu PWM na každom kanály. Každý modul časovača môže byť konfigurovaný pre bufrovaný, centrováný PWM (CPWM) na každý kanál (*TPMx*).
- 8-pinový modul klávesnicového prerušenia (*KBI – Keyboard Interrupt Module*)
- 16 pinov umožňujúcich vysoký prúd
- Softvér voliteľne pripojujúci na „1“ porty zapojené ako vstup. Výber je závislý na jednotlivých port bitoch. Pri výstupnom režime je pripájanie na „1“ vypnuté.
- Vnútorne pripojenie na „1“ pri *RESET* a IRQ pin na redukciu ceny užívateľského systému
- Až 56 univerzálnych vstupných/výstupných pinov, v závislosti na vybratom púzdre [7]

Pre modul W-DMX v1.0 je použité 44-pinové púzdro QFP (*Quad Flat Package*):



Obrázok 3: Púzdro QFP [7]

Poznámky:

1. Piny portov sú softvérovo konfigurovateľné s Pull-up zariadením, ak sa jedná o vstupný port.
2. Pin obsahuje softvérovo konfigurovateľné Pull-up/Pull-down pripojené zariadenie ak je povolené IRQ (IRQPE = 1).
3. IRQ nemá upínaciu diódu pripojenú na V_{DD} . IRQ by nemal byť riadený V_{DD} .
4. Pin obsahuje integrované Pull-up zariadenia.
5. Vysoký prúd.
6. PTC[6:5] nie sú k dispozícii na 42-pinovom SDIP puzdre.
7. Piny[7:4] obsahujú tak Pull-up ako aj Pull-down zariadenia. Pull-down sú k dispozícii, keď je povolené KBI (KBIPn = 1).
8. Iba dva kanály pre časovač na TPM, sú spojené. Všetky kanály sú k dispozícii pre použitie na softvérové porovnanie. [7]

3.3 Komunikácia modulu W-DMX v1.0

V tejto podkapitole by som chcel len zhrnúť ako medzi sebou jednotlivé časti modulu W-DMX v1.0 komunikujú, pripomenúť komunikáciu medzi modulmi, no hlavne sa sústrediť na priblíženie prenosu transceivera nRF2401A a protokolu DMX512, cez ktorý modul komunikuje s koncovými zariadeniami – svetelným pultom a svetelnými efektmi. Komunikácia medzi modulmi prebieha vzduchom prostredníctvom bezdrôtového signálu a má jednosmerný charakter. Totiž dáta sú posielané len od ovládacieho prvku svetelných efektov k svetelnému efektu. Riadiaca jednotka (MCU) potrebuje pre ovládanie a riadenie externých obvodov komunikovať obojsmerne. Z ovládacieho prvku svetelných efektov je signál prenášaný protokolom DMX. Kvôli tomu, aby si ovládacie zariadenie svetelných efektov „rozumelo“ s mikrokontrolérom, je potrebný prevodník úrovni (bližšie informácie o tejto problematike v kapitole o ňom). Mikrokontrolér komunikuje s prevodníkom úrovni cez SCI a prostredníctvom SPI posielajú dáta do transceivera. Ten sa postará o prenesenie dát bezdrôtovo k prijímaciemu modulu W-DMX, ktorý ich spracuje zrkadlovo ako tomu bolo naproti vysielačiemu modulu.

3.3.1 Komunikácia mikrokontroléra – rozhrania SPI a SCI

Tieto rozhrania uvádzam len pre úplnosť a nebudem sa nimi detailne zaoberať, pretože sú kvôli svojej jednoduchosti používané v množstve rôznych systémov a v hardvérovej oblasti dobre známe.

Rozhranie SCI

SCI (*Serial Communications Interface*) je sériové asynchrónne rozhranie, kde činnosť vysielača a prijímača nie je synchronizovaná hodinovým signálom, ale uzavretím dát medzi rámcami tzv. štart a stop bitov, dôležité je dodržanie presnej prenosovej rýchlosti jedného bitu. V kľudovom stave je signál v logickej úrovni 1. Prenos začína príchodom štart bitu (preklopením do logickej úrovne 0). Potom je vyslaný určitý počet dátových bitov (napr. 8, teda 1B) a prípadne paritný bit. Celý rámec je uzavretý jedným alebo dvoma stop bitmi [28].

Rozhranie SPI

SPI (*Serial Peripheral Interface*) predstavuje jednu z foriem sériových rozhraní (je synchronne) slúžiacich pre vzájomné prepojenie dvoch či viacerých komunikujúcich uzlov, pričom jeden uzol obvykle vystupuje v roli tzv. radiča zbernice (*master*) a ostatné uzly pracujú v režime *slave*. Uzol, ktorý pracuje ako *master* obsahuje generátor hodinového signálu, ktorý je rozvedený do všetkých ostatných uzlov, čím je umožnená úplne synchronný (navyše ešte obojsmerný) prenos dát. Hodinový

signál je rozvádzaný vodičom označovaným symbolom *SCK*. Okrem vodiča s hodinovým signálom sú uzly prepojené dvojicou vodičov označovaných väčšinou symbolmi *MISO* (*Master In, Slave Out*) a *MOSI* (*Master Out, Slave In*), pomocou ktorých sa obojsmerne (*full duplex*) prenášajú dáta. Posledným signálom, ktorý sa u tohto rozhrania používa, je signál *SSEL* (*Slave Select*), ktorý slúži – ako už jeho názov napovedá – pre výber uzlu pracujúceho v režime *slave* [27].

3.3.2 Režimy prenosu transceivera nRF2401A

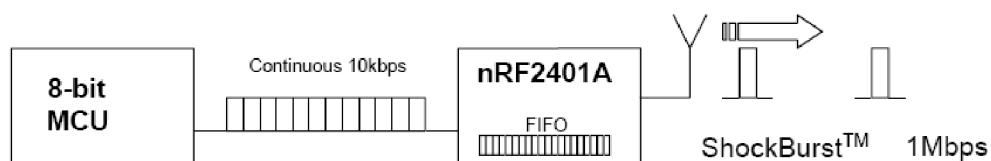
Obvod nRF2401A ponúka 2 aktívne (RX/TX) módy prenosu. Funkčnosť obvodu v danom móde je špecifikovaná tzv. **konfiguračným slovom**.

- ShockBurst™
- Direct Mode

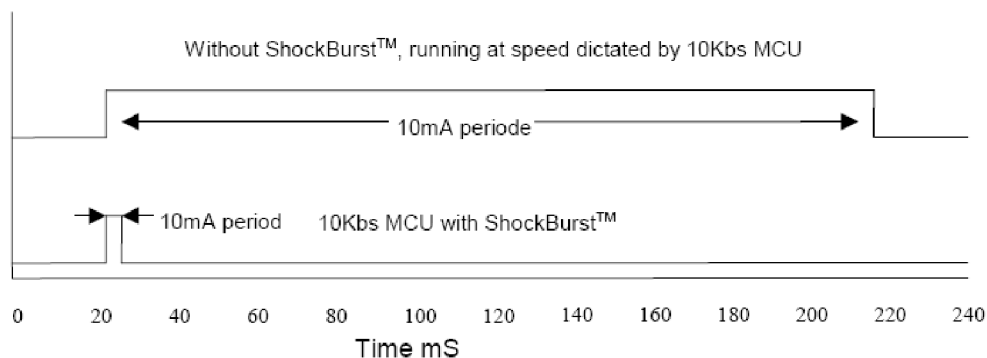
3.3.2.1 ShockBurst™

Technológia *ShockBurst™* používa FIFO pamäť na čípe na nahranie dát malou rýchlosťou a ich bezdrôtový prenos naopak veľkou rýchlosťou, čo zabezpečí veľkú úsporu z energie potrebnej na prenos pomalých dátových tokov. Vďaka tejto technológii je možné prenášať dáta rýchlosťou 1Mbps a nie je potrebné mať drahý a rýchly MCU. Navyše, tým že relatívne pomalý dátový tok sa prenáša „vo vzduchu“ rýchlejšie, znižuje sa tým pravdepodobnosť kolízie, pretože sa redukuje doba potrebná na bezdrôtový prenos.

nRF2401A je programovaný pomocou 3-vodičového rozhrania (SPI), kde dátová rýchlosť je dedikovaná MCU [5].



Obrázok 4: Príklad posielania dát technológiou ShockBurst™ [5]



Obrázok 5: Prúdová spotreba s a bez technológie ShockBurst™ [5]

Konfigurácia v móde ShockBurst™

Konfiguračné slovo zapína nRF do módu, aby sa staral o spracovanie RF protokolu (*preamble*, adresa, CRC). Konfiguračné slovo určuje:

- Veľkosť užitočných dát v bitoch (potrebná pre rozoznanie dátovej časti a CRC v pakete).
- Šírku adresy (potrebná na rozoznanie dátovej časti od adresovej).
- Zapnutie generovanie CRC v obvode nRF.

3.3.2.2 Direct Mode

V tomto móde funguje obvod nRF2401A ako tradičné RF zariadenie. Dáta musia byť prenášané presne rýchlosťou 1Mbps \pm 200ppm, alebo 250kbps \pm 200.

Pri vysielaní dát je celá časť RF protokolu implementovaná v MCU:

- preamble,
- adresa,
- CRC.

Príjem dát je opäť o niečo jednoduchší, v MCU musíme implementovať:

- kontrolu adresy,
- kontrolu CRC.

Konfigurácia v Direct Mode

V tomto prípade sú relevantné len prvé dva bajty (0:15b) ktoré určujú základnú konfiguráciu obvodu nRF. Z konfiguračného slova stojí za zmienku prvý bajt (0:7b), ktorý je možné po nakonfigurovaní obvodu nRF poslať samostatne a to za účelom zmeny módu vysielania resp. prijímania a na rýchle preskakovanie frekvencie, t.j. podpora pre *Frequency Hopping* [24].

RF_CH#							RXEN
7	6	5	4	3	2	1	0

Tabuľka 3: Frekvenčný kanál a nastavenie RX/TX [5]

Výsledná frekvencia na ktorej sa bude prenášať daný kanál je daná výrazom:

$$Channel_{RF} = 2400MHz + RF_{CH\#} \times 1 MHz \quad [5]$$

Formát nRF paketu vyzerá nasledovne:

PRE-AMBLE	ADDRESS	PAYLOAD	CRC
-----------	---------	---------	-----

Obrázok 6: Formát nRF paketu [5]

PRE-AMBLE – toto pole je požadované v režime *ShockBurst*TM ako aj v Direct Mode. Má dĺžku 8 bitov. Toto pole je automaticky pridávané do dátových paketov a takto sa necháva extra priestor pre pole „Payload“. V Direct móde musí mikrokontrolér časť „Pre-ambly“ spracovať. V režime *ShockBurst*TM RX je toto pole odstránené z prijímaných výstupných dát, v Direct móde je transparentný pre výstupné dáta.

ADRESS – adresné pole je požadované v režime *ShockBurst*TM. Dĺžka je 8 až 40 bitov. Adresa sa automaticky odstráni z prijímaných dát v režime *ShockBurst*TM. V Direct móde sa adresa musí uchovať.

PAYLOAD – prenášané dáta. V režime *ShockBurst*TM je veľkosť prenášaných dát 256 – (adresa: 8 – 40 bitov + CRC 8 alebo 16 bitov). V Direct móde je maximálna veľkosť paketu pre 1Mbps 4000 bitov (4ms).

CRC – je voliteľné pole v režime *ShockBurst*TM a nie je používané v Direct móde. Jeho dĺžka je 8 alebo 16 bitov. CRC sa odstráni z prijímaných výstupných dát *ShockBurst*TM RX [5].

3.3.3 Komunikácia modulu so svetelným efektom (resp. svetelným pultom) – DMX512

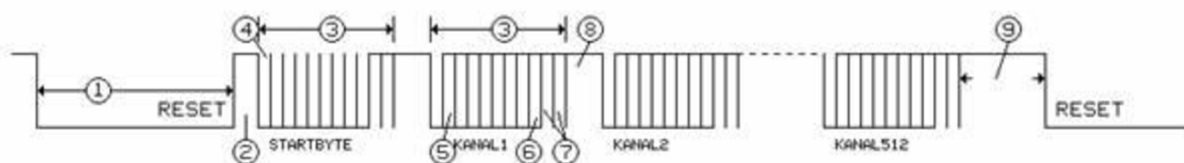
DMX512 je protokol navrhnutý inštitútom USITT v roku 1986 pre riadenie svetelnej techniky. Mal nahradiť do tej doby používané analógové zariadenia, kde ako riadiaca veličina slúžila konkrétna hodnota napätia na riadiacom kábli. S tým bolo spojené hneď niekoľko problémov: pre každý riadený vstup bol potrebný jeden vodič, navyše nebola vždy presne daná riadiaca veličina, pretože vplyvom výrobných tolerancií mohli rôzne zariadenia chápať či vydávať mierne odlišné povely. Tiež analógový prenos bol samozrejme náchylnejší na rušenie. Základom protokolu DMX512 je jeho elektrická špecifikácia. Tá vychádza z osvedčeného priemyslového štandardu EIA485 (skôr označeného RS-485), a vzhľadom k používaniu tohto štandardu v priemysle sú i technické prostriedky pre jeho implementáciu lacné a prispôbené pre náročné podmienky.

Technická špecifikácia EIA485:

- Diferenciálny (symetrický) napät'ový prenos po krútenej dvojlinke so schopnosťou pracovať od napájacieho napätia +5V.
- Rozsah prípustného napätia na zbernici od -7V do +12V
- Možnosť pripojenia až 32 prijímačov v jednom segmente (existujú budiče umožňujúce použiť až 256 prijímačov)
- Impedančné prispôsobenie linky – odporom (terminátor) 120Ω
- Minimálna zaťažovacia impedancia vysielača je 60Ω
- Maximálny skratový prúd vysielača je 150mA proti zemi, 250mA proti 12V
- Maximálna dĺžka kábla je 4000 stôp (približne 1200m) pri prenosovej rýchlosti max. 400kBit/s
- Počet segmentov nie je limitovaný
- Budič musí byť schopný dodať na zbernici rozdielové vstupné napätie od 1,5 do 5V
- Budič musí mať ochranu pre prípad, že by sa viac budičov pokúšalo vysielať na zbernicu.
- Prijímač by mal mať minimálnu vstupnú impedanciu 12kΩ
- Prijímač musí mať minimálnu vstupnú citlivosť ±200mV
- Toto všetko musí byť prijímač schopný spracovať i pri súhlasnom jednosmernom napätí na zbernici od -7V do +12V

Dátový formát DMX512

Prenosová rýchlosť protokolu DMX512 bola stanovená na 250kBit/s. Dáta sú po zbernici posielané *sériovo* a ako názov napovedá, paketom obsahujúcim maximálne 512 dátových bajtov. Po zbernici sa posielajú iba dáta bez adresy. Každé zariadenie má nastavenú svoju vlastnú počiatočnú adresu a od tejto adresy prečíta požadovaný počet bajtov. Počiatočná adresa môže teda nadobúdať hodnotu 0 až 511. Ak teda budú mať dva rovnaké zariadenia rovnakú adresu, budú tiež na posielané povely reagovať spoločne. Tak možno pripojiť ku zbernici i viac zariadení – za predpokladu, že bude ich funkcia spoločná.



Obrázok 7: Časový diagram prenosu jedného dátového paketu v protokole DMX512

č.	Popis	Min.	Typ.	Max.	Jednotky
1	Break (Reset)	88	88		us
2	MAB (synchronizačná medzera)	8	-	1s	us
3	Rámec	43,12	44,0	44,48	us
4	Start bit	3,92	4,0	4,08	us
5	LSB (prvý dátový bit)	3,92	4,0	4,08	us
6	MSB (posledný dátový bit)	3,92	4,0	4,08	us
7	Stop bit	3,92	4,0	4,08	us
8	MTBF (medzera medzi rámcami)	0	0	1,00	s
9	MTBP (medzera medzi paketmi)	0	0	1,00	s

Tabuľka 4: Prehľad časovania protokolu DMX512/1998

Prenos je realizovaný asynchrónne a jeho začiatok je synchronizovaný nulovou úrovňou „Break“ (Reset), ktorá musí trvať najmenej 88us, a nasledujúcou synchronizačnou medzerou MAB (Mark After Break) s vysokou úrovňou a minimálnou dĺžkou trvania 8us. Ďalej nasleduje prvý poslaný rámec (*start code*) a za ním ostatných 512 dátových rámcov. Každý rámec (prenesený bajt) sa skladá z jedného štart bitu, ôsmich dátových bitov bez parity a dvoch stop bitov. Medzi jednotlivými rámcami môžu byť medzery MTBF (Mark Time Between Frames) a MTBP (Mark Time Between Paket) v trvaní najviac 1s.

Z prenosovej rýchlosti 250kBit/s vyplývajú nasledujúce časové údaje: Doba trvania jedného bitu je 4us a dátového rámca 44us (11 bitov). Celý prenos s celkovým počtom 512 dátových bajtov má dĺžku trvania danou nasledujúcim vzťahom:

$$\text{Break} + \text{MAB} + (1 + 512) \times \text{rámec} = 88 + 8 + 513 \times 44 = 22\,668\text{us}$$

Z toho vyplýva najvyššia opakovacia frekvencia približne 44,12Hz pri plnom využití zbernice.

Ďalšie stavy, ktoré sa môžu na zbernici objaviť, sú dlhodobý výskyt vysokej alebo nízkej úrovne. Ak je dlhšia ako 1s, je stav vyhodnotený ako strata signálu. Reakcia na tento stav je ponechaná na ľubovoľnom výrobcovi. Často zariadenia zotrávajú v naposledy nastavenej pozícii, niekedy sa resetujú [25].

Diferenciálny prenos

RS485, z ktorého vychádza špecifikácia DMX512, používa pre každý signál jeden krútený pár (twistedpair, TP), t.j. dva vodiče zmotané okolo seba. Z elektrického hľadiska hovoríme o tzv. *Balanced Data Transmission* (alebo tiež *Differential Voltage Transmission*). Laicky povedané, ak si označíme jeden vodič z TP ako A a druhý B, potom ak je signál neaktívny, je napätie A záporné a na B kladné. V opačnom prípade, signál je aktívny, je A kladné a B záporné. Pochopiteľne sa jedná o rozdiel (diferenciu) medzi vodičmi A a B. Do prenosového vedenia sa indukujú šum a rušenie. Pretože je však signál prenášaný krúteným párom vodičov idúcich rovnakou trasou, je napätová diferenciacia (rozdiel medzi A a B) tohto rušenia takmer nulová. Vzhľadom k diferenciálnej funkcii

prijímača je toto rušenie eliminované. Platí to tiež pre presluchy zo susedných vodičov, a pre akékoľvek iné zdroje šumu, pokiaľ nie sú prekročené napätové hranice vstupných obvodov prijímacieho IO. Diferenciálny vstup tiež eliminuje rozdiel zemných potenciálov vysieláča a prijímača. Táto vlastnosť je veľmi dôležitá pre komunikáciu medzi rôznorodými systémami, kde by inak vznikali veľké problémy napr. pre rôzne zdroje napájacích napätí atď.. Použitie krúteného páru káblov a korektná terminácia (pre eliminovanie odrazov) dovoľuje rýchlosť prenosu dát väčšia než 10Mbit/s a dĺžka káblov až 1Km.

Všetky tieto výhody prinášajú i niektoré nevýhody. Z dôvodu vyššej zložitosti obvodov pre RS485 je vyššia je i ich cena. Vyššie rýchlosti prenosu dát vyžaduje korektné zapojenie a prispôsobenú termináciu vedenia, čo spôsobuje problém u zapojenia, kde sa mení počet pripojených zariadení. A na koniec nutnosť použiť párové krútené vodiče [26].

Podľa normy 512/1998 je štandardný konektor päťpinový XLR, kde je zásuvka na strane vysieláča a vidlica na strane prijímača, avšak v praxi sa používa vo väčšine prípadov trojpinová verzia konektoru XLR [25].

4 Zvýšenie dosahu bezdrôtového prenosu

Keďže modul W-DMX v1.0 nemal v konečnom dôsledku potrebný dosah, je potrebné zamyslieť sa nad jeho zvýšením. Možností, ako to realizovať, je hneď niekoľko. V tejto kapitole sa budem venovať tým, ktoré by v našom prípade boli možné využiť.

4.1 RF zosilňovače

RF zosilňovač je typ elektrického zosilňovača používaný na prevádzanie rádiov-frekvenčného signálu s nízkym výkonom na silnejší signál väčšieho výkonu. Typicky sa používa pre zosilnenie energie antény vysielateľa. Zvyčajne sú optimalizované tak, že majú vysokú účinnosť, výstupnú kompresiu s vysokým výkonom, dobrý parameter strát odrazmi na vstupe i výstupe, dobrý zisk a optimálne rozptýlenie tepla.

Sú to zariadenia s vysokým výkonom a vysokým ziskom umožňujúce vysoký výkon na výstupe, pričom vyžadujú len veľmi malú RF energiu, ktorú produkuje každý bežný generátor signálu. Vďaka tomuto je RF zosilňovač (alebo sústava zosilňovačov) všeobecne známy, hoci je to nepresné, ako „zdroj RF“ alebo niekedy ako „vysielač“.

Základné aplikácie RF zosilňovačov zahŕňajú budiče ďalších vysoko-výkonových zdrojov, budenie vysielacej antény, mikrovlnné ohrievanie a budenie rezonančných dutinových štruktúr. Vďaka stále rastúcej a rozvíjajúcej sa oblasti komunikácií a informačných technológií je z týchto aplikácií dobre známe najmä budenie vysielacej antény. Mikrovlnný alebo tiež RF ohrev je priemyselná aplikácia, ktorú všetci poznáme z našich domácností vo forme mikrovlnnej rúry. Budenie dutinových rezonátorov je používané hlavne vo výskumných laboratóriách a priemyselných aplikáciách RF zdrojov. RF zosilňovače tiež značne využívajú urýchľovače častíc.

Frekvencia, pri ktorej sa dosahuje najvyšší zisk v rádiov-frekvenčných (RF) zosilňovačoch, je rôzna v závislosti na kapacitnom alebo indukčnom ladenom obvode. Typickou aplikáciou je zosilnenie signálu prijímaného anténou pred tým, ako sa zmieša so signálom z lokálneho oscilátora v prvom demodulátore rádiového prijímača.

RF zosilňovač sa vyznačuje schopnosťou preladovať v požadovanom rozsahu vstupných frekvencií. Veľkosť zisku RF zosilňovača je vždy obmedzená veľkosťou rádiových frekvencií [14].

Typický rádiov-frekvenčný zosilňovač poskytuje zisk v rozsahu 10-30db (asi 10 až 1000 násobné zosilnenie). RF zosilňovač musí vytvárať čo najmenší šum, aký je možný, pretože každý šum ďalej degraduje hodnotu odstup signál-šum. Napriek tomu, že sa určité problémy objavujú skôr pri viac ako jednom stupni, prijímače majú často dva alebo viac RF stupňov produkujúcich vysokú citlivosť a nízky šum. RF zosilnenie nie je využívané v niekoľkých nízkofrekvenčných pásmach vzhľadom k tomu, že šum v prijímaných signáloch je tak veľký, že RF zosilňovač by mohol negatívne ovplyvniť odstup signál-šum[15].

RF zosilňovače, ktoré budú vhodné pre použitie na zosilnenie bezdrôtového signálu modulu W-DMX v1.0 sú RF5722 od firmy RFMD a UPG2301TQ. Vhodnosť ich použitia je daná požadovanou funkciou, parametrami, rozmermi a v neposlednom rade cenou. UPG2301TQ sa (aj vďaka svojím miniatúrnym rozmerom) používa pre rôzne bezdrôtové zariadenia využívajúce bluetooth a tiež v zariadeniach funkciou podobných modulu W-DMX v1.0. Tento zosilňovač pracuje s rovnakou moduláciou ako bezdrôtový transceiver nRF2401A (modulácia GFSK), preto by sa dala predpokladať

jeho bezproblémová funkčnosť v spolupráci s modulom W-DMX. Zosilňovač RF5722 je určený pre WiFi aplikácie (IEEE 802.11b/g/n), to znamená použitie inej modulácie (modulácia OFDM) a tým pádom môže byť komunikácia tohto zosilňovača s modulom W-DMX problematickejšia. V tomto smere je lepšou možnosťou použitie UPG2301TQ, avšak z hľadiska dostupnosti je prijateľnejší zosilňovač RF5722.

4.1.1 Zosilňovač RF5722

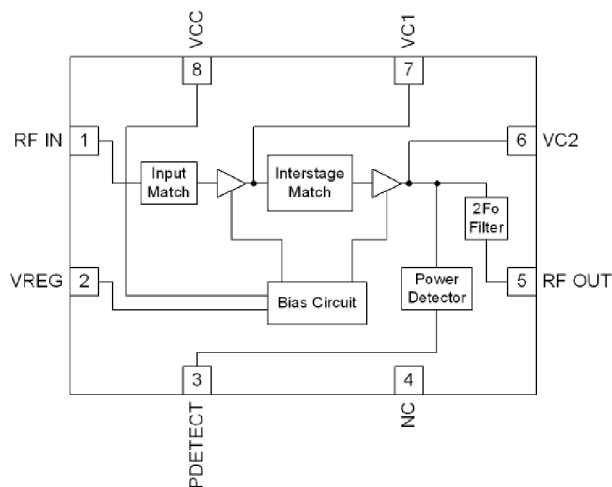
RF5722 je lineárny, vysoko-efektívny, dvojstupňový integrovaný obvod zosilňovača stredného výkonu špeciálne navrhnutého pre batériami napájané WLAN aplikácie ako sú počítačové karty, mini PCI a kompaktné FLASH aplikácie. Zariadenie je vyrábané na modernom InGaP gáliovo arzenidovom procese s bipolárnymi tranzistormi. Bol navrhnutý pre použitie ako koncový RF zosilňovač v pásme 2,5GHz s moduláciou OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) a pre vysielače využívajúce rozprestrené spektrum. Zariadenie je poskytované v 2,2mm x 2,2mm 8-pinovom QFN púzdre s plôškou v spodnej časti, ktorú tvorí zem. RF5722 je navrhnutý pre zachovanie linearity v širokom pásme napájacích napätí a výstupných výkonov. RF5722 má tiež vstavaný detektor výkonu a pripája vstup a komponenty jednotlivých stupňov vo vnútri, čím redukuje počet komponent inak potrebných externe a tak zjednodušuje začlenenie do ďalšieho návrhu.

Vlastnosti:

- Jednotné napájanie od 3,0 do 3,6V
- Minimálny zisk 24dB
- Vstup a výstup prispôsobený do 50Ω
- Frekvenčný rozsah od 2400MHz do 2500MHz
- +18dBm pri <2,5% typ EVM, 120mA pri 3,3V_{CC}

Aplikácie:

- IEEE802.11b/g/n WLAN
- Aplikácie v pásme 2,5GHz
- Komerčné a spotrebiteľské systémy
- Prenosné batériami napájané zariadenia
- Systémy s rozprestreným spektrom a MMDS systémy (*Multichannel Multipoint Distribution System*), po slovensky viacnásobné a viacbodové distribučné systémy



Obrázok 8: Vnútorná bloková schéma

Pin	Označenie	Jednotka
1	RF IN	RF vstup. Vstup je prispôsobený do 50Ω a DC blok je prevedený interne.
2	VREG	Prednastavovacie riadiace napätie pre prvý a druhý zosilňovací stupeň.
3	PDETECT	Detektor výkonu, ktorý prispôsobuje výstupné napätie úmerne výstupnému RF výkonovému stupňu. Môže potrebovať externý blokovací kondenzátor kvôli stabilite. Môže potrebovať externý obvod pre pripojenie výstupného napätia k požadovanému stupňu.
4	GND	Zem.
5	RF OUT	RF výstup.
6	VC2	Napájacie napätie pre druhý zosilňovací stupeň.
7	VC1	Napájacie napätie pre prvý zosilňovací stupeň.
8	VCC	Napájacie napätie pre prednastavovací referenčný a riadiaci obvod. Môže byť prepojený s V_{C1} a V_{C2} (s jediným napájacím napätím) dovedy, kým V_{CC} neprevýši v tomto zapojení hodnotu +4,5V _{DC} .
Pkg Base	GND	Stred kovovej spodnej časti púzdra QFN poskytuje tak DC a RF zem, ako aj chladič pre zosilňovač.

Tabuľka 5: Zapojenie a funkcia pinov obvodu RF5722

RF5722 je určený predovšetkým pre aplikácie WLAN, kde IEEE802.11b/g/n má k dispozícii obmedzené napájacie napätia a prúd. Tento zosilňovač bude pracovať do (a tiež pod) najmenšieho predpokladaného napätia, ktoré je k dispozícii typicky z PCMCIA slotu v notebooku, a bude si udržiavať požadovanú linearitu pri poklese napájacieho napätia.

RF5722 vyžaduje jediné pozitívne nominálne napájanie 3,3V (alebo väčšie) na úplné fungovanie podľa špecifikácie. Reguláciu výkonu umožňuje jeden prednastavovací vstupný pin (V_{REG}). Jednosmerné blokovacie uzávery sú umiestnené interne a odporúčaná doska plošných spojov je optimalizovaná pre 3,3V_{DC} aplikácie.

Pre čo najlepší výsledok by mala byť vrstva obvodu zosilňovača napodobnená podľa odporúčanej ako to len bude možné, obzvlášť vrstva zeme a prekovenia zeme. Pin 4 musí ostať ako nepripojený na doske plošných spojov, aby zosilňovač pracoval správne. V inej konfigurácii môže obvod taktiež fungovať, ale návrhový proces je omnoho jednoduchší a rýchlejší, ak je vrstva napodobená z doporučenej dosky RF5722. Zosilňovač RF5722 tvorí veľmi jednoduchú časť návrhu na implementáciu, ale pozornosť pri obvodovom prevedení a výbere komponent je pri návrhu obvodov pracujúcich na 2,5GHz vždy potrebná. Doporučená doska a schéma obvodu RF5722 používa veľkosť súčiastok 0201, ktoré pomôžu zmenšiť celkovú veľkosť celej plochy zosilňovača a komponent plánovaného návrhu.

Parameter	Hodnota	Jednotka
Frekvencia	od 2,4 do 2,5	GHz
Napájacie napätie	3,0 do 3,6 (Typ. 3,3)	V _{DC}
Výstupný výkon	Min. 17 (Typ. 18)	dBm
Zisk	Min. 24 (Typ. 25,5)	dB
Kolísanie zisku	Max. 1,25	±dB
Operačný prúd pri +18dBm RF P _{OUT} a 54Mbps	120 (Max. 160)	mA
Operačný prúd 11b pri 20dBm a 1Mbps	Max. 175	mA
Prúd I _{REG} pri V _{CC} = +3,3V _{DC}	2	mA
Vstupné napätie V _{REG1} , V _{REG2}	Od 2,75 do 2,9 (Typ. 2,85)	V _{DC}
Vstupný útlm	-15 (Max. -10)	dB

Tabuľka 6: Vlastnosti obvodu RF5722

Pre čo najlepší výkon je dôležité, aby sa čo najviac napodobila (čo najpodobnejšie ako sa dá) vrstva odporúčenej dosky. RF5722 bol primárne charakterizovaný napätím $2,8V_{DC}$ na $V_{REG}[17]$.

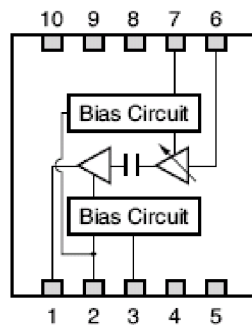
4.1.2 Zosilňovač UPG2301TQ

Tento obvod je pre nás zaujímavý z hľadiska jeho širokej používateľnosti medzi návrhármi bezdrôtových systémov v rôznych aplikáciách, teda sa jedná o odskúšaný a overený produkt. Druhé hľadisko, ktoré presvedčuje o vhodnosti tohto obvodu ako správnej voľby pre výber potenciálneho zosilňovača modulu W-DMX v1.0 sú jeho miniatúrne rozmery.

Parameter	Hodnota	Jednotka
Prevádzková frekvencia f_{opt}	od 2,400 do 2,500 (2,450 TYP.)	MHz
Napájacie napätie $V_{CC1,2}$, V_{bias}	od 2,7 do 3,6 (3,3 TYP.)	V
Riadiace napätie	V_{cont}	od 0 do 3,6 (2,5 TYP.)
	V_{enable}	od 0 do 3,1V (2,9 TYP.)
Napájací prúd I_{CC} TYP. @ $V_{CC1,2} = V_{bias} = 3,3V$, $V_{cont} = 2,5V$, $V_{enable} = 2,9V$, $P_{in} = +4dBm$	120	mA
Maximálny výkon $P_{out(MAX.)}$ TYP. @ $V_{CC1,2} = V_{bias} = 3,3V$, $V_{cont} = 2,5V$, $V_{enable} = 2,9V$, $P_{in} = +4dBm$	+23	dBm
Zisk riadiaceho rozsahu GCR TYP. @ $V_{CC1,2} = V_{bias} = 3,3V$, $V_{cont} = 0 - 2,5V$, $V_{enable} = 2,9V$, $P_{in} = +4dBm$	23	dB
Energetický zisk G_P TYP. (Referenčná hodnota)	23	dB
Výška účinnosti PAE (Referenčná hodnota)	50%	-
Veľkokapacitná povrchová montáž 10-pinové plastové TSON puzdro	2,4 x 2,55 x 0,6	mm

Tabuľka 7: Vlastnosti obvodu UPG2301TQ [16]

Samozrejme, dôležité sú aj parametre, ktoré musí spĺňať, aby bola možná jeho implementácia do nášho systému (napr. frekvencia). Tento obvod je síce prednostne určený pre Bluetooth™, no spĺňa naše požiadavky, a preto by mohol byť použitý pre zosilnenie prenášaného signálu modulom W-DMX v1.0.



Obrázok 9: Vnútorná bloková schéma

Zariadenie realizuje vysokú účinnosť, vysoký zisk a vysoký výstupný výkon použitím InGaP HBT. Toto zariadenie je umiestnené v nízko profilovom 10-pinovom plastovom TSON puzdre.

Aplikácie:

- Zosilňovač pre Bluetooth™ triedy 1
- Bezdrôtové LAN [16]

4.2 Antény

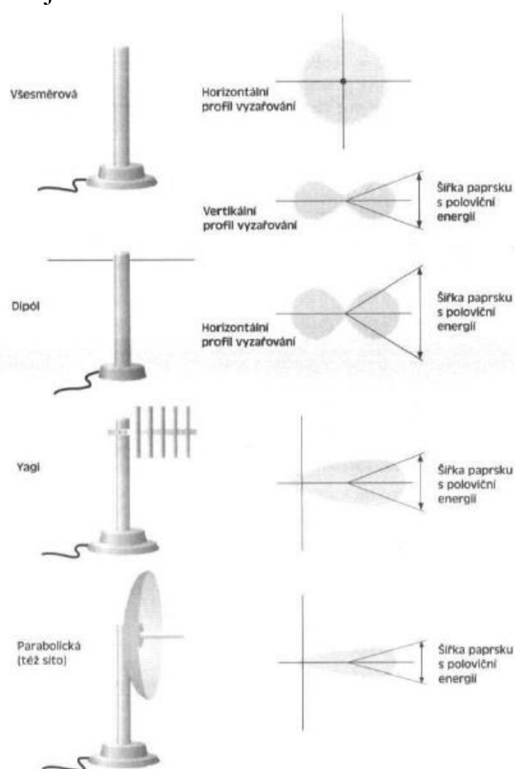
Antény patria k najdôležitejším častiam bezdrôtových zariadení, pretože od nich závisí kvalita komunikácie. Anténa je prvok, pomocou ktorého sa transformuje vysokofrekvenčný signál na energiu elektromagnetického žiarenia (vysielacia anténa) alebo naopak (prijímacia anténa).

Antény delíme podľa toho, do akých smerov signál distribuujú a to na:

Všesmerové antény šíria signál do všetkých strán, teda vykrývajú uhol 360 stupňov. Používajú sa všade tam, kde sa vyžaduje súvislé pokrytie a sú najbežnejšie používanými anténami dodávanými priamo výrobcom k jednotlivým zariadeniam.

Antény sektorové vyžarujú do určitého uhla, napr. vykrývajú uhol 180 alebo napr. 60 stupňov. Používajú sa tam, kde je potreba vykryť špecificky obmedzené oblasti a je potrebné i vhodné zabrániť prenikaniu signálu (a teda i možnosti prístupu) mimo túto oblasť. Napríklad na stenu budovy je vhodné umiestniť anténu so smerovým vyžarovaním 90 stupňov, aby sme vykryli roh budovy.

Antény smerové – sú vlastne zvláštnou podkapitolou sektorových antén. Ide o **smerové parabolické antény**, takzvané *sítá* alebo antény typu *Yagi*. Tieto antény vyžarujú iba do jedného bodu a sú to najčastejšie používané antény na vzdialenejšie spoje, pretože signál sústredia do jedného bodu, a sú teda schopné „dožiarit“ sa na najväčšiu vzdialenosť.



Obrázok 10: Typy antén.

4.2.1 Parametre antén

4.2.1.1 Zisk (Gain)

Zisk je jeden z najdôležitejších parametrov antény. Laicky povedané čím vyššia ziskovosť, tým vzdialenejší signál je anténa schopná zachytiť. Technicky povedané sa jedná o pomer medzi intenzitou vyžarovania v danom smere k intenzite vyžarovania, ktorú by sme dostali, keby energia

prijatá anténou bola vyžiarená rovnomerne do všetkých smerov, teda takzvanou izotropnou anténou. Tú niekedy v tejto definícii tiež nahradzuje anténa dipólová.

Dipól je anténa tvaru T o veľkosti žiariča práve polovice vlnovej dĺžky pásma (tzv. lambda), na ktorom dipól pracuje. Dipólom sa v praxi nahradzuje teoreticky definovaná izotropná anténa, ktorá vyžaruje do všetkých strán bez strát.

Zisk antény sa udáva v dBi, teda v decibeloch na izotrop alebo menej často v dBd, teda v decibeloch na dipól, podľa toho, k akému typu antény sa meranie vzťahuje.

4.2.1.2 Polarizácia

Pri bezdrôtovom prenose používame dva typy polarizácie elektromagnetického vlnenia:

- lineárna – horizontálna alebo vertikálna,
- kruhová – pravotočivá alebo ľavotočivá.

Rovina polarizácie vyžiareného vlnenia závisí len na konštrukčnom usporiadaní antény. Ak má byť zaistená optimálna funkcia dátového spoja, musia byť obidve stanice vybavené anténou s rovnakým druhom polarizácie. Ak nemáme nároky na veľký dosah a nezáležalo by nám na prílišnej optimalizácii prenosovej trasy, je možné používať rozdielne kombinácie polarizácie. Potom je však nutné počítať so stratami.

Túto vlastnosť môžeme výhodne využiť v prostredí so silným rušením, pochádzajúcim od iných dátových spojov a sietí. Vhodnou voľbou polarizácie môžeme rušenie účinne potlačiť.

Napríklad v prípade WiFi sa bežne používa horizontálna alebo vertikálna polarizácia, kruhová polarizácia je používaná menej často.

4.2.1.3 Vyžarovací uhol a vyžarovací diagram

Vyžarovací uhol je dôležitým prvkom popisu každej antény a definuje, do akého smeru a pod akým uhlom anténa vyžaruje. Napríklad všesmerová anténa má horizontálny vyžarovací uhol 360 stupňov. Ak má sektorová anténa vyžarovací uhol v horizontálnom smere 45 stupňov, pokryje tento uhol priestor pred prednou časťou antény.

Vyžarovacie uhly by mali byť známe dva – horizontálny a vertikálny. Horizontálny uhol vyžarovania je v prípade všesmerových antén 360 stupňov. Vertikálny vyžarovací uhol vlastne vymedzuje výšku vyžarovacieho kužeľa. Signál vysielaný sektorovou anténou si totiž môžeme predstaviť ako kužeľ, ktorého výšku vymedzuje v uhlových stupňoch vertikálny vyžarovací uhol, zatiaľ čo jeho šírku horizontálny vyžarovací uhol. Na veľkosti vertikálneho uhlu vyžarovania závisí tiež zisk antén, ktorý avšak u všesmerových antén nebýva príliš veľký (obvykle okolo 5 až 12 dBi), u jednoduchých antén aj menej.

Vyžarovací diagram sa používa pri konštrukcii zložitejších bezdrôtových sietí, napríklad v prípade plánovania klasických mobilných sietí. Vyžarovací diagram zachytáva podstatne presnejšie charakteristiku šírenia signálu smerom od antény. Zatiaľ čo vyžarovacie uhly ukazujú iba vertikálne a horizontálne šírenie, vyžarovací diagram sa snaží ukázať plnú charakteristiku šírenia signálu od antény. Pri plánovaní WiFi sietí sa vyžarovacie diagramy používajú podstatne menej, predovšetkým preto, že WiFi siete natoľko neplánujú profesionáli, ale tiež preto, že pásmo 2,4GHz stavia pre šírenie signálu podstatne viac problémov než pásmo GSM a vďaka odrazom, prekážkam a ďalším vplyvom na šírenie signálu je teoretická aplikácia vyžarovacieho diagramu do digitálneho modelu terénu problematická a zložitá, navyše pracuje s výrazne menším vyžiareným výkonom.

4.2.2 Šírenie rádiového signálu

Šírenie rádiových signálov v pásme nad 2GHz je ovplyvňované značným množstvom faktorov, ktoré môžu šírenie signálu komplikovať.

Obece platí pravidlo, že medzi anténami pre bezdrôtový prenos by mala byť priama viditeľnosť. Už túto podmienku je veľmi ťažké splniť, nieto aby sme vedeli, že ani jej splnenie nemusí postačovať. Pri snahe o zvýšenie dosahu signálu sa musíme týmito podmienkami zaoberať. Rádiový signál sa musí vyrovnáť s týmito základnými problémami:

- rušenie inými systémami v rovnakom pásme,
- priama viditeľnosť,
- vplyvy počasia,
- viaccestné šírenie signálu.

4.2.2.1 Rušenie inými systémami v rovnakom pásme

Asi najdôležitejší vplyv na prenos rádiového signálu má rušenie inými zariadeniami v rovnakom frekvenčnom pásme. Tu predstavujú najväčšiu hrozbu systémy postavené na modulácii FHSS, napr. technológia Breeze Net. Táto technológia vysiela krátke signály do celého pásma ISM, čo vedie k charakteristickým niekoľkosekundovým výpadkom bezdrôtového spojenia všade tam, kde na seba tieto technológie narazia.

Ďalšie rušenie môžu predstavovať iné bezdrôtové zariadenia. Kvôli šírke kanálu 22MHz a odstupu medzi jednotlivými kanálmi poskytuje WiFi pásmo iba tri celé oddelené fyzické kanály, a to kanály 1, 6 a 11. Ak sú zdroje rušenia vo väčšej vzdialenosti, nevadí, že sú i na kanále, ktorý sa prekrýva s nami používaným kanálom.

4.2.2.2 Priama viditeľnosť a vplyvy počasia

Priama viditeľnosť medzi anténami znamená, že je možné z miesta umiestnenia jednej antény okom alebo pomocou ďalekohľadu vidieť na druhú anténu. Ak to nie je možné, dajú sa očakávať problémy so signálom.

Rozdiely sú predovšetkým v tom, aký materiál a aká hrúbka materiálu stojí v ceste. Napríklad železobetón je typickým tienením bezdrôtového signálu. O niečo lepšie je to s tehlovým múrom, v ktorom sa nenachádzajú oceľové prúty, ktoré nájdeme v železobetóne a samozrejme kancelárie so sádrokartónovými priečkami sú na tom ešte lepšie. I tak je nutné počítať s obmedzením dosahu.

Vplyv stromov na šírenie bezdrôtového signálu sa veľmi často nedoceňuje a hlavne ak meranie vykonávame na jeseň či v zime, keď na stromoch nie je listie, môže byť na jar nepríjemné prekvapenie poklesom kvality alebo celkovým zmiznutím signálu. V praxi je najlepšie, ak sa môžeme signálu skrze stromy vyhnúť, ak to nie je možné, je nutné hľadať priesečky a priehľady, medzery medzi stromami. V takom prípade je lepšie používať horizontálnu polarizáciu antén, tá vykazuje mierne lepšie výsledky v priechode stromami, než polarizácia vertikálna. Horšie signál prechádza skrze mokré, zmoknuté stromy, než skrze suché. Je tiež zaujímavé, že ihličnany predstavujú väčší problém než stromy listnaté.

Počasiu spôsobuje pri prevádzke len drobné výchylky, ale na dlhšiu vzdialenosť je lepšie ich do kalkulácií zahrnúť. S počasím súvisí dážď, teda voda, ktorá je pre signál v pásme 2,4GHz problém. Mikrovlny tejto frekvencie majú schopnosť excitovať molekuly vody a tým vodu ohrievať. Na tomto princípe pracuje aj mikrovlnná rúra, tá ohrieva pokrmy niekoľko sto wattmi rádiových signálov na frekvencii 2,45 GHz. Voda teda vlny na tejto frekvencii pohlcuje a je nimi ohrievaná, neodrážajú sa od nej, proste ich spoľahlivo likviduje. Problémom teda býva prenášanie signálu skrze mokré listy stromov, mokré strechy budov apod.

4.2.2.3 Teoretické prenosové vlastnosti

S touto otázkou sa stretávajú obchodníci snád' u každého typu rádiového spojenia – akú veľkú vzdialenosť možno týmto spojením preklenúť? Odpoveď je vždy k rozčarovaniu zákazníka veľmi

nekonkrétny a väčšinou je udávaný značný rozptyl hodnôt. Problém je samozrejme v samotnej podstate rádiového spoja, výrobca nemôže tušiť, aké podmienky panujú v prostredí, kde bude zákazník jeho techniku používať.

Teoretické vzdialenosti zákazníka vždy zaujímajú. Nižšie uvedená tabuľka a prepočty odpovedajú voľnému terénu, žiadne terénne prekážky, v trase signálu nič, čo by malo nepriaznivý vplyv. A tiež žiadne rušenie. Ak je na jednej strane prístupový bod vybavený anténou o zisku 36dBm, možno na priamu viditeľnosť hovoriť teoreticky až o nasledujúcich dosahoch: [8]

Vzdialenosť [km]	Zisk [dBi]
0,8 - 3	7 – 9
3 - 8	9 – 15
8 – 11	15 – 20
11 +	20 - 24

Tabuľka 8: Nutný zisk antény klienta.

4.3 Obvody typu Front-end

Obvody RF typu Front-end sú všeobecne definované ako všetko, čo je medzi anténou a digitálnym systémom pracujúcim v základnom pásme. Pre prijímač táto „medzi“ oblasť obsahuje všetky filtre, zosilňovače s nízkym šumom a zmiešavač(e) prevodu do nižšieho frekvenčného pásma (prevádza signál centrovanej na frekvenciu, ktorej nosná frekvencia je posunutá medzikrokmi na vysielanie alebo príjem, na komplexný signál základného pásma centrovanej na nulu). Zmiešavače prevádzajúce frekvenciu do nižšieho frekvenčného pásma sú potrebné pre spracovanie modulovaných signálov prijímaných anténou na signály vhodné pre vstup analógovo-digitálneho prevodníka pracujúceho v základnom pásme. Z tohto dôvodu sa RF obvod typu Front-end často nazýva aj analógovo-digitálna alebo RF časť prijímača pracujúca v základnom pásme.

RF obvody pracujú tak, že prijímajú RF vlny obsahujúce predtým modulovanú informáciu poslanú RF vysielateľom. Prijímač je v podstate nízkošumový zosilňovač, ktorý prevádza prichádzajúci signál do nižšieho frekvenčného pásma. Z tohto dôvodu je citlivosť a miera oddeľovania pásiem hlavným parametrom pri návrhu prijímača.

Naopak, vysielateľ je prevodník do vyššieho frekvenčného pásma, ktorý prevádza vysielaný signál ešte pred jeho prechodom vysoko-výkonovým zosilňovačom. V tomto prípade je hlavným parametrom nelinearita zosilňovača. Inapriek týmto rozdielom návrh prijímača a vysielateľa zdieľa veľa spoločných prvkov – ako sú lokálne oscilátory.

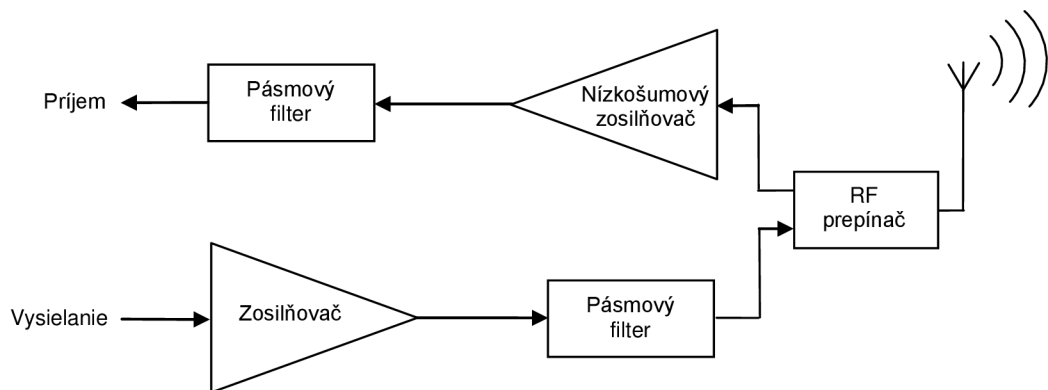
Vďaka pokroku v návrhu a výrobe integrovaných obvodov sa spracovanie niektorých tradičných medzifrekvenčných signálových úloh rieši digitálne. Táto migrácia z analógových do logických obvodov znamená, že výber toho, čo funkcie obvodu Front-end implementujú analógovými a čo digitálnymi prostriedkami, zvyčajne závisí na takých faktoroch ako požadovaný výkon, náklady, veľkosť a spotreba energie. Kvôli kombinácii analógových a digitálnych technológií, RF Front-end čipy používajú technológie kombinovaného signálu, a preto bývajú často označované ako čipy prevádzajúce RF na digitálny signál alebo čipy prevádzajúce RF do základného pásma.

Prečo je obvod typu Front-end taký významný? Ukazuje sa, že v systéme, ktorý ho obsahuje, je to pravdepodobne najkritickejšia časť celého prijímača. Medzi celkovým výkonom systému, spotrebe energie a veľkosti je potrebné stanoviť určité kompromisy, ktoré sa určujú medzi prijímačom Front-end a analógovo-digitálnym prevodníkom pracujúcim v základnom pásme.

Základná RF architektúra vyzerá takto: filtrovanie signálu, detekcia, zosilnenie a modulácia alebo demodulácia. Konkrétnejšie, modulovaný RF nosný signál je vysielaný anténou navrhnutou pre špecifické pásmo frekvencií. Anténou prechádza modulovaný signál do RF Front-end prijímača. Po

mnohých úpravách vo Front-end obvodoch, modulácii alebo rozdelení informácií signálu (teraz vo forme analógového signálu v základnom pásme) je pripravený na analógovo-digitálny prevod do digitálneho sveta. Neskôr, v digitálnej forme, možno informácie získať z digitalizovanej nosnej vlny a je k dispozícii ako audio, video alebo dáta.

RF obvod typu Front-end v sebe spája funkčné bloky, ktoré predtým boli, a často aj v súčasnosti sú, samostatnými komponentmi, navrhovanými osobitne. To znamená, že existovali komponenty pre RF filter, detektor, modulátor/demodulátor a zosilňovač. Tu vidíme jednu z výhod obvodov typu Front-end, keď si uvedomíme, že bolo nutné prepojiť všetky tieto fyzicky nezávislé bloky [9].



Obrázok 11: Bloková schéma obvodu typu Front-end

4.3.1 Obvod RF5725 typu Front-end

Obvod RF5725 je príkladom obvodu, ktorý je pre naše účely zvýšenia dosahu bezdrôtového prenosu vhodný a tiež dostupný, preto ho bližšie popíšem v tejto kapitole.

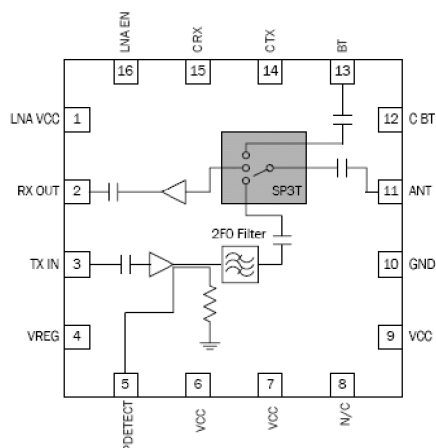
RF5725 je jednočipový integrovaný Front-end modul (FEM) pre vysoko-výkonové WLAN aplikácie v ISM pásme od 2,4GHz do 2,5GHz. Tento Front-end modul výrazne znižuje počet externých komponent, minimalizuje spoje a výrobné náklady celkového 802.11b/g riešenia. RF5725 má integrovaný b/g zosilňovač, nízkošumový zosilňovač, spojený výkonový detektor a TX filtráciu. To umožňuje prepínanie medzi WLAN RX, WLAN TX a BTH RX/TX operáciami. Zariadenie je vyrobené HBT a pHEMT procesmi na 3mm x 3mm x 0,5 mm 16-pinovom QFN puzdre. Modul spĺňa alebo prevyšuje RF Front-end potreby WLAN RF systémov 802.11 b/g.

Vlastnosti:

- Jednomodulový RF Front-end
- Jednotné napájacie napätie od 3,0V do 5V
- Integrovaný 2,5GHz b/g zosilňovač, nízkošumový zosilňovač, TX/RX prepínač, P_{DETECT} väzobný člen
- $P_{OUT} = 17\text{dBm}$, 11g, OFDM na <4% EVM, 21dBm 11b s 11b spektrálnou maskou

Aplikácie:

- IEEE 802.11b/g WLAN aplikácie
- 2,5GHz ISM pásmové aplikácie
- Bezdrôtové LAN systémy
- Prenosné batériami napájané zariadenia
- Opt. *Bluetooth*TM zdieľanie jednotného anténneho portu



Obrázok 12: Funkčná bloková schéma

Vysielacia cesta

RF5725 má typicky zisk 28dB od 2,4GHz do 2,5GHz a dodáva typicky 17dBm výstupný výkon pri 54Mbps OFDM modulácii a 21dBm pod 1Mbps 11b modulácii. RF5725 vyžaduje jednotné kladné napájanie od 3,3V do 4,2V na celkovú funkciu podľa špecifikácie. Aktuálna optimalizácia riadenia pre 802.11b/g pásmo je poskytovaná prostredníctvom jedného riadiaceho vstupného pinu (VREG). VREG pin vyžaduje regulované napájanie na udržanie nominálneho vstupného kludového prúdu.

Mimopásmové potlačenie

RF5725 obsahuje základné filtračné komponenty tvoriace odozvu pásmovej priepuste pre vysielaciu časť. Kvôli obmedzenému priestoru vnútri modulu je filtrovanie obmedzené na niekoľko rezonančných pólov. V závislosti na užívateľskej aplikácii môžu byť potrebné prídavné filtre pre splnenie požiadaviek systému na mimopásmové potlačenie.

Prijímacia cesta

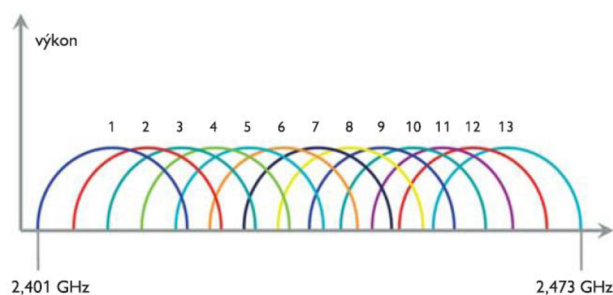
802.11b/g cesta má 50Ω jednostranný port s nominálnym ziskom 10dB v WLAN RX móde a 6dB vo WLAN RX/BT móde. Prijímací port vracia stratu 9,6 dB minimálne. RF5725 je navrhnutý tak, že SP3T môže fungovať ako 3dB rozdeľovač kanálu, ak je vo WLAN RX a BT RX režime. V tomto režime, Front-end modul môže prijímať Bluetooth™ a WLAN signály súčasne s ďalšou 3dB stratou[12].

4.4 Preskakovanie frekvencie (Frequency Hopping)

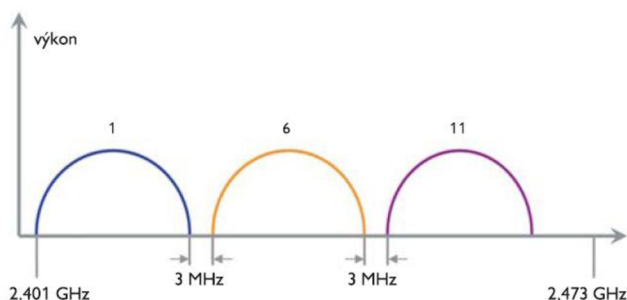
V tejto kapitole sa budem zaoberať preskakovaním frekvencie (Frequency Hopping) ako alternatíve zvýšenia dosahu RF signálu. Zvyčajne sa jedná o čisto softvérové riešenie, vďaka ktorému je možné znížiť chybovosť, zašumenie a ďalšie nežiaduce faktory, ktoré majú vplyv na rýchlosť a dosah bezdrôtového prenosu.

Preskakovanie frekvencie je metóda vysokofrekvenčného bezdrôtového prenosu v rozšírenom spektre kanálov. Rozšíriť spektrum doslova znamená rozvinúť RF energiu cez celé spektrum (alebo jeho väčšiu časť). Táto technika dovoľuje relatívne vysokú prenosovú rýchlosť s tým, že bola navrhnutá pre prácu v zašumenom prostredí, kde sa nachádza viacero RF systémov. Existujú dve hlavné metódy šírenia RF energie: priame poradie a preskakovanie frekvencie (Frequency Hopping).

Priame poradie používa široký kanál v danom rozsahu, aby simultánne prispôboval zakódovanú bitovú informáciu. Metódu priameho poradia používajú všetky dnešné WiFi štandardy vrátane IEEE 802.11b, 802.11g (obe operujúce v pásme 2,4 GHz) a 802.11a (v pásme 5,8 GHz). Modulácia v širšom pásme síce ponúka vyššiu rýchlosť, ale RF systém je náchylnejší na problémy s rušením, hlavne v prípade viacerých systémov fungujúcich vo vzájomnej blízkosti. Napríklad IEEE 802.11b má dostupných 13 kanálov (iba 11 kanálov v určitých krajinách), ale iba 3 kanály sa neprekrývajú. Kvôli prekryvaniu kanálov a popularite WiFi systémov vo firmách môžu viesť preplnené pásma a saturácia RF k slabému bezdrôtovému výkonu.



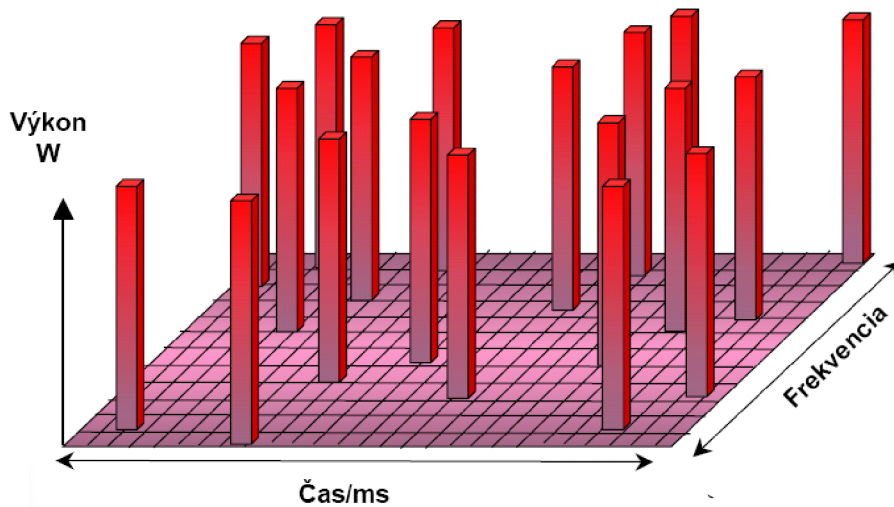
Obrázok 13: Kanály priameho poradia pri 802.11b



Obrázok 14: Neprekrývajúce sa kanály pri 802.11b

Metóda preskakovania frekvencie je veľmi populárna technika pre rôzne systémy, pretože má výborné obranné techniky proti rušeniu. Na rozdiel od priameho poradia preskakovanie frekvencie využíva veľa malých kanálov v spektre a rapídne mení kanály alebo „skáče“ z kanála na kanál. Metóda preskakovania frekvencie ponúka začlenením techniky opravy chýb najlepšie riešenie na úspešný prenos údajov, lebo vysielateľ bude posilať dátový balík stále dokola použitím rozdielnych kanálov, až kým nebude prenos úspešný. Nevýhodou tejto metódy je to, že je pomalšia ako priame poradie a má dlhší prístupový čas k údajom. Rýchlosť prenosu dát pri väčšine systémov s preskakovaním frekvencie je limitovaná na 1 Mbps alebo menej. No ak táto rýchlosť pre aplikáciu

stačí, spoľahlivosť metódy preskakovania frekvencie je ťažko prekonateľná, a to špeciálne v prípade plánovaného pridávania ďalších RF systémov [10].



Obrázok 15: Kanály pri preskakovaní frekvencie [11]

Nový signál s namodulovanými dátami je na danej frekvencii vysielaný len v rámci veľmi krátkeho časového intervalu (400 ms), potom preskočí na inú frekvenciu v rámci pásma. Vysielač aj prijímač vedia vopred poradiť preskokov frekvencií. Táto technológia bola pôvodne navrhnutá na dosiahnutie vyššej odolnosti voči odpočúvaniu.

4.4.1 Frekvenčný agilný protokol pre nRF24XX

Je to protokol, ktorý je určený pre obvody nRF24xx, teda aj pre obvod nRF2401 použitý v module W-DMX v1.0. Tento protokol poskytuje ochranu proti rušivým vplyvom frekvencií stacionárnych systémov ako WLAN a zariadení s preskakovaním frekvencie ako Bluetooth.

Protokol je všeobecný a môže byť použitý v mnohých rozličných systémoch, ktoré vyžadujú odolnosť proti rušeniu z iných systémov. Pomocou tohto protokolu môže systém fungovať v tesnej blízkosti systémov používajúcich rôzne WLAN kanály, 2,4GHz bezdrôtových telefónov, 2,4GHz diaľkových ovládačov, mikrovlnných rúr, zariadení Bluetooth a ďalších proprietárnych 2,4GHz systémov. Zjednodušene môžeme uviesť, že funkcionality je založená na znovuzískavaní paketov pri ich opakovanom prenose, ak boli na prenosovej ceste stratené. Je to oveľa spoľahlivejšie ako jednosmerný komunikačný protokol.

Systémy pracujúce v 2,4GHz pásme tvoria hlavne frekvenčné stacionárne systémy ako WLAN a systémy s preskakovaním frekvencie ako Bluetooth. Kým frekvencia stacionárnych systémov pôsobí v určitej časti pásma, systémy s preskakovaním frekvencie generujú signály v širokom pásme. Všetky signály generované systémami pracujúcimi v 2,4GHz pásme sú založené na paketoch.

Ak je v blízkosti systému systém s preskakovaním frekvencie, potom je na stanovenom kanály v 2,4GHz pásme pravdepodobnosť kolízie signálu s týmto systémom rovnaká na každom kanály. Preto ho nie je možné použiť na zmenu pracovného kanála, ak je rušený systémom s preskakovaním frekvencie. Ak je rušenie spôsobené frekvenciou stacionárneho systému, je možné ho presunúť takým spôsobom, aby pravdepodobnosť kolízie s tým istým systémom na novom kanály bola minimálna. Teda sa jedná o protokol, ktorý bude posúvať vlastné dáta na ďalší kanál v pásme 2,4GHz, ak sa na práve používanej frekvencii vyskytne stacionárne rušenie.

Hlavná funkcionality frekvenčného agilného protokolu vyzerá takto:

- Detekcia stacionárneho rušenia.

- Presunutie takým spôsobom, aby sa nové rušenie z toho istého zdroja nevyskytlo.
- Nepresúvanie, ak je rušenie spôsobené zdrojom s preskakovaním frekvencie.
- Ak spolu komunikuje viac zariadení, nastavenie priority.

Je dôležité si uvedomiť, že pri tomto protokole bude mať význam zmeniť pracovnú frekvenciu len vtedy, keď sa vyskytne stacionárne rušenie. Po tom, ako bude pracovná frekvencia zmenená, bude na novom kanály relatívne dlhý čas.

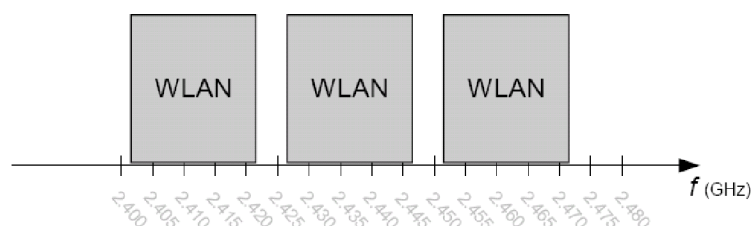
Tento protokol nefunguje typicky ako preskakovanie frekvencií. Je založený na komunikácii medzi dvoma zariadeniami. Povedzme, že jeden bude vysielač a druhý prijímač. Vysielač bezdrôtovo posiela v časových intervaloch pakety do prijímača a čaká na potvrdenie. Ak však potvrdenie nepríde, vysielač sa ešte 2 krát pokúsi znovu poslať pakety. Bluetooth ostáva až 650 mikrosekúnd na jednom kanály pred preskočením (*hopping*). To znamená, že ak systém s Bluetooth odstaví prvý pokus vysielača poslať paket v našom prvom zariadení, ďalšie dva pokusy by mohli byť úspešné, pretože každé potvrdenie paketu zaberie okolo jednej milisekundy. Preto nie je pravdepodobné, že systém s preskakovaním frekvencie bude znamenať zmenu frekvencie. Ak všetky tri pokusy poslať paket zlyhajú, vysielač a prijímač zmenia kanál podľa tabuľky. Tabuľka je zostavená tak, aby sa postarala o vyhnutie sa rušeniu od toho istého zdroja na novom kanály. Tabuľka je „WLAN vážená“, čím sa myslí nájdenie nasledujúceho kanála mimo predpokladaných WLAN kanálov, ktoré rušia aktuálne používaný kanál.

Index	Kanál	Frekvencia [MHz]
0	2	2402
1	32	2432
2	70	2470
3	5	2405
4	35	2435
5	68	2468
6	8	2408
7	39	2439
8	65	2465
9	11	2411
10	41	2441
11	62	2462

Tabuľka 9: Príklad WLAN kanálov

Ako vidno na nasledujúcom obrázku, WLAN prenos je možné nájsť v troch podpásmach pásma 2,4GHz. Porovnaním tohto obrázka a tabuľky jasne vidieť ako sa protokol stará o posúvanie prenosu mimo rušenia WLAN kanálom.

Ak je nájdený kanál veľmi rušený, je žiaduce nepoužiť znova tento kanál. Meranie času, ako dlho bol kanál použitý predtým, ako došlo k rušeniu ukáže, aký zašumený kanál je. Kanály, ktoré sa budú považovať za príliš rušené, môžu byť maskované na určitú časovú periódu. Maskované kanály nebude možné použiť v priebehu určitého času[13].



Obrázok 16: WLAN kanály v pásme 2,4GHz

5 Návrh zmien modulu W-DMX v1.0

Vzhľadom k tomu, že táto práca je zameraná hlavne na zvýšenie dosahu modulu W-DMX v1.0 a jeho budúcu miniaturizáciu, zmeny budú uskutočňované v tomto zmysle. Zvýšeniu dosahu bezdrôtového prenosu som sa venoval v predchádzajúcej kapitole, preto táto kapitola bude venovaná hlavne návrhom pre miniaturizáciu systému.

5.1 Miniaturizácia

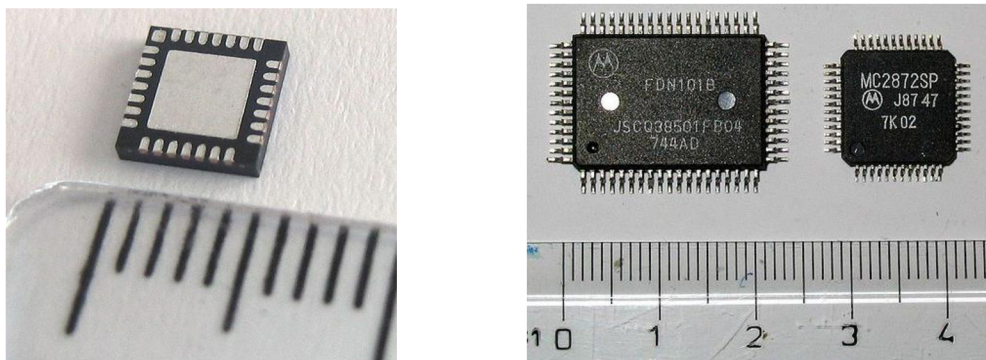
5.1.1 SMD

Súčiastky SMD úzko súvisia s miniaturizáciou v elektronických systémoch, preto budú určite použité pri realizácii nášho vylepšeného systému pre bezdrôtový prenos. SMD komponenty sú obvykle menšie ako ich náprotivky, pre ktoré musia byť navrhnuté otvory v doske plošných spojov a osadené prostredníctvom nich.

SMD (Surface Mount Devices) sú elektronické súčiastky vhodné na technológiu povrchovej montáže. SMD súčiastky majú vývody usporiadané do jednej roviny tak, aby ich bolo možné jednoducho položiť na príslušné spoje na doske plošných spojov a tak zaspájkovať. Výraznou črtou SMD je aj ich miniaturizácia. SMD súčiastky tiež musia odolávať teplotám pri spájkovaní (najčastejšie ide o pretavenie v peci s riadeným priebehom teploty).

U integrovaných obvodov sú dve skupiny púzdiar pre SMD montáž:

- **Vývodové púzdra** (staršie PLCC, SOJ; novšie SOP/SSOP/TSSOP, QFP/TQFP) majú vývody zahnuté do roviny rovnobežnej s plochou púzdra, a to buď pod púzdro (v tvare písmena J) alebo u novších púzdiar v smere od púzdra (v tvare písmena L).
- **Bezvývodové púzdra** majú vytvorené plôšky priamo v rovine púzdra rozmiestnené po obvode púzdra, prípadne sú rozmiestnené na celej spodnej rovine a sú na nich vytvorené guľôčky zo spájky (BGA).

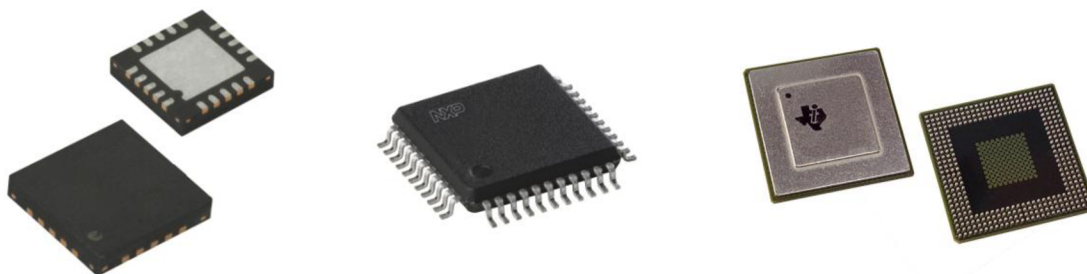


Obrázok 17: Naľavo bezvývodové 28 pinové MLP púzdro a vývodové púzdra

Je dôležité ešte doplniť, že súčiastky SMD majú svoje štandardné veľkosti. Metrické veľkosti pasívnych súčiastok (hlavne rezistorov) sú definované radami, z ktorých typické sú 0402, 0603, 1005, 1608, 2012, 3216, 3225, 4516, 4532, 5025 a 6332. Podobne je tomu i u aktívnych a elektro-mechanických SMD súčiastok. V našom prípade použijeme radu 0603 (s rozmermi 0,6mm × 0,3mm), ktorá sa bežne používa a poskytuje požadovaný rozmer miniaturizácie.

5.1.1.1 Púzdro QFN

Púzdro QFN patrí k bezvúvodovým púzdrám, vďaka čomu môže pri našej realizácii bezdrôtového systému prispieť k jeho miniaturizácii, navyše celkové rozmery tohto púzdra bývajú minimalizované. QFN (*Quad Flat No leads*) alebo tiež MLF (*MicroLeadFrame*) púzdra fyzicky ako aj elektricky spájajú integrované obvody s doskou plošných spojov. QFN je technológia povrchovej montáže, jedna z niekoľkých technológií výroby púzdiar, ktoré spájajú integrované obvody s plochami dosiek plošných spojov bez potreby vyvrtania dier v doske plošných spojov a osadenia nožičiek integrovaného obvodu skrze tieto otvory. QFN púzdro je podobné QFP (*Quad Flat Package*) púzdru, avšak zo strán púzdra QFN nevystupujú nožičky. Tomuto púzdru je tiež blízko CSP (*Chip Scale Package*) púzdro, ktoré je plastové a uzatvorené, vyrábané so substrátom plošného medeného montážneho rámčeka. Okrajové plochy na spodnej časti púzdra zabezpečujú elektrické pripojenie na dosku plošných spojov. Púzdro obsahuje nekrytú tepelnú spájkovacia plošku pre lepší prenos tepla z integrovaného obvodu (do dosky plošných spojov). Prenos tepla môže ešte uľahčiť kovový otvor v tepelnej spájkovacej plôške.



Obrázok 18: Typy púzdiar: zľava QFN, QFP a CSP.

5.1.2 Konštrukčné úpravy

Modul W-DMX v1.0 je realizovaný na dvojvrstvovej doske plošných spojov. Kvôli miniaturizácii vylepšeného systému a tiež pre dosiahnutie lepších vlastností obvodov (vyžarovanie, rušenie), bude vhodné navrhnúť dosku plošných spojov ako viacvrstvovú, pravdepodobne štvorvrstvovú, pričom kvôli rušeniu bude snaha umiestniť riadiacu časť (mikrokontrolér) na jednu stranu a časť pre bezdrôtové vysielanie/príjem na stranu druhú. Vytvoriť viacvrstvovú dosku je síce technologicky náročnejšie, no na druhej strane to určite prinesie radu výhod. Jedno z nich je aj jednoduchší návrh.

Modul je ovládaný a tiež napájaný z vývojového kitu, ktorý je určený na všeobecnejšie účely. Tým pádom obsahuje veľa, pre nás neužitočných, vecí. Čo je však pre nás dôležité, je riadiaca jednotka a s ňou súvisiace komponenty, ako aj zdroj, z ktorého je modul W-DMX v1.0 napájaný. Kvôli miniaturizácii bude dobré ponechať napájanie ako externú časť.

5.2 Konektor XLR

Konektor XLR bude súčasťou vylepšeného systému W-DMX v1.0 a na rozmery tohto konektora sa budeme snažiť systém miniaturizovať, pretože tento systém umiestnime práve do konektora XLR. Prostredníctvom neho bude pripojený ovládací prvok svetelného efektu (vysielacia strana) alebo samotný svetelný efekt (na druhej – prijímacej strane), ktoré komunikujú cez DMX a práve konektor XLR umožní ich pripojenie k systému.

XLR konektor je audio konektor pre profesionálne využitie. Existuje v rôznych prevedeniach, má ho vo svojom výrobnom sortimente mnoho výrobcov. Slangovo sa často nazýva „cannon“ podľa jedného z pôvodných výrobcov, firmy ITT/Cannon.



Obrázok 19: XLR konektory [30]

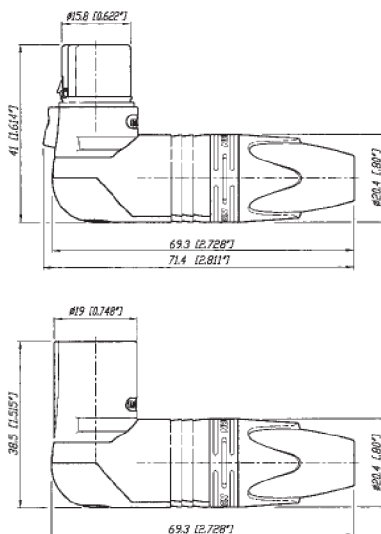
Máva tri a viac kontaktov. Používa sa k vedeniu audiosignálu (najčastejšie trojpinový), pre špeciálne napájacie zdroje (napr. mixážnych pultov), ovládanie profesionálnych svetelných systémov (štandard 512 – päťpinový konektor, často i trojpinový), diaľkové ovládania (štúdiová technika, hudobné nástroje) a podobné aplikácie. Jeho hlavné výhody sú možnosť symetrického zapojenia a mechanicky väčšia odolnosť ako bežný jack konektor.

Najrozšírenejší typ má tri vývody, potom sa používa hlavne v symetrickom zapojení:

Pin	Funkcia
1	Zem (Tienenie)
2	Normálna polarita polarity („hot“)
3	Invertovaná polarita („cold“)

Tabuľka 10: Symetrické zapojenie konektora XLR

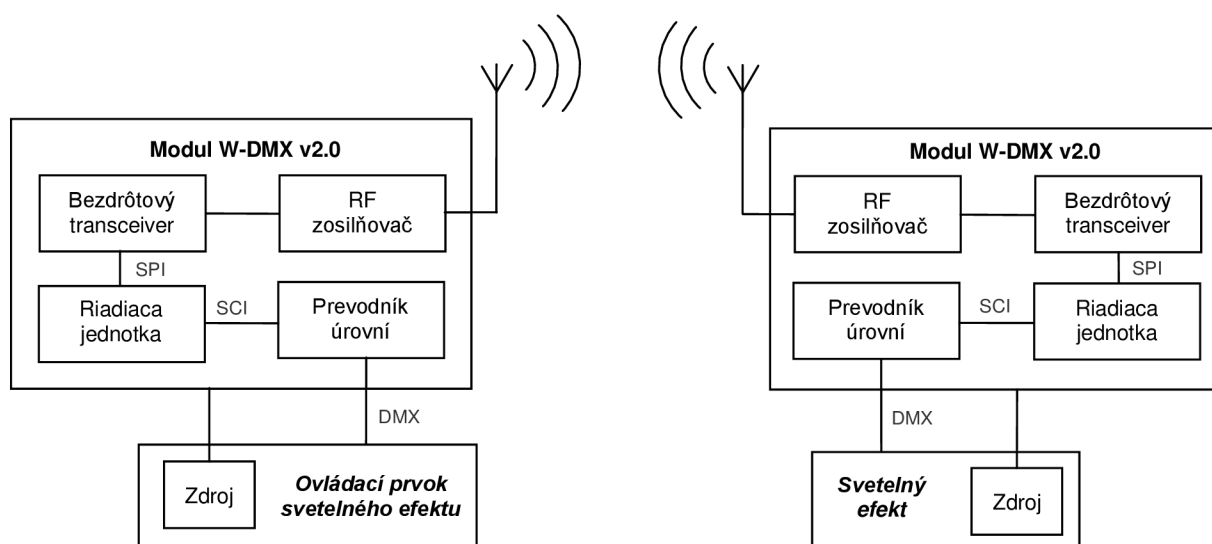
Modul W-DMX v2.0 bude umiestnený konkrétne v XLR konektore od firmy Neutrik. Dĺžka týchto konektorov sa pohybuje od 56,8mm do 74mm a priemer od 19mm do 23,6mm. Špecializovanejšie konektory, napr. poskytujúce možnosť vypnutia/zapnutia signálu alebo možnosť použiť jeden konektor ako samca i samicu, majú väčšie rozmery - dĺžku 90mm až 112,5mm a priemer môžu mať až 25mm. XLR konektor, do ktorého bude snaha umiestniť modul W-DMX v2.0, má priemer 20,4mm a dĺžku 69,3mm pri samici ako aj pri samcovi. Tento konektor teda nemá veľké rozmery, o čo ťažšie bude vyrobiť dosku modulu W-DMX, aby sa bezproblémovo do tohto konektora zmestila. Hoci niektoré z konektorov sú dlhšie, ich značnú časť tvoria piny pre pripojenie k DMX zariadeniu, preto bol vybraný práve tento konektor. Do úvahy prichádza tiež fyzická úprava konektora (predĺženie) v rámci úspory prostriedkov, ktoré by boli určené na špecializovanejši drahší typ konektora.



Obrázok 20: Rozmery konektora XLR pre umiestnenie modulu W-DMX v2.0 [30]

5.3 Bloková schéma vylepšeného systému W-DMX v2.0

Ako som už spomínal v predchádzajúcej kapitole, modul W-DMX v1.0 je ovládaný a tiež napájaný z vývojového kitu, čo znamená, že riadiaca jednotka je externým komponentom pre modul, preto bude potrebné vyriešiť vhodné spojenie riadiacej časti a samotného modulu obsahujúceho bezdrôtovú vysielaciu/prijímaciu časť na spoločnú dosku plošných spojov.



Obrázok 21: Bloková schéma vylepšeného systému W-DMX

Srdcom modulu W-DMX bude riadiaca jednotka, ktorú s najväčšou pravdepodobnosťou bude tvoriť mikrokontrolér rady HCS08, avšak taký, ktorý bude poskytovať dva rozhrania SPI, aby bolo možné využiť obidva prijímače (*receivery*), ktoré transceiver nRF2401 obsahuje. Druhá najdôležitejšia časť, ktorú modul bude nutne obsahovať, je RF transceiver realizujúci bezdrôtovú komunikáciu medzi modulmi (jeden modul vysiela dáta z ovládacieho prvku svetelného efektu a druhý ich prijíma pre svetelný efekt). Požadovaný dosah signálu zabezpečí RF zosilňovač, ktorý je dôležitý hlavne na vysielacej strane. Na prijímacej strane nemusí byť využitý, čo zvažíme až pri výbere konkrétnej súčiastky a samotnej realizácie celého systému. Rozhodne sa, či bude výhodnejšie vyrobiť rovnaké dosky plošných spojov alebo sa ušetria prostriedky na nepoužitej súčiastke RF zosilňovača na prijímacej strane. Komunikáciu riadiacej jednotky modulu a ovládacieho prvku svetelného efektu (resp. svetelného efektu) umožní prevodník úrovni. Modul W-DMX v1.0 je napájaný z už spomínaného vývojového kitu (riadenie modulu), preto ho v našom vylepšenom module budeme musieť realizovať iným spôsobom. Napájanie by malo byť externé, a to buď vo forme napájania z ovládacieho prvku svetelného efektu (resp. svetelného efektu) alebo ako samostatný adaptér. Nebolo by zložité realizovať zdroj potrebných napätí na doske plošných spojov modulu, avšak kvôli miniaturizácii, ktorú sa snažíme dosiahnuť, je externé napájanie priam potrebné. Neoddeliteľnú súčasť modulu bude samozrejme tvoriť aj anténa vysielajúca a prijímajúca bezdrôtový signál.

6 Bezdrôtové technológie

6.1 Prehľad bezdrôtových technológií

IrDA (*InfraRed Data Association*) je technológia pre bezdrôtové infračervené spojenie s krátkym dosahom dvoch rovnako vybavených prístrojov. Diaľkové ovládače a IrDA zariadenia používajú infračervené žiarivé diódy (LED) na vysielanie infračerveného vlnenia, ktoré je usmernené do lúča. Pomocou tohto lúča sa kódujú prenášané dáta. Prijemca používa silikónovú fotodiódu na prevod infračerveného žiarenia na elektrické prúd. Infračervený prenos dát neprechádza stenami (oproti klasickému spojeniu káblom je teda IrDA náročnejší na vzájomnú polohu a viditeľnosť obidvoch prístrojov) a preto neovplyvňuje ostatné zariadenia. Táto technológia sa najviac využíva pre diaľkové ovládače.

Bluetooth je bezdrôtová technológia slúžiaca k bezdrôtovému prepojeniu dvoch a viac elektronických zariadení na krátke vzdialenosti (maximálne 100m podľa výkonu vysieláča), akými sú napr. mobilný telefón, PDA, osobný počítač atď.

WiFi je štandard pre lokálne bezdrôtové siete. Pôvodným cieľom WiFi sietí bolo zaistiť vzájomné bezdrôtové prepojenie prenosných zariadení a ich pripojenie na lokálne siete LAN, ale dnes sa používa hlavne na pripojenie k internetu (a to v blízkosti prístupového bodu – *Acces Point*, AP). Geografická oblasť pokrytá jedným alebo niekoľkými prístupovými bodmi sa nazýva hotspot.

WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Acces*) je bezdrôtová technológia slúžiaca predovšetkým k poskytovaniu bezdrôtového pripojenia k sieti Internet v rozsiahlych mestských lokalitách. Je definovaný normami IEEE 802.16. Ide o štandard pre bezdrôtovú distribúciu dát zameraný na vonkajšie siete, teda ako doplnok k WiFi chápanému ako štandard pre vnútorné siete. Bol vytvorený za účelom lacnejšieho a jednoducho rozšíriteľného širokopásmového bezdrôtového prístupu k internetu – štandard pre metropolitné bezdrôtové siete.

ZigBee je bezdrôtová komunikačná technológia určená pre spojenie nízko-výkonových zariadení v sieťach PAN na malé vzdialenosti do 75 metrov. Je založená na štandarde IEEE 802.15.4. Vďaka použitiu multi-skokového ad-hoc smerovania umožňuje komunikáciu aj na väčšiu vzdialenosť bez priamej viditeľnosti jednotlivých zariadení. Primárne určenie smeruje do aplikácií v priemysle a senzorových sietí. ZigBee je navrhnutý ako jednoduchá a flexibilná technológia pre tvorbu i rozsiahlejších bezdrôtových sietí, u ktorých nie je požadovaný prenos veľkého objemu dát. K jeho hlavným prednostiam patrí spoľahlivosť, jednoduchá a nenáročná implementácia, veľmi nízka spotreba energie. ZigBee pracuje na nelicencovaných pásmach približne 868 MHz, 902–928 MHz a 2,4 GHz, s prenosovými rýchlosťami 20, 40, 250 kbit/s.

Rádiové hybridné moduly – sú to užívateľom zostrojené hybridné moduly slúžiace ako diaľkové ovládania pre rôzne zariadenia (ovládače pre satelit, alarmové systémy atď.). Pracujú na nižších frekvenciách, dosah závisí na zvolenom vysieláči (až 200 metrov).

GSM/GPRS/HSDPA/HSCSD/CSD/EDGE sú technológie prenosov dát pomocou mobilných sietí.

6.2 Modulácie a technológie súvisiace s modulom W-DMX

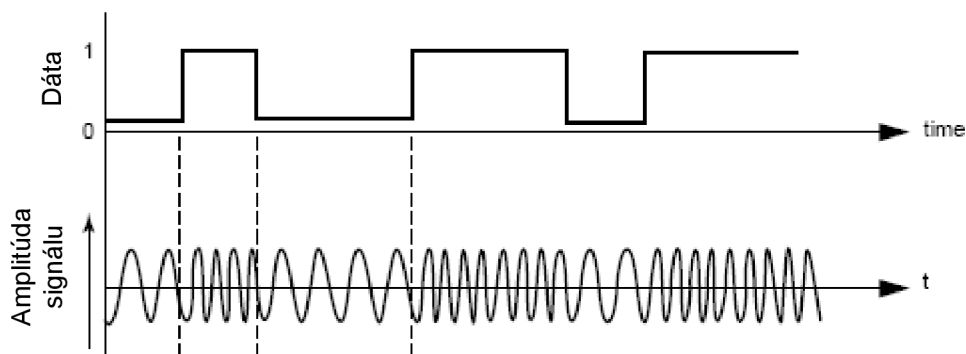
V predchádzajúcich kapitolách som spomínal modulácie, ktoré využívajú bezdrôtové zariadenia a úzko súvisia s RF prenosom. Teraz je čas bližšie si ich priblížiť. Konkrétnejšie budú uvedené hlavne tie, ktoré pracujú v rovnakom frekvenčnom pásme ako modul W-DMX.

6.2.1 Modulácia FSK

Moduláciu GFSK používa bezdrôtový transceiver nRF2401A - základ modulu W-DMX. Vychádza z modulácie FSK.

Modulácia FSK (*Frequency Shift Keying*) alebo tiež frekvenčné kľúčovanie je jednou z najjednoduchších digitálnych modulácií a jednou z najbežnejších digitálnych modulácií používaných vo vyššom frekvenčnom spektre a zohráva veľkú úlohu v telekomunikáciách.

Najjednoduchšou formou modulácie je binárna (dvojstavová) FSK. Binárnym dátam (0 alebo 1) sa priradia nosné frekvencie, ktoré sa neskôr vysielajú podľa toho, aké dáta sa prenášajú. Príkladom je nasledujúci obrázok.



Obrázok 22: Modulácia FSK

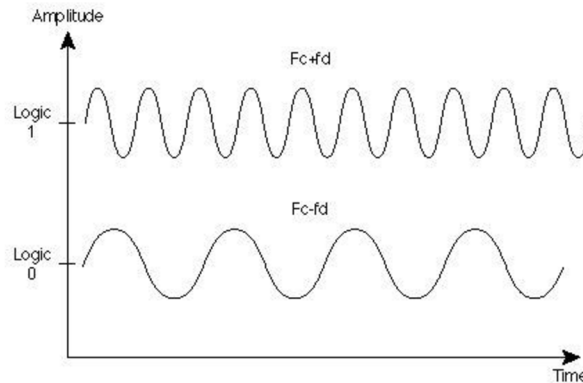
Modulácia FSK môže byť s kontinuálnou alebo skokovou zmenou fázy; pri skokovej zmene fázy sa vytvára širšie frekvenčné spektrum [18]. Výrazné potlačenie bočných zložiek frekvenčného spektra FSK signálu sa dosiahne moduláciou MSK (*Minimum Shift Keying* – frekvenčné kľúčovanie s minimálnym zdvihom), kde k zmenám nosných frekvencií dochádza v okamžiku, kedy nosný signál prechádza nulou. Tým sa odstráni nespojitosť v časovom priebehu modulovaného signálu. Bitová perióda modulačného signálu musí byť rovná celistvému násobku polovic periód nosných frekvencií. Teda nosné frekvencie sa v tomto prípade odvodzujú od modulačnej rýchlosti.

Vlastnosti FSK:

- Necitlivá na zmeny amplitúdy – je to modulácia s konštantnou amplitúdou.
- FSK so skokovou zmenou fázy má nižšiu efektivitu využitia šírky pásma ako ASK (amplitúdové kľúčovanie) alebo PSK (fázové kľúčovanie).
- 4-stavová FSK modulácia dokáže preniesť 1,3 bitu/Hertz
- Nevýhodou je potreba relatívne širokého pásma (amplitúdy spektrálnych zložiek sú energeticky významné v celej šírke spektra a môžu sa prejaviť napr. rušením v susedných pásmach), čo je spôsobené hlavne skokovou zmenou fázy pri zmene binárneho stavu.
- Najjednoduchšie realizovateľná z digitálnych modulácií s podobnými vlastnosťami, preto sa v praxi často využíva.

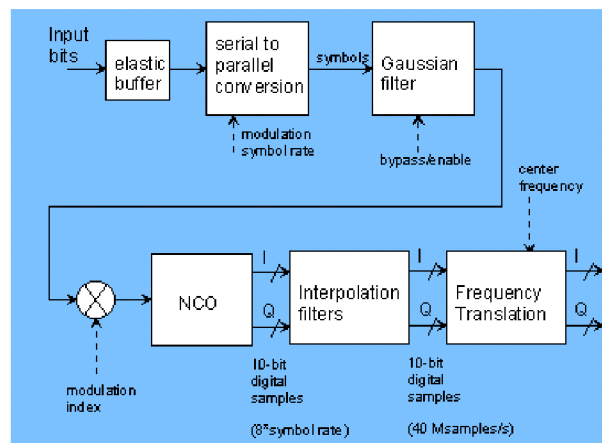
6.2.2 Modulácia GFSK

Základný princíp modulácie GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying* – Gaussovská modulácia s frekvenčným kľúčením) je rovnaký ako u modulácie FSK, kde je signál logickej úrovne jeden reprezentovaný ako kladná zmena frekvencie oproti nosnej frekvencii a logická nula ako záporná zmena.



Obrázok 23: Modulácia GFSK

Rozdiel spočíva v tom, že binárny signál pred vstupom do modulátoru FSK prechádza Gaussovým filtrom. Pravoúhly signál sa po prechode touto dolnou priepusťou premení na spojitý signál v tvare Gaussovej krivky, a tým sa obmedzí šírka pásma potrebná pre prenos.



Obrázok 24: Princíp modulácie GFSK

Modulovaný signál je prevzorkovaný tak, aby dostal presnú podobu, s ktorou pracuje Gaussovský filter. Po prechode Gaussovským filtrom sa aplikuje modulačný index, ktorý musí mať hodnotu v rozmedzí 0,28 – 0,35. Za ním nasleduje FSK modulátor. Po modulácii môžu byť vzorky interpolované (na 40 Mvzoriek/s). Interpolácia sa vykonáva v postupných etapách prevzorkovania a dolno-priepustnej filtrácie. Po modulácii môže digitálny navzorkovaný signál presunutý na požadované frekvenčné spektrum [19].

Moduláciu GFSK využíva technológia Bluetooth pre prenos dát. RF zosilňovač UPG2301TQ, spomínaný v predchádzajúcich kapitolách, bol práve primárne určený pre zosilnenie zariadení, ktoré pre prenos využívajú Bluetooth triedy 1. Bluetooth špecifikuje bezdrôtový prenos, ktorý má niekoľko podobných vlastností a pracuje s princípmi ako bezdrôtový prenos, ktorý chceme realizovať (Frequency Hopping, pásmo 2,4GHz ISM), preto bližšie popíšem túto technológiu v nasledujúcej kapitole.

6.2.3 Bluetooth

Bezdrôtové siete s malým dosahom možno rozdeliť podľa použitia na bezdrôtové lokálne siete (*Wireless Local Area Network*, WLAN) a osobné siete (*Wireless Personal Area Network*, WPAN). WLAN boli vymyslené skôr pre podnikové použitie a osobné siete naopak pre domácnosti. Osobný priestor, teda rozsah osobnej bezdrôtovej siete WPAN, činí asi 10 metrov v priemere, preto sa WPAN radí k bezdrôtovým sieťam s malým dosahom. Prvou bezdrôtovou osobnou sieťou bol rádiový systém Bluetooth.

Špecifikácia Bluetooth je charakteristická nízkymi nárokmi na napájanie a spoluprácou s malými koncovými zariadeniami. Rýchlosť na fyzickej vrstve dosahuje 1 Mbit/s, pričom skutočná priepustnosť dát sa pohybuje maximálne okolo 720 kbit/s. Technológia Bluetooth je definovaná štandardom IEEE 802.15.1. Komunikácia po Bluetooth ponúka až tri hlasové kanály. Bluetooth pracuje podobne ako WLAN 802.11b v bezlicenčnom pásme 2,4GHz. Na rozdiel od 802.11b ale Bluetooth využíva metódy rozprestreného spektra s preskakovaním frekvencie (*Frequency Hopping Spread Spectrum*, FHSS), kedy rádiový signál veľmi rýchlo (1600-krát za sekundu) náhodne preskakuje medzi 79 kanálmi s rozstupom 1 MHz. Vysielanie prebieha na frekvenčných kanáloch $f=2405 + k$ MHz, $k=0, \dots, 78$. Pre prenos dát sa používa Gaussovská modulácia GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*).

Celú komunikáciu v sieti Bluetooth riadi hlavná stanica (*master*) prostredníctvom protokolu výzvy: podriadená stanica (*slave*) môže komunikovať s ostatnými výhradne prostredníctvom hlavnej stanice. Komunikácia medzi hlavnými stanicami a podriadenou stanicou je asynchrónna bez spojenia (*asynchronous connectionless*). Hlavná stanica alokuje časové úseky podľa potrieb pre každý typ komunikácie (synchronny alebo asynchrónny) prostredníctvom mnohonásobného prístupu s časovým delením (*Time Division Multiple Acces*, TDMA). Bluetooth používa rovnaké frekvencie pre vysielanie a príjem s využitím *Time Division Duplexing* (TDD), ktoré tiež umožňuje, aby jedna stanica siete bola súčasne podriadenou i hlavnou stanicou.

Bluetooth používa pre zabezpečenie rovnaký protokol ako WLAN, protokol WEP (*Wired Equivalent Privacy*), ale s 128-bitovým kľúčom. Malý dosah siete je s ohľadom na bezpečnosť veľkou výhodou v porovnaní so sieťami 802.11, kde sa možno do siete nabúrať až stovky metrov ďaleko.

Ak je topológia (konfigurácia) WLAN realizovaná predovšetkým s návaznosťou na sieťovú infraštruktúru, v prípade WPAN sa primárne jedná o ad hoc (náhodné) zoskupenie komunikujúcich zariadení, čo znamená, že sa zariadenia môžu ľahko pripojiť alebo odpojiť od siete. Niekedy sa tento princíp budovania siete nazýva *Spontaneous Networking*. Súčasne je však možné využiť pripojenie k prístupovému bodu (*Acces Point*, AP) ako vo všetkých typoch WLAN. Bluetooth podporuje ako dvojbodovú, tak mnohobodovú komunikáciu. Ak je viac staníc pripojených do ad hoc siete, tzv. pikosiete (piconet), jedna rádiová stanica pôsobí ako hlavná (*master*) a môže simultánne obslúžiť až 7 podriadených (*slave*) zariadení. Všetky zariadenia v pikosieti sa synchronizujú s taktom hlavnej stanice a so spôsobom preskakovania medzi frekvenciami. Špecifikácia dovoľuje simultánne použiť až 10 pikosietí na ploche s dosahom 10 metrov. Pikosiete je možné združovať do tzv. scatternets („rozprestrených“ sietí).

Bezdrôtové lokálne siete WLAN (IEEE 802.11) a osobné siete WPAN (Bluetooth a IEEE 802.15) sa radia k technológiám nenáročným na napájanie, s malým dosahom a malou priestorovou kapacitou. Ultra-širokopásmová technológia (*Ultra-Wide Band*, UWB) má i stredný dosah a najmä sa vyznačuje vysokou priestorovou kapacitou, t.j. agregovanou šírkou pásma na jednotku plochy. Osobné siete majú ešte menší dosah ako WLAN a tiež prenosová kapacita je nižšia [20].

Základná koncepcia Bluetooth zariadení je uvedená na nasledujúcom obrázku:



Obrázok 25: Základná koncepcia Bluetooth zariadení

Bluetooth rádio obstaráva celú časť spojenú s analógovou časťou vysielania a príjmu, Link Controller je rozhraním medzi rádiovou časťou a diskretnou časťou a Link Manager je rozhraním medzi Bluetooth zariadením a užívateľskou aplikáciou. Link Manager sa tiež stará o mechanizmus prepínania kanálov.

Každé Bluetooth zariadenie je koncipované do jednej z výkonových tried podľa maximálneho vyžiarého výkonu uvedeného v tabuľke nižšie [21].

Výkonová trieda	Maximálny výstupný výkon		Dosah (približný)
	[mW]	[dBm]	
1	100	20	~100 metrov
2	2,5	4	~10 metrov
3	1	0	~1 meter

Tabuľka 11: Výkonové triedy Bluetooth zariadení

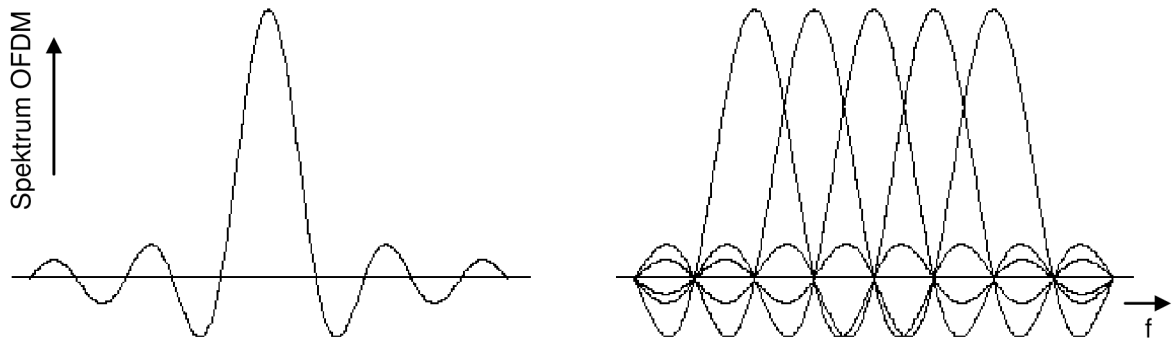
Udávané hodnoty samozrejme platia len vo voľnom priestore. Ak sú medzi komunikujúcimi zariadeniami prekážky (typicky napr. steny), dosah rýchlo klesá. Väčšinou ale nedochádza k skokovej strate spojenia, ale postupne sa zvyšuje počet chybné prenesených paketov.

Bluetooth má vo verzii 1.1 maximálny dosah iba 10 metrov s vrcholnou rýchlosťou 1Mbit/s. V súčasnosti absolútna väčšina zariadení využíva verziu 1.2, ktorá rozširuje dosah až na 100 m. Špecifikácia Bluetooth 2.0 EDR (*Enhanced Data-Rate*), zavádza novú modulačnú techniku pi/4-DQPSK a zvyšuje tak dátovú priepustnosť na trojnásobnú oproti Bluetooth 1.2. Týmto sa dosahuje ďaleko väčšia výdrž batérií, pretože samotné naviazanie spojenia a i prenos samotný prebieha v ďaleko kratšej dobe než u starších verzií Bluetooth. Naposledy uvedená je verzia Bluetooth 3.0 + HS, ktorá podporuje okrem staršieho frekvenčného pásam aj 5 GHz a dosahuje maximálnu prenosovú rýchlosť až 54 Mb/s, čo zodpovedá štandardu IEEE 802.11g, bežne využívaného pri Wi-Fi.

6.2.4 Modulácia OFDM

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) – ortogonálny frekvenčne delený multiplex niekedy tiež nazývaný diskretná viactónová modulácia (*Discrete Multitone Modulation - DMT*), je založený na princípe frekvenčného multiplexu (*Frequency-Division Multiplexing - FDM*), ale je používaný na digitálnu moduláciu. Bitový tok, ktorý je prenášaný je rozdelený na viac (typicky tisíce) paralelných bitových tokov. Dostupné frekvenčné pásmo je rozdelené na viac kanálov (rozprestrené spektrum) a každý z bitových tokov je prenášaný jedným kanálom pomocou štandardnej modulácie (napr. PSK, QAM, atd.) To znamená, že namiesto vytvorenia veľkého dátového kanálu pre prenos dát OFDM vysiela bity cez viac podkanálov pracujúcich paralelne na rôznych frekvenciách. Rovnako ako paralelné spracovanie v superpočítačovom svete umožňuje OFDM jednotlivému procesu (podkanálu) sústrediť sa na určitý malý objem informácií, nezaťažovaný inými úlohami. Keď potom budú na konci dátového prenosu všetky čiastkové kanály zložené dohromady (multiplexovaním), bude výsledkom vysoká priepustnosť. Frekvencie jednotlivých kanálov sú vyberané tak, že jednotlivé bitové toky sú

navzájom prenášané ortogonálne, to znamená, že ich skalárny súčin je nulový. To spôsobí potlačenie presluchov medzi jednotlivými kanálmi.



Obrázok 26: naľavo spektrum jedného podkanála OFDM, napravo spektrum OFDM

Spôsobom paralelného vysielania sa o OFDM účinne bráni skresleniu pri prenose signálu rôznymi cestami (*Multipath Distortion*), pretože každý prenášaný symbol trvá na čiastkovej nosnej dlhšie, takže sa prakticky vylúči nepriaznivý dopad oneskorenia signálu dlhšou cestou. Navyše sa používa viac úzkopásmových nosných a ich vzájomné rušenie ovplyvní len veľmi malú časť signálu. Tradičný frekvenčný multiplex delí frekvenčné pásmo do N neprekrývajúcich sa frekvenčných subkanálov vzájomne oddelených ochranným frekvenčným pásmom (*guard*), OFDM používa prekrývajúce sa subkanály, takže sa frekvenčné pásmo využíva účinnejšie. Kanály OFDM sa síce prekrývajú, ale prítomnosť jednoznačných identifikátorov vnútri každého kanála znižuje podstatným spôsobom potenciálnu interferenciu. Prísne vzaté nie je OFDM modulačnou metódou, ale metódou pre generovanie a moduláciu viac nosných súčasne, každú s malou časťou dátového toku. Ako konkrétnu moduláciu možno potom použiť akýkoľvek typ modulácie vrátane QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*), 16-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) či 64-QAM.

6.2.5 IEEE 802.11 b/g/n

Štandard IEEE 802.11 je súbor noriem označovaných ako WLAN alebo Wireless LAN, teda bezdrôtová lokálna sieť. Štandard 802.11 má viac verzií, sú označované písmenami a, b, g a n, líšia sa maximálnou rýchlosťou, využívaným frekvenčným pásmom a sú spätne kompatibilné s výnimkou štandardu s koncovým písmenom a, ktorý využíva iné frekvenčné pásmo.

Špecifikácia	Max. teoretická rýchlosť [Mbit/s]	Frekvenčné pásmo [GHz]
IEEE 802.11a	54	5
IEEE 802.11b	11	2,4
IEEE 802.11g	54	2,4
IEEE 802.11n	108	2,4

Tabuľka 12: Max. rýchlosti a pásma hlavné špecifikácii IEEE 802.11

Pásmo 2,4 GHz je tzv. pásmo ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), čo znamená pásmo vyhradené na priemyselné, vedecké a lekárske ciele. Na tomto pásme je možné voľne vysielateľ, nie je potrebná nijaká licencia, čo je zásadný rozdiel napríklad v porovnaní s licencovanými frekvenčnými pásmami mobilných operátorov. Každé za však má aj svoje proti. Keďže je to voľné pásmo, môže na ňom

vysielať ktokoľvek a môže sa stať, že príde k zahlteniu pásma. V prípade mobilných operátorov je regulácia a licencia určená práve na predchádzanie tomuto problému.

Štandard pre bezdrôtové siete v pásme ISM vznikol v roku 1997 (IEEE 802.11), poskytoval maximálnu dátovú priepustnosť 2 Mbit/s, čo však v porovnaní s klasickými ethernetovými spojkami nemalo šancu na úspech. Neskôr sa teda začali objavovať zlepšené verzie štandardu 802.11. Štandard 802.11a pracuje na frekvencii 5 GHz, pretože v USA je pásmo 5 GHz bezplatné, zatiaľ čo v Európe je licencované, takže alternatívou tohto štandardu je 802.11g, ktorý sa dnes masovo používa a pracuje na voľne dostupnom pásme 2,4 GHz. Štandard 802.11a používa vyššiu frekvenciu, má však znížený dosah, inak je totožný s 802.11g.

Šírenie signálu, jeho dosah a rušenie

Spôsob šírenia elektromagnetických vln a ich schopnosť šíriť sa okolím závisí od ich frekvencie. Kým napríklad pri prenosoch GSM na frekvenčnom pásme 900 MHz je potrebný menší vysielač výkon na pokrytie väčšej oblasti, vykrývacie stanice UMTS pracujúce na 2100 MHz musia byť rozmiestnené hustejšie, ale v tomto frekvenčnom pásme sa efektívnejšie využíva frekvenčné spektrum, teda sa prenesie viac dát.

Pásmo WiFi 2,4 GHz znamená frekvencie v rozsahu od 2412 MHz až do 2484 MHz s rozstupom medzi jednotlivými frekvenciami 5 MHz. Každá konkrétna frekvencia (napr. 2412, 2417, 2422 MHz atď.) predstavuje kanál, ktorých je spolu 13.

Elektromagnetické vlnenie v pásme 2,4 GHz má obmedzený dosah. WiFi aliancia udáva pre štandard 802.11g dosah približne 50m v budovách a 100m vo vonkajšom prostredí. Toto tvrdenie však silne závisí od typu budov (sadrokartón, železobetón, panel), dispozície priestorov a prekážok v smere šírenia vln. Tak ako sa odráža zvuk či svetlo, odrážajú sa aj „vlny“ WiFi. Pokiaľ je medzi vysielačom a prijímačom prekážka, dochádza k rušeniu. Vlnenie vysielať WiFi sa odráža od prekážok, ktoré majú veľkosť väčšiu ako 15cm, čo je fyzický prepočet dĺžky vlny vo vysielačom pásme. Napríklad v starých bytoch v panelákoch sa môže stať, že už v susednej miestnosti, ktorá je od miestnosti s vysielačom oddelená nosnou priečkou, budete mať iba slabý signál. V montovaných domoch so sadrokartónovými stenami bude silný signál všade. Pozor však na Faradayovu klietku, teda na kovové „obaly“, ktoré izolujú žiarenie.

Príčinou rušenia bezdrôtového signálu nemusí byť vždy len prekážka v jeho ceste. Môže ňou byť tiež iná sieť alebo zariadenie pracujúce v rovnakom frekvenčnom pásme, čo je zásadná nevýhoda voľného frekvenčného pásma, na ktorom môže vysielať ktokoľvek. Hoci je päťmegahertzový frekvenčný odstup jednotlivých kanálov teoreticky dostatočný (pri FM rádiách postačuje 0,5 MHz na naladenie správnej stanice), v prípade lokalít preplnených sieťami WiFi sa vysielať na rôznych, ale iba tesne susediacich kanáloch predsa len vzájomne ruší.

Ďalšou príčinou rušenia môže byť rušenie spôsobené zariadením, ktoré vyžaruje vysielať s nadlimitným výkonom (za limit sa považuje 100mW na vysielač prvok). Ešte väčšie rušenie nastane, keď je miesto vysielať zasiahnuté takýmto vysielačom, ktorý je navyše smerový (smerové antény). Rovnako nie je vhodné, ak na mieste, kde sa dobre šíri signál, vysielač žiari stopercentným výkonom. Zbytočne sú tým rušené okolité siete. Silnejší signál nemusí hneď znamenať aj rýchlejšie dátové prenosy, záleží na zašumení a kvalite signálu. Paradoxne, keď sa pri dvoch sieťach WiFi na jednom mieste nastavia nižšie vysielačie výkony, zníži sa síce dosah vysielačov, zvýši sa však kvalita prijímaného signálu [22].

7 Hardvérový návrh a oživenie modulu W-DMX v2.0 a RF zosilňovača

Pri návrhu konkrétnej schémy modulu W-DMX bolo potrebné zvážiť doterajší návrh. Záverom týchto úvah bolo uskutočnenie zmeny mikrokontroléra (a tiež niekoľkých konštrukčných zmien) a výber vhodného RF zosilňovača, ktorý bude bezproblémovo spolupracovať s modulom W-DMX. Obvod UPG2301TQ poskytuje požadovanú funkčnosť zosilnenia a vlastnosti, ktoré by mali umožniť jeho bezproblémovú spoluprácu s modulom W-DMX, avšak je problematickým z hľadiska dostupnosti a tiež z hľadiska prílišnej miniaturizácie, čo by predražilo výrobu dosky plošných spojov. Preto bude použitý obvod RF5722. Mikrokontrolér MC9S08GT vyhovoval požadovaným kritériám na riadiacu jednotku. Hlavným dôvodom jeho zmeny je skutočnosť využitia prijímania dvoch signálov bezdrôtovým transceiverom nRF2401A súčasne, k čomu sú však potrebné dva moduly SPI. Mikrokontrolér MC9S08GT však obsahuje iba jeden. Alternatívou k nemu je mikrokontrolér MC9S08QE128, ktorý má jadro rodiny HCS08 a podobné vlastnosti ako mikrokontrolér MC9S08GT, navyše však obsahuje dva moduly SPI. To umožní súčasne prijať do mikrokontroléra dva signály z transceivera. Tým sa rapídne zvýši rýchlosť komunikácie (súčasný príjem dvoch druhov dát) alebo zníži jej chybovosť pri vyslaní rovnakých dát paralelne na inej frekvencii.

7.1 Mikrokontrolér MC9S08QE128

Mikrokontrolér MC9S08QE128 obsahuje 8-bitový CPU s jadrom HCS08.

- Frekvencia CPU je daná hodnotou 50,33MHz pri 2,4V, 40MHz pri 2,1V, a 20MHz pri 1,8V.
- HCS08 inštrukčná sada s pridanými BGND inštrukciami
- Podpora až 32 zdrojov prerušenia/resetov

Pamäť na čipe

- FLASH s možnosťami čítanie/program/mazanie v celom rozsahu napätí a teplôt
- Pamäť RAM
- Zabezpečovacie obvody pre ochranu neautorizovaného prístupu k obsahu RAM a FLASH

Módy úspory energie

- 2 nízko-výkonové STOP módy; redukovaný výkon WAIT (čakacím) módom
- Periférne hodiny aktivujú register, ktorý môže odpojiť hodiny na nevyužitých moduloch, znížiť prúd; povoľuje hodiny na ďalšie aktivovanie špecifických periférií do STOP3 módu
- Veľmi nízko-výkonový externý oscilátor môže byť používaný v STOP3 móde pre poskytnutie presného taktu aktívnym perifériám.
- Veľmi nízko-výkonový čítač pracujúci v reálnom čase a môže byť v bežiacom, čakacom a stop móde s internými a externými zdrojmi taktu.
- 6 μ s typický čas pre zobudenie zo STOP módov

Nastavenie zdroja taktu

- Oscilátor (XOSC) – Pierceov oscilátor pracujúci v slučke; kryštálový alebo keramický rezonátor s rozsahom od 31,25kHz do 38,4kHz alebo od 1MHz do 16MHz
- Interný zdroj taktu (Internal Clock Source, ICS) – FLL kontrolovaný interným alebo externým riadením; presnosť hrany interného riadenia dovoľuje 0,2% rozlíšenie a 2% odchýlku; podporovaná frekvencia je od 2 do 50,33MHz.

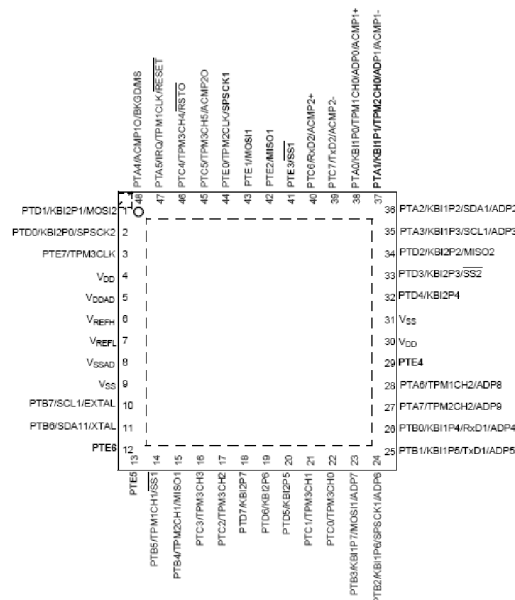
Ochrana systému

- Voliteľný reset modulu správneho behu programu (*Watchdog*) s nastavením spustenia od dedikovaného 1-kHz interného zdroja taktu alebo taktu zbernice
- Nízko-napäťová detekcia s resetom alebo prerušením
- Detekcia nepovoleného opecodu s resetom
- Ochrana bloku pamäte FLASH

Vývojová podpora

- Jednovodičové ladiace rozhranie pracujúce na pozadí
- Schopnosť dočasného zastavenia (*breakpoint*) umožňuje jednoduché nastavenie tohto zastavenia počas ladenia obvodu (plus ďalšie dva body zastavenia)
- Emulátor v obvode na čipe (*On-chip in-circuit emulator, ICE*) - ladiaci modul, ktorý obsahuje dva komparátory deväť spúšťacích módov. Osem inteligentných front pre ukladanie zmeny toku adres a dáta vzniknuté len pri udalosti. Ladiaci modul podporuje dvojité značku a platnosť breakpointov.

Mikrokontrolér MC9S08QE128 môže byť umiestnený v niekoľkých púzdrach – 80-LQFP, 64-LQFP, 44-LQFP, 32-LQFP, 48-QFN. Zaujímavé pre modul W-DMX v2.0 bude púzdro QFN (obr. nižšie).



Obrázok 27: Púzdro QFN mikrokontroléra MC9S08QE128

ADC – 24-kanálový, 12-bitový analógovo číslicový prevodník; 2,5μs konverzný čas; funkcia automatického porovnania; 1,7mV/°C tepelný senzor; interný pásmovo-rozdielový referenčný kanál; operácie v STOP3; plná funkcionlita od 3,4 do 1,8V.

ACMPx – dva analógové komparátory s voliteľnými prerušením na nábežnú, dobehovú alebo akúkoľvek hranu z nich na výstupe komparátora; možnosť porovnania pre zaistenie interného pásmovo-referenčného napätia; výstupy môžu byť vyvedené na TPM modul; operácie v STOP3.

SCIx – dva SCI s plným duplexom nevrátnym na nulu; LIN master rozšírený generovaním prerušenia (break); LIN slave rozšírený detekciou prerušenia; prebudenie na aktívnu hranu.

SPIx – dva sériové periférne rozhrania s plno-duplexným alebo jednovodičovým obojsmerným spojením; dvoj-bufferový vysielateľ a prijímač; posúvanie spôsobom MSB-prvý alebo LSB-prvý.

IICx – dva moduly IIC (modul prepojenia medzi integrovanými obvodmi); až 100 kbps s maximálnym nahrávaním zbernice; multi-master operácia; programovateľná slave adresa; prerušenie riadené prenosom dát bajt po bajte; podpora broadcast módu a 10-bitového adresovania.

TPMx – jeden 6-kanálový a dva 3-kanálové; voliteľné zachytenie vstupu, výstupného porovnania alebo bufferovaného na hranu alebo stred zarovnaných PWM na každom kanály.

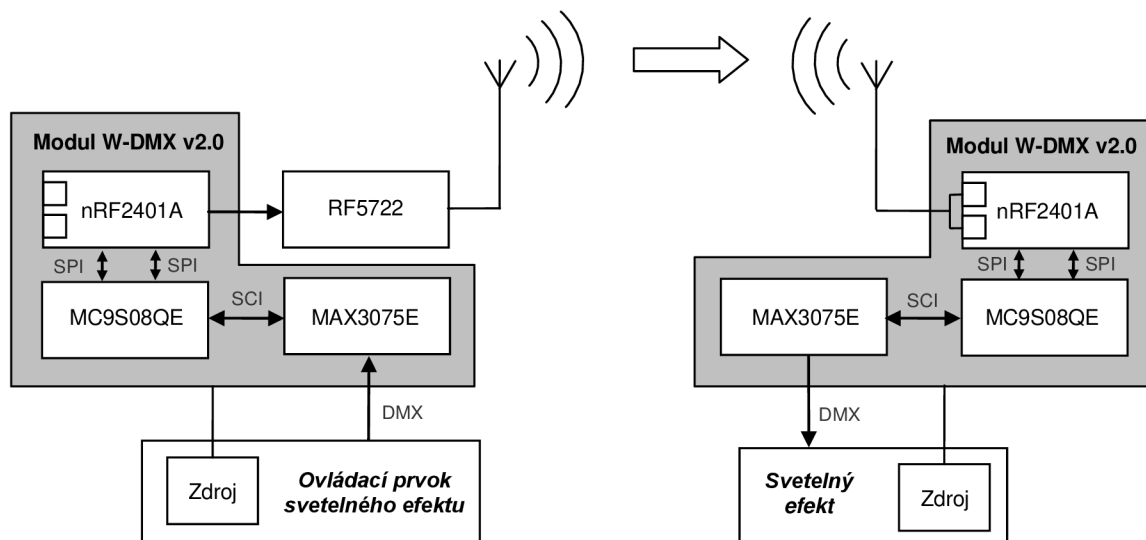
RTC – 8-bitový modulový čítač s binárnym alebo dekadickým deličom; externý zdroj taktu pre presný čas, deň, kalendár alebo funkcie plánovania úloh; voľné spustenie nízko-výkonového oscilátora (1kHz) na čipe pre cyklické zobúdzanie bez externých komponent.

Vstup/Výstup

- 70 GPIO a jeden len vstupný a len výstupný pin
- 16 KBI prerušení s možným výberom polaroty
- Oneskorovacie a nastaviteľné pull-up zariadenie na všetkých vstupných pinoch; nastaviteľná rýchlosť priebehu a riadenie intenzity na všetkých výstupných pinoch.
- SET/CLR registry na 16 pinoch (PTC a PTE)

7.2 Bloková schéma

Kvôli lepšej testovateľnosti hotového zariadenia a tiež pre zistenie vplyvu zmien uskutočnených so zámerom na zvýšenie dosahu bezdrôtového modulu som sa rozhodol, že RF zosilňovač bude umiestnený externe. Prepojenie modulu W-DMX s RF zosilňovačom bude riešené prostredníctvom konektorov SMA.



Obrázok 28: Konkrétna schéma modulu W-DMX

Na obrázku sú znázornené konkrétne súčiastky, ktoré budú tvoriť modul W-DMX. Pre pripomenutie ich funkciami sú:

- nRF2401A – bezdrôtový transceiver zabezpečujúci vysielanie a príjem RF signálu
- MC9S08QE – mikrokontrolér riadiaci komunikáciu
- MAX3075E – prevodník úrovni umožňujúci mikrokontroléru „rozumieť“ protokolu DMX
- RM5722 – RF zosilňovač, ktorého úlohou je zvýšiť dosah modulu W-DMX v2.0

RF zosilňovač bude na nezávislej doske, čo umožní flexibilnejšie testovanie funkcie modulu – zistenie dosahu bez zosilnenie, so zosilnením apod. Vstupný konektor SMA na doske RF zosilňovača sprostredkuje jednoduché pripojenie RF zosilňovača namiesto antény, ktorá používa rovnaký

konektor. Pri tomto riešení bolo zvážených viac konštrukčných možností – dosky modulu a zosilňovača by boli spojené vodičovými prepojami, doska zosilňovača by tak nebola pevne spojená s modulom, čo by malo výhody (flexibilnejšie umiestnenie) ale aj nevýhody (možnosť odtrhnutia drôtových prepojení, nežiadany kontakt vodičových plôch); spojenie priamymi konektormi pričom by dosky boli nad sebou – znamenalo by to zväčšenie celého zariadenia, ktoré by bolo spôsobené jeho nekompaktným tvarom. Ako je viditeľné v blokovej schéme, na prijímacej strane sa zosilňovač nenachádza. Pravdepodobne bude dosah dostačujúci aj bez tohto riešenia, no bude možné zosilňovač pripojiť a presvedčiť sa o tom.

Už som spomínal a na obrázku je to jasne znázornené, že komunikácia je jednosmerná od ovládacieho prvku svetelného efektu ku svetelnému efektu. To prináša výhody ako aj nevýhody. Pri komunikácii s nepotvrdzovaním môže byť komunikácia rýchlejšia vzhľadom k tomu, že nečakáme na odpoveď, ale predpokladáme, že paket bol prijatý správne. No práve tento predpoklad často krát nemusí byť správny. Táto neistota, či bola komunikácia uskutočnená správne alebo došlo k chybe, je nevýhodou jednosmernej komunikácie (bez potvrdzovania). Pri použití metódy preskakovania frekvencie je priam nevyhnutnosťou komunikovať obojsmerne, pretože je dôležité vedieť, či sa prijímač preladiť na novú frekvenciu. Ak sa tak nestalo, vysielanie je zbytočné, keďže prijímač by prijímal dáta na pôvodnej frekvencii (tým pádom by dáta na novej frekvencii neprijímal). Teda je potrebné, aby sa prijímacia aj vysielacia strana synchronizovala na novú frekvenciu, na ktorej sa bude vysielat/prijímať a v prípade problémov na jednej zo strán o tom vedela strana druhá a podľa možnosti tiež mohla reagovať a komunikácia tak bola plynulá. Daňou obojsmernej komunikácie je čas, ktorý strávi vysielacia strana čakaním na potvrdzovací paket. Možností realizácie mechanizmu potvrdzovania existuje niekoľko. Základné rozdelenie môže byť:

- **Jednotlivé potvrdzovanie** – odosielateľ odošle rámec a potom čaká na reakciu príjemcu. Ďalší rámec vyšle až vo chvíli, keď mu príjemca signalizuje úspešné prijatie pôvodného rámca. V opačnom prípade (keď mu je signalizované neúspešné prijatie, alebo ak nedostane do určitého časového limitu žiadnu odpoveď) vyšle pôvodný rámec znovu.

Metódy implementácie jednotlivého potvrdzovania:

- *Metóda s čisto kladným potvrdzovaním.* Príjemca potvrdzuje len bezchybne prijaté rámce. Metóda sa nie je schopná vyrovnat' so stratou správy. Strata potvrdenia vedie na duplikáciu správy na strane príjemcu.
- *Metóda s čisto záporným potvrdzovaním.* Príjemca vysielala len záporné potvrdenia (odmietnutia), ktoré signalizujú prijatie rámca s chybami a explicitne žiadajú o jeho opätovné vyslanie. Metóda nie je schopná správu zopakovať pri jej strate ani pri strate odmietnutia - dochádza ku stratám správ.
- *Metóda s kladným potvrdzovaním doplnená o možnosť odmietnutia poškodených správ.* Príjemca explicitne signalizuje obe možné situácie - pomocou kladného aj záporného potvrdenia.
- **Kontinuálne potvrdzovanie** – všeobecnou nevýhodou všetkých variantov jednotlivého potvrdzovania je nutnosť čakať pred odoslaním ďalšieho rámca na reakciu protistrany. V prípade dlhších dôb prenosu tak môžu vznikat' neúnosné veľké časové straty. Pri kontinuálnom potvrdzovaní odosielateľ vysielala nové rámce bez toho, aby si bol istý o úspešnosti prijatia predošlých rámcov. Po odoslaní určitého rámca teda odosielateľ nečaká na správu o úspešnom či neúspešnom prijatí rámca, ale môže ihneď pokračovať vyslaním ďalšieho rámca. Kladné, resp. záporné potvrdenia jednotlivých rámcov potom odosielateľ dostáva s určitým oneskorením a reaguje na ne až potom, keď ich skutočne dostane.

Metódy implementácie kontinuálneho potvrdzovania:

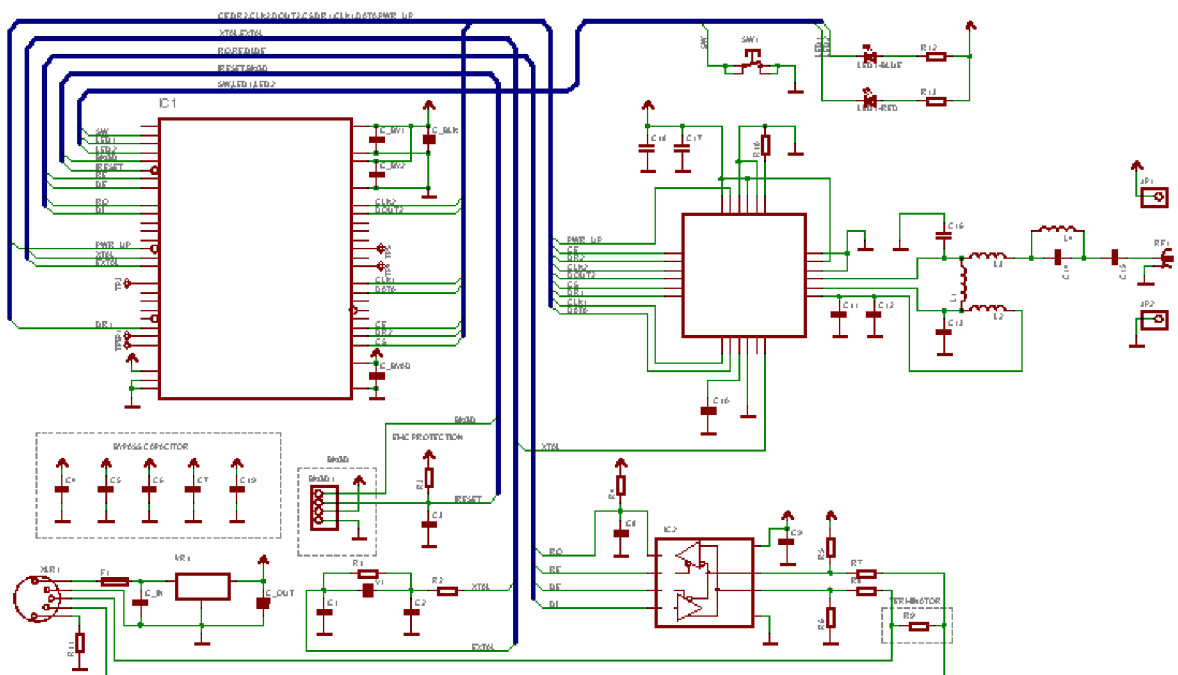
- *Selektívne opakovanie.* Odosielateľ môže znovu vyslať len ten rámec, o ktorom sa dozvedel, že nebol úspešne prenesený. Selektívne opakovanie vyžaduje na svoju

implementáciu pomerne veľkú kapacitu vyrovnávacích pamätí a to tak na strane prijemcu, ako aj na strane odosielateľa.

- *Opakovanie s návratom.* Odosielateľ znova vyšle chybne prenesený rámec a po ňom znovu aj všetky nasledujúce rámce, ktoré už medzitým mohli byť tiež odvysielané. Opakovanie s návratom je vo všeobecnosti menej efektívne ako selektívne opakovanie, pretože môže spôsobiť opakované vyslanie rámcov, ktoré už boli prijaté bezchybne.

7.2.1 Obvodová schéma

Obvodová schéma zariadenia bližšie objasňuje všetky funkčné jednotky a spoje medzi nimi a dáva podrobnú predstavu o činnosti zariadenia. Obvodová schéma modulu W-DMX v2.0 vychádza z doporučeného zapojenia obvodov od jednotlivých výrobcov, pretože obvody sú optimalizované pre toto zapojenie a dosahujú najlepšie elektrické, prípadne ďalšie parametre.



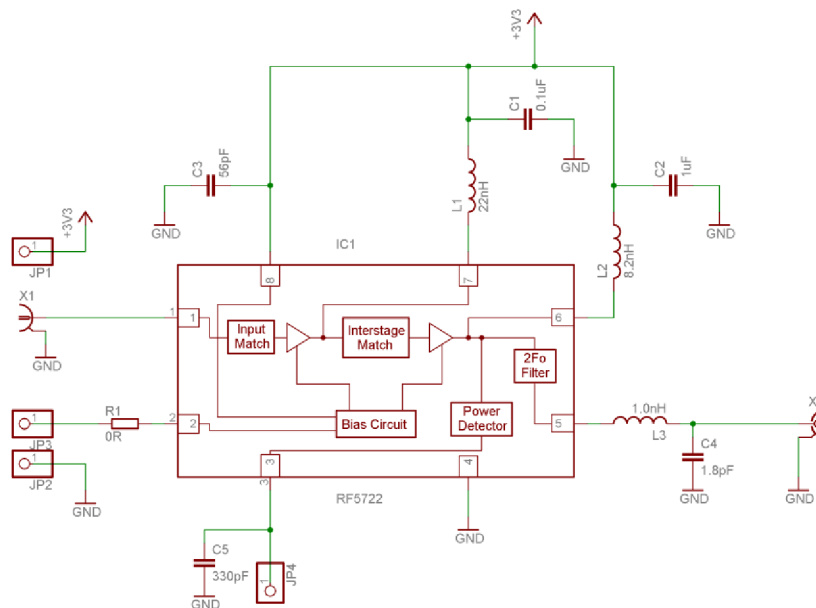
Obrázok 29: Schéma modulu W-DMX v2.0

Schéma modulu W-DMX v2.0 sa skladá z niekoľkých funkčných blokov a ich vhodným prepojením. Funkčnými blokmi a dôležitými časťami sú:

- **Mikrokontrolér s príslušnými súčiastkami** – mikrokontrolér potrebuje pre svoju funkciu hlavne napájanie, s čím súvisia filtračné kondenzátory na niektorých vstupoch, ktoré sú napájané. Mikrokontrolér potrebuje k svojej funkcii okrem napájania aj kryštál, ktorý kvôli úspore miesta a prostriedkov budú spoločne zdieľať s nRF. Hoci má mikrokontrolér vlastný (interný) kryštál, kvôli zaručeniu väčšej presnosti hodinového taktu je použitý externý kryštál. Kryštál bude pracovať na frekvencii 16MHz, čo spĺňa podmienky tak mikrokontroléra (1 – 16 MHz) ako aj transceivera (4, 8, 16, 20 MHz). Mikrokontrolér sa programuje prostredníctvom rozhrania BDM (piny označené BKGD – *Background Debugging*), ktoré potrebuje +3,3V, GND, RESET a BKGD, po ktorom sa prenášajú dáta. Reset rieši RC člen, ktorý pri poklese napätia vyresetuje mikrokontrolér, ktorý práve pri nízkom napätí nemusí pracovať spoľahlivo.

- **Bezdrôtový transceiver s príslušnými súčiastkami** – transceiver je zapojený podľa doporučenej schémy zapojenia od výrobcov a s mikrokontrolérom prepojený prostredníctvom portov PTE0 – PTE3 a PTD0 – PTD3 (využitie obidva moduly SPI). Keďže na vysielacej strane bude mikrokontrolér posielat' dáta do transceivera a na prijímacej strane ich naopak bude transceiver posielat' do mikrokontroléra na spracovanie (teda jednosmerne), stačí použiť jeden dátový vodič modulu SPI a to vodič MOSI (MISO je nepoužitý). SPI k svojej funkcii z princípu potrebuje vodič hodinového signálu SCK, ktorý je samozrejme taktiež použitý.
- **Prevodník úrovni s príslušnými súčiastkami** – prevodník je určený k umožneniu komunikácie mikrokontroléra s koncovým zariadením (svetelným pultom alebo efektom). Prevodník úrovni je prepojený s mikrokontrolérom portami PTB0 a PTB1 (modul SCI - RX a TX) a PTA6 a PTA7, z ktorých sú posielané mikrokontrolérom povolovalacie príkazy (RE, DE) pre nastavenie vysielania (TX) alebo prijímania (RX).
- **Vstup/výstup** – vstupom z pohľadu modulu W-DMX v2.0 ako vysieláča je konektor XLR výstupom je konektor SMA. Z pohľadu modulu W-DMX v2.0 ako prijímača je to naopak. Konektor XLR zabezpečuje prepojenie modulu W-DMX v2.0 s koncovým zariadením (svetelným pultom alebo efektom) a z neho je modul napájaný. Medzi XLR konektorom a prevodníkom úrovni, do ktorého prechádzajú dáta z konektora, je terminátor. Je to ukončovaci odpor zabraňujúci odrazom RF signálu, ktoré spôsobujú ovplyvňovanie. Terminátor je umiestnený na konci prenosovej linky a je navrhnutý tak, aby jeho impedancia minimalizovala odrazy signálu. Na konektor SMA je pri vysielaní pripojený RF zosilňovač (prípadne len anténa) a pri prijímaní anténa. V prípade pripojenia RF zosilňovača sú pri SMA konektore tiež konektory slúžiace pre napájanie dosky zosilňovača (+3,3V a GND).
- **Napájanie** - mikrokontrolér, bezdrôtový transceiver ako aj prevodník úrovni sú napájané 3,3V, k čomu je potrebný zdroj. Tento zdroj, vďaka tomu, že žiadne zo zariadení nepotrebuje iné ako 3,3V napätie a GND (zem), je jednoduchý a jeho rozmery nemajú výrazný vplyv na veľkosť celej dosky modulu, preto bude jej súčasťou (a teda nie externe ako samostatná jednotka). Vstupom zdroja je 5V z ovládacieho prvku svetelných efektov alebo zo svetelného efektu podľa umiestnenia modulu. Prevod +5V na +3,3V zabezpečuje obvod LM3940IMP a dva kondenzátory, čo je z hľadiska rozmerov ako aj návrhu pomerne nenáročné riešenie. Napájania sa tiež týkajú blokovacie kondenzátory (*bypass capacitor*), ktoré sú rozmiestnené na doske plošných spojov a ich úlohou je dodať blokovanému obvodu elektrický prúd pri rýchlych zmenách jeho odberu.
- **Užívateľské rozhranie** – tvorí tlačidlo slúžiace k viacerým účelom – na prepnutie do konfiguračného módu, ako „reset“ pre nastavenie určitého počiatočného stavu atď.. Druhou výstupnou časťou pre užívateľa sú dve LED diódy nachádzajúce sa v jednom púzde, čo opäť šetrí miesto na doske plošných spojov. LED diódy signalizujú, v akom stave sa nachádza modul W-DMX v2.0 – modrá LED dióda značí správny chod systému, červená problém (napr. pri prijímaní).

Na nasledujúcom obrázku je zrejmé že pre funkciu zosilňovača RF5722 nie je potrebných mnoho súčiastok – k zosilňovaču sa pripája niekoľko kondenzátorov a cievok. Pomerne veľa funkčných prvkov a väzieb, ktoré zabezpečujú požadované vlastnosti je realizovaných interne, čo uľahčilo jeho návrh. Vstupný SMA konektor X1 slúži na pripojenie k modulu W-DMX a výstupný X2 na pripojenie antény. Na samostatný pin je vyvedený výstup detektora výkonu (*Power Detector*), ktorým je možné zistiť aktuálny výkon, čo umožní riadenie vysielacieho výkonu – pružné regulovanie vysielacieho výkonu a vďaka tomu sa nebude vyžarovať viac energie než je momentálne nutné.



Obrázok 30: Schéma RF zosilňovača

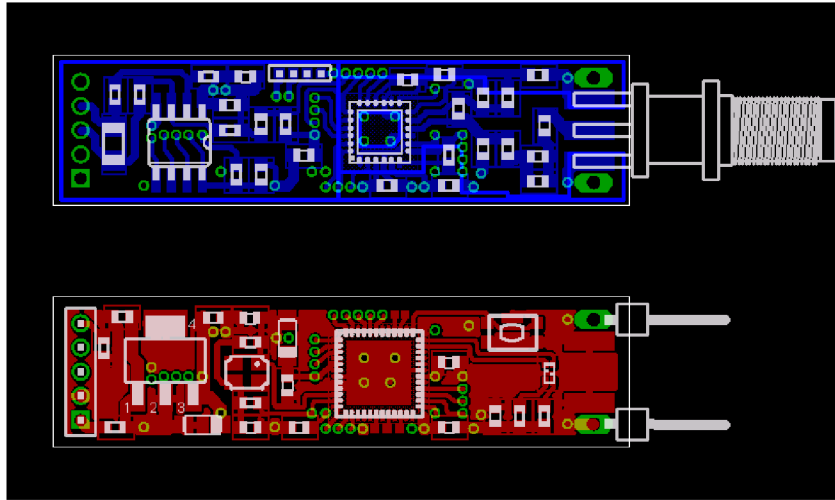
Tým sa dá znížiť spotreba zariadenia a tiež nepriaznivé ovplyvňovanie iných bezdrôtových zariadení. Zatiaľ táto funkcia využitá nebude, ale v budúcnosti pri ďalšom vylepšení modulu táto možnosť môže nájsť uplatnenie. Napájanie bude privedené z modulu W-DMX a to 3,3V a GND. Žiadne „špeciálnejšie“ napätia tento obvod k svojej funkcii nepotrebuje (akoby tomu bolo napr. u RF zosilňovača UPG2301TQ).

7.3 Dosky plošných spojov

Programové vybavenie pre návrh dosiek plošných spojov modulu W-DMX v2.0 a RF zosilňovača bol zvolený program Eagle (*Easily Applicable Graphical Layout Editor*) od firmy CadSoft. Iné programy na návrh dosiek plošných spojov (ako napr. OrCAD, PCAD, SMARTWORK, KiCAD, FreePCB, PADS, Accel, Cadstar, Protel atď.) buď neposkytujú potrebnú komplexnosť – niektoré umožňujú kreslenie iba spojov bez elektrickej schémy alebo veľkú rozsiahlosť, ktorá by nebola využitá pre tento návrh. Ďalšie vlastnosti, ktoré nie sú v niektorých z týchto návrhových programov obsiahnuté a pri návrhu sa mohli hodiť, sú funkcia autorouter a automatická kontrola spojov. Eagle umožňuje požadované vlastnosti pre návrh modulu W-DMX v2.0: nakreslenie elektrickej schémy, prevedenie do návrhu plošných spojov, rozmiestnenie súčiastok na DPS a ich prepojenie (príp. spustenie autorouteru).

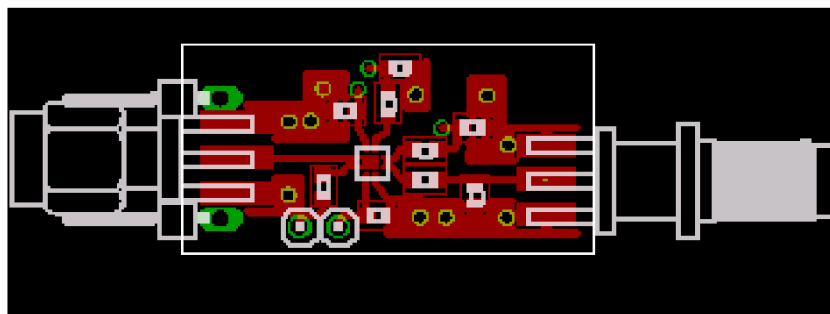
Doska plošných spojov (DPS) modulu W-DMX v2.0 je štvorvrstvová. Vrstva top (vrchná) a bottom (spodná) obsahuje SMD súčiastky a konektory, ktoré sú umiestnené v čo najväčšej blízkosti, avšak s ohľadom na dodržanie návrhových pravidiel (*DRC – Design Rule Check*). Na druhej vrstve je „rozliata“ zem a na tretej vrstve kladné napájanie a obidve vrstvy sú tiež využité na niekoľko prepojení. Približná dĺžka dosky plošných spojov modulu W-DMX v2.0 podľa návrhu je 47mm a šírka 12mm. Spolu s SMA konektorom má modul dĺžku 65mm, teda konektor tvorí nezanedbateľnú časť (čo sa týka veľkosti) modulu. Pomerne značný rozmer majú integrované obvody oproti ostatným súčiastkam, čo je pochopiteľné vzhľadom k ich zapúzdreniu všetkých funkcií modulu. Cesty medzi miniatúrnymi súčiastkami musia byť nutne úzke, čo prináša negatívnu vlastnosť návrhu a to nadmerné namáhanie ciest veľkými prúdmi, pretože nie je možné vytvoriť patrične široké cesty pod súčiastkami a popri nich (iba na úkor výroby viacvrstvových DPS alebo zväčšenia DPS a vedenia

širokých ciest vo väčšej vzdialenosti od súčiastok, čo v našom prípade neprichádza do úvahy). Chladenie výkonových súčiastok v púzdrach SMD je tiež problémom, ktorý bolo potrebné riešiť vytvorením patrične veľkých chladiacich plôch priamo v medi. Typickým príkladom v tomto návrhu je usmerňovač.



Obrázok : Doska plošných spojov modulu W-DMX v2.0, červenou farbou je označená vrstva TOP, modrou vrstva BOTTOM

Mikrokontrolér a bezdrôtový transceiver sa na DPS nachádzajú priamo oproti sebe, preto bolo dôležité, aby sa tiež porty, ktoré sú spolu prepojené, nachádzali aspoň približne oproti sebe a cez prekovovacie otvory tak mali k sebe bezproblémový prístup. Vďaka tomu cesty, ktorých je pomerne veľa, nemajú značnú vzdialenosť a neblokujú iné cesty. Šírka DPS modulu W-DMX v2.0 je len o niečo širšia ako šírka mikrokontroléra, čo by nebolo možné v prípade potreby vedenia ciest k portom nachádzajúcim sa na diametrálne odlišnom mieste a pri nepoužití štvorvrstvej DPS. Bola využitá tiež vlastnosť mikrokontroléra poskytujúca možnosť namapovania modulu SPI na iný port.



Obrázok : Doska plošných spojov RF zosilňovača

RF zosilňovač je značne jednoduchší ako modul W-DMX v2.0, preto sú súčiastky umiestnené a prepojené iba na jednej strane (strana TOP). DPS zosilňovača je štvorvrstvová, aby mohla byť vyrobená spolu s DPS modulu W-DMX v2.0, pričom ostatné vrstvy tvorí napájanie a zem (zem na dvoch vrstvách). DPS RF zosilňovača bola navrhnutá s ohľadom na miniaturizáciu, no s väčším dôrazom na dodržanie doporučení od výrobcu pre jeho správnu funkciu, čo však znemožnilo ešte výraznejšiu miniaturizáciu. Rozmery DPS sú 29mm x 15mm, spolu s konektormi je zariadenie dlhé 59mm.

Napriek tomu, že Eagle obsahuje autorouter, táto funkcia využitá nebola, pretože autorouter primárne sleduje funkčné spojenie súčiastok a rozmiestnenie nie je inteligentné, čo je pri minimalizácii a teda

využití každého voľného priestoru na DPS kľúčové. Autorouter môže pospájať návrhárom umiestnené prvky, avšak lepší výsledok malo manuálne vedenie každej cesty a pritom nastavenie šírky plošných vodičov. Manuálne umiestňovanie a natáčanie súčiastok bolo síce pracné a časovo náročné, no prinieslo požadovaný výsledok.

Pri návrhu bolo potrebné dodržať určité pravidlá, ktoré sú charakterizované hustotou prvkov a z toho vyplývajúcou náročnosťou výroby, danej minimálnou šírkou plošných vodičov, minimálnou izolačnou medzerou, presahom plôšky na polomere, najmenším priemerom otvoru a tým nutnosťou presného prevedenia (konštrukčná trieda presnosti).

Konštrukčná trieda	III	IV	V	VI	VII	VIII
Min. šírka vodičov v mm	0,4	0,3	0,2	0,15	0,125	0,1
Min. šírka izolačných medzier v mm	0,4	0,3	0,2	0,15	0,125	0,1
Min. presah plôšky na polomere v mm	0,4	0,3	0,2	0,15	0,125	0,1
Najmenší priemer vrtákov v mm	0,8	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1

Tabuľka 12: Konštrukčné triedy [29]

S konštrukčnou triedou rastú hlavne výrobné náklady na DPS, preto bolo potrebné zvážiť aj ekonomické hľadisko návrhu. DPS modulu W-DMX v2.0 a RF zosilňovača patrí do konštrukčnej triedy V, keďže najužšie prepoje majú šírku 0,254mm a najmenšie prekovovacie otvory majú priemer 0,4mm. Použitím RF zosilňovača UPG2301TQ by sa návrh dostal do vyššej triedy a tým by sa značne zvýšili náklady na výrobu DPS. Aj to bolo dôvodom uprednostnenia zosilňovača RF5722 pre zosilnenie bezdrôtového signálu modulu W-DMX v2.0 pred zosilňovačom UPG2301TQ.

7.4 Oživenie

Táto kapitola je venovaná oživeniu celého systému. V reálnom návrhu je táto časť jedna z najdôležitejších, pretože sa prakticky ukázu problémy, ktoré sa v teoretickej rovine nevyšktyli alebo sa javili ako zanedbateľné.

Modul W-DMX po pripojení k stabilizovanému zdroju napätia (+5V) nevykazoval na pohľad žiadne známky problémového správania (viditeľný skrat, dym apod.). Po zbežnej kontrole napájania niektorých častí modulu mohol byť následne pripojený mikrokontrolér prostredníctvom programátora P&E's USB HCS08/HCS12 MULTILINK od firmy Pemico, cez ktorý bol programovaný. Pre jeho vzájomnú komunikáciu s mikrokontrolérom a správnu funkciu programovacieho rozhrania stačilo v podstate zapojiť kladné napätie, GND, reset a BKGD (*Background Debug*). Zo softvérového hľadiska spoluprácu s mikrokontrolérom zabezpečuje prostredie Freescale CodeWarrior. Po pripojení mikrokontroléra k počítaču začala bez problémov vzájomná komunikácia, čo umožnilo nahráť jednoduchý testovací program, ktorým sa otestovali všetky vstupno-výstupné porty. Keďže DPS bola osadzovaná „ručne“, boli premerané vodivé spoje mikrokontroléra s okolím. Všetky spoje a brány boli v poriadku. Na osciloskope zmeraná sínusoida s frekvenciou 16MHz indikovala správnu aktivitu kryštálu.

Takže modul W-DMX v2.0 sa podarilo oživiť bez väčších problémov. Opačný prípad však nastal pri RF zosilňovači. Po pripojení napájania nemal prúdový odber a tiež po pripojení k modulu W-DMX v2.0 nezosilňoval vstupný signál. Dôkladná analýza návrhu odhalila chybu, ktorá spočívala v nepripojení chladiacej plôšky na spodku púzdra RF zosilňovača so zemou, čo je potrebné pre správnu funkciu tohto zosilňovača. Väčšinou sa táto plôška používa iba na chladenie obvodu a keďže v datasheete nebolo jasne uvedené jej spojenie so zemou, v návrhu DPS som tento pin nechal nezapojený. Kvôli miniatúrnym rozmerom QFN púzdra RF zosilňovača sa nepodarilo tento problém odstrániť.

8 Softvérový návrh a testovanie modulu W-DMX v2.0 a RF zosilňovača

Táto kapitola objasňuje jednu z kľúčových častí návrhu, ktorá implementuje požadovanú aplikáciu a ponúka reálne hodnoty skutočného systému, čo umožnila funkčnosť hardvérového návrhu (hlavne mikrokontroléra).

8.1 Softvér

Základom správnej funkcie mikrokontroléra a jeho periférií bolo nastaviť správny takt generátora vnútorných hodín (riadeného externým kryštálom). Frekvencia mikrokontroléra a zbernice bola nastavená na maximálnu možnú hodnotu pre 16MHz kryštál – 48MHz frekvencia mikrokontroléra, 24MHz frekvencia zbernice. Nasleduje inicializácia portov I/O, SPI, nRF2401A a DMX. Inicializácia nRF2401A v sebe okrem iného zahŕňa aj poslanie konfiguračného slova, ktoré sa líši pre vysielanie a príjem dát.

8.1.1 Vysielanie dát

V tejto časti si treba uvedomiť, že vysielanie z pohľadu nRF znamená príjem z pohľadu DMX. Pri bezdrôtovom vysielaní sú teda prijímané dáta z DMX zariadenia do mikrokontroléra prostredníctvom SCI. Spracovanie týchto dát je založené na prerušení, ktoré nastane po naplnení SCI registra. V obslužnej funkcii tohto prerušenia sa presunú dáta z SCI registra do bufera.

```
void interrupt 15 DMX512_Rx_ISR(void) {
    UINT8 u8Status = 0; /* Premenna sluziaca pre ulozenie SCI status registra */
    UINT8 u8Dummy = 0; /* Premenna sluziaca pre ulozenie obsahu dátového registra */

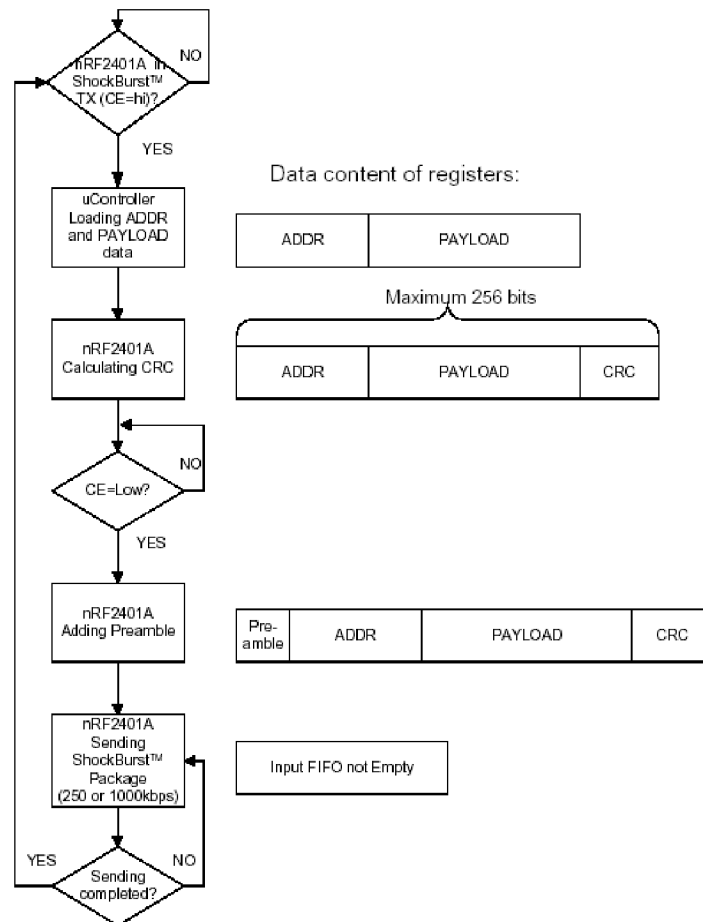
    u8Status = DMX512S1;
    u8Dummy = DMX512Data;

    if((u8Status & 0x20) !=0) { /* Je Rx data buffer plny ? */
        .
        .
        DMX512Comm.buffer1[DMX512Comm.offset++] = u8Dummy;
        .
        .
    }
}
```

Kým opäť nenastane ďalšie prerušenie, zostaví sa DMX paket z prijatých dát pozostávajúci z adresy a dát (*payload*) a ten sa posielá cez SPI do nRF časti.

```
void TXPacket(packet *bufPacketPtr){
    UINT8 b, t;
    nRF_CE=1; /* Aktivuje RX/TX mod */
    for(b=0; b<bufPacketPtr->length;b++) { /* Vyslanie paketu */
        t = spiReadWrite(bufPacketPtr->buf[b]); /* Posielanie cez SPI*/
    }
    nRF_CE = 0; /* Deaktivuje RX/TX mod */
    delay100us(13);
}
```

NRF2401A posielá dáta v režime ShockBurst™, čo znamená, že sa nRF postará tak o zostavenie (nového) paketu pre bezdrôtový prenos (dáta, adresa, CRC a preambula) ako aj o samotný bezdrôtový prenos. Vysielanie dát v nRF2401A realizované v režime ShockBurst™ vyzerá nasledovne:



Obrázok 31: Vývojový diagram vysielania dát v režime ShockBurst™ [5]

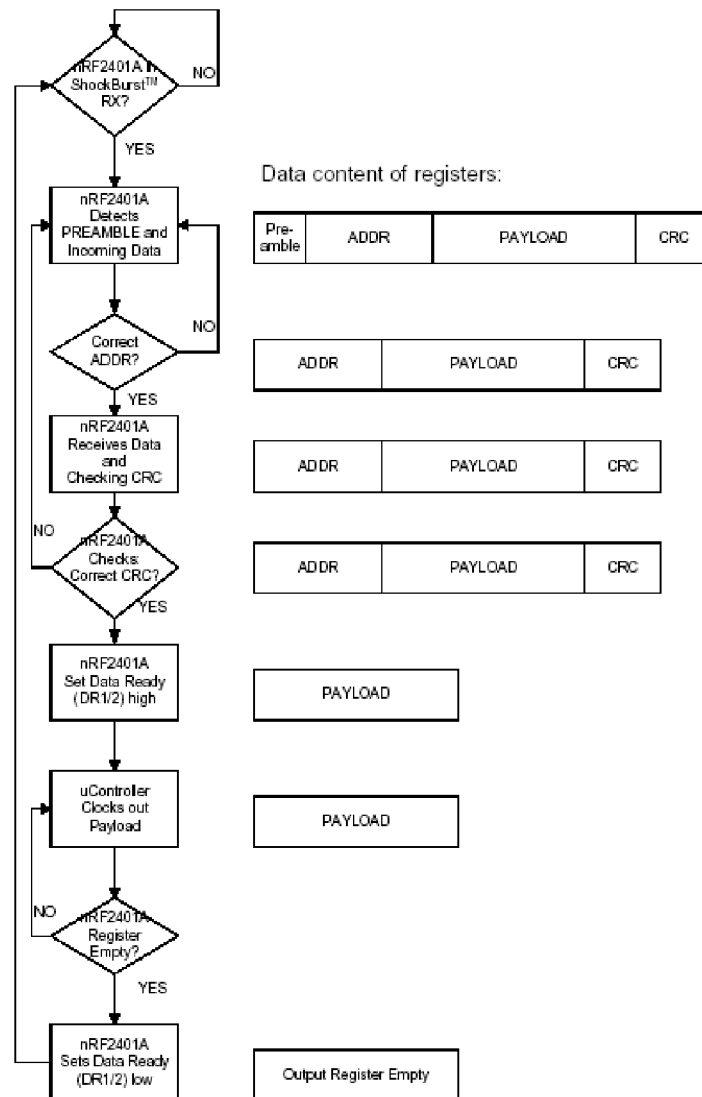
Pri komunikácii s mikrokontrolérom v prípade vysielania dát používa nRF2401A piny CE, CLK1, DATA.

Vysielanie nRF2401A prostredníctvom technológie ShockBurst™ prebieha v nasledujúcich krokoch:

1. Keď chce mikrokontrolér poslať dáta, nastaví CE na „1“. To aktivuje proces transceivera nRF2401A.
2. Adresa prijímacieho uzla (RX adresa) a dáta (*payload*) sú nahraté do nRF2401A. Aplikačný protokol alebo mikrokontrolér nastaví rýchlosť <1Mbps (napr. 10kbps).
3. Mikrokontrolér nastaví CE na „0“, čo aktivuje prenos nRF2401A v režime ShockBurst™.
4. nRF2401A v režime ShockBurst™:
 - RF front end je zapnutý
 - RF paket je kompletný (pridaná *preamble* slúžiaca k synchronizácii vysielača a prijímača a k detekcii správnosti dát, spočítané CRC z adresy a dát pridané na koniec paketu)
 - Dáta sú prenášané vysokou rýchlosťou (250kbps alebo 1Mbps podľa užívateľskej konfigurácie)
 - nRF2401A sa vráti do stand-by módu, keď skončí – po vyprázdnení fronty [5]

8.1.2 Prijímanie dát

Prijímaním dát je myslené ako ich prijímanie transceiverom nRF2401, no z pohľadu DMX to znamená vysielanie dát do DMX zariadenia. Transceiver prijíma dáta v režime ShockBurst™. Opäť sa teda postará o prijatie a spracovanie každého paketu – postupné odstránenie preambuly, adresy a CRC a poslanie dát do mikrokontroléra. Prijímanie dát v nRF2401A v režime ShockBurst™ vyzerá nasledovne:



Obrázok 32: Vývojový diagram prijímania dát v režime ShockBurst™ [5]

Pri komunikácii s mikrokontrolérom v prípade prijímania dát používa nRF2401A piny CE, DR1, CLK1 a DATA (jeden RX kanál).

Prijímanie nRF2401A prostredníctvom technológie ShockBurst™ prebieha v nasledujúcich krokoch:

1. Správna adresa a veľkosť dát (*payload*) prichádzajúceho RF paketu sa zistia, keď je nRF nakonfigurovaný na režim ShockBurst™ RX. Adresa musí byť totožná s adresou prijímača, aby vedel, že dáta sú určené pre neho.
2. Pre aktiváciu RX sa nastaví CE na „1“.
3. Po 200µs čase ustálenia (*settling*) nRF2401A monitoruje vzduch kvôli prichádzajúcej komunikácii. Podľa časti *preamble* rozpozná vysielané dáta.

4. Keď je prijatý paket správny (korektná adresa a nájdené CRC), nRF2401A odstráni *preamble*, adresu a CRC.
5. nRF2401A potom upozorní (prerušením) mikrokontrolér o prichádzajúcej komunikácii nastavením pinu DR1 (*Data Ready*) na „1“ – dáta sú pripravené na prenos z nRF2401A do mikrokontroléra.
6. Mikrokontrolér môže (ale nemusí) nastaviť CE na „0“ aby deaktivoval RF front end (režim nízkeho prúdu).
7. Mikrokontrolér si nahrá iba payload dáta vhodnou rýchlosťou (napr. 10kbps).
8. Keď sú prijaté všetky payload dáta, nRF2401A nastaví DR1 opäť na „0“ a je pripravený pre prijímanie nových dátových paketov, pokiaľ je CE nastavený na „1“ v priebehu sťahovania dát. Ak je CE nastavený na „0“, nová sekvencia môže okamžite začať [5].

Dáta sú teda prenesené z transceivera do mikrokontroléra prostredníctvom SPI.

```

UINT8 RXPacket(packet *bufPacketPtr) {
    if(nRF_DR1) {                /* Su data pripravené? */

        bufPacketPtr->length=0;    /* Prazdny paket */
        while(nRF_DR1) {          /* Prijimanie paketu
            bufPacketPtr->buf[bufPacketPtr->length++] = spiReadWrite(0);
        }
        return 1;                /* Nieco bolo prijate */
    }
    else
        return 0;                /* Neprijate ziadne data */
}

```

Aj na prijímacej strane funguje odosielanie dát do DMX zariadenia na prerušení, ktoré nastane po vyprázdnení dátového registra SCI. Nahratiím dát do dátového registra SCI sa aktivuje SCI prenos - komunikácia medzi modulom a DMX zariadením a dáta sa pošlú do DMX zariadenia.

```

void interrupt 16 DMX512_Tx_ISR(void)
{
    UINT8 u8Status = 0;

    u8Status = DMX512S1;
    .
    .
    .
    DMX512Data = DMX512Comm.buffer1[DMX512Comm.offset++];
}

```

Pre prácu s DMX dátami je dôležitá štruktúra `DMX512SCIComm`, do ktorej sa ukladá stav DMX, offset v bufferi, adresa, možnosť aktivity DMX a buffer s dátami:

```

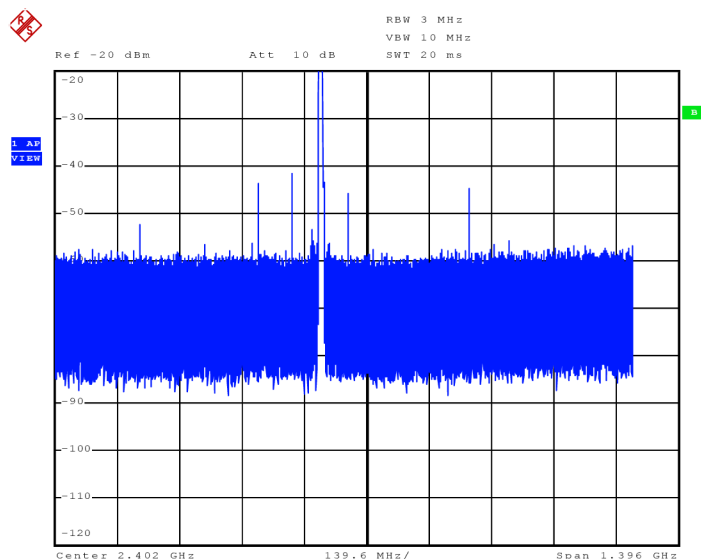
typedef struct {
    UINT8  status;                /* Stav DMX512 */
    UINT16 offset;               /* Offset v bufferi */
    UINT16 baseAddress;          /* DMX adresa */
    UINT8  DMX_Exec;             /* Pouzivane na indikaciu, ci moze byt DMX aktivny */
    UINT8  buffer1 [DMX_BUFFER_SIZE] ; /* DMX512 data buffer 1 */
} DMX512SCIComm;

```

8.2 Testovanie modulu

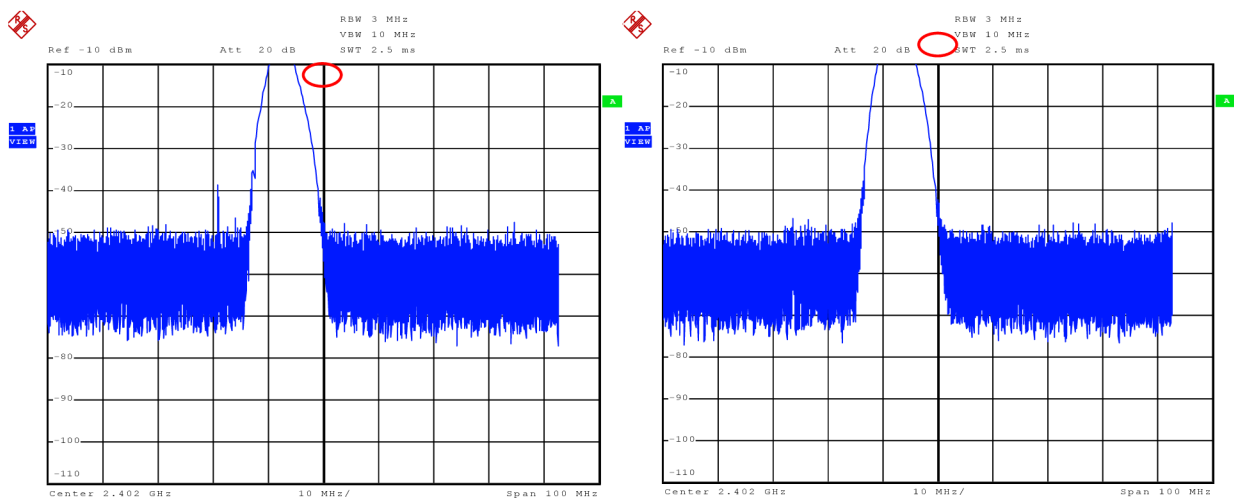
Táto kapitola pojednáva o skutočných výsledkoch testov na reálnom systéme. Jej úlohou je potvrdiť, alebo naopak vyvrátiť predpoklady, o ktorých sa pri návrhu len teoreticky uvažovalo. Je to jedna z najdôležitejších kapitol, pretože ukáže, ako sa podarilo uskutočniť zámery celého návrhu do reálneho sveta. V tejto časti budú tiež uvedené údaje týkajúce sa veľkosti modulu a RF zosilňovača a porovnanie s modulom W-DMX v1.0.

Prvým testom bolo zisťovanie, či zariadenie funguje (vysiela alebo prijíma) na predpokladanej frekvencii.



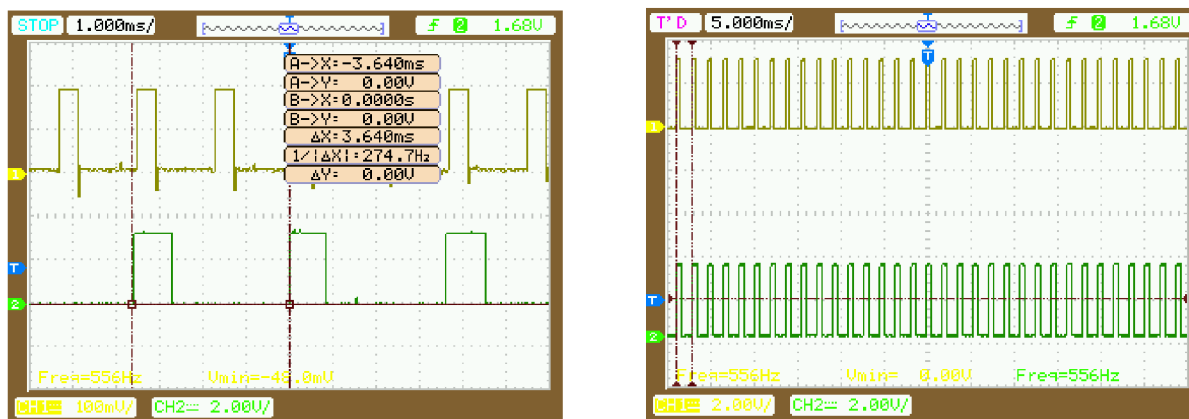
Obrázok 33: Frekvencia modulu W-DMX v2.0 v širšom spektre

Po pripojení modulu na spektrálny analyzátor sme odmerali hodnotu frekvencie 2,402GHz. Ako je zreteľne viditeľné z predchádzajúceho obrázka, modul nepracuje len na tejto frekvencii, ale v určitom frekvenčnom pásme. Modul teda pracuje správne, čo bolo pozitívnym poznatkom. Naproti tomu v porovnaní s predchádzajúcou verziou modulu (W-DMX v1.0) mal slabšie zosilnenie - v tomto prípade skôr zoslabenie.



Obrázok 34: Zosilnenie modulu W-DMX v2.0 naľavo, modulu W-DMX v1.0

Pri module W-DMX v2.0 sa očakávalo väčšie zosilnenie oproti predchádzajúcemu riešeniu, avšak jeho zosilnenie je o 7dB menšie ako tomu bolo pri module W-DMX v1.0. To je pravdepodobne spôsobené návrhovými odchýlkami od doporučenej DPS od výrobcu nRF2401A – cesta na výstupný konektor nevedla priamočiaro ako v doporučení, ale kvôli miniaturizácii s čiastočnými zatočeniami. To mohlo spôsobiť určité odrazy (vznikajú hlavne pri ostrejších hranách vodivých ciest plošného spoja), ktoré interferujú s pôvodným signálom a tým utlmujú signál. Pravdepodobnejším dôvodom relatívne vysokého útlmu však mohla byť kapacita vytvorená medzi vrstvami s „rozliatou“ zemou a „rozliatym“ kladným napájaním, ktorá mohla spôsobiť značné rušenie.



Obrázok 35: Vysielanie a prijímanie dát modulmi W-DMX v1.0 a v2.0

Ďalšou vlastnosťou systému, ktorú bolo dobré zistiť, bola rýchlosť posielania/prijímania paketov. Na predchádzajúcich obrázkoch je vľavo prípad, kedy vysiela dáta modul W-DMX v2.0 a prijíma ich modul W-DMX v1.0, napravo prípad, kde tak prijímač ako aj vysielač tvorí modul W-DMX v2.0. Tieto priebehy poukazujú na skutočnosť, že frekvencia vysielania/prijímania sa oproti pôvodnému riešeniu približne zdvojnásobila. Zrýchlenie umožnilo viacero faktorov – zvýšenie frekvencie zbernice na 24MHz, optimalizovaný kód, prípadne ďalšie faktory.

Hoci sme nemali DMX zariadenie, otestovali sme funkciu DMX časti pracujúcu prostredníctvom SCI pripojením modulu W-DMX v1.0, ktorý obsahuje displej. Do neho sme posielali DMX dáta a zobrazili prvých osem kanálov.

V predchádzajúcej verzii bol problém s ovplyvňovaním stabilného napätia a tým aj bezdrôtového signálu prevodníkom úrovni, preto bola snaha v tejto verzii tento neprijemný aspekt odstrániť. Po zapojení prevodníka výrazne stúpol odber celého modulu, z čoho plynuli obavy z jeho možného negatívneho ovplyvňovania iných obvodov aj v súčasnej verzii. Na osciloskope sme sledovali zvlnenie kladného napätia, ktoré však vďaka blokovacím kondenzátorom (*bypass capacitor*) bolo vyhladené. Ani bezdrôtový prenos nebol rušený, takže sa podarilo tento problém oproti predchádzajúcej verzii odstrániť.

Záver

Cieľom tejto práce bolo navrhnuť vstavaný systém pre bezdrôtovú komunikáciu, ktorý by bol primárne určený pre použitie vo svetelnej technike. Hoci tento systém vychádza z iného vstavaného systému, teda nie je navrhovaný úplne od začiatku, v niektorých prípadoch sa bolo potrebné vrátiť až k začiatočným fázam (špecifikácia nových požiadaviek, zváženie výberu vhodnej platformy apod.). Úlohou bolo zamerať sa na miniaturizáciu a zvýšenie dosahu bezdrôtového signálu, preto bol potrebný odlišný pohľad na návrh tohto systému ako tomu bolo pri predchádzajúcom bezdrôtovom systéme.

Zaoberal som sa možnosťami zvýšenia dosahu bezdrôtového prenosu pre použitie v module W-DMX. Softvérovým riešením môže byť napríklad preskakovanie frekvencie (Frequency Hopping), a to hlavne v prostredí so značným rušením. Čo najväčší dosah bezdrôtového prenosu by ideálne bolo možné dosiahnuť vhodnou kombináciou softvérového a hardvérového riešenia. Jednoduchým a nie veľmi nákladným hardvérovým riešením bolo použitie antény s vysokým ziskom. Niekoľko antén sme na module W-DMX v2.0 vymenili a mohli sme sledovať rozdiely v dosahoch. Antény s vyšším ziskom mali väčší dosah – po pripojení antény (2,2dBi) k modulu sa signál zniekoľkonásobil; výmenou za anténu s vyšším ziskom (5dBi) sa signál zdvojnásobil. Avšak vzhľadom k tomu, že sú to pasívne komponenty, nedokázali signál zosilniť na takú hodnotu, pri ktorej by sa dosiahol požadovaný dosah. Navyše problémom pri anténach s väčším ziskom je často väčší rozmer, ktorý sa práve snažíme minimalizovať. Zaujímavým prostriedkom je tiež použitie obvodu typu Front-end, ktorý však okrem zosilňovania signálu obsahuje mnoho ďalších funkcií, ktoré by sme nepoužili (napr. filtrovanie). Aj vzhľadom k týmto skutočnostiam sme sa rozhodli použiť pre zvýšenie dosahu modulu RF zosilňovač RF5722, ktorý sa nám však kvôli chybe v návrhu nepodarilo oživiť. Preto sme boli nútení zisťovať dosah modulu W-DMX v2.0 bez neho. Dosah vo vnútri budovy bol niekoľko metrov až pár desiatok metrov v závislosti na počte, hrúbke a druhu materiálu aký stál v ceste. Najväčším problémom pre šírenie bezdrôtového signálu boli železobetónové steny. Pri priamej viditeľnosti vysielateľa a prijímateľa s anténou s citlivosťou 5dBi bol približne 50 metrov, pričom sa už v tejto vzdialenosti signál čiastočne strácal. V porovnaní s modulom W-DMX v1.0 je to až 6-násobné zníženie dosahu spôsobené pravdepodobne útlmom vzniknutým nedodržaním doporučeného návrhu DPS (kvôli miniaturizácii) - nepriamočiarym vedením plošných spojov k výstupnému konektoru a tiež kapacitou, ktorá pravdepodobne vznikla medzi vrstvami s „rozliatou“ zemou a „rozliatym“ kladným napätím. Tento útlm potvrdil taktiež spektrálny analyzátor, vďaka ktorému sme zistili zosilnenie -17dB, čo znamená o 7dB väčšie zoslabenie modulu W-DMX v2.0 oproti modulu W-DMX v1.0. Tento problém sa predpokladá aj pri DPS RF zosilňovača, keby bol funkčný, preto túto chybu bude potrebné odstrániť v ďalšom návrhu tohto systému a to „rozliatím“ zeme a napájacieho napätia len v miestach, kde nepriaznivo neovplyvnia bezdrôtový signál.

Čo sa týka miniaturizácie, zamerali sme sa na použitie súčiastky s technológiu povrchovej montáže (SMD) s miniatúrnymi rozmermi a pre pasívne súčiastky s veľkosťou 0603. Všetky použité integrované obvody sú v púzdre QFN, ktoré nemá nožičky do strán, čím sme ušetrili priestor na doskách plošných spojov. Doska plošných spojov modulu W-DMX v2.0 ako aj RF zosilňovača je štvorvrstvomá, čo okrem miniaturizácie zjednodušilo návrh. Tento bezdrôtový systém sme sa snažili čo najviac zmenšiť kvôli tomu, aby sme ho mohli umiestniť do konektora XLR. To sa nám aj úspešne podarilo. Konektor, do ktorého sa modul W-DMX v2.0 zmestí (po malom konštrukčnom prispôbení konektora) je konektor NC*FRX (resp. NC*MRX) od firmy Neutrik. Je v ňom vďaka svojim rozmerom pevne uchytený a z konektora je viditeľná len anténa modulu. Modul W-DMX v2.0 (s rozmermi 47 × 12mm.) v porovnaní s predchádzajúcim modulom v1.0 (s rozmermi 47 × 43mm) má takmer štvornásobné zmenšenie. Keď k tomu pripočítame mikrokontrolér (a súčiastky potrebné

pre jeho funkciu), ktorý DPS modulu W-DMX v1.0 neobsahuje, dostávame sa až na 500% zmenšenie.

Ak by som teda mohol celkovo zhrnúť výsledok tejto práce, považoval by som ju za úspešnú, hoci snaha o zvýšenie dosahu nepriniesla očakávané výsledky. Chyby, ktoré tento nedostatok spôsobili, sa však dajú v ďalšom návrhu pomerne jednoducho odstrániť – tak, ako som to odporučil v predchádzajúcom texte. Čo sa týka miniaturizácie rozmerov modulu, podarilo sa veľmi výrazne zmenšiť pôvodný návrh modulu a nová verzia sa dá bez väčších konštrukčných úprav umiestniť do XLR konektora. Výhodou modulu W-DMX v2.0 je tiež zrýchlenie komunikácie medzi modulmi.

Realizácia bezdrôtového prenosu signálu so zámerom zminiaturizovať rozmery a súčasne zvýšiť dosah je náročná, pretože snaha realizovať výber miniatúrnych súčiastok a ich umiestnenie tak, aby bol využitý čo najväčší priestor často nie je v súlade s tým, že súčasne musí byť kladený dôraz na to, aby signál nebol ničím rušený, tlmený, odrazený, interferovaný a pod., preto je potrebné nájsť vhodný kompromis.

Literatúra

- [1] Růžička, R.: Návrh vestavěných systémů, NAV, Studijní opora, 1.2006.
- [2] „Towards a European Technology Platform for Intelligent Systems, Networked Embedded Systems for Safety and Security“ [online], 2004.
URL: ftp://ftp.cordis.lu/pub/ist/docs/dir_c/ems/steering_group_report_en.pdf
- [3] Wolf, W. H.: Computers as components: principles of embedded computing system design. Academic Press, 2001.
- [4] Kamal, R.: Embedded systems: architecture, programming and design. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 2003.
- [5] Nordic Semiconductor: nRF2401A Single Chip 2,4GHz Radio Transceiver [online], Product Specification: Revision Date: 17.03.2006.
URL: http://www.nordicsemi.com/files/Product/data_sheet/Product_Specification_nRF2401A_1_1.pdf
- [6] Maxim: MAX3070E-MAX3079E, +3,3V, +15kV ESD-Protected, Fail-Safe, Hot-Swap, RS-485/RS-422 Transceivers [online], Rev. 2, 04/2009.
URL: <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX3070E-MAX3079E.pdf>
- [7] Freescale: HCS08 Microcontrollers: MC9S08GB/GT Data Sheet [online], Rev. 2.3 12/2004.
URL: http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC9S08GB60.pdf?fsp=1
- [8] Zandl, P.: Bezdrátové sítě WiFi, Praktický průvodce. Computer Press, Brno, 2003.
- [9] Love, J. Sullivan, Ajluni, Ch., a d'al.: RF Front-end, World Class Designs. Elsevier, 2009.
- [10] Rudzinski, Y.: Zvýšenie výroby závodu pomocou bezdrôtového monitorovania stavu [online]. AT&P journal, 7/2008.
URL: http://www.atpjournal.sk/casopisy/atp_08/pdf/atp-2008-07-24.pdf
- [11] Móricz, Z.: Bezdrôtové prevodníky [online], 5.-6.4.2006
URL: www.honeywell.sk/?com=documents&id=786
- [12] RFMD: RF5725, 3,3V, Single-band Front-end module [online], 2006.
URL: <http://www.rfmd.com/CS/Documents/5725DS.pdf>
- [13] Nordic Semiconductor: Frequency Agility Protocol for nRF24XX, nAN24-07, Application Note [online], Revision: 1.0, Date: 12.10.2004.
URL: http://www.nordicsemi.com/files/Product/applications/Frequency_Agility_Protocol_for_nRF24XX.pdf

- [14] <http://www.answers.com/topic/radio-frequency-amplifier-1>
- [15] <http://www.argospress.com/Resources/transmitters-receivers/radifrequeamplif.htm>
- [16] CEL: UPG2301TQ, NEC's Power Amplifier For Bluetooth™ Class1, Data Sheet [online], February, 2002.
URL: <http://www.cel.com/pdf/datasheets/upg2301tq.pdf>
- [17] RFMD: RF5722, 3,0 to 3,6V, 2,4GHz to 2,5GHz Linear Power Amplifier, Data Sheet [online], 2006.
URL: <http://www.rfmd.com/CS/Documents/5722DS.pdf>
- [18] Watson, B.: FSK: Signals and Demodulation, Tech-note [online], 2001.
URL: http://ftp.ing-steen.se/text/tektext/digital-modulation/FSK_signals_demod.pdf
- [19] Com Block: COM-1028, FSK/MSK/GFSK/GMSK Digital Modulator [online], 2004.
URL: <http://www.comblock.com/download/com1028soft.pdf>
- [20] Pužmanová, R.: Osobní síť – Bluetooth a IEEE 802.15 [online], 14.5.2002.
URL: <http://www.lupa.cz/clanky/osobni-site-bluetooth-a-ieee-802-15/>
- [21] FEKT VUT Ústav automatizace a komunikačních technologií: Průmyslová bezdrátová síť Bluetooth pro automatizaci, závěrečná zpráva [online], 13.6.2006.
URL: http://sciotech.cz/tc/projects/golem/data/zaverecna_zprava_v8_final.pdf
- [22] Orgonáš, J.: Všetko o Wi-Fi, 1. část [online], 07.07.2006.
URL: <http://www.itnews.sk/tituly/pc-revue/free-clanky/2009-07-07/c1185-vsetko-o-wi-fi-1.-cast>
- [23] Tříška, J.: Bezdrátové siete, Technológia počítačových sietí [online], 2008.
URL: http://www.spsepn.edu.sk/skola/pk_info/studium/ucebtext/ele/siete/bezdrotove_siete.pdf
- [24] Polóni, P.: Bezdrátový přenos signálu rozhraní DMX512 [online], 2009.
URL: <http://www.fit.vutbr.cz/study/DP/rpfile.php?id=9053>
- [25] Nušl, J.: Protokol DMX512, [online].
URL: <http://dmx512.svetla.org/theory.htm>
- [26] Valter, J.: Dálkový přenos dat po komunikačních linkách [online], 16.11.2009.
URL: <http://valter.byl.cz/rs485.html>
- [27] Tišnovský, P.: Externé sériové zbernice SPI a I²C [online], 30.12.2008.
URL: <http://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbernice-spi-a-i2c/#k04>
- [28] Rozehnal, Z.: Mikrokontroléry Motorola HC11. BEN, 2001.

- [29] Gatema: Technické podmínky [online], 20.7.2009.
URL: <http://pcb.gatema.cz/cz/vyroba-plosnych-spoju/technicke-podminky/>
- [30] Neutrik: XLR connectors [online].
URL: http://www.neutrik.com/fl/en/lighting/204_42012003/XX_Series_productlist.aspx