

Univerzita Pardubice

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Model rozmístění základnových stanic sítě GSM

Jiří Kolín

Bakalářská práce

2009

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra informačních technologií
Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Jiří KOLÍN
Studijní program: B2646 Informační technologie
Studijní obor: Informační technologie

Název tématu: Model rozmístění základnových stanic sítě GSM

Zásady pro vypracování:

Náplní práce je vytvoření softwarového modelu rozmístění základnových stanic systému mobilních telefonů GSM, který bude vhodný k monitorování parametrů sítě - např. výkonové úrovně přijímaného signálu nebo časové prodlevy při šíření signálu. Model se bude vázat na skutečné rozmístění základnových stanic v oblasti města Pardubic a jeho okolí. Náplní teoretické části bude jednoduchý popis technologie mobilních telefonů GSM především v souvislosti se základy plánování buňkové sítě pokrývající městské a příměstské oblasti.

Praktická část bude zaměřena na vytvoření softwarového modelu s rozmístěním základnových stanic v mapě s vhodným měřítkem a souřadnicemi (např. JTSK). Model bude vhodným způsobem umožňovat implementaci modelů šíření signálu z jiných softwarových nástrojů a zobrazení parametrů získaných z těchto modelů v mapě. Pro úspěšné splnění praktické části bude nutné shromáždit informace o poloze a výšce umístění antén základnových stanic systému GSM na Pardubicku pro vybraného operátora. Chyba v určení polohy základnových stanic by neměla překračovat 5 metrů v horizontálním směru a 2 metry ve vertikálním směru.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Pechač, P. – Zvánovec, S.: Základy šíření vln pro plánování pozemních rádiových spojů, 2007, 978-80-7300-223-7

Michel Mouly, Marie-Bernadette Pautet - The GSM System for Mobile Communication, Telecom Publishing; June 1992

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. ledna 2009**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15. května 2009**



doc. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan



Ing. Lukáš Čegan
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 31. března 2009

Prohlášení autora

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 15.5.2009

Jiří Kolín

ANOTACE

Práce je věnována popisu jednotlivých částí GSM systému se zaměřením na technologii samotnou, spolu s vysvětlením jeho funkcí. Jejím cílem je také vytvoření aplikace zobrazující vysílače umístěné na mapě Pardubic, podle předem zadaných GPS souřadnic.

KLÍČOVÁ SLOVA

GSM, mobilní stanice, základnová stanice, vysílač, buňka, šíření signálu, frekvenční pásmo

TITLE

Base station location model of the GSM network

ANNOTATION

The work deals with describing the various parts of the GSM system with a focus on technology itself, together with an explanation of its functions. It also aims at the creation of application showing the transmitter located on the map of Pardubice, according to a pre-entered GPS coordinates.

KEYWORDS

GSM, mobile station, base station subsystem, transmitter, cell, signal propagation, frequency band

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Zdeňku Němcovi, Ph.D. za jeho podnětné návrhy a čas, který mi věnoval.

1. Obsah

1. Obsah.....	7
2. Seznam zkratk	9
3. Úvod.....	11
4. Cíl práce	11
5. Popis technologie GSM.....	12
5.1. Architektura sítě.....	12
5.1.1. Mobilní stanice.....	13
5.1.2. Subsystém základnových stanic.....	13
5.1.3. Síťový spínací subsystém.....	17
5.2. Frekvenční pásma	19
5.2.1. GSM 900	19
5.2.2. GSM 1800	20
5.2.3. GSM 1900	20
5.3. Buňky sítě.....	21
5.3.1. Makrobuňka	22
5.3.2. Mikrobuňka.....	22
5.3.3. Pikobuňka.....	22
5.3.4. Opakovač.....	22
5.4. Typy kanálů	23
5.4.1. Provozní kanály.....	23
5.4.2. Signalizační kanály	23
5.5. Mnohonásobný přístup.....	24

5.5.1.	Frekvenčně dělený mnohonásobný přístup.....	24
5.5.2.	Časově dělený mnohonásobný přístup.....	25
5.5.3.	Kódově dělený mnohonásobný přístup.....	26
5.6.	Handover.....	26
5.7.	Datové technologie	28
5.7.1.	GPRS.....	28
5.7.2.	UMTS.....	29
5.7.3.	EDGE	29
5.7.4.	HSDPA.....	29
6.	Softwarový model rozmístění zákl. stanic.....	30
6.1.	Získání dat	31
6.2.	Grafický návrh aplikace	33
6.3.	Popis ovládacích prvků aplikace	34
6.4.	Důležité funkce a procedury.....	38
7.	Závěr.....	45
8.	Přílohy	46
8.1.	Seznam obrázků	46
8.2.	Seznam tabulek.....	46
8.3.	Seznam zdrojových kódů	47
9.	Použité zdroje	47
	Tištěné publikace.....	47
	Webové stránky	47

2. Seznam zkratek

AC - Authentication center - Autentifikační centrum

AN - Access network - Přístupová síť

BCCH - Broadcast control channels - Vysílané řídicí kanály

BSC - Base Station Controller - Základnová řídicí jednotka

BSS - Base station subsystem - Subsystém základnových stanic

CCCH - Common control channels - Společné řídicí kanály

CDMA - Code division multiple access - Kódově dělený mnohonásobný přístup

CN - Core network - Páteřní síť

DCCH - Dedicated control channels - Vyhrazené řídicí kanály

DCS - Digital Cordless Standard – Mobilní síť na frekvenci 1800MHz

ECSD - Enhanced circuit switched data – Rozšíření služby HSCSD ke zvýšení rychlosti

EDGE - Enhanced data rates for GSM evolution – Technologie rozšiřující stávající služby GSM sítě

EIR - Equipment center - Registr mobilních stanic

FDMA - Frequency division multiple access - Frekvenčně dělený mnohonásobný přístup

GPRS - General packet radio service – Technologie paketového přenosu dat

H-ARQ - Hybrid automatic repeat request - Hybridní automatický požadavek na opakování přenosu

HLR - Home location register - Domovský lokační registr

HSDPA - High-speed downlink packet access - Protokol mobilní telefonie označovaný také jako technologie 3,5G

IMEI - International Mobile Equipment Identity – Jednoznačný identifikátor mobilního telefonu

IMSI - International Mobile Subscriber Identity - Číslo přidělené mobilním operátorem SIM kartě

MAHO - Mobile assisted handover - Handover řízený sítí s asistencí mobilní stanice

MCHO - Mobile controlled handover – Handover řízený mobilní stanicí

MS - Mobile station - Mobilní stanice

MSC - Mobile services switching center - Mobilní spínací ústředna

NCHO - Network controlled handover – Handover řízený sítí

NSS - Network switching subsystem - Síťový a spínací podsystém

PCS - Personal Communication services - Mobilní síť na frekvenci 1900MHz

PCU - Packet controller unit – Jednotka pro rozpoznání a řízení paketového provozu

SCN - Service control network - Servisní řídicí síť

SCH - Signaling channels - Signalizační kanály

TDMA - Time division multiple access - Časově dělený mnohonásobný přístup

TCH - Traffic channels – Provozní kanály

UMTS - Universal mobile telecommunication system - 3G systém standardu mobilních telefonů

VLR - Visitor location register - Návštěvnický lokační registr

3. Úvod

Pryč je doba, kdy telefonní přístroj měli doma jen ti nejmovitější lidé z širokého okolí a kdy se celé rodiny scházely u jednoho přístroje, aby mohly, díky rozšiřující se technologii telefonní sítě, zatelefonovat svým známým. Dneska má telefonní přístroj téměř každý, ba dokonce se najdou tací, kteří mají hned tři či více najednou.

Hlavní výhodou mobilní sítě, oproti klasickým telefonům, je daleko snazší dostupnost, a to nikoliv jen cenová. Díky dnešnímu trendu miniaturizace jsou dnes telefonní zařízení snadno přenositelná a díky širokému spektru pokrytí signálu je uživatel dostupný téměř odkudkoliv na světě. Mobil, jako takový, dneska už neslouží jen k uskutečnění hovorů, ale stal se důležitou součástí našich životů a spoluorganizátorem dne. Málokdo se však pozastaví nad tím, jak takové zařízení vlastně funguje, co je uvnitř "té krabičky", která mi umožňuje denně pohodlně odesílat či přijímat textové zprávy či telefonovat svým blízkým. Jak se signál, jdoucí z mobilu vlastně přenáší, čím vším prochází a kudy všude letí datové toky tak, aby se v neporušené podobě donesl až k jakémusi pomyslnému reproduktoru na druhé straně.

V této bakalářské práci bych se chtěl zaměřit na technologii GSM, která s "telefonováním" jako takovým úzce souvisí.

Když vznikla v roce 1982 skupina GSM, nikdo netušil, že systém se jménem převzatým od této skupiny, se tak rozšíří a bude ho v roce 2008 využívat přes tři miliardy lidí a jeho podíl na světovém trhu bude 80,42%.

4. Cíl práce

Cílem bakalářské práce je popis systému GSM a vytvoření modelu rozmístění základnových stanic s jednoduchým zobrazením výkonových úrovní v okolí stanic.

V teoretické části se budu zabývat nejdříve rozdělením systému GSM na jednotlivé části, poté se zaměřím na používané frekvence a realizaci sítě rozdělené do buněk. Poté vysvětlím, jak probíhá přidělování pásma a přechody mezi hovory. V poslední kapitole uvedu několik nejvíce používaných technologií přenosu dat přes tuto síť.

V praktické části popíši vytvořenou aplikaci, která bude sloužit pro vykreslení vysílačů sítě Vodafone na území města Pardubice a okolí. V programu bude možné vidět jak jejich přesné umístění, tak i další parametry týkající se šíření signálu.

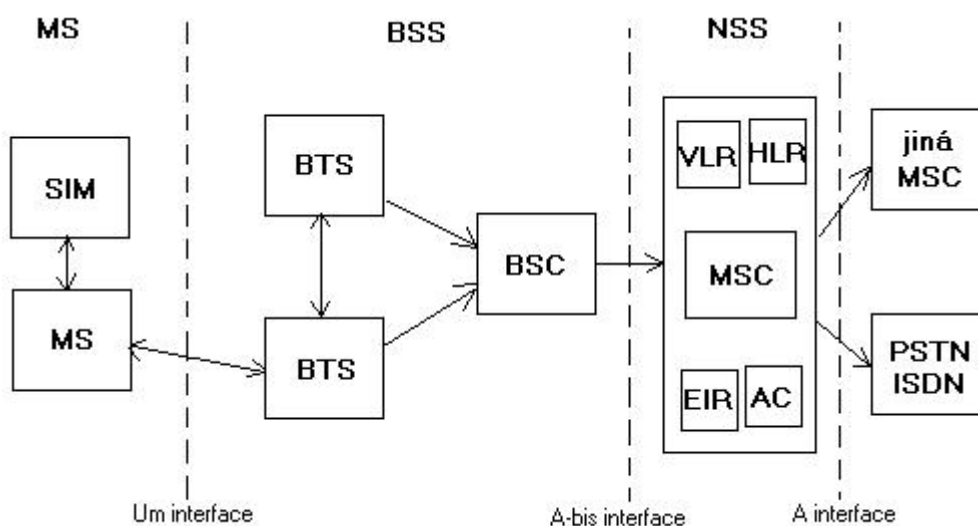
5. Popis technologie GSM

5.1. Architektura sítě

Sít GSM je složitý celek zajišťující mnoho služeb. Jeho rozdělení je na obrázku 1.

Tento systém se skládá ze tří základních celků:

1. Mobilní stanice (MS¹)
2. Subsystem základnových stanic (BSS²)
3. Síťový a spínací podsystém (NSS³)



Obrázek 1 - Blokové schéma sítě GSM⁴

1 Mobile station

2 Base station subsystem

3 Network switching subsystem

4 Zdroj: <http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART65-Architektura-GSM-site.html>

5.1.1. Mobilní stanice

Mobilní stanicí je myšlený klasický mobilní telefon, který je v síti identifikován pomocí čísla IMEI⁵ a IMSI⁶. Číslo IMEI je jednoznačný identifikátor telefonu, který má přidělený výrobcem. Jedná se o patnáctimístný kód označující, ve které zemi byl vyroben, označení výrobce a sériové číslo. IMSI je číslo přidělené mobilním operátorem SIM kartě pro její identifikaci v síti. Při přihlašování do sítě je toto číslo mobilním telefonem odesláno pro ověření autorizace.

V případě krádeže mobilního telefonu se dá pomocí obou čísel zablokovat jak přístup SIM karty do sítě, tak i samotného mobilního telefonu, zapsáním výše uvedených čísel na black list.

Každý mobilní telefon je přijímačem a vysílačem zároveň. Podle úrovně vyzařovaného signálu je zařazován do pěti výkonnostních tříd uvedených v tabulce 1.

Třída GSM	1	2	3	4	5
Výstupní výkon	20W	8W	5W	2W	0,8W

Tabulka 1 - Výkonnostní třídy GSM

V návodu ke každému telefonu výrobce uvádí, do které třídy telefon patří. Bylo již provedeno mnoho zdravotnických testů na škodlivost záření vydávané mobilními telefony a každý rok vznikají nové. Nějaké ho považují za škodlivé, jiné ne. Doposud tedy nebylo plně prokázáno poškození zdraví člověka, ale i tak vznikají normy udávající maximální hodnotu záření.

5.1.2. Subsystem základnových stanic

Subsystem je tvořen několika základnovými stanicemi BTS⁷, které jsou řízeny základnovými řídicími jednotkami BSC⁸. BSC se stará o přidělování radiových

⁵ International Mobile Equipment Identity

⁶ International Mobile Subscriber Identity

⁷ Base Station Subsystem

kanálů i jejich dynamickou změnu v případě, že se s mobilním telefonem pohybuje. Na obrázku 2 je zobrazena BTS v jejím nejčastějším provedení. Na obrázku 3 je mobilní BTS.



Obrázek 2 - Klasická BTS

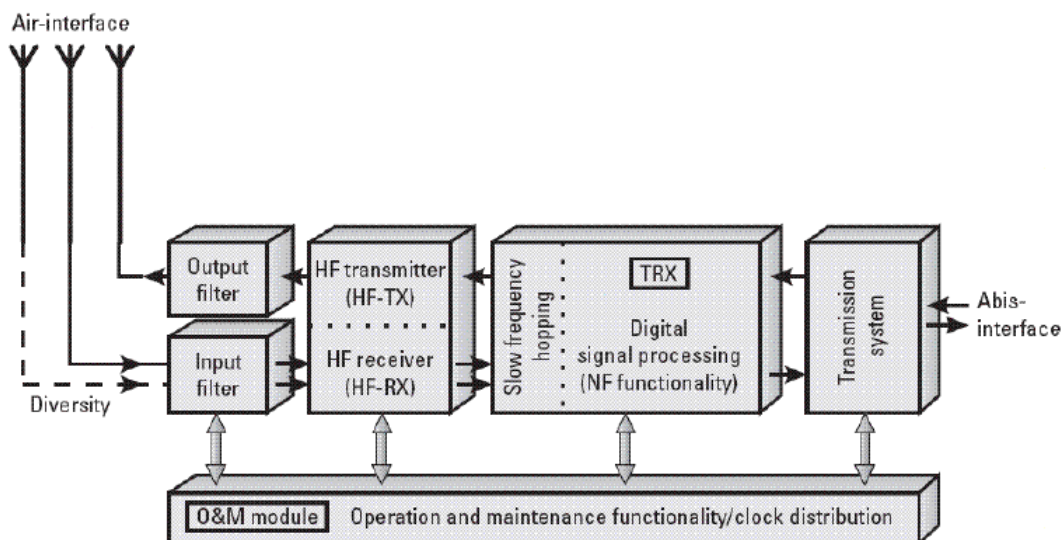


Obrázek 3 - Mobilní BTS

Základnová stanice

Základnová stanice je zařízení, které slouží jako vysílač a přijímač radiových signálů. Skládá se z několika antén, které jsou natočeny do různých stran. Každá vysílá i přijímá signál na několika frekvencích. Tím je možné prostor okolo stanice sektorizovat a všechny buňky jsou tak obsluhovány z jednoho místa. Kapacita BTS je zvýšena také vysíláním osmi hlasových kanálů na jedné frekvenci, aniž by se nějak výrazně zvýšilo rušení mezi sousedními buňkami. Dohromady dokáže jedna stanice vytvořit několik desítek souběžných telekomunikačních kanálů.

⁸ Base Station Controller



Obrázek 4 - Blokové schéma BTS⁹

Na obrázku 4 je zobrazeno blokové schéma BTS, kde je pomocí šipek naznačen tok signálu. U této stanice je použit pouze jeden vysílač/přijímač (TRX), který je v podstatě nejdůležitější částí BTS. Obsahuje nízkofrekvenční část zajišťující zpracování přijímaného signálu, a vysokofrekvenční část, která slouží pro GSMK modulaci a demodulaci. Obě části jsou propojeny jednotkou pro pomalé frekvenční skákání (Slow Frequency hopping). Standard GSM dovoluje použití až šestnácti TRX v jedné BTS, ale standardně se využívají 1 až 4 tyto vysílače/přijímače. Dále BTS obsahuje O&M module, což je v podstatě modul pro komunikaci s BSC. Ten zajišťuje zpracovávání požadavků a příkazů od BSC a zasílání výsledků. Kromě tohoto také zajišťuje komunikaci s personálem BTS pomocí rozhraní pro ruční správu. Další důležitou částí je vysokofrekvenční vysílač a přijímač signálu s filtry (HF transmitter, HF receiver, filter) sloužící k přijímání a vysílání vysokofrekvenčního signálu, u kterého se ve filtru upraví pouze jeho parametry podle použitého pásma (GSM 900, 1800, 1900).

Podle výkonových úrovní se dělí BTS do několika tříd, které jsou uvedeny v tabulce 2 společně s výkonovými úrovněmi.

⁹ Zdroj: http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK07_semestralky/BTS-blokove%20schema.pdf

Výkonová třída	Max. výkon BTS
1	320 W
2	160 W
3	80 W
4	40 W
5	20 W
6	10 W
7	5 W
8	2,5 W

Tabulka 2 - výkonové úrovně BTS

Základnová řídicí jednotka

Základnová řídicí jednotka BSC ovládá několik BTS. Většinou je na ní připojeno 10 až 100 BTS. BSC se stará o přidělování jednotlivých kanálů mobilním telefonům a jejich předávání mezi základnovými stanicemi. Přidělení kanálu probíhá až ve chvíli, kdy je hovor zvednut. Do té doby telefon naslouchá na broadcast kanálu, který je společný pro všechna zařízení připojená k BTS. Ve chvíli, kdy telefon obdrží zprávu, že je volán, požádá základnovou stanicí o přidělení vlastního obousměrného kanálu pro komunikaci.

Aby mohlo být spojení vytvořeno, musí se nejdříve zjistit, ve které buňce se telefon nachází.

K tomu se používají 3 metody zjišťování:

1. Mobilní telefon při každém přechodu mezi oblastmi ohlásí síti ID buňky, kam právě přešel.
2. Síť odešle všem svým buňkám speciální zprávu, ve které požaduje, aby se mobilní telefon sám ohlásil.
3. Pokud se telefon připojí k jiné stanici, která je připojená na stejnou řídicí jednotku, tak žádnou zprávu síti neodesílá. Odešle ji až ve chvíli, když přejde

na BTS pod jinou řídicí jednotkou a jeho pozice se zaznamená ve VLR¹⁰. Princip VLR a jeho funkce vysvětlím níže.

Když srovnáme tyto 3 varianty, tak sestavení spojení u první z nich je velice rychlé, ale neefektivní, protože při každé změně se musí telefon hlásit síti. U druhé varianty je naopak sestavování spojení velmi pomalé a vysílání zpráv po celé síti při hledání telefonu před každým spojením není nejvhodnějším řešením. Proto se používá třetí metoda, která je kombinací předchozích dvou.

Sestavování hovorů je o to složitější, pokud se mobilní telefon pohybuje. K jeho přepínání na jinou buňku dochází až ve chvíli, kdy je signál příliš slabý a je možné se připojit na jinou BTS. V oblastech s větším počtem základnových stanic k tomu dochází velmi často. Ve chvíli, kdy se hovor přepíná z jedné BTS na druhou, musí již na ní být vytvořen kanál pro přenos signálu. Většinou nelze přepnutí vůbec poznat.

5.1.3. Síťový spínací subsystém

Síťový spínací subsystém je zjednodušeně řečeno telefonní ústředna, která se stará o přepojování hovorů jak mezi účastníky sítě, tak do ostatních sítí, kam je připojen.

Tento subsystém se skládá z:

1. Návštěvnického lokačního registru VLR¹⁰
2. Domovského lokačního registru HLR¹¹
3. Mobilní spínací ústředny MSC¹²
4. Registru mobilních stanic EIR¹³
5. Autentifikačního centra AC¹⁴

¹⁰ Visitor location register

¹¹ Home location register

¹² Mobile services switching center

¹³ Equipment center

Návštěvníkový lokační registr VLR

Registr obsahuje data o účastnících, kteří jsou z jiné sítě a využívají roamingu. Dále obsahuje určité informace z HLR nutné k řízení hovorů mobilních stanic, které se zrovna nacházejí v oblastech řízených danou MSC. Jsou to dočasná data, která se nemění a po opuštění oblasti jsou smazána. Vždy se kopíruje z HLR do VLR, nikdy naopak.

Domovský lokační registr HLR

HLR je registr všech účastníků daného operátora. Obsahuje informace o předplacených službách, číslo IMSI, údaje o placení účtů. Je v síti pouze jeden, aby se záznamy nějak nelišily.

Mobilní spínací ústředna MSC

Plní funkci klasické telefonní ústředny. MSC zajišťuje registrace telefonů v síti, jejich ověřování, určování polohy, směrování hovorů, roaming. Další podstatnou součástí je její propojení s pevnou sítí, kontrola příchozích a odchozích hovorů a datových systémů.

Registr mobilních stanic EIR

Registr obsahuje IMEI všech mobilních telefonů přihlášených v síti, podle kterého je také identifikuje. Díky němu lze omezit přístup kradených telefonů do sítě a jejich další používání.

Autentifikační centrum AC

AC je chráněná databáze, kde jsou uloženy kopie tajných klíčů, které se používají při přihlašování telefonu do sítě.

¹⁴ Authentication center

5.2. Frekvenční pásma

Systém GSM je dělen do 3 frekvenčních pásem:

1. GSM 900
2. GSM 1800
3. GSM 1900

5.2.1. GSM 900

Síť byla budována jako první, proto je také občas označována názvem Primary GSM (P-GSM). V tabulce 3 jsou uvedeny podrobné parametry k tomuto standardu.

frekvenční pásmo mobilu k BTS (uplink)	890 - 915 MHz
frekvenční pásmo z BTS k mobilu (downlink)	935 - 960 MHz
odstup radiových kanálů	0,2 MHz
počet kanálů	124
modulace	GMSK

Tabulka 3 - Technické parametry sítě GSM 900

Jelikož začala být síť GSM velmi populární a využívaná, bylo nutné přistoupit k jejímu rozšíření. Tak vznikl standard Extended GSM (E-GSM). Využívá technologii Primary GSM s tím rozdílem, že frekvenční pásmo směrem od mobilu k BTS i od BTS k mobilu bylo rozšířeno o 10MHz. Na uplinku byl kmitočet 880-915 MHz a na downlinku 925-960. Tím došlo ke zvýšení o dalších 50 kanálů po 200 KHz na 174.

5.2.2. GSM 1800

Síť na frekvenci 1800MHz je dnes nejvíce využívána. Je označována též názvem DCS¹⁵. Rozdíl oproti GSM 900 je kromě rozsahu frekvencí také v maximálním výkonu mobilních telefonů využívajících tento standard. U sítě P-GSM nebo E-GSM jsou využívány telefony s maximálním výkonem 2W, ale u této sítě je maximální výkon pouze 1W. Jelikož je použita vyšší frekvence a nižší výkon telefonu, je pro pokrytí určité oblasti signálem potřeba více BTS. Podrobné parametry sítě GSM 1800 jsou uvedeny v tabulce 4.

frekvenční pásmo z mobilu k BTS (uplink)	1710 - 1785 MHz
frekvenční pásmo z BTS k mobilu (downlink)	1805 - 1880 MHz
odstup radiových kanálů	0,2 MHz
počet kanálů	374
modulace	GMSK

Tabulka 4 - Technické parametry sítě GSM 1800

5.2.3. GSM 1900

Pásmo 1900MHz je také nazýváno PCS¹⁶. Síť je zatím využívána pouze ve Spojených státech a Kanadě. Její parametry jsou uvedeny v tabulce 5.

frekvenční pásmo z mobilu k BTS (uplink)	1850 – 1910 Mhz
frekvenční pásmo z BTS k mobilu (downlink)	1930 – 1990 Mhz

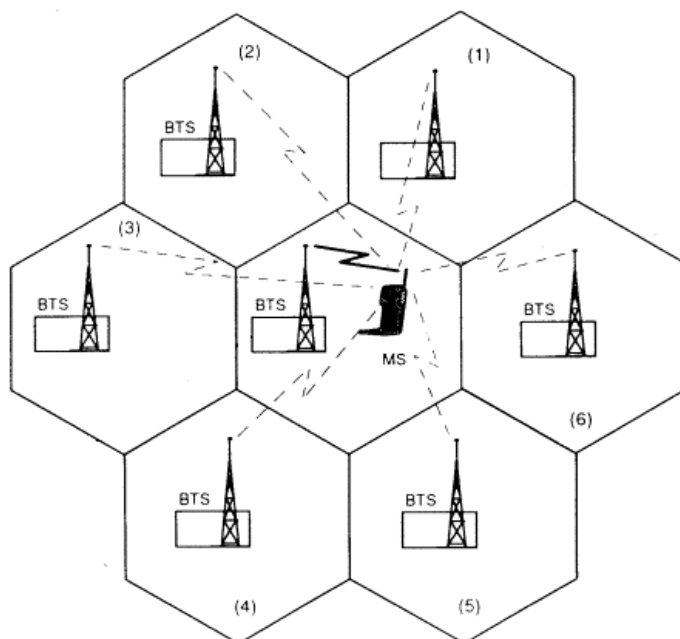
Tabulka 5 - Technické parametry sítě GSM 1900

¹⁵ Digital Cordless Standard

¹⁶ Personal Communication services

5.3. Buňky sítě

GSM síť je občas nazývána celulární sítí. Slovo celulární je odvozeno od latinského celula, které v překladu znamená buňka. Na obrázku 5 je zobrazeno její dělení.



Obrázek 5 - Dělení sítě GSM do buněk

Každá buňka má svoji vlastní vysílací/přijímací anténu. Díky sektorizaci je možné na jeden stožár umístit několik antén. Všechny pak obsluhují svoji oblast z jednoho místa, aniž by se rušily.

Buňky se v systému GSM rozdělují do čtyř skupin velikosti a předpokládaného počtu účastníků na :

- Makrobuňky
- Mikrobuňky
- Pikobuňky
- Opakovače

5.3.1. Makrobuňka

Makrobuňky jsou využívány v oblastech s nižším počtem obyvatel. Umisťují se nad úroveň střech nebo na vrchol kopce.

Umbrella je buňka s nejvyšším pokrytím. Jedná se o desítky kilometrů. Jsou stavěny v horských oblastech nebo v menších vesnicích, kde se nevyplatí stavět více BTS.

Velké buňky se používají ve městech. Mají dosah do 5 kilometrů a tak pokrývají část města nebo několik menších vesnic, které nejsou velmi vzdálené.

Malé buňky mají dosah do 1 kilometru a jsou využívány v centrech měst, kde je potřeba vyšší kapacity hovorů.

5.3.2. Mikrobuňka

Antény mikrobuňek jsou umisťovány na rozdíl od makrobuněk pod úroveň střech, a proto mají menší pokrytí. Pokrývají blízké okolí, a tak jsou využívány například pro jednotlivé ulice nebo křižovatky. Jejich velkou nevýhodou je to, že mají malé pokrytí a pokud se s mobilním telefonem pohybujeme rychleji, například při jízdě v automobilu, může se stát, že systém nestihne přenést hovor na jinou BTS a hovor je ukončen.

5.3.3. Pikobuňka

Buňky pokrývají plochu do vzdálenosti 50 metrů. Využívají se v místech, kde je velká koncentrace hovorů a signál z okolních vysílačů je nízký kvůli členitosti budovy nebo tloušťce jejích stěn, dále v místech, kde by takto vysoký počet hovorů způsoboval problémy s kapacitou okolních vysílačů. Například nádraží a obchodní domy.

5.3.4. Opakovač

Zařízení slouží pouze pro zvýšení úrovně signálu, například ve špatně pokrytých údolích. Jejich princip spočívá v tom, že přijme signál od BTS, který zesílí a opět ho vyšle žádaným směrem. Dále opakovač obsahuje kanálový filtr, aby zesílo-

val signál pouze operátora, kterému patří. Opakovače se umísťují pouze do míst, kde je úroveň signálu velmi špatná, aby nedocházelo k přenosu signálu jak cestou od mobilního telefonu k BTS, tak ke stejnému přenosu přes opakovač.

5.4. Typy kanálů

U GSM rozdělujeme kanály na provozní (TCH¹⁷) a signalizační (SCH¹⁸).

5.4.1. Provozní kanály

Kanály slouží k přenosu digitalizovaných hovorů a dat. Podle rychlosti přenosu se dále dělí na TCH-F a TCH-H. Symbol F značí přenos plnou rychlostí, oproti TCH-H, kde je rychlost signálu poloviční.

5.4.2. Signalizační kanály

Signalizační kanály jsou využívány k řízení a údržbě sítě.

Podle funkce je dělíme na:

1. vysílané řídicí kanály (BCCH¹⁹)
2. společné řídicí kanály (CCCH²⁰)
3. vyhrazené řídicí kanály (DCCH²¹)

Vysílané řídicí kanály

Kanály jsou jednosměrné, a to od BTS k mobilnímu telefonu. Jsou v nich vysílány údaje ke správné identifikaci a přístupu k síti, údaje pro úpravu výkonu mobilní stanice, časovou synchronizaci a mnoho dalších kódů.

¹⁷ Traffic channels

¹⁸ Signaling channels

¹⁹ Broadcast control channels

²⁰ Common control channels

²¹ Dedicated control channels

Společné řídicí kanály

Společné řídicí kanály jsou využívány v obou směrech. Obsahují například kanál pro vzájemnou signalizaci mezi BTS a mobilním telefonem pro přihlašování do sítě, kanál oznamující příchozí hovor a mnoho dalších.

Vyhrazené řídicí kanály

Vyhrazené řídicí kanály slouží pro obousměrnou komunikaci. Dělí se na samostatný jednoúčelový kanál (SDCCH) využívaný pro synchronizaci a pomalý sdružený řídicí kanál (SACCH), který slouží na údržbu a kontrolu právě probíhajícího spojení.

5.5. Mnohonásobný přístup

Jde o způsob, kterým je více analogových signálů nebo digitálních toků kombinováno do jednoho signálu. Cílem je maximální využití přenosového média.

Existují 3 způsoby mnohonásobného přístupu:

1. Frekvenčně dělený mnohonásobný přístup FDMA²²
2. Časově dělený mnohonásobný přístup TDMA²³
3. Kódově dělený mnohonásobný přístup CDMA²⁴

5.5.1. Frekvenčně dělený mnohonásobný přístup

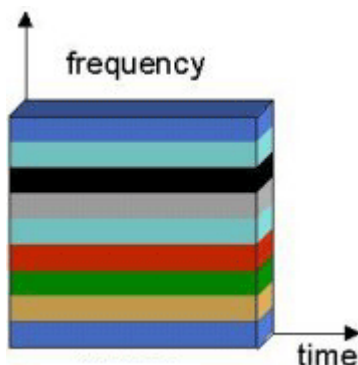
FDMA je z uvedených metod nejstarší. Byl pro svou jednoduchost využíván již u analogových systémů. Každý účastník má přidělené vlastní frekvenční pásmo a tak mohou všichni využívat svůj kanál současně ve stejnou dobu. Ke kladům této metody patří i to, že není použita žádná synchronizace. Naopak nevýhodou je po-

²² Frequency division multiple access

²³ Time division multiple access

²⁴ Code division multiple access

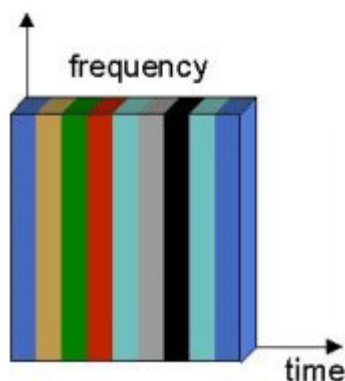
měrně malé využití přidělené kapacity pásma, protože každý účastník má svůj vlastní frekvenční kanál. Na obrázku 6 je graficky zobrazeno vysílání touto metodou.



Obrázek 6 - FDMA²⁵

5.5.2. Časově dělený mnohonásobný přístup

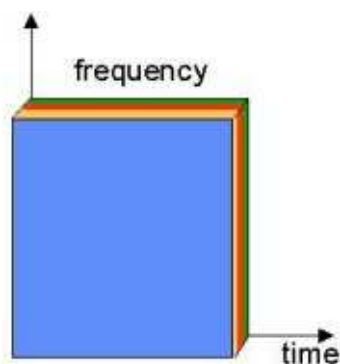
Metoda je založena na FDMA s tím rozdílem, že každému účastníkovi je v přiděleném kanálu určen časový úsek (time slot), ve kterém ho může využívat. Přenos signálu tedy probíhá v opakujících se časových úsecích. Tento způsob přístupu vyžaduje složitější synchronizaci, protože více účastníkům je přidělen stejný frekvenční kanál, avšak každému v jiném časovém úseku. Aktuálně je u GSM sítí využívána tato metoda v kombinaci s FDMA. Pro každý kmitočtový kanál je použito 8 časových kanálů a každý z nich má délku 576,9 μ s, takže délka rámce je 4.615 ms. Na obrázku 7 je zobrazeno vysílání pomocí této metody.



Obrázek 7 – TDMA²⁵

5.5.3. Kódově dělený mnohonásobný přístup

U CDMA jsou účastníci rozlišeni pomocí speciálního kódu. Díky tomu může být signál širokopásmově rozprostřen. Výhodou je možnost sdílení pásma jak s ostatními účastníky systému, tak i s jinými systémy pracujícími na odlišných principech. Při dekódování signálu se proto na vstup přijímače dostává i mnoho jiných signálů, a díky opětovnému použití speciálního kódu se z nich vybere pouze ten požadovaný. U této metody účastníci využívají stejné kanály, komunikují současně, ale každý z nich má jiný speciální kód. Na obrázku 8 je uveden způsob vysílání signálu pomocí CDMA.



Obrázek 8 - CDMA²⁵

5.6. Handover

Handover je zařízení, které zajišťuje přepnutí hovoru z jedné základnové stanice na druhou. K tomu dochází v případě, že je signál z jiné BTS kvalitnější než ten aktuálně přijímaný.

Podle průběhu přepnutí se handovery dělí na:

1. Tvrdý

Mobilní stanice je nejdříve odpojena ze stávajícího kanálu a až poté je připojena na kanál nový. Při hovoru je přepnutí téměř nepostřehnutelné, protože trvá do 100ms. Naopak při přenosu datových signálů může dojít ke ztrátě dat.

²⁵ Zdroj: <http://dossantos.cbpa.louisville.edu/wwwcraig/projects/elec431/multaccess.html>

2. Bezešvý

U tohoto způsobu přepojení je nejdříve vytvořeno spojení na novém kanálu a až poté je stávající spojení zrušeno. Po určitou dobu existuje paralelně.

3. Měkký

Při přepojování pomocí měkkého handoveru dochází k vytvoření spojení na všechny dostupné BTS a hovor tak probíhá v jednu dobu paralelně. Nevýhodou metody je existence několika spojení, a tak i zvýšené nároky na kapacitu sítě.

Podle části sítě, která měří úroveň signálu, rozhoduje o handoveru a zajišťuje jeho řízení, dělíme handover do dalších tří skupin:

1. Řízený sítí (NCHO²⁶)

O měření úrovně signálu se stará základnová stanice, která vyhodnocuje, zda má dojít k přepnutí. Na mobilní stanici nejsou kladeny žádné nároky. Použití je nejčastěji využíváno v analogových systémech.

2. Řízený mobilní stanicí (MCHO²⁷)

Měření signálu provádí jak mobilní telefon, tak BTS. Rozhodnutí o přepnutí však závisí na mobilním telefonu a je provedeno na základě žádosti, kterou zašle systému, který následně přepnutí zajistí.

3. Řízený sítí s asistencí mobilní stanice (MAHO²⁸)

Mobilní telefon neustále provádí měření úrovně signálu okolních BTS a výsledky předává základnové stanici, ke které je zrovna připojen. Současně je mobilní i základnovou stanicí měřena kvalita signálu probíhajícího spojení. Pomocí naměřených hodnot systém sám rozhoduje o přepnutí, které také sám zajišťuje.

26 Network controlled handover

27 Mobile controlled handover

28 Mobile assisted handover

5.7. Datové technologie

V této kapitole popíší 4 nejpoužívanější a nejznámější technologie sloužící k přenosu dat.

5.7.1. GPRS²⁹

Technologie využívá síť GSM a doplňuje ji o přenos datových paketů. Díky tomu je pomocí IP protokolu umožněn přístup do sítě Internet. Spojení je vytvářeno obdobným způsobem jako při běžném telefonním hovoru, akorát signál není směřován do telefonní sítě, ale do jednotky PCU³⁰, která dokáže rozpoznat a řídit paketový provoz. Na jedné straně je propojena s datovým uzlem komunikujícím se sítí GPRS a na druhé straně je propojena se směrovačem komunikujícím s paketovými datovými sítěmi (Internet). V tabulce 6 jsou uvedeny 4 druhy kódování používané touto technologií. Při využití kódovacího schématu CS4 je teoretická přenosová rychlost až 85,6 Kbit/s.

Kódové schéma	Rychlost na timeslot [kbit/s]	Reálná max. rychlost na timeslot [kbit/s]
CS-1	9,05	6,70
CS-2	13,40	10,00
CS-3	15,60	12,00
CS-4	21,40	16,70

Tabulka 6 - Kódová schémata u GPRS

²⁹ General packet radio service

³⁰ Packet controller unit

5.7.2. UMTS³¹

UMTS je technologie třetí generace (3G) vyvíjená již od roku 1990. Narozdíl od 2G sítí přenáší data zvýšenou rychlostí. Při rychlém pohybu přes 100 km/h bude teoreticky tato rychlost minimálně 144kbit/s, při pomalém pohybu, například chůzi po chodníku, bude 384kbit/s a v klidu až 2Mbit/s. Struktura UMTS se dělí na 4 části. První z nich je páteřní síť CN³², která využívá technologie asynchronního přenosového módu k řízení provozu a spojení v systému. Směrem k mobilnímu telefonu následuje přístupová síť AN³³, která zajišťuje přenosové a spojovací funkce. Další částí tohoto systému je servisní řídicí síť SCN³⁴ starající se o řízení zpracovávání a uchovávání dat. Poslední je síť telekomunikačního managementu, která zajišťuje telekomunikační management celého systému.

5.7.3. EDGE³⁵

Pomocí této technologie je možné zvýšit přenosovou rychlost v sítích GSM až na 384 kbit/s. Této rychlosti se dosahuje díky využití všech 8 time slotů, kde rychlost každého z nich je 48 kbit/s. Dalším vylepšením je digitální modulace 8 PSK, u které se přenášejí 3 bity pomocí jednoho symbolu na fyzické rádiové vrstvě. EDGE obsahuje 2 hlavní části. První z nich je Enhanced GPRS, která slouží pro přepínání paketů u paketových přenosů. Druhá z nich má název ECSD³⁶ a slouží pro přepojování datových okruhů.

5.7.4. HSDPA³⁷

Technologie je využívána v sítích 3. generace. Pomocí HSDPA byl zrychlen tok dat směrem k uživateli až na 14,4 Mbit/s v případě, že jsou využity všechny time sloty, čímž by pro sebe mobilní telefon zabral kapacitu celého sektoru. Reálně se tedy bude rychlost pohybovat maximálně do 1,8 Mbit/s. Protokol HSDPA je založen

³¹ Universal mobile telecommunication system

³² Core network

³³ Access network

³⁴ Service control network

³⁵ Enhanced data rates for GSM evolution

³⁶ Enhanced circuit switched data

³⁷ High-speed downlink packet access

na inovacích architektury sítě, díky kterým dosahuje nižšího zpoždění a rychlejší reakce na změnu kvality kanálu. Dále využívá možnost hybridního automatického požadavku na opakování přenosu (H-ARQ³⁸).

6. Softwarový model rozmístění zákl. stanic

Pro svou práci jsem si vybral vývojové prostředí Delphi od firmy Borland. První verze byla představena již pro platformu Windows 3.11 ve verzi Delphi 2. Společnost Borland se snažila svůj produkt přenést i pod operační systém Linux. V roce 2001 byla uvedena verze Kilix, která se však nedočkala velkého ohlasu, a proto byl její vývoj po určité době přerušen. V roce 2002 byla vydána nová verze 6, kterou je již možné používat na obou platformách. Aktuálně je Delphi ve verzi 2009.

Díky tomuto nástroji je možné vytvářet aplikace pod operačním systémem Windows pomocí jazyka Object Pascal. Vývoj programu lze rozdělit do dvou částí. První z nich je navrhování vizuálního vzhledu aplikace, poté následuje vlastní doplňování kódu v Object Pascalu k jednotlivým komponentům.

V praktické části bakalářské práce jsem vytvořil program zobrazující polohy GSM vysílačů na území města Pardubice a v jeho okolí. Jako operátora mobilní sítě jsem si zvolil společnost Vodafone Czech Republic a.s., která zde má největší počet BTS. Data jsou načítána z externích souborů, a tak je využíván soubor *souradnice.dat* pro načtení zobrazovaných vysílačů a souboru *poloměry.dat*, kde jsou uloženy vzdálenosti dosahu jednotlivých úrovní signálu pro různé typy vysílačů. Pro účel této práce byly tyto vzdálenosti dosahu vygenerovány náhodně. Vlastní aplikace zobrazuje načtené vysílače podle jejich skutečné polohy, vykresluje poloměry dosahu signálu a zobrazuje důležité informace, jako například vzdálenost od nejbližšího vysílače, aktuální polohu na mapě v GPS souřadnicích, atd.

³⁸ Hybrid automatic repeat request

6.1. Získání dat

Polohy vysílačů, které jsou v aplikaci vykreslovány, jsem získal ze serveru *www.gsmweb.cz*. V sekci „vyhledání BTS“ se po zadání města, ve kterém chci BTS hledat operátora, zobrazily základnové stanice na území města Pardubice. Jelikož nebylo možné přímo pomocí internetové stránky uložit GPS souřadnice, nechal jsem si vygenerovat seznam na internetovou stránku a následně ji uložil. Protože soubor obsahoval spoustu přebytečných znaků html kódu, bylo potřeba je odstranit. Optimální volbou byl jazyk PHP. Ve Zdrojovém kódu 1 je zobrazen zdrojový kód pro odstranění přebytečných znaků.

```
<?php
$file = fopen("souradnice.txt", "r") or exit("Nepodařilo se soubor otevřít!");
while(!feof($file)){
    $row = fgets($file);
    preg_match_all("/([0-9]){1,2}°([0-9]){1,2}'([0-9])
{1,2}.([0-9])
{1,2}"/,$row,$out,PREG_SET_ORDER);
}
fclose($file);
$size = sizeof($out);
for($i=0;$i<$size;$i++){
    echo $out[$i][0];
    if($i % 2 == 1)
        {
            echo "<br/>";
        }
    else
        {
            echo " - ";
        }
}
?>
```

Zdrojový kód 1 - PHP skript

Skript zobrazený ve Zdrojovém kódu 1 nejdříve otevře soubor s názvem *souřadnice.txt*. Pokud ve stejné složce není soubor s tímto názvem nalezen nebo se vyskytne nějaká chyba v jeho otevření, bude vypsána hláška „Nepodařilo se soubor otevřít!“. Následně je prováděn while cyklus, dokud se nedojde na konec souboru.

While cyklus za pomoci metody fgets načte řádek. Ten je otestován pomocí regulárního výrazu hledajícího nejdříve jedno nebo dvě čísla, která budou v případě nalezení načtena na úroveň stupňů. Poté se to samé provede pro minuty. Po nalezení čísla na pozici minut je hledán dále znak "minuty", který je vyjádřen pomocí zástupné HTML entity vyjádřené kódem "'". Následně jsou načteny poslední 2 znaky. V případě, že se jedná o desetinné číslo, je načteno celé. Ve chvíli, kdy už máme celou souřadnici, ji uložíme do proměnné out. Cyklus ukončí na konci souboru a ten je následně uzavřen. Poté se zjistí počet hodnot v proměnné out a pomocí for cyklu se pole projde. Hodnoty jsou vypsané na obrazovku, kde u každé sudé souřadnice dojde k zalomení řádku, protože už je vypsaná kompletní GPS souřadnice. Pomocí tohoto skriptu je převeden text ze Zdrojového kódu 2 na GPS souřadnici zobrazené ve Zdrojovém kódu 3. Tyto kódy jsou použity pouze pro demonstraci funkce skriptu a tak jsou použita pouze data pro převod jedné souřadnice.

```
<tr><td>32891</td><td>807B</td><td>4080</td><td>791</td><td>17.12.2006</td><td align="center">PU</td><td>Pardubice, Pardubičky, Kyjevská 44, nemocnice - budova 2 - centrální operační sály</td><td><a target="_new" href="http://www.mapy.cz/?query=Loc:50°01'42.26"N,15°47'39;19.13"E">MAPA</a></td><td><a target="_blank" href="foto.php?op=oskar&cid=32891&okres=PU"></a></td><td>Petr Bulena</td></tr>
```

Zdrojový kód 2 - Zdrojový kód www stránky

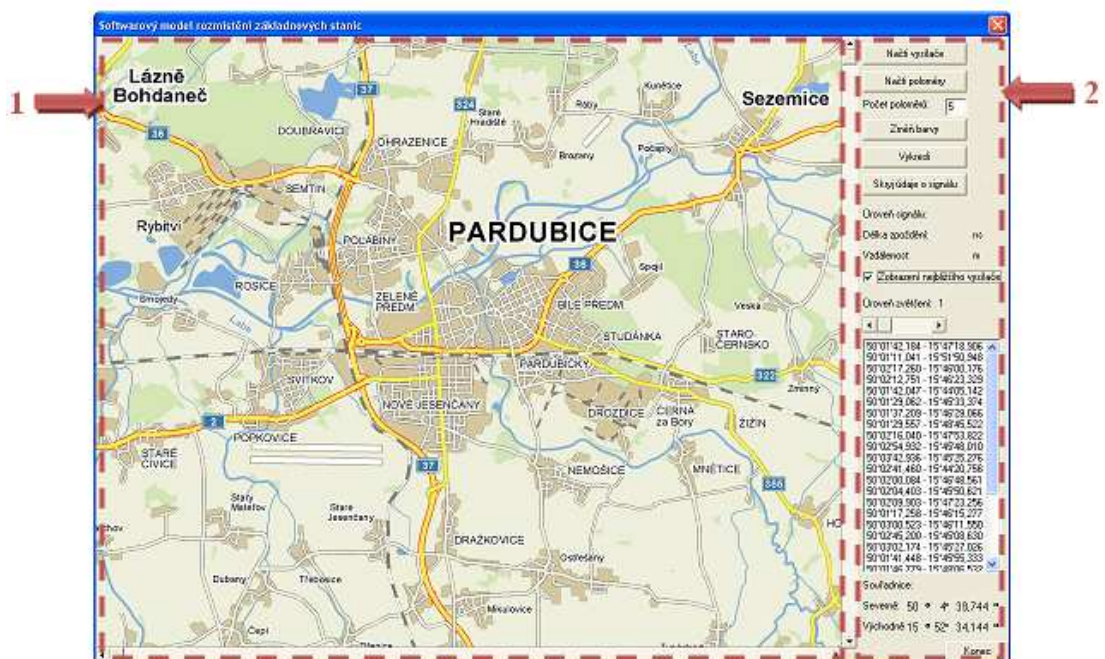
```
50°01'42 - 15°47'19
```

Zdrojový kód 3 - Souřadnice GSP po úpravě PHP skriptem

Po převedení celého zdrojového textu www stránky jsou v textovém souboru přehledně uloženy GPS souřadnice všech základnových stanic. Dalším krokem bylo získání podkladových map. Ty jsou použity ze serveru *www.mapy.cz* a upraveny na potřebnou velikost.

6.2. Grafický návrh aplikace

Při návrhu aplikace pro mě byla první otázkou její šířka a výška. Jelikož jsou již v dnešní době využívány monitory s velikostí 19 palců a více, rozhodl jsem se pro rozlišení 1070x760 pixelů. Při této velikosti bylo možné rozdělit okno na 2 části, aniž by jedna nebo druhá část byly nějak nepřehledné. Dále tím je umožněno zvětšit prostor pro zobrazovanou mapu. V podstatě se program dělí do dvou logických celků označených na obrázku 9 čísly 1 a 2. Pod číslem 1 je vybrána oblast, která slouží k zobrazování mapy, vysílačů a poloměrů jejich dosahu. V části 2 je možné měnit nastavení a tím i jednotlivá zobrazení.

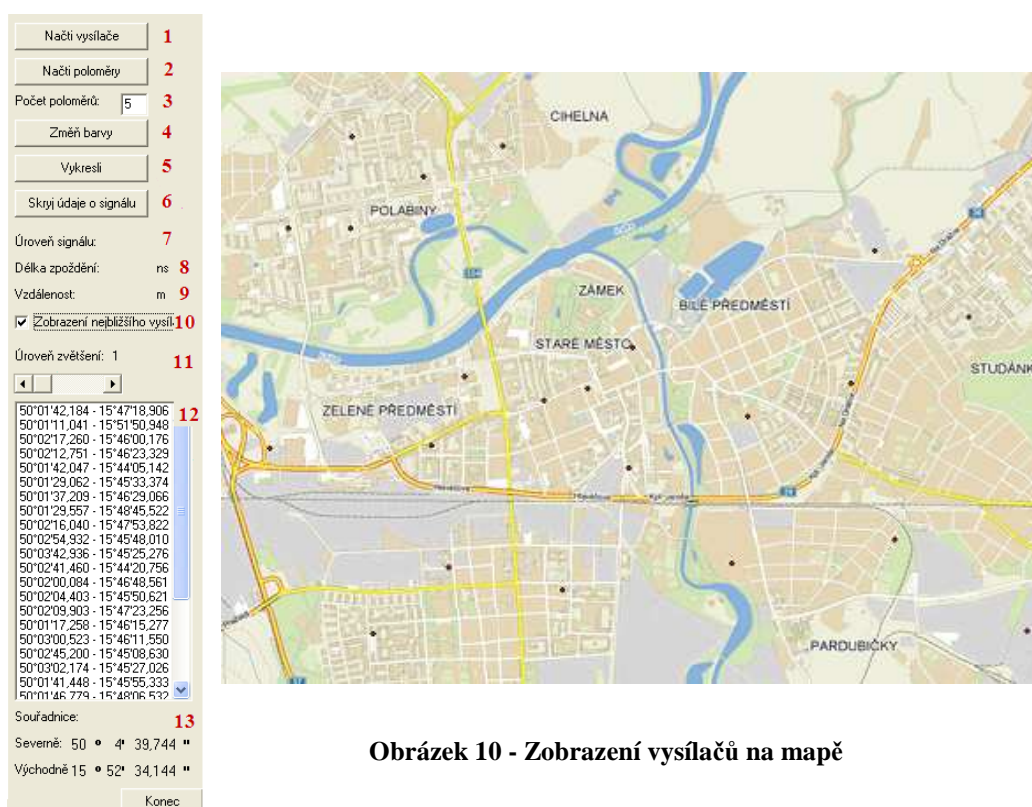


Obrázek 9 - Vytvořená softwarová aplikace

6.3. Popis ovládacích prvků aplikace

Na obrázku 10 je zobrazen ovládací panel celé aplikace. Jednotlivé prvky jsou očíslovány v pořadí 1 - 13.

Pod číslem 1 je tlačítko, které slouží k načítání souřadnic GSM vysílačů. Ve chvíli, kdy je na něj kliknuto, je zobrazeno dialogové okno, ve kterém lze vybrat umístění a soubor se souřadnicemi. Po jeho vybrání aplikace vykreslí vysílače na mapě, jak zobrazuje obrázek 11.

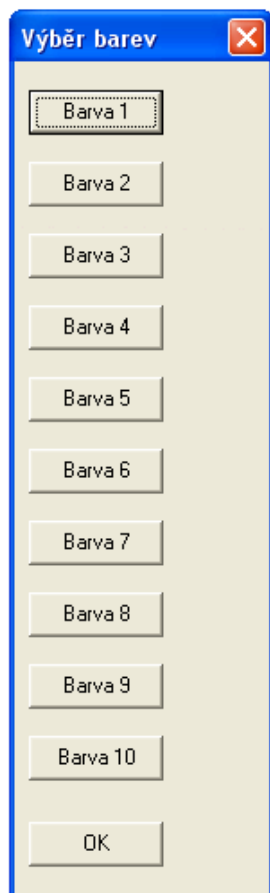


Obrázek 10 - Zobrazení vysílačů na mapě

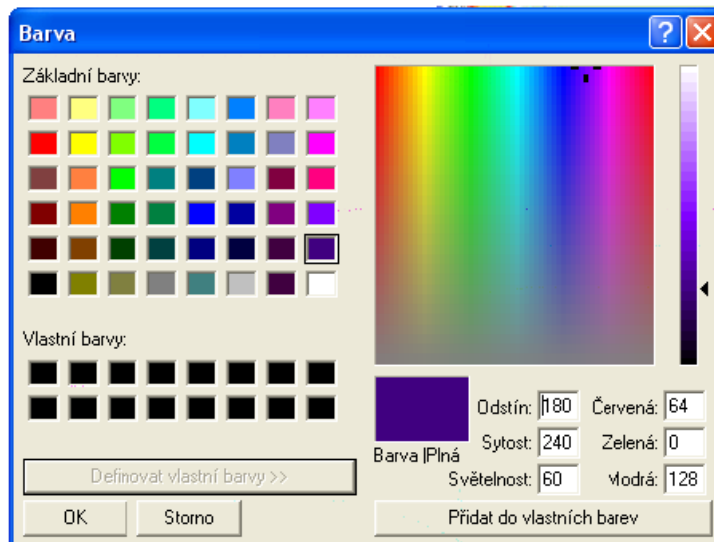
Obrázek 11 - Ovládací panel

Až po zadání souboru s vysílači je teprve zobrazeno tlačítko pro zadání poloměrů dosahu. Zadání probíhá stejným způsobem jako při načítání vysílačů. Při otevření okna je již přednastaven název standardního souboru s poloměry pod názvem *polomery.dat*. V případě jeho úspěšného načtení je zobrazeno políčko pod číslem 3, které slouží pro zadání počtu zobrazovaných poloměrů. Aby bylo možné postupovat dále, je potřeba zadat libovolné číslo. Poté jsou zobrazena políčka pod čísly 4 a 5.

Standardně je pro vykreslení dosahu použito 10 automaticky přednastavených barev. V případě, že chceme některou z těchto barev změnit, stačí kliknout na tlačítko „Změň barvy“ pod číslem 4. Po jeho výběru je zobrazeno další okno uvedené na obrázku 12. Pro změnu barvy si stačí vybrat z palety. Změna vybraných barev je zobrazena na obrázku 13. Paleta pro výběr barev je na obrázku 14.

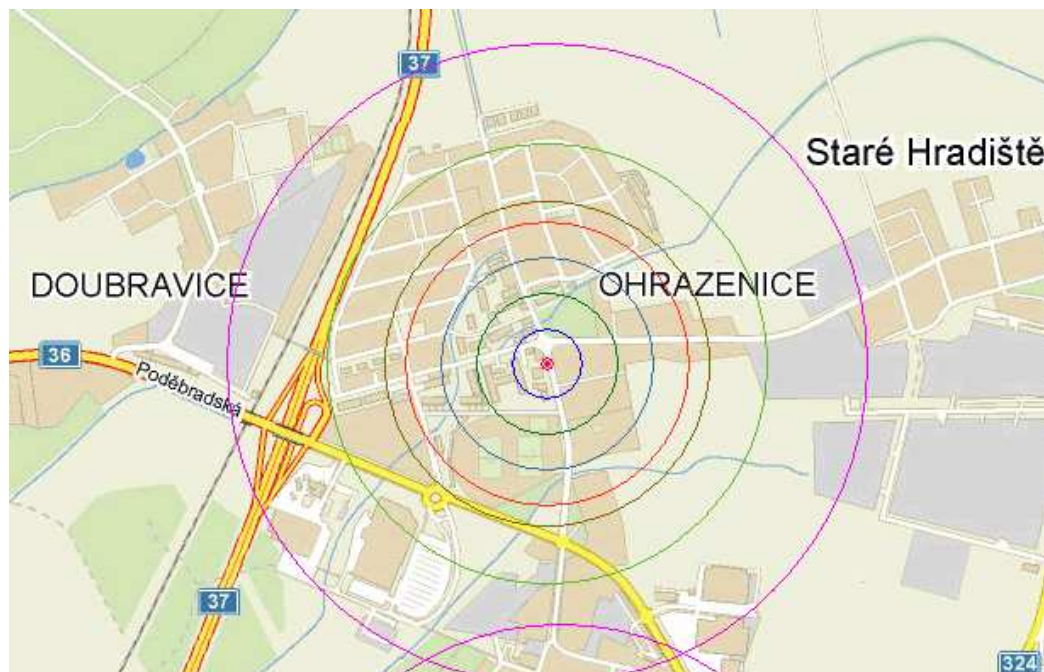


Obrázek 12 - Okno po vybrání barev Obrázek 13 - Okno pro výběr barev



Obrázek 14 - Paleta pro výběr barev

Po vybrání barev stačí kliknout na tlačítko s číslem 5 a vzdálenosti dosahu signálu jsou k jednotlivým vysílačům podle jejich typu vykresleny. Vykreslení je vidět na obrázku 15.



Obrázek 15 - Vykreslení vzdáleností dosahu signálu podle výkonových úrovní

Pod čísly 7 - 9 se zobrazují hodnoty popisující vlastnosti přijímaného signálu a vzdálenost od vysílače. Jsou vypočítávány podle polohy myši na mapě. Názorná ukázka je na obrázku 16.

Délka zpoždění:	2072,484 ns
Vzdálenost:	648,687 m

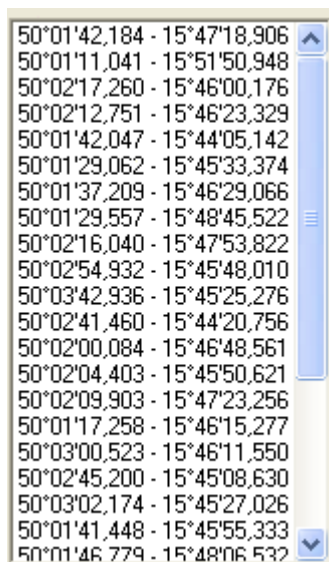
Obrázek 16 - Údaje o signálu

Obrázek 17 zobrazuje funkci „Najdi_nejbližsi“. Když je zapnutá, program pomocí červené tečky zobrazí umístění nejbližšího vysílače vzhledem k aktuální poloze myši.



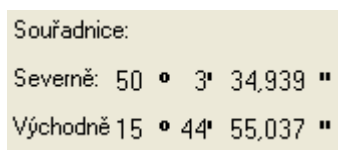
Obrázek 17 - Zobrazení nejbližšího bodu

Dalším prvkem aplikace je listbox, na obrázku 18, ve kterém jsou vypsány všechny vysílače vykreslené na mapě.



Obrázek 18 - Pole pro zobrazování souřadnic vysílačů

Poslední funkcí programu je zobrazování aktuální polohy myši v GPS souřadnicích, které ukazuje obrázek 19.



Obrázek 19 - Zobrazení souřadnic polohy myši

6.4. Důležité funkce a procedury

V této kapitole se zaměřím na několik nejdůležitějších procedur a funkcí. Ke každé uvedu zdrojový text a popis jednotlivých příkazů.

Zdrojový kód 4 popisuje proceduru s názvem *vypocti_vzdalenost_bodu*, která pro každý vysílač počítá jeho polohu v pixelech. Procedura začíná pomocí for cyklu na prvním řádku z listboxu. Do proměnné *pom1*, *pom2* a *pom3* je pokaždé pomocí příkazu *MidStr* uložena určitá část načteného řetězce. Následně je nastavena proměnná *bod_x* a *bod_y*, pomocí funkce *preved_na_souradnice*, kde je parametrem proměnná *pom1* nebo *pom2*, *pom3*. Po jejich nastavení se zjistí rozdíl mezi počáteč-

ními GPS souřadnicemi mapy a daného bodu. Ten je pak převeden na vteřiny a pomocí následného přepočtu pak i na přesné pixely. Vzdálenost v ose x, i v ose y, je uložena přímo do pole k bodu včetně typu vysílače uloženého v *pom3*.

```

procedure TForm1.vypocti_vzdalenosti_bodu;
var v:integer;
    bod,pom1,pom2,pom3:String;
    vteriny_x,vteriny_y:double;
    bodx,body,bod_x,bod_y:TSouradnice;

begin
for v:=0 to ListBox1.Items.Count-1 do
    begin
        bod:=radky_souboru[v+1];
        pom1:=MidStr(bod,13,12);
        pom2:=MidStr(bod,28,12);
        pom3:=MidStr(bod,50,4);
        bodx:=predelej_na_souradnice(pom1);
        body:=predelej_na_souradnice(pom2);
        bod_x:=vrat_rozdil(pocatek_x,body);
        bod_y:=vrat_rozdil(bodx,pocatek_y);
        vteriny_x:=bod_x.stupen*3600+bod_x.minuta*60+bod_x.vterina;
        vteriny_y:=bod_y.stupen*3600+bod_y.minuta*60+bod_y.vterina;
        pole[v+1].x:=round(vteriny_x/prepocet_x);
        pole[v+1].y:=round(vteriny_y/prepocet_y);
        pole[v+1].typ:=pom3
    end;
end;

```

Zdrojový kód 4 - Funkce na vypočtení vzdálenosti bodu

Další procedurou, kterou stojí za to zmínit, je procedura používaná k hledání nejbližšího GSM vysílače vzhledem k poloze myši, zobrazená ve Zdrojovém kódu 5. V parametru je jí tato poloha předána pomocí proměnné *x* a *y* typu integer. Následně je zjištěno pro každý bod, jaká je jeho vzdálenost v ose *x* i *y*. Poté se určí přímá vzdálenost pomocí vztahu $\sqrt{x^2 + y^2}$ a ta se uloží k bodu do parametru *vzdalenost*. Poté je tento výpočet proveden pro všechny body. V dalším kroku si určím minimum na hodnotu 2000 a procházím všechny body. Když je vzdálenost některého menší než je minimum, tak si tuto proměnnou přepíši. Po kontrole všech bodů je v ní uložena nejkratší vzdálenost a proměnná *nejblizsi* obsahuje pořadí tohoto bodu v poli. Když je povoleno zobrazování nejbližšího bodu, tak do proměnné *bod_x* a *bod_y* uložím polohu nalezeného bodu. Poté je nastavena barva pera na červenou a pomocí příkazu *canvas.Ellipse* je vykreslen kruh zobrazující jeho polohu.

```

procedure TForm1.Najdi_nejblihsi_bod(x,y:integer);
var i,vzdalenost_x_bod,vzdalenost_y_bod,pocet_bodu,nejblihsi,bod_x,bod_y:integer;
    min:double;
begin
nejblihsi:=0;
pocet_bodu:=ListBox1.Count;
for i:=1 to pocet_bodu do begin
    bod_x:=pole[i].x-ScrollBar2.Position;
    bod_y:=pole[i].y-ScrollBar3.Position;
    if x>bod_x then vzdalenost_x_bod:=x-bod_x
    else vzdalenost_x_bod:=bod_x-x;
    if y>bod_y then vzdalenost_y_bod:=y-bod_y
    else vzdalenost_y_bod:=bod_y-y;
    pole[i].vzdalenost:=sqrt(sqr(vzdalenost_x_bod)+
    sqr(vzdalenost_y_bod));
end;
Min:=2000;
for i:=1 to pocet_bodu do begin
    if (pole[i].vzdalenost<Min) then begin
        Min:=pole[i].vzdalenost;
        nejblihsi:=i;
    end;
end;
if CheckBox1.Checked=true then begin
    bod_x:=pole[nejblihsi].x-ScrollBar2.Position;
    bod_y:=pole[nejblihsi].y-ScrollBar3.Position;
    Canvas.Pen.Color:=clRed;
    Image1.Canvas.Brush.Style :=bsSolid;
    Image1.Canvas.Ellipse(bod_x-5, bod_y-5, bod_x+5, bod_y+5);
end;
end;

```

Zdrojový kód 5 - Procedura pro vyhledání nejbližšího vysílače k poloze myši

Funkce ve Zdrojovém kódu 6 je napsána tak, aby vracela rozdíl mezi dvěma GPS souřadnicemi, které jsou jí předávány pomocí parametrů. Výsledek je vrácen v datovém typu *Tsouradnice*. Na začátku je výstupní hodnota proměnné *rozdil* inicializována na nulu. Poté se s odečtem začíná od vteřin. Nejdříve se zjistí, která z uvedených hodnot je větší a pokud je to *souradnice2*, dojde k odečtení. Ve chvíli, kdy je větší *souradnice1*, by byl výsledek záporný, a proto je do hodnoty *rozdil.minuta* uložena hodnota -1 a na druhé straně je k hodnotě *souradnice2* přičteno 60 vteřin, aby byla větší. Tento postup se opakuje i pro výpočet rozdílu minut, a poté i stupňů. Nakonec je do návratové hodnoty funkce nastavena proměnná *rozdil*.


```

function TForm1.vrat_rozdil(souradnice1,souradnice2:TSouradnice):TSouradnice;
var rozdil:TSouradnice;
begin
  rozdil.stupen:=0;
  rozdil.minuta:=0;
  if souradnice2.vterina>=souradnice1.vterina then rozdil.vterina:=souradnice2.vterina-
souradnice1.vterina else
    begin
      rozdil.minuta:=-1;
      rozdil.vterina:=60+souradnice2.vterina-souradnice1.vterina;
    end;
  if souradnice2.minuta>=souradnice1.minuta then
  rozdil.minuta:=rozdil.minuta+souradnice2.minuta- souradnice1.minuta else
    begin
      rozdil.stupen:=-1;
      rozdil.minuta:=60+souradnice2.minuta-souradnice1.minuta;
    end;
  rozdil.stupen:=rozdil.stupen+souradnice2.stupen-souradnice1.stupen;
  vrat_rozdil:=rozdil;
end;

```

Zdrojový kód 6 - Funkce pro vrácení rozdílu 2 souřadnic

V dalším Zdrojovém kódu, pod číslem 7, je funkce s názvem *predej_na_souradnice*. Jako parametr je jí předáván řetězec v proměnné *s*. Následuje jeho rozdělení do číselných proměnných *stupen*, *minuta* a *vterina*. To je provedeno pomocí příkazu *StrToInt*, který provádí převedení z řetězce na číslo typu integer. Této funkci je předán parametr pomocí funkce *LeftStr* v případě stupňů, a *MidStr* v případě minut a vteřin. Obě tyto funkce vracejí část řetězce, který je jim zadán v parametru počtem znaků. U *LeftStr* je zadáno kolik znaků zleva se má použít a u příkazu *MidStr* je zadává pořadí a počet následujících znaků. Takto je řetězec rozdělen, převeden a následuje přiřazení hodnot proměnné bod typu *Tsouradnice*. Posledním krokem je přiřazení návratové hodnoty funkce.

```

function TForm1.predelej_na_souradnice(s:string):TSouradnice;
var stupen,minuta:integer;
    bod:TSouradnice;
    vterina:double;
    a:string;
begin
    stupen:=StrToInt(LeftStr(s,2));
    minuta:=StrToInt(MidStr(s,4,2));
    vterina:=StrToFloat(MidStr(s,7,6));
    bod.stupen:=stupen;
    bod.minuta:=minuta;
    bod.vterina:=vterina;
    predelej_na_souradnice:=bod;
end;

```

Zdrojový kód 7 - Funkce pro předělání řetězce na souřadnice

Jako další uvedu funkci zobrazenou ve Zdrojovém kódu 8, která slouží k výpočtu GPS polohy aktuální pozice myši. Její obdobou je funkce *vypocti_mapa1_severne*, která se liší pouze v tom, že vypočítává severní souřadnice. Funkci je předána jako parametr x-ová poloha myši a úroveň zvětšení mapy. Funkce je rozdělena do 2 částí. V první se rozhoduje podle úrovně zvětšení, jaké mají být nastaveny počáteční a konečné souřadnice mapy. V druhé části již probíhá vlastní výpočet. Nejdříve je stanoven přepočten mezi stupni a pixely obrázku. Ten je spočítán jako rozdíl mezi počáteční a konečnou GPS souřadnicí obrázku. Poté je výsledek převeden na vteřiny a vydělen šířkou obrázku. Následně se vezme x-ová poloha myši, přičte se k ní posunutí Scrollbaru. To všechno je vynásobeno přepočtem a tím dostaneme počet vteřin, na kterých je aktuálně poloha myši. Následně už stačí jen výsledek vydělit číslem 3600 pro získání stupňů, zbytek z tohoto dělení znovu vydělit 60-ti pro získání minut, a konečný zbytek značí počet vteřin, který zaokrouhlíme na 3 desetinná místa. Pro konečný výsledek stačí jen vypočtenou polohu přičíst k počáteční poloze mapy. Výsledek vrátíme pomocí návratové proměnné výsledku typu *TSouradnice*, která je pak zobrazena jako GPS souřadnice myši v hlavní aplikaci.

```

function TForm1.vypocti_mapa1_vychodne(poloha_x,zvetseni:longint):TSouradnice;
var vysledek,konec_x,rozdil_x:TSouradnice;
    vteriny_N,zbytek_N,pom:double;

begin
  if zvetseni=1 then
    begin
      pocatek_x.stupen:=15;
      pocatek_x.minuta:=40;
      pocatek_x.vterina:=53.276;
      konec_x.stupen:=15;
      konec_x.minuta:=52;
      konec_x.vterina:=35.753;
      rozdil_x:=vrat_rozdil(pocatek_x,konec_x);

      end;

  if ((zvetseni=2) or (zvetseni=3)) then
    begin
      pocatek_x.stupen:=15;
      pocatek_x.minuta:=41;
      pocatek_x.vterina:=18.661;
      konec_x.stupen:=15;
      konec_x.minuta:=54;
      konec_x.vterina:=09.337;
      rozdil_x:=vrat_rozdil(pocatek_x,konec_x);

      end;

  prepocet_x:=(rozdil_x.stupen*3600+rozdil_x.minuta*60+rozdil_x.vterina)/MyBitmap.Width;
  vteriny_N:=(poloha_x+ScrollBar2.Position)*prepocet_x;
  vysledek.stupen:=trunc(vteriny_N/3600);
  zbytek_N:=vteriny_N-(vysledek.stupen*3600);
  vysledek.minuta:=trunc(zbytek_N/60);
  zbytek_N:=zbytek_N-(vysledek.minuta*60);
  vysledek.vterina:=roundTo(zbytek_N,-3);
  vysledek.stupen:=pocatek_x.stupen+vysledek.stupen;
  if (pocatek_x.minuta+vysledek.minuta<60) then vysledek.minuta:=pocatek_x.minuta+vysledek.minuta else
  begin
    vysledek.minuta:=(pocatek_x.minuta+vysledek.minuta)-60;
    vysledek.stupen:=vysledek.stupen+1;
  end;
  if (pocatek_x.vterina+vysledek.vterina<60) then begin
    pom:=pocatek_x.vterina+vysledek.vterina;
    vysledek.vterina:=roundTo(pom,-3)
  end else
  begin
    pom:=pocatek_x.vterina+vysledek.vterina-60;
    vysledek.vterina:=roundTo(pom,-3);
    vysledek.minuta:=vysledek.minuta+1;
  end;

  vypocti_mapa1_vychodne:=vysledek;

end;

```

Zdrojový kód 8 - Funkce pro vypočtení aktuální polohy myši v GPS

Poslední procedura je uvedena ve Zdrojovém kódu 9. Jejím úkolem je posouvání mapy pomocí scrollbaru. Na jejím začátku je vytvořen čtverec *RectDest* s velikostí zobrazované mapy. Následně se vytvoří čtverec *RectSource* s rozměry posunutí o velikost ScrollBaru 2 a 3. Poté je vykreslena mapa na pozici *RectSource* a použita procedura *prekresli*, aby na posunuté mapě zůstaly zobrazené vysílače.

```
procedure TForm1.ScrollBar2Change(Sender: TObject);
var RectDest, RectSource: TRect;
begin
RectDest:=Rect(0, 0, Image1.Width, Image1.Height);
RectSource:=Rect(
ScrollBar2.Position,
ScrollBar3.Position,
Scrollbar2.Position+Image1.Width,
ScrollBar3.Position+Image1.Height);
Image1.Canvas.CopyRect(RectDest, MyBitmap.Canvas, RectSource);
pos_x:=ScrollBar2.Position;
prekresli;
end;
```

Zdrojový kód 9 - Procedura pro posunutí mapy

7. Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se zaměřil na vysvětlení pojmů z tematiky GSM sítí. Mým cílem bylo jednoduše objasnit, jak tyto sítě fungují, z jakých se skládají částí a hlavně vysvětlit důležitost každé z nich.

V praktické části bylo mým úkolem navrhnout aplikaci zobrazující umístění BTS na mapě Pardubic a okolí. Podle mého názoru je zdařilá jak po stránce designu, protože je koncipována tak, aby jednotlivá tlačítka byla zobrazována až ve chvíli, kdy je možné je použít, tak i po stránce snadné ovladatelnosti jednotlivých funkcí a přehlednosti vypočtených hodnot. Ty jsou vypočítávány v reálném čase a následně zobrazovány v hlavní aplikaci.

Co by se naopak dalo aplikaci vytknout, je velikost obrázků. Ten největší z nich, který slouží pro zobrazení maximálního zvětšení mapy má velikost v řádu desítek MB. Určitě se dá najít i řešení, ale podle mého názoru by bylo na úkor výpočtovému času procesoru a zabírané paměti, protože by se jeho části musely při každé změně načítat.

K další vlastnostem programu, které nejsou úplně optimální, patří potřeba mnoha výpočtů v jedné chvíli. Jako příklad uvedu běžný pohyb myši po mapě. V tu chvíli dochází k přepočítávání polohy podle pixelů na GPS souřadnice, což může občas při rychlejším pohybu způsobit to, že se souřadnice nestihne vypočítat. Program lze snadno rekonfigurovat pouhým přidáním dalších vysílačů do souboru, odkud jsou načítány. Pro úpravu jejich parametrů dosahu stačí opět změnit data ve zdrojovém souboru.

Závěrem lze říci, že má práce přinese uživateli širší náhled na technologie mobilní sítě a díky přiložené aplikaci má možnost vidět a vyzkoušet si určité jeho části v praxi.

8. Přílohy

8.1. Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 - BLOKOVÉ SCHÉMA SÍŤE GSM	12
OBRÁZEK 2 - KLASICKÁ BTS	14
OBRÁZEK 3 - MOBILNÍ BTS	14
OBRÁZEK 4 - BLOKOVÉ SCHÉMA BTS	15
OBRÁZEK 5 - DĚLENÍ SÍŤE GSM DO BUNĚK.....	21
OBRÁZEK 6 - FDMA ²⁵	25
OBRÁZEK 7 – TDMA ²⁵	25
OBRÁZEK 8 - CDMA	26
OBRÁZEK 9 - VYTVOŘENÁ SOFTWAREOVÁ APLIKACE	33
OBRÁZEK 10 - ZOBRAZENÍ VYSÍLAČŮ NA MAPĚ	34
OBRÁZEK 11 - OVLÁDACÍ PANEL	34
OBRÁZEK 12 - OKNO PO VYBRÁNÍ BAREV	35
OBRÁZEK 13 - OKNO PRO VÝBĚR BAREV	35
OBRÁZEK 14 - PALETA PRO VÝBĚR BAREV.....	36
OBRÁZEK 15 - VYKRESLENÍ VZDÁLENOSTÍ DOSAHU SIGNÁLU PODLE VÝKONOVÝCH ÚROVNÍ	36
OBRÁZEK 16 - ÚDAJE O SIGNÁLU	37
OBRÁZEK 17 - ZOBRAZENÍ NEJBLIŽŠÍHO BODU	37
OBRÁZEK 18 - POLE PRO ZOBRAZOVÁNÍ SOUŘADNIC VYSÍLAČŮ	38
OBRÁZEK 19 - ZOBRAZENÍ SOUŘADNIC POLOHY MYŠI	38

8.2. Seznam tabulek

TABULKA 1 - VÝKONNOSTNÍ TŘÍDY GSM	13
TABULKA 2 - VÝKONOVÉ ÚROVNĚ BTS.....	16
TABULKA 3 - TECHNICKÉ PARAMETRY SÍŤE GSM 900	19
TABULKA 4 - TECHNICKÉ PARAMETRY SÍŤE GSM 1800	20
TABULKA 5 - TECHNICKÉ PARAMETRY SÍŤE GSM 1900	20
TABULKA 6 - KÓDOVÁ SCHÉMATA U GPRS	28

8.3. Seznam zdrojových kódů

ZDROJOVÝ KÓD 1 - PHP SKRIPT	31
ZDROJOVÝ KÓD 2 - ZDROJOVÝ KÓD WWW STRÁNKY	32
ZDROJOVÝ KÓD 3 - SOUŘADNICE GSP PO ÚPRAVĚ PHP SKRIPTEM	32
ZDROJOVÝ KÓD 4 - FUNKCE NA VYPOČTENÍ VZDÁLENOSTI BODU	39
ZDROJOVÝ KÓD 5 - PROCEDURA PRO VYHLEDÁNÍ NEJBLIŽŠÍHO VYSÍLAČE K POLOZE MYŠI	40
ZDROJOVÝ KÓD 6 - FUNKCE PRO VRÁCENÍ ROZDÍLU 2 SOUŘADNIC	41
ZDROJOVÝ KÓD 7 - FUNKCE PRO PŘEDĚLÁNÍ ŘETĚZCE NA SOUŘADNICE	42
ZDROJOVÝ KÓD 8 - FUNKCE PRO VYPOČTĚNÍ AKTUÁLNÍ POLOHY MYŠI V GPS	43
ZDROJOVÝ KÓD 9 - PROCEDURA PRO POSUNUTÍ MAPY	44

9. Použité zdroje

Tištěné publikace

1. MOULY, Michel, MARIE-BERNADETTE, Pautet. *The GSM System for Mobile Communication*. [s.l.] : Palaiseau, 1992. 701 s. ISBN 0-945592-15-9.

Webové stránky

2. Systém základnových stanic [online].30.3.2009 [cit. 2009-05-15]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/BTS>>.
3. BÍLÝ, Vladimír, et al. GSMweb.cz [online]. 2005 [cit. 2009-05-15]. Dostupný z WWW: <www.gsmweb.cz/clanky/freq2.htm>.
4. KARAS, Ondřej. GSM síť [online]. 13.12.2007 [cit. 2009-05-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.kvetakov.net/clanky/komunikace-s-mobilnimi-telefony/76-gsm-site-v.html>>.
5. ZANDL , Patrick . Halfrate a Enhanced Fullrate - co to je? [online]. 1999 [cit. 2009-05-15]. Dostupný z WWW: <http://mobil.idnes.cz/mob_tech.asp?r=mob_tech&c=A990104_0003097_mob_tech>.

6. KOČMAN, Rostislav. Které frekvence používají čeští mobilní operátoři? [online]. 2001 [cit. 2009-05-15]. Dostupný z WWW: <http://mobil.idnes.cz/mob_tech.asp?r=mob_tech&c=A011115_0044254_mob_tech>.
7. MGR.KALUŽA, Radovan . GSM [online]. 2006 [cit. 2009-05-15]. Dostupný z WWW: <<http://radovan.blogger.cz/GSM>>.
8. Pokrýváme signálem GSM/DCS [online]. 2002 [cit. 2009-05-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.gsmweb.cz/clanky/clanek.php?id=46>>.
9. ZANDL, Patrick. Principy fungování sítě GSM [online]. 1997 [cit. 2009-05-15]. Dostupný z WWW: <http://mobil.idnes.cz/mob_tech.asp?r=mob_tech&c=A970825_0003060_mob_tech>.
10. SLADKÝ, Jan Sladký. Procházka logickými kanály GSM [online]. 2000 [cit. 2009-05-15]. Dostupný z WWW: <http://mobil.idnes.cz/mob_tech.asp?r=mob_tech&c=A000120_0006348_mob_tech>.
11. BĚLOVSKÝ, Lukáš. Blokované schéma rádiové základnové stanice BTS/GSM. [s.l.], 8.5.2007. 3 s. Seminární práce. Dostupný z WWW: <radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK07_semestralky/BTS-blokove%20schema.pdf>.
12. ING. ŠEBESTA, Roman. Systém GSM. [s.l.], 19.4.2004. 6 s. Seminární práce. Dostupný z WWW: <kat454.vsb.cz/download/predmety/ts_040419_GSM.pdf>.
13. Mobilní internet dneška a budoucnosti [online]. 2004 [cit. 2009-05-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2004/xkokesov.htm>>.