

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická
Katedra telekomunikační techniky

Emulátor mobilní sítě

květen 2014

Bakalant: Azamat Tuleshov

Vedoucí práce: Ing. Bc. Pavel Bezpalec, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a konzultanta a používal jsem pouze literaturu v práci uvedenou. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování mé bakalářské práce nebo její části se souhlasem katedry.

Datum 23.5.2014

.....

podpis bakalanta

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra telekomunikační techniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Tuleshov Azamat**

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika
Obor: Síťové a informační technologie

Název tématu: **Emulátor mobilní sítě**

Pokyny pro vypracování:

Podrobně se seznamte s projektem OpenBTS. Navrhněte a následně prakticky realizujte část GSM sítě pomocí "opensource" prostředků spolupracujícími se zařízeními dostupnými v laboratoři.

Seznam odborné literatury:

- [1] RangeNetwork. OpenBTS project. - <http://openbts.org/> [online]
- [2] NI USRP. Firemni dokumentace. - <http://www.ni.com/usrp> [online]

Vedoucí: Ing. Pavel Bezpalec, Ph.D.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2014/2015


prof. Ing. Boris Šimák, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Řípka, CSc.
dět.sh

V Praze dne 9. 12. 2013

Anotace:

Tento projekt se zabývá problematikou IP telefoníí. Cílem je vytvoření mobilní sítě GSM standartu, přes kterou je možné provést volání bez použití sítě reálných mobilních operátorů. Síť má být vytvořena pomocí "opensource" prostředků a softwarového rádia, které je programovatelné pomocí vývojového prostředí LabVIEW.

Klíčová slova: OpenBTS, GSM, SDR, LabVIEW.

Summary:

This project deals with issues of IP telephony. The aim is to create a GSM standard mobile network, through which it is possible to make calls without using real mobile network operators. The network has to be created using the "open source" programs and software radio, which is programmable with LabVIEW Development System.

Index Terms: OpenBTS, GSM, SDR, LabVIEW.

Obsah

1. Úvod	1
2. Standard GSM	2
2.1 Frekvenční pásma	2
2.2 Logické kanály	3
2.3 Architektura GSM sítě	4
2.4 Protokoly	6
2.5 Modulace GMSK	7
3. Projekt OpenBTS	9
3.1 Architektura sítě	9
3.2 USRP	10
3.3 OpenBTS	10
3.4 GNUradio	11
3.5 Asterisk	12
4. Vývojové prostředí LabVIEW 2009	14
5. Metody řešení práce	16
5.1 Použité vybavení.....	16
5.2 Instalace softwarů.....	17
5.3 Emulace rádiové části.....	17
6. Závěr	20
Použitá literatura	21
Seznam obrázků	22
Seznam tabulek	23
PŘÍLOHA A Blokový diagram	24

1. Úvod

V dnešní době jsou často používané mobilní telefony. Nejčasteji ve velkých městech nabízí služby mobilní operátoři, pro které není výhodné montovat základní stanice a jejich kontrolery v místech s malým počtem obyvatel. Projekt OpenBTS je vhodným řešením pro taková místa nebo pro oblast velkého města.

Cílem projektu je návrh sítě vhodné pro volání, respektive pro všechny služby včetně SMS, přenos dat, atd. bez použití drahého vybavení. Základní myšlenkou projektu je nahrazení elementů GSM sítě "opensource" programy a softwarovým radiem.

Můj projekt se liší od originalního projektu OpenBTS tím, že byl použit pro řízení SDR (Software Defined Radio) vlastní program napsaný v LabVIEW a dva počítače místo jednoho. Lze říci, že očekávaným výsledkem této práce byla funkční mobilní síť navrhnutá pomocí mezi sebou propojeným Linuxovým serverem, na kterém jsou nainstalované programy openbts a asterisk, a Windows serverem, na kterém je namontované PCI softwarové radio, řízené vlastním programem napsaným v prostředí LabVIEW.

Chtěl bych z počátku říct, že původní cíl projektu nebyl splněn z objektivních důvodů. Během zpracování praktické části jsem se setkal s nečekanými problémy. V páté kapitole jsou dané problémy a metody jejich řešení podrobně popsány. V předchozích kapitolách jsou vysvětlené základy standardu GSM, originalní projekt OpenBTS a prostředí LabVIEW.

2. Standard GSM

V letech 1980 – 1982 svět zaznamenal rychlý nárůst analogových systémů, které jsou označovány jako systémy první generace. Každá země měla svůj systém, který však byl neslučitelný se systémy z jiných zemí. To platilo v Evropě, zatímco v USA byla pouze jedna síť (systém). V roce 1982 proto Evropská komise pro pošty a telekomunikace spustila projekt GSM (Groupe Spéciale Mobile), která měla vyvinout celoevropskou mobilní telefonní síť. Bylo rozhodnuto, že nová síť bude plně digitální. V roce 1989 převzal zodpovědnost nad vývojem GSM Evropský telekomunikační institut a o rok později byl zveřejněn první návrh standardu. Standard byl tedy vydán v roce 1991 a nese označení GSM-Phase 1. V současné době se pod zkratkou GSM skrývá označení Global System for Mobile Communications. V roce 1995 byl definován rozšiřující standard GSM-Phase 2, který zavedl nové služby (např. datové přenosy).

Celulární radiotelefonní standard GSM patří mezi systémy druhé generace. V současné době je široce použitelný systém třetí generace, který je označován UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) a pozorujeme postupný přechod na systém čtvrté generace LTE (Long Term Evolution).

2.1 Frekvenční pásma

Primární systém GSM (GSM 900) má určité kmitočtové pásmo 890 MHz až 960 MHz rozdělené do dvou částí (Tab. 2.1.1). Uvnitř každého pásma je vytvořeno 124 rádiových kanálů se šířkou pásma 200 kHz. Zbývá 125. část je rozdělena na poloviny (2×100 kHz), z nichž jedna tvoří oddělovací úsek na horním a druhá na dolním konci každého pásma. Pro číslo rádiového kanálu, které může nabývat hodnot od 1 do 124, se používá označení AFCN (Absolute Radio Frequency Channel Number). Systém GSM 900 využívá 124 duplexních kanálů. Rozdělení pásma na jednotlivé rádiové kanály je naznačeno v Tab. 2.1.2.

Uplink, MHz	890 — 915
Dowlink, MHz	935 — 960
Rozteč, MHz	45
Počet kanálů	124
Šířka pásma, kHz	200

Tab.2.1.1 Základní kmitočtové vlastnosti

ARFCN	f_{uplink} [MHz]	f_{downlink} [MHz]
1	890,2	935,2
2	890,4	935,4
.	.	.
.	.	.
124	914,8	959,8

Tab.2.1.2 Rozdělení kmitočtového pásma

TDMA (Time Division Multiple Access) – vícenásobný přístup s časovým dělením. Podstatou je následující metoda: každá nosná frekvence je rozdělena do osmi fyzických kanálů, pro které jsou informace přenášeny v pořadí TDMA rámců v cyklicky opakujících se časových intervalech, tzv. timeslotech (Time Slot, TS). Fyzikální význam TDMA je následující: v každém z 8 časových intervalů rámce, je informační signál modulován na své nosné frekvence. Informace, přenášená v TS se nazývá paket (burst). Délka timeslotu je 576,9 ms. To znamená, že mobilní stanice získá přístup k celé šířce kanálu, ale pouze v určitých časových intervalech (pro každý MS – jeho timeslot). Při použití TDMA technologie se zvyšuje počet kanálů na $124 \cdot 8 = 992$.

2.2 Logické kanaly

Struktura časových slotů vytváří na nosné frekvenci fyzické kanály. Fyzickým kanálem se tedy rozumí kombinace přiděleného rádiového kanálu o šířce 200 kHz (označeného pomocí ARFCN) a časového intervalu (označené příslušným číslem 0–7). Do každého takto vytvořeného fyzického kanálu potom může být v rozdílných časech procesem mapování vložen různý **logický kanál**. Specifikace GSM definují širokou řadu logických kanálů, které jsou v závislosti na účelu tohoto kanálu tvořeny různými typy burstů.

1) Provozní kanály TCH (Traffic Channels) – Tyto kanály jsou určeny k přenosu digitalizovaných hovorů nebo datových signálů

- Provozní kanály s plnou rychlostí TCH/F (Full Rate Traffic Channels)
- Provozní kanály s poloviční rychlostí TCH/H (Half Rate Traffic Channels)

2) Signalizační (řídící) kanály CCH (Control Channels) –

Tyto kanály jsou určeny pro přenos signalizace a dále je dělíme :

➤ **Rozhlasové kanály BCH (Broadcast Channels)**

A) Kanál korekce kmitočtu FCCH (Frequency Correction Channel): Nese informace umožňující korekci naladění mobilní stanice a identifikaci

kmitočtu nesoucího signalizační kanály. Tvoří ho bursty pro kmitočtovou korekci.

B) Kanál synchronizace SCH (Synchronization Channel): Nese informace pro rámcovou signalizaci mobilní stanice (číslo rámce) a identifikaci základnové stanice. Tvořen je synchronizačním burstem.

C) Všeobecný rozhlasový kanál BCCH (Broadcast Common Channel): Nese informace o aktuálním způsobu mapování signalizačních kanálů, o výzvách k mobilní stanici (korekce výkonu, ...), o lokalizační oblasti, apod. Je tvořen normálním burstem a je sledován každou mobilní stanicí.

➤ **Kanály všeobecného řízení CCCH (Common Control Channel)**

A) Návěstní kanál PCH (Paging Channel): Slouží k předání informace o přichozím hovoru. Tento kanál je sledován každou mobilní stanicí ve stavu pohotovosti, je tvořen normálním burstem.

B) Kanál náhodného přístupu RACH (Random Access Channel): Jedná se o vzestupný kanál, který slouží pro vyžádání samostatného řídicího kanálu pro další signalizaci. Z důvodu náhodné aktivity požadavků mobilních stanic je komunikace v tomto kanále realizována principem ALOHA. Kanál je tvořen přístupovým burstem.

C) Řídicí kanál potvrzení přístupu AGCH (Access Grant Control Channel): Slouží pro přidělení samostatného řídicího kanálu mobilní stanici, která předtím o toto požádala. Tvoří jej normální burst.

D) Oznamovací kanál NCH (Notification Channel) a Buňkový rozhlasový kanál CBCH (Cell Broadcast Channel) byly přidány až do fáze 2+ GSM

➤ **Vyhrazené řídicí kanály DCCH (Dedicated Control Channel)**

A) Samostatný přidělený řídicí kanál SDCCH (Stand Alone Dedicated Control Channel): Slouží pro obousměrnou komunikaci mezi mobilní a základnovou stanicí před přidělením provozního kanálu.

B) Pomalý přidružený řídicí kanál SACCH (Slow Associated Control Channel): Zajišťuje přenos signalizace k existujícímu spojení.

C) Rychlý přidružený řídicí kanál FACCH (Fast Associated Control Channel): Podobný účel jako SACCH, vzniká a zaniká však podle potřeby.

2.3 Architektura GSM sítě

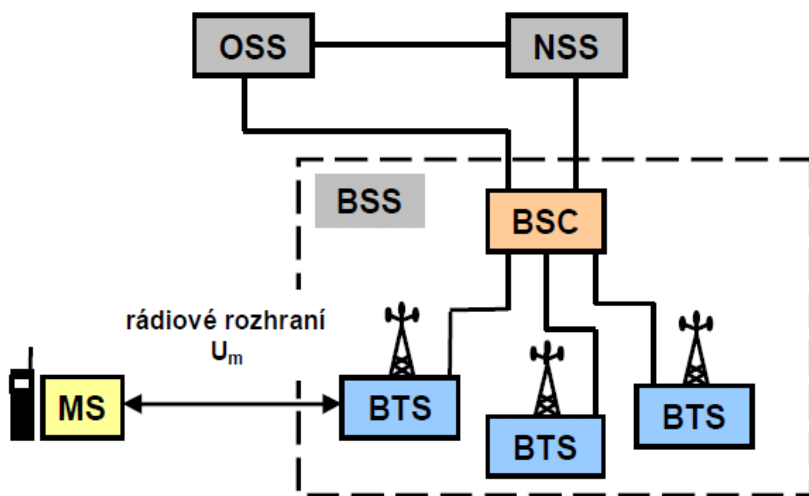
Systém GSM můžeme rozdělit na tři základní subsystémy (Obr. 2):

- Subsystém základnových stanic **BSS** (Base Station Subsystem) neboli rádiový subsystém, se kterým prostřednictvím rádiového rozhraní Um

přímo komunikují mobilní stanice. BSS se skládá z **BTS** (základnová převodní stanice) a **BSC** (ovladač základnové stanice). BTS je vysílač a přijímač radiových signálů a tvoří buňky. Má za úkol přidělit kanál každému účastníkovi a transformovat signál ve vysokofrekvenční.

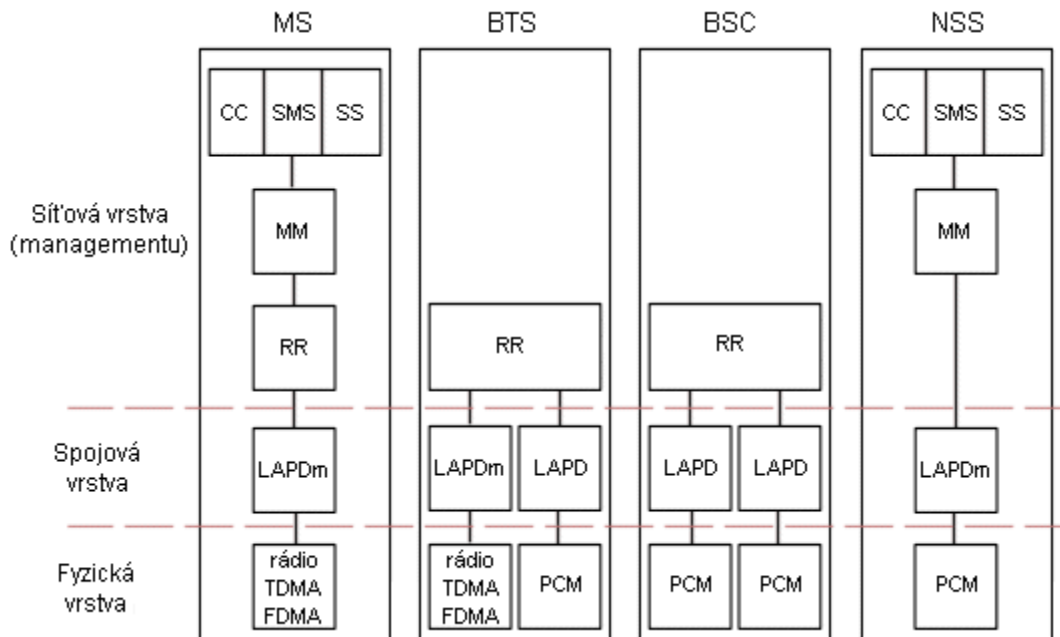
BSC ovládá 10 až 100 BTS. Ovladač řídí handover a přidělí prostředky sítě účastníkovi. BSC rozdělí hlasový a paketový trafik, zvolí vhodnou přenosovou rychlost.

- Síťový a spínací (přepojovací) subsystém **NSS** (Network and Switching Subsystem) označovaný někdy jako radiotelefonní ústředna s rozšířenými úkoly a funkcemi. NSS se skládá z ústředny veřejné mobilní sítě (**MSC**), domovského registru (**HLR**), návštěvnického registru (**VLR**) a autentizačního centra (**AuC**). NSS je okruhově orientovaná síť. MSC obecně plní následující úkoly: přepojování hlasových okruhů, sestavování a monitorování hlasových a multimediálních spojení, účast na dopravě SMS, komunikace s návštěvnickým registrem (VLR) – databází, která ukládá informace o účastnících nacházejících se v oblasti řízené příslušným MSC (sítě obsahují dvojice MSC + VLR, které jsou často implementovány jako jeden celek). Domovský registr (HLR) je velká databáze, která ukládá informace o všech účastnících operátoru může být distribuovaná. Autentizační centrum (AuC) má za úkol generovat klíče pro ověření pravosti v radiové části.
- Operační subsystém **OSS** (Operation Support Subsystem) zajišťuje servis a koordinuje funkce celého systému (provoz, údržba, opravy poruch, atd.).



Obr. 2.3.1 Zjednodušená architektura systému GSM

2.4 Protokoly



Obr.2.4.1 Vrstvový model systému GSM

Na obrázku 2.4.1 je zobrazen vrstvý model systému GSM, který je definován pro tři spodní vrstvy modelu OSI. Každá vrstva je tvořena skupinou tzv. entit, což jsou všechny do ní spadající funkční jednotky.

1. Fyzická vrstva **PH** (Physical Layer): Definuje rádiové fyzické kanály, tedy parametry TDMA, FDMA, modulace a mapuje do těchto kanálů kanály logické.
2. Spojová vrstva **DL** (Data Link Layer): Na této vrstvě je použit protokol LAPDm, což je varianta protokolu LAPD, přizpůsobená pro použití v systému GSM. Na této vrstvě jsou vytvářeny logické kanály.
3. Síťová vrstva **NL** (Network Layer): Je dále rozdělena na tři podvrstvy :
 - Management rádiových zdrojů **RR** (Radio Resource Management), který zajišťuje spojení mezi mobilní stanicí a subsystémem základnových stanic BSS, řídí handover, výkony vysílačů apod. Relace této podvrstvy existují mezi MS a BSS
 - Management mobility **MM** (Mobility Management), zajišťující funkce vycházející z mobility účastníků. Na starost tedy má aktualizaci polohy, identifikaci a ověření účastníka. Vazby na této podvrstvě existují mezi MS a MSC/VLR, HLR a AuC.

- Management komunikace **CM** (Communication Management) je opět podrobněji dělen :
 - ✓ Řízení hovoru **CC** (Call Control): Zajišťuje vytváření, udržení a ukončení hovorů. Komunikace zde probíhá mezi MS a MSC.
 - ✓ Doplnkové služby **SS** (Supplementary Services): Má na starost registraci, řízení a rušení doplňkových služeb, poskytovaných danou sítí. SS procedury existují mezi MS a MSC/VR, HLR a Auc.
 - ✓ Služba krátkých textových zpráv **SMS** (Short Message Service): Zajišťuje mobilní stanici možnost přijímání a odesílání krátkých textových zpráv. Komunikace probíhá mezi MS a SMS Centrem **SMSC** (Short Message Service Centre).

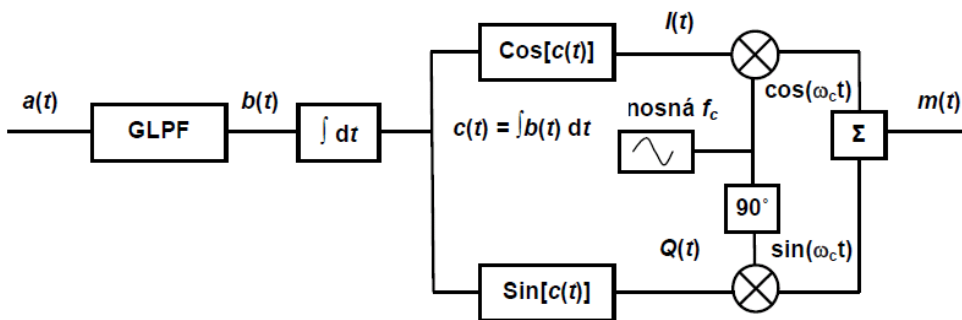
2.5 Modulace GSMK

Modulace GSMK (Gaussian Minimum Shift Keying) je variantou modulace MSK. Narozdí od pravoúhlých modulačních impulzů procházejí u modulace GSMK tyto impulzy před modulátorem Gaussovskou dolní propustí GLPF (Gaussian Low Pass Filter).

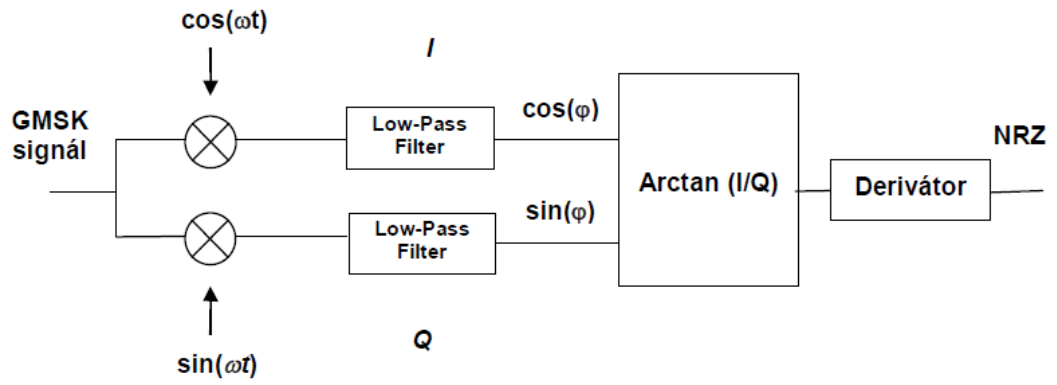
Signál GSMK můžeme vyjádřit vztahem:

$$m(t) = U_c \cos(2\pi f_c t) \cos \left[2\pi k_{FM} \int_0^t b(t) dt \right] - U_c \sin(2\pi f_c t) \sin \left[2\pi k_{FM} \int_0^t b(t) dt \right], \text{ kde}$$

$$I(t) = \cos \left[2\pi k_{FM} \int_0^t b(t) dt \right] \quad Q(t) = \sin \left[2\pi k_{FM} \int_0^t b(t) dt \right]$$



Obr. 2.5.1 Kvadrurní modulátor GSMK



Obr. 2.5.1 Kvadrurní demodulátor GMSK

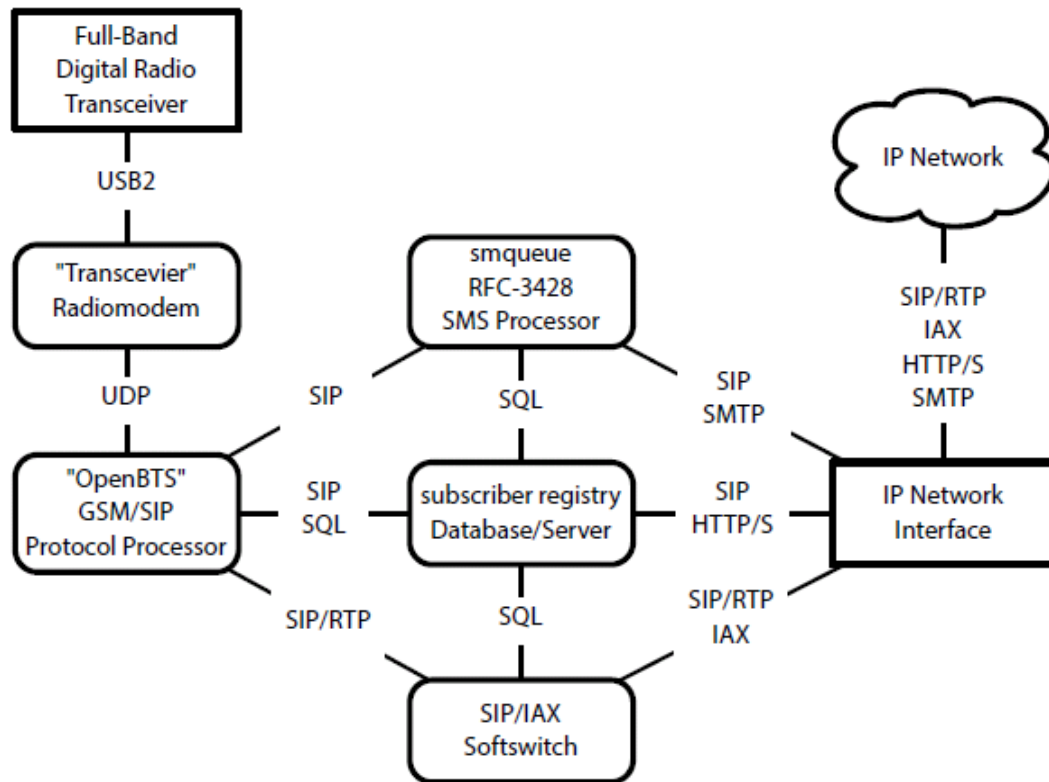
3. Projekt OpenBTS

3.1 Architektura síti

Pro realizace síti je nutné mít:

Hardware: počítač s Linux OS propojený s Universal Software Radio Peripheral (USRP) přes Ethernet nebo USB rozhraní.

Software: GNURadio, OpenBTS, Asterisk.



Obr. 3.0.1 Architektura síti OpenBTS

„OpenBTS“ – Skutečná OpenBTS aplikace a převodník mezi stackem GSM protokolů a VoIP protokoly.

„Transceiver“ – softwarový radiomodem a rozhraní kontrolující hardware.

„Asterisk“ – VoIP ústředna.

„Smqueue“ – server pro posílání textových zpráv.

„The Subscriber Registry“ (účastnický registr) – databáze informací o účastnících, která nahradí jak Asterisk SIP registr, tak GSM Home Location Register (HLR).

3.2 USRP

USRP (Univerzální programovatelné rádiové periferní zařízení) produkty jsou softwarové rádia. Jsou navrženy a prodávány společností Ettus Research, LLC a její mateřské společnosti National Instruments. Rodina produktů USRP je poměrně levná hardwarová platforma pro softwarové rádio a je běžně používána výzkumnými laboratorii, univerzitami a fandy. USRP se připojuje k počítači přes vysokorychlostní rozhraní USB nebo Gigabit Ethernet spojení, přes které řídí software na hostitelském počítači USRP hardware pro vysílání a příjem dat.

USRP rodina byla navržena pro veřejnost a mnohé z produktů jsou open source. Desková schémata pro vybrané modely USRP jsou volně k dispozici ke stažení, všechny USRP výrobky jsou ovládány opensource ovladačem UHD (Universal Hardware Driver). USRP rádia jsou běžně používány s GNURadio softwarem pro vytvoření komplexních rádiových systémů.

Rodina produktů USRP zahrnuje celou řadu modelů, které používají podobnou architekturu. Základní deska poskytuje následující subsystémy: FPGA (Programovatelná hradlová pole), ADC (Analogově digitální převodník), DAC (Digitálně analogový převodník), regulace elektrické energie a synchronizace hodin. To jsou základní prvky, které jsou potřebné pro zpracování pásma signálů.

USRP lze použít pro různé aplikace: RFID čtečka, zkušební zařízení, GSM základnové stanice, rozhlasový přijímač / vysílač FM rádia, Mobilní WiMAX přijímač, atd. To závisí na parametrech konkrétního USRP.

V projektu OpenBTS je použito pro příjem GMSK signálu a řízení pomocí GNURadio, při kompilaci kterého je nutné specifikovat, že pracujeme s USRP (`$./configure --enable-usrp`).

3.3 OpenBTS

OpenBTS (Open Base Transceiver Station – Otevřené vysílače a přijímače základnové stanice) je softwarovým přístupovým bodem standardu GSM. Program umožňuje uživatelům volat z mobilních telefonů bez nutnosti

použití stávajících sítí telekomunikačních služeb (mobilních operátorů). OpenBTS je prvním bezplatným softwarem, který umožňuje pracovat s průmyslovým standartem stacku protokolů GSM. OpenBTS je vytvořen v jazyce C++ a povolený na základě ustanovení třetí verze licence GNU «Affero General Public License».

OpenBTS umožňuje obejít síť GSM operátorů. Místo předání provozu volání a připojení přes ústředny operátorů, síťový provoz je přesměrován "přes vzduch" pouze k nejbližšímu bodu OpenBTS, připojenému k Internetu. Dále spojení prochází přes síť s přepínáním paketů do softwarové ústředny Asterisk podle protokoly SIP a RTP. OpenBTS aplikace převádí stack GSM protokolů na VoIP protokoly.

Existuje několik verzí programu, většina je k dispozici na GitHubu. Při instalaci openBTS je nutné specifikovat typ USRP. Například, když je na USRP jenom jeden daughterboard:

```
$ ./configure --with-usrp1 --with-singledb  
$ make  
$ make install
```

Po instalaci programu je nutné provést konfigurace :

- Nastavit frekvenční pásmo GSM a ARFCN
- Nastavit GSM.MNC (Mobile Network Code). Musí být jakýkoliv kód, mezi 0 a 99, aby ho nepoužívali lokální operátoři.
- Nastavit GSM.MCC (Mobile Country Code). Nutné nastavit v závislosti na vaší zemi.
- Povolit otevřenou registraci, atd.

Konfigurace lze provést různými způsoby v závislosti na verzi programu. Ve verzích openBTS-2.6 a starších to lze udělat pomocí textového editoru v konfiguračním souboru *apps/OpenBTS.config*. V novějších verzích byli konfigurační soubory přesunuty do SQLite databáze */etc/OpenBTS/OpenBTS.db*, úpravy lze provést pomocí SQLite tools (sqlite3 nebo sqlman). Ve všech verzích jsou úpravy povoleny přes klientské rozhraní OpenBTSCLI.

3.4 GNURadio

GNU Radio je svobodný softwarový toolkit pro vytváření softwarových definovaných rádií. Může být použit pro zpracování signálu v reálném čase z fyzické vrstvy s dostupným levným RF hardwarem. GNU Radio je balík pro zpracování signálu, který je distribuován pod podmínkami GNU General Public License (GPL). Cílem je dát obyčejným lidem se softwarem schopnost vymyslet chytré způsoby využití rádiového spektra.

Projekt GNU Radio využívá Universal Software Radio Peripheral (USRP), který byl popsán v kapitole 3.2.

Při instalaci je důležité specifikovat parametry: cestu do Boostu (knihovny pro C++), použité USRP, atd.

Například:

```
$ ./configure --with-boost=/opt/boost_1_44_0 \  
--disable-all-components --enable-usrp \  
--enable-omnithread --enable-mblock \  
--enable-pmt --enable-gnuradio-examples \  
--enable-docs --enable-doxygen \  
--enable-gnuradio-core --enable-gr-wxgui \  
--enable-gruel --enable-gr-utils \  
--enable-gr-usrp --enable-gr-qtgui  
$ make  
$ make install
```

Po instalaci je nutné vytvořit skupinu:

```
$ sudo addgroup usrp  
$ sudo addgroup <YOUR_USER> usrp
```

Dále napsat pravidla pro USRP do souboru: */etc/udev/rules.d/10-usrp.rules*.

Například:

```
ACTION=="add", BUS=="usb", SYSFS{idVendor}=="fffe",  
SYSFS{idProduct}=="0002", GROUP:="usrp", MODE:="0660"
```

3.5 Asterisk

Asterisk je softwarová implementace a výměny telefonní pobočkové ústředny (PBX). Stejně jako jakékoliv pobočkové ústředny, umožňuje připojeným telefonům si volat navzájem a připojovat k jiným telefonním službám, například k veřejné telefonní síti (PSTN) a VoIP službám. Jeho název pochází od symbolu hvězdička *.

Asterisk software obsahuje mnoho funkcí, které jsou k dispozici v běžných systémech PBX: hlasová pošta, konferenční hovory, interaktivní hlasové odezvy (menu telefonu) a automatickou distribuci hovorů.

Asterisk podporuje širokou škálu Voice over IP protokolů, včetně protokolu Session Initiation Protocol (SIP), Media Gateway Control Protocol (MGCP) a H.323. Asterisk může spolupracovat s většinou SIP telefonů, působit jako registrátor a jako brána mezi IP telefony a PSTN.

Podporou kombinací tradičních a VoIP telefoních služeb, Asterisk umožňuje stavět nové telefonní systémy nebo postupně migrovat stávající systémy s novými technologiemi. Některé stránky jsou pomocí Asterisk servery jsou schopny nahradit běžný PBX; jiné pro poskytování dalších funkcí (např. hlasové pošty) nebo na snížení nákladů tím, že nesou dálkové hovory přes internet.

Kromě VoIP protokolů, Asterisk podporuje mnoho tradičních obvodů přepínání protokolů, jako je ISDN a SS7. Každý protokol vyžaduje instalaci softwarových modulů. S těmito funkcemi, Asterisk poskytuje široké spektrum komunikačních možností.

Instalace na Debianu: `sudo apt-get install asterisk`

Konfigurace Asterisku.

V souboru `/etc/asterisk/extensions.conf` přidat IMSI mobilních stanic, které budou připojeny k síti. Například:

```
[sip-local]
exten => 2102,1,Macro(dialSIP,IMSI208123456789012)
exten => 2103,1,Macro(dialSIP,IMSI2085555555555555)
```

V souboru `/etc/asterisk/sip.conf` napsat jednotlivé specifikace pro každou MS:

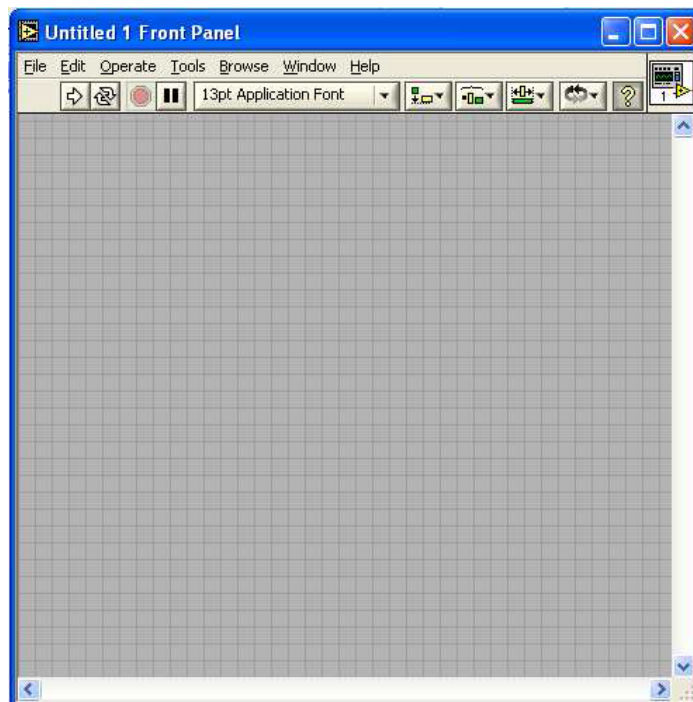
```
[IMSI208123456789012] ; Axelle SIM card IMSI
canreinvite=no
type=friend
context=sip-external
allow=gsm
host=dynamic
```

Po instalaci a konfiguraci všech nutných programů je síť připravená k použití a zbývá si jenom na mobilní stanici zvolit ruční volbu operátora. V seznamu sítí, které jsou k dispozici pro uživatele je nutno vybrat síť OpenBTS a už lze volat.

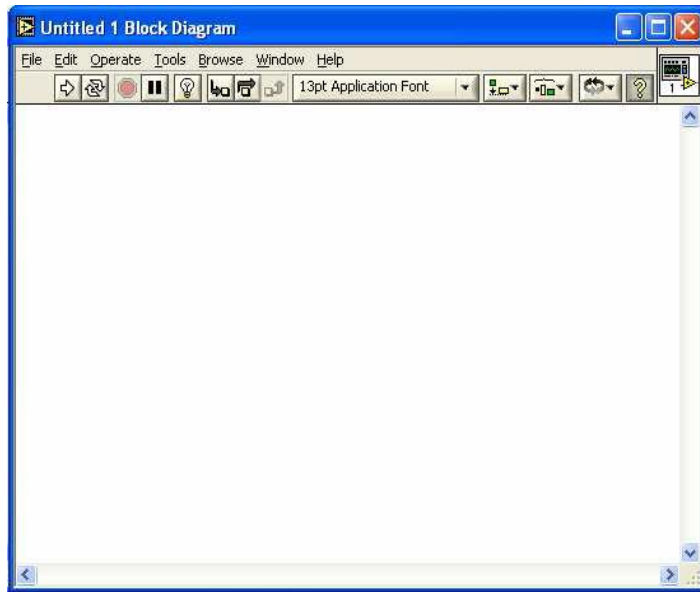
4. Vývojové prostředí LabVIEW

LabVIEW je vývojové prostředí, které místo klasického textového programování umožňuje tvořit programy v grafické interpretaci, intuitivní a samozřejmě tím pádem i rychlejší.

LabVIEW je systém určený pro obecné programovací účely, navíc, ale obsahuje také knihovny funkcí a vývojové nástroje navržené speciálně pro získávání dat a ovládání přístrojů. Programy tvořené v LabVIEW jsou nazývány Virtual instruments (VIs) (virtuální přístroje), jelikož jejich vzhled a činnost připomínají skutečné přístroje. Nicméně, VIs jsou podobné funkcím konvenčních programovacích jazyků. VIs se skládá z interaktivního uživatelského rozhraní (Front Panel), z diagramu dat (Block Diagrams) a ikon/připojení.

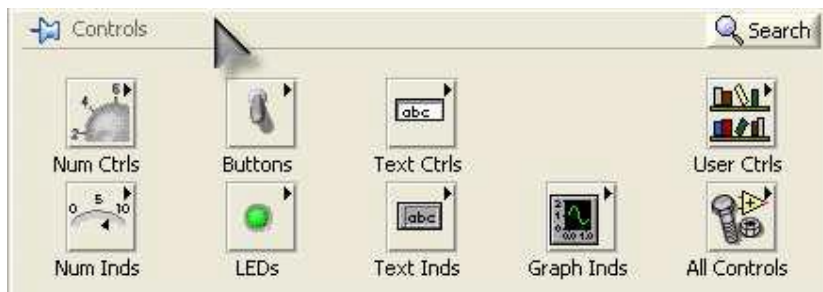


Obr.4.0.1 Přední panel

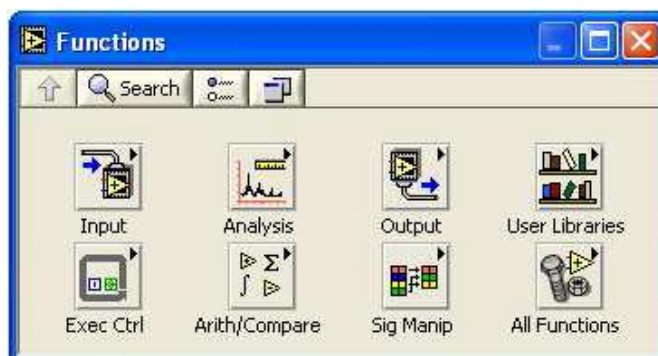


Obr.4.0.2 Blokový diagram

Panel obsahuje textové a grafické menu, ikonu a pracovní plochu pro ovládací a indikační prvky. Diagram obsahuje totéž textové a grafické menu rozšířené o odlad'ovací funkce, ikonu a pracovní plochu pro blokové schéma. Menu v panelu a v diagramu jsou ekvivalentní, lze použít obě se stejným výsledkem.



Obr.4.0.3 Paleta Controls



Obr.4.0.4 Paleta Functions

5. Metody řešení práce

5.1 Použité vybavení

Pro návrh praktické části bakalářského projektu jsem měl NI PCI-5640R Software Defined Radio IF Transceiver, což je programovatelné softwarové radio. Základní charakteristiky:

- 250 kHz na FM analogový vstup a výstup frekvenčního rozsahu
- Duální synchronizované vstupní kanály
 - Až se šířkou pásma 20 MHz v reálném čase
 - 14-bitový analogově-digitální převodníky
 - Vestavěný digitální downconversion
- Duální synchronizované výstupní kanály
 - Až se šířkou pásma 20 MHz v reálném čase
 - 14-bit digitální-analogové převodníky
 - Vestavěný digitální upconversion
- Inline a možnosti host-based pro zpracování pomocí zjednodušené grafické programování s NI LabVIEW
- Xilinx Virtex II Pro @ P30 FPGA pro zpracování inline
- Direct Memory Access (DMA) pro streamování dat

SDR NI 5640R má být namontováno do počítače pomocí PCI sběrnice. Na ten samý počítač, má být nainstalováno vývojové prostředí LabVIEW, přes které bude rádio ovládáno. Dále jsem zjistil minimální požadavky k počítači: Pentium 4 nebo rovnocenný procesor, 1GB RAM, OS Windows XP/7/Vista. Když byl počítač připraven, tak jsem tam nainstaloval LabVIEW 2009 a NI 5640 Instrument Driver. Vedoucí práce, pan Bezpalec pro mě vytvořil SSH tunel, abych mohl pracovat na projektu vzdáleně.

Naš projekt se od originalního liší tím, že místo USRP ovládaného UHD a programem GNURadio a připojeného k počítači přes USB nebo Ethernet rozhraní, máme PCI – desku řízenou jehož vlastním ovladačem a VI napsaných v LabVIEW. GNURadio má knihovni funkci pro GMSK modem, v LabVIEW jsem neměl licenci na Modulation Toolkit a musel jsem to naprogramovat sam.

Dále podle struktury OpenBTS sítě (kapitola 3.1), kromě GMSK modemu má být převodník ze stacku GSM na VoIP protokoly a program vyplňující funkce ustředny. Pro Windows nejsou žádné verze OpenBTS ani podobný program. Proto jsem potřeboval linuxový server, na kterém jsem měl naistalovat OpenBTS a Asterisk. Linuxový server nám poskytl pan Bezpalec. Pro zpracování projektu jsem měl dva servery, které se nacházeli v jednom subnetu. Na jednom bylo SDR a LabVIEW, a druhém měl být OpenBTS a

Asterisk. Teoreticky, by šlo říct, že jeden počítač bude mít roli radiomodemu a druhý roli ostatních elementů sítě. Výměna dat podle obrázku 3.1, mezi počítači má procházet přes UDP. Pak další kroky pro zpracování projektu lze rozdělit do dvou částí: instalace a konfigurace softwaru na linuxový server a vývoj programu v LabVIEW.

5.2 Instalace softwarů

Jak jsem se zmínil v kapitole 3.3, přístup k programu OpenBTS je volný a existuje několik verzí. Nepodařilo se mi ale nainstalovat ani jednu. Zkoušel jsem verze 2.6, 2.8 a 4.0 několikrát zkompilovat, přičemž zdrojové soubory byly staženy z různých repositářů. Instalace jsem zkoušel na různé distribuce Ubuntu 13.04, 12.10, 13.10 a Debian 7.5. Někdy to hlásilo chybu, při příkazu `./configure`, o tom, že nenalezl žádný paket „`usrp`“. Poté jsem instaloval `libusrp-dev`, kde měl daný paket být. Hlásilo to už úplně jiné chyby při kompilaci `openBTS`, například, že v jedné z funkcí zdrojového kódu je chyba.

Ve všech dokumentech o OpenBTS je vždy zobrazena instalace probíhající na PC, ke kterému je připojeno USRP. Je to myšleno, že při instalaci, je vždy nutné provádět specifikace, na kterých závisí jak program bude fungovat.

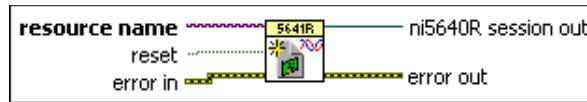
5.3 Emulace rádiové části.

Podle standardu GSM pro předávání dat přes vzduch, se používá GMSK, které jsem již popisoval v kapitole 2.5. Je tam napsán vztah pro modulovaný signál a nakreslené schémata modulátoru a demodulátoru.

Podle těchto schémat, jsem pomocí standardních subVI instrumentálního ovladače NI 5640R a jednoduchých knihovných funkcí zkoušel napsat VI pro GMSK modem. Pro přijmač byly využité následující standardní subVI:

➤ **Init Acquisition Session VI:**

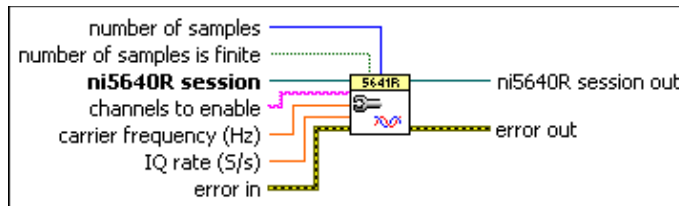
Inicializuje přijímací stroj na zařízení NI-5640R. Tento VI provádí následující inicializační kroky: vytvoří novou relaci, otevře relaci k přístroji, který zadáte jako název zdroje, pokud je reset nastaven na hodnotu TRUE, toto VI resetuje zařízení do známého stavu, vrátí pořizovací relace, který používáte k identifikaci zařízení NI-5640R ve veškerých dalších akvizicích NI-5640R VI.



Obr.5.3.1 Init Acquisition Session VI.

➤ **Configure Acquisition VI:**

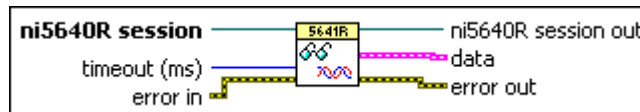
Konfiguruje nosnou frekvenci, IQ rate, počet vzorků a kanály k otevření.



Obr.5.3.2 Configure Acquisition VI

➤ **Read IQ VI:**

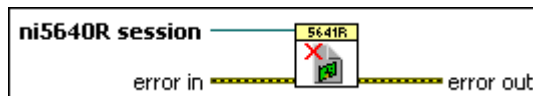
Spustí příjem, načte počet vzorků z povoleného kanálu a vrátí data IQ jako komplexní cluster nebo jako časově závislá vlna. Existuje pro jeden nebo N kanálů.



Obr.5.3.3 Read IQ VI

➤ **Close VI:**

Zavře relaci.

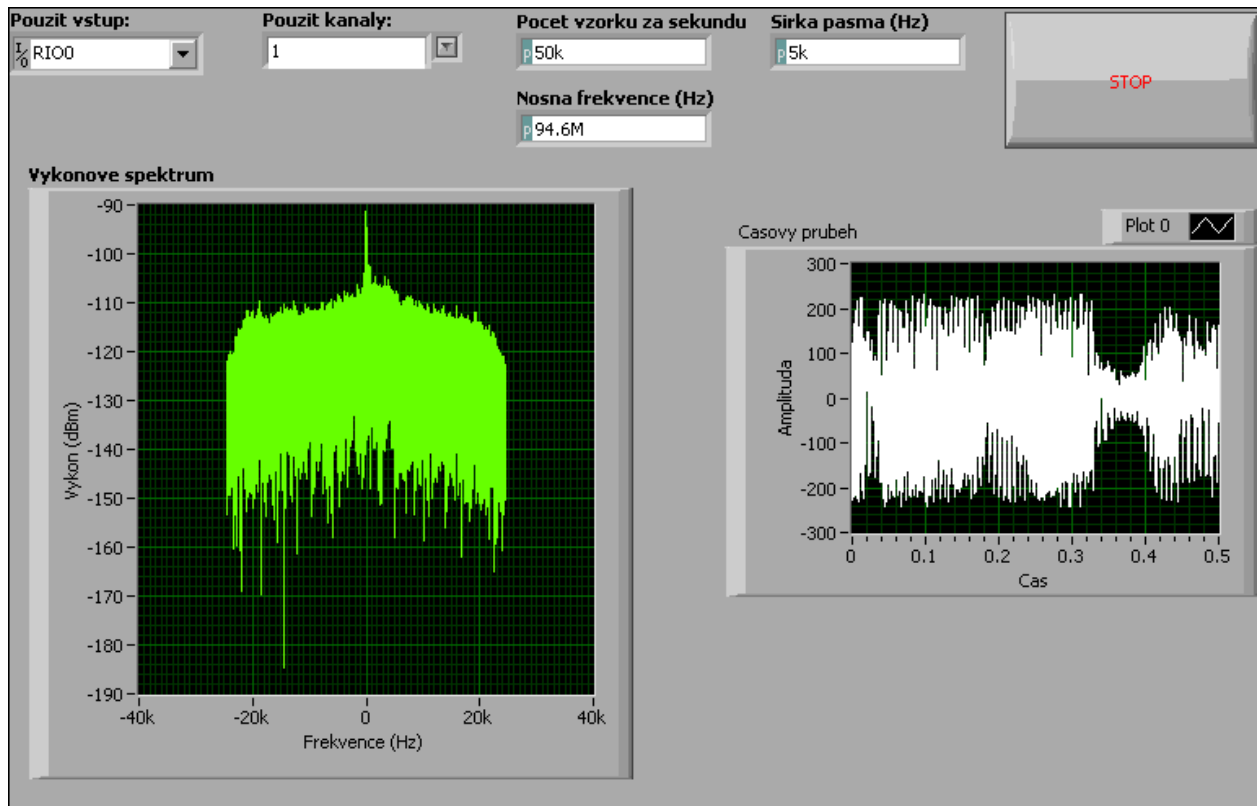


Obr.5.3.3 Close VI

Základním cílem přijmače je přijímání GMSK modulovaného signálu, dále ho demodulovat a vystupní NRZ digitalní signál poslat přes UDP zprávu do portu, kde běží openbts. Během psaní programu pro přijmač–demodulátor, jsem zjistil, že NI 5640R není schopné pracovat na kmitočtech vyšších než 100

MHz. To znamená, že žádný mobilní signál nebude přijat. Proto NI 5640R nemůže být použit pro projekt OpenBTS.

Aby jsem ověřil funkčnost SDR, napsal jsem program, který provádí FM demodulaci, kreslí spektrum přijatého FM modulovaného signálu a časový průběh demodulovaného signálu. V příloze B se nachází blokový diagram. Na obrázku 5.3.4 jsou výsledky měření.



Obr.5.3.4 Spektrum FM signálu a časový průběh demodulovaného signálu.

6. Závěr

Cílem této bakalářské práce, byl návrh funkční mobilní sítě přes které lze normálně volat. Síť by měla být vytvořena pomocí open-source prostředků, spolupracující s SDR NI-5640R, které by řídil vlastní program (LabVIEW VI). Ale během zpracování práce, jsem zjistil, že zařízení zvolené pro příjem a vysílání mobilních signálů nemůže vyplňovat požadované funkce, protože není schopno pracovat s kmitočty větší, než 100 MHz. Potřebujeme ale kmitočtové pásmo 890 – 960 MHz. Další překážkou se stala instalace open-source softwaru: nepodařilo se nám nainstalovat program openBTS, jelikož je vytvořen tak, že vyžaduje určité zařízení přímo připojené přes USB nebo Ethernet rozhraní. Výsledkem je nemožnost návrhu mobilní sítě pomocí hardwaru, který jsem měl. Pokud by místo SDR NI 5640R bylo jiné zařízení schopné pracovat na kmitočtech přidělených pro mobilní síť, například NI USRP, výsledky práce by mohli být jiné.

V praktické části práce, jsem jenom ověřil pomocí LabVIEW VI, že SDR může přijímat FM signál a demodulovat ho. V teoretické části, jsem popsal základy GSM standardu. Zmínil jsem, na jakých principech funguje síť OpenBTS.

Použitá literatura

- [1] Логические каналы в GSM. *Блог про технологии GSM и 3G* [online]. 2013 [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <http://pro3gsm.com/logicheskie-kanalyi-v-gsm/>
- [2] RANGENETWORKS. OpenBTS: Users' Manual. USA, San Francisco, 2013.
- [3] LabVIEW System Design Software. National Instruments [online]. 2014 [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <http://www.ni.com/labview/>
- [4] ПОПОВ, В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM. Rusko, Moskva: Эко-Трендз, 2005. ISBN 5-88405-068-2.
- [5] OpenBTS. OpenBTS. [online]. 2014 [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <http://openbts.org/>
- [6] Asterisk. Asterisk [online]. 2014 [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <http://www.asterisk.org/>

Seznam obrázků

Obr.2.3.1 Zjednodušená architektura systému GSM	5
Obr.2.4.1 Vrstvový model systému GSM	6
Obr.2.5.1 Kvadrurní modulátor GMSK	7
Obr.2.5.1 Kvadrurní demodulátor GMSK	8
Obr.3.0.1 Architektura sítě OpenBTS	9
Obr.4.0.1 Přední panel	14
Obr.4.0.2 Blokový diagram	15
Obr.4.0.3 Paleta Controls	15
Obr.4.0.4 Paleta Funct	15
Obr.5.3.1 Init Acquisition Session VI	18
Obr.5.3.2 Configure Acquisit	18
Obr.5.3.3 Read IQ	18
Obr.5.3.3 Close VI	18
Obr.5.3.4 Spektrum FM signálu a časový průběh demodulovaného signálu ..	19

Seznam tabulek

Tab.2.1.1 Základní kmitočtové vlastnosti	3
Tab.2.1.2 Rozdělení kmitočtového pásma	3

