

Využití GSM modulů v elektronických zabezpečovacích systémech

Utilization Of GSM Modules In Electronic Security Systems

Tomáš Bartoš

Bakalářská práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš BARTOŠ**
Osobní číslo: **A10105**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Využití GSM modulů v elektronických zabezpečovacích systémech**

Zásady pro vypracování:

1. **Stručně popište historii mobilní komunikace.**
2. **Popište buňkové mobilní sítě.**
3. **Popište strukturu a využití AT příkazů a PDU protokolu.**
4. **Popište obecnou konstrukci GSM modulů a možnosti jejich komunikace s mikropočítačem, případně jiným řídicím členem.**
5. **Navrhněte systém pro zabezpečení menšího objektu s využitím GSM modulu.**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. BAZALA, David. **Telekomunikace a VoIP telefonie**. 1. vyd. Praha: BEN, 2006. ISBN 80-7300-201-9. Dostupné z: <http://shop.ben.cz/121737>.
2. KREJČÍŘÍK, Alexandr. **SMS: střežení a ovládání objektů pomocí mobilu a SMS : GSM pagery a alarmy : princip použití, návody, příklady**. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2004, 303 s. ISBN 80-730-0082-2.
3. FLAJZAR, Tomáš. **GSM alarm: přenos poplachu na mobilní telefon : kompletní stavební návod GSM pageru včetně zdrojového programu**. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 81 s. ISBN 80-730-0183-7.
4. HANUS, Stanislav. **Bezdrátové a mobilní komunikace**. 1. vyd. Brno: VUT, 2001, 134 s. ISBN 80-214-1833-8.
5. REDL, Siegmund M, Malcolm W OLIPHANT a Matthias K WEBER. **Introduction to GSM**. 1. vyd. Boston: Artech House, 1995, 379 s. ISBN 08-900-6785-6.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Pospíšilík

Ústav počítačových a komunikačních systémů

Datum zadání bakalářské práce:

24. února 2013

Termín odevzdání bakalářské práce:

14. června 2013

Ve Zlíně dne 24. února 2013

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Náplní této bakalářské práce je nastínit využití mobilních sítí v zabezpečovacích a řídicích systémech. Teoretická část se zaměřuje na princip funkce mobilních sítí, ovládání GSM stanice základními AT příkazy a možnosti propojení GSM stanic s mikropočítačem nebo jiným řídicím členem. V praktické části je popsána konstrukce modelu zabezpečovacího zařízení s využitím GSM modulu M10 QUECTEL a mikropočítače s jádrem HCS08 od firmy Freescale.

Klíčová slova: GSM modul, AT příkazy, PDU, Freescale, HCS08, SMS

ABSTRACT

The purpose of this bachelor thesis is to outline utilization of mobile network in signaling and control systems. The theoretical part is focused on principle of mobile networks, control of GSM station by basics AT orders and possibilities of connection GSM stations between microcomputer, or other control member. In the practical part is described the model construction of signaling system using GSM module M10 QUECTEL and microcomputer with HCS08 kernel by Freescale company.

Keywords: GSM modul, AT commands, PDU, Freescale, HCS08, SMS

Chtěl bych nyní poděkovat mému vedoucímu panu Ing. Martinu Pospíšilíkovi za příkladnou odbornou pomoc a ochotu při řešení problémů spjatých s touto bakalářskou prací. Dále bych rád poděkoval ostatním kantorům, kteří obětovali svůj volný čas a poskytli mi své cenné rady.

Velký dík si zaslouží také moji rodiče, sourozenci a nejbližší přátelé, kteří mě podporují a stojí za mnou již od mých prvních samostatných „krůčků“ a podporují mě v těžkých chvílích tohoto náročného semestru.

Motto:

„Co je napsáno bez námahy je obvykle čteno bez potěšení.“

Samuel Johnson (1709 – 1784)

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 HISTORIE MOBILNÍ KOMUNIKACE	11
1.1 VÝVOJ TELEKOMUNIKACE	11
1.1.1 Nultá generace.....	12
1.1.2 První generace.....	12
1.1.3 Druhá generace.....	13
1.1.4 Třetí generace.....	14
1.1.5 Čtvrtá generace.....	14
1.1.6 Pátá generace.....	15
1.2 MOBILNÍ TELEKOMUNIKACE	15
2 BUŇKOVÉ MOBILNÍ SÍTĚ	17
2.1 PRINCIP FUNKCE	17
2.1.1 Sektorizace	18
2.1.2 Vícenásobný přístup.....	18
2.1.2.1 FDMA.....	19
2.1.2.2 TDMA.....	19
2.1.2.3 CDMA	20
2.1.3 HandOver	20
2.1.3.1 Network Controlled HandOver.....	21
2.1.3.2 Mobile Assisted HandOver.....	21
2.1.3.3 Mobile Controlled HandOver	21
2.2 MOBILNÍ SÍTĚ GSM.....	21
2.2.1 Architektura sítě GSM	22
2.2.2 Mobilní stanice (MS)	22
2.2.3 Subsystem základových stanic (BSS).....	23
2.2.4 Síťové a spínací stanice (NSS).....	23
2.2.5 Zpracování signálu v síti GSM	24
2.2.5.1 Zdrojové kódování.....	24
2.2.5.2 Kanálové kódování	25
2.2.5.3 Prokládání	25
2.2.5.4 Vytváření Burstů a Rámců.....	26
2.2.6 Frekvenční pásma sítě GSM	26
2.2.6.1 GSM 900.....	26
2.2.6.2 GSM 1800.....	27
2.2.6.3 GSM 1900.....	27
2.2.7 Zabezpečení sítě GSM	27
2.2.8 Mobilní síť 2.5 generace	28
2.2.8.1 HSCSD.....	28
2.2.8.2 GPRS	28
2.3 MOBILNÍ SÍTĚ TŘETÍ GENERACE – UMTS	29
2.3.1 Architektura sítě UMTS.....	29
2.3.2 Alokace frekvenčního spektra UMTS.....	30
3 KOMUNIKACE GSM MODULU S ŘÍDÍCÍM ČLENEM	31

3.1	AT PŘÍKAZY	31
3.2	PDU PROTOKOL	32
3.2.1	PDU SMS-DELIVER	33
3.2.2	PDU SMS-SUBMIT	34
II	PRAKTICKÁ ČÁST	36
4	KONSTRUKCE A POUŽITÍ GSM MODULŮ	37
4.1	GSM MODUL	37
4.2	KONSTRUKCE A PARAMETRY GSM MODULU	37
4.2.1	QUECTEL M10	37
4.2.2	Cinterion MC55i	39
4.2.3	INSYS GSM/GPRS small	41
4.2.4	Podíl výrobců na trhu s GSM moduly	42
5	KONSTRUKCE ZABEZPEČENÍ OBJEKTU POMOCÍ GSM MODULU.....	43
5.1	MIKROPROCESOR	43
5.1.1	Parametry MC9S08SH32	43
5.1.2	Programátor freescale USB-BDM multilink	44
5.1.3	Vývojové prostředí Codewarrior	44
5.2	HARDWAROVÉ ZAPOJENÍ	45
5.2.1	Schéma zapojení	45
5.2.1.1	Napájení a komunikace	45
5.2.1.2	Výstupní část	46
5.2.1.3	Vstupní část	47
5.2.2	Plošný spoj	48
5.3	SOFTWAREVÉ ŘEŠENÍ	48
5.3.1	Inicializace	49
5.3.2	Identifikace uživatele	50
5.3.3	Kódování a dekódování objektu	50
5.3.4	Obsluha spínání SMS	50
5.3.4.1	Dekódování textu zprávy	52
5.3.4.2	Zjištění odesilatele SMS	52
	ZÁVĚR	53
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	54
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	56
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	58
	SEZNAM OBRÁZKŮ	61
	SEZNAM TABULEK.....	62
	SEZNAM PŘÍLOH.....	63

ÚVOD

Generace našich rodičů si ani v nejmenším nedokázala představit, že telekomunikace bude poskytovat i jiné služby než hlasové spojení mezi dvěma body pevné linky. Vývoj technologií druhé poloviny 20. století však změnil architekturu telekomunikační sítě v takové míře, že mohla být globalizována (GSM, UMTS). Nastává expanze mobilních stanic, které umožňují uživateli uskutečnit hovor, poslat SMS zprávu nebo posílat data do kteréhokoliv místa této planety, kde je dostatečná síla signálu nebo kabelové spojení s telefonní ústřednou. Nyní nastává otázka: jak implementovat tuto síť do jiných systémů a jaké jiné možnosti využití přináší.

Implementace ve své podstatě není nijak složitá díky snaze vytvářet modulární systémy, do kterých lze bez větších technických úprav připojit modul pro komunikaci v síti GSM (Global System for Mobile Communications). Modul v těchto systémech slouží jako zdroj vstupních proměnných a poskytuje informace o aktuálních stavech (vstupu/výstupu). Jako zdroj vstupních proměnných si můžeme představit hovorové spojení (modul posílá systému řetězec RING) nebo SMS zprávy, které umožní spínat výstupy systému, nastavovat časové konstanty, teplotu, výšku hladiny a spoustu dalších podnětů vztahujících se k danému systému. Informace o aktuálních nebo průměrných stavech se v 99 % zasílá SMS zprávou a zbylé 1% zůstává pro vytočení telefonního čísla. Způsoby vyhodnocení zdroje vstupů i informování o stavech je dáno programovým vybavením řídicího členu každého systému.

Koncepce níže uvedené práce by měla v teoretické části především nastínit vývoj telekomunikace, strukturu dnešních mobilních sítí a možnou komunikaci s GSM moduly prostřednictvím AT příkazů. Praktická část se zabývá popisem vybraných typů GSM modulů a popisuje konstrukci, která prostřednictvím GSM modulu zajistí zabezpečení menších objektů a ovládání jednoduchých zařízení. Hlavní řídicí člen je zde mikroprocesor, který na vstupu detekuje signál z čidla a na výstup má připojena relé pro dvoupolohovou regulaci. Uživatel zasílá mikroprocesoru prostřednictvím SMS zprávy požadavek na stav výstupu. Naopak při narušení objektu mikroprocesor vytáčí telefonní číslo uživatele.

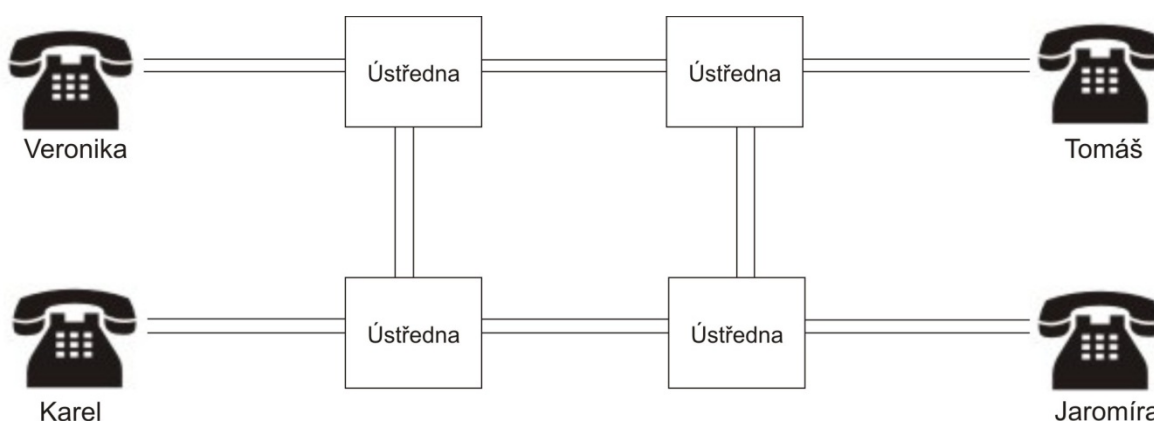
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORIE MOBILNÍ KOMUNIKACE

1.1 Vývoj Telekomunikace

Za základní kámen telekomunikace bychom mohli považovat Telegraf, který v polovině 19. století vymyslel Samuel Finlay Breese Morse. Je zde využíván elektrický signál, který je v digitální formě vysílán po vedení mezi vysílací a přijímací stanicí, k definici znaků Morse vytvořil tabulku, která přiřazuje každému písmenu anglické abecedy a každé číslici desítkové soustavy specifickou kombinaci krátkých „teček“ a dlouhých „čárek“ impulzů. První spojení vznikaly na území USA, ale později byl položen podmořský kabel, který spojoval USA s Evropou. Nevýhodou bylo potřebné kódování a dekódování. To se postupem času zdokonalovalo, ale na popředí komunikace se dostávaly novější zařízení. Paralelně s pevným drátovým propojením byla také snaha využít k přenosu radiové vlny. [1]

Analogový telefon, který vynalezl Alexander Graham Bell, umožnil přenášet lidský hlas, kterému mohl rozumět každý bez potřeby dekódovat přijatou zprávu. Telefon zažil obdobný rozkvět jako telegraf. Pro širší využití bylo zapotřebí vytvářet telefonní ústředny, které plní úlohu spojení hovoru z místa A na místo B za přidání specifických parametrů. Na našem území fungovala první ústředna v roce 1882 a o sedm let později byla zprovozněna linka Praha - Vídeň. Telefonní ústředny rozdělujeme podle použitých technologií od nulté generace až po pátou generaci. [1]



Obr. 1. Grafické znázornění telefonních sítí

1.1.1 Nultá generace

Jde o nejstarší telefonní ústředny vytvářeny v meziválečném období 20. století a pro meziměstské spojení i v padesátých letech 20. století. Tyto ústředny nejsou ani trochu automatizované a řízení spojení je závislé na fyzické přítomnosti osoby, která spojení provede. Volající osoba musí pracovníkovi ústředny sdělit číslo nebo jméno volaného, na základě získané informace pracovník propojí kabelem potřebné vedení na řídicím pultu a hovor může být uskutečněn. Ukončení hovoru je možné na straně volajícího, příjemce nebo odpojením propojovacího kabelu. [2]

Tyto ústředny od sebe bývají vzdáleny maximálně 10 km a poté signál projde přes transformátor. Transformování nejde provádět do nekonečna. Po několika transformacích je vlivem ztrát hovorový signál značně zkreslen a utlumen. [2] [4]

1.1.2 První generace

Stanice této generace jsou v městských provedeních plně automatizovány a umí vytočit zadaného volaného. Jejich vývoj se datuje po roce 1945, logické obvody jsou zde tvořeny pomocí skupin relé a pomocných elektromagnetických prvků, což vykazuje značnou poruchovost. Spojení u těchto ústředen probíhá synchronně a při nedostupnosti volaného nebo při vzniklém přerušení hovoru dochází ke generování obsazovacího tónu v místě kolize. Při komunikaci na větší vzdálenosti (nad 10 km) je stále zapotřebí propojení pomocí stanice nulté generace a přítomnosti fyzické osoby. Kapacity ústředen první generace nejsou velké, ale vzhledem k jejich kaskádní struktuře je možné ústřednu rozšiřovat s přidáváním číslice do nekonečna. Stejně jako u předchozí skupiny ani tyto ústředny nemají žádnou tarifkaci, ale jsou již schopny zaznamenávat počty hovorů na účastnickém počítadle. [2]

Model spojovacího systému má model přenašeč-zesilovač-přenašeč (dvoudrátový přenos), ale při větší vzdálenosti (100 km) dochází ke zkreslení signálu způsobené nedokonalostí zesilovačů. Později se začíná používat čtyřdrátové provedení, které pro dálkové hovory využívá napěťového klíčování telefonní signalizace. Díky tomu se rozvíjí automatizované meziměstské spojení. Nevýhoda tohoto řešení je nárok na zesilovací stanice, které musejí být cca každých 7 - 9 km. Přenosový signál je v této generaci analogový 0,3 - 0,34 kHz a začíná se zkoušet vícenásobný hovor za použití fantomů a super fantomů. [2]

1.1.3 Druhá generace

Ústředny této generace se datují kolem roku 1970 a jedná se zejména o výkonné kapacitní elektromechanické ústředny, které využívají technologii křížových spínačů. Je zde snaha rozvoje moderních technologií, které využívají časování, ale funkčnost technologie křížových spínačů je vytlačila. Nevýhodou těchto spínačů je složitost propojování a údržba ústředny, která klade vyšší nároky na kvalifikaci pracovníků. Oproti výše uvedeným generacím je v této použita jako první asynchronní komunikace využívající takzvaného odložení volby. K tomuto odložení se využívají různé druhy pamětí, které však mají velmi malou kapacitu (řádově desítky bitů pro jedno spojení) a mohou vznikat nové druhy poruch. Díky datům uložených v paměti lze rozvíjet další části ústředny např. statistiku, měření dostupnosti zatížení. Výhoda těchto technologií však spočívá hlavně v možnosti vytvářet výkonné ústředny, které jsou schopny udělat ve velkých městech jeden komunikační bod. Takováto stanice se umístí do veliké budovy s obrovskými sály. Vznikají také plně automatizované národní sítě, které mají životnost až dvacet let. V telefonních službách nepřináší tato generace žádné nové služby, jen umožňuje tarifkaci v časových pásmech. Za takzvanou dva a půl tou generací se považuje renovace ústředny druhé generace, kterou zapříčinilo zdokonalování polovodičových součástek (tranzistorů), které výrazně zmenšily rozměry ústředny, jejich poruchovost, ale nejsou ještě nahrazeny všechny elektromagnetické prvky za polovodičové. [2] [3]

Přenosový systém v této generaci se snaží o přenos více hovorů na jednom vedení. Inteligence telefonní sítě je založena na schopnosti přenášet signalizaci mezi ústřednami plně automaticky s vysokou přesností. V této generaci se upouští od signalizace pomocí napěťových impulzů po signalizačních drátech a zavádějí se signalizační značky, které jsou přímo zakomponovány do telefonního signálu. Výhodou této signalizace je, že je značka zesilována společně s telefonním signálem. Přenosový systém ale stále neřeší více hovorů na jednom vedení a počet hovorů je ovlivněn počtem vedení. Řešení přichází s již dříve zmíněnou dva a půl tou generací, která moduluje více signálů pomocí frekvenční modulace z dříve přenášeného pásma 0,3 - 3,4 kHz na 11,7 – 68,1 kHz. Po demodulaci vzniká opět větší počet signálů 0,3 – 3,4 kHz. Signály s větší frekvencí jsou ale daleko méně odolné vůči útlumu a šumu, a proto se moduluje ještě na vyšší frekvence a pomalu zasahují do přenosového systému třetí generace. [2] [3]

1.1.4 Třetí generace

Zásadní podíl na zrození třetí generace telefonních ústředen měla vliv náhrada všech elektromagnetických součástek za polovodičové. Tím se zmenšuje spotřeba místa i energie a nutnost přítomnosti obsluhy. Ústředna má také při spojování zcela jiný postoj než dosud. Vidí do všech ústředen a sama vyhledá spojení k příjemci hovoru. Pokud je příjemce obsazen nebo vznikne porucha, obsazovací tón je generován přímo v místní ústředně, čímž je snížena zatíženost linky, protože obsazovací tón neblokuje jiné linky. Zkvalitňuje se i tarifkace, je možné přenášet číslo volajícího a odposlouchávat hovory. Nevýhoda těchto ústředen je vzájemná kompatibilita, a proto doporučují mezinárodní telefonní organizace standardy signalizace mezi ústřednami. Přestože jsou tyto ústředny řízeny digitálními poli, stále se přenáší analogový signál. Změnu přináší třetí a půltá generace, u které se hovorové pásmo digitalizuje a zpět na analogový signál je hovor převeden až u příjemce. Tímto se velice zlepšuje kvalita hovoru. [2] [3]

Přenosový systém je u této generace opět založen na FDM (frekvence multiplex-více frekvencí modulováno do jednoho signálu). Změnu přináší koaxiální kabel, který je předurčen pro přenos vyšších harmonických signálů (100 – 1 000 kHz) a vzniká takzvaná FDM třetí generace. Přenos digitálního signálu přináší hodně nových principů přenosových systémů, ale vše je teprve v počátcích. [2] [3]

1.1.5 Čtvrtá generace

Počátkem 90. let minulého století přichází změna spojovacího pole a vzniká tak, v pořadí, čtvrtá generace ústředen. Používá se časové spojovací pole, které přepíná mezi časovými rámci v komunikačním kanálu. Signál je již plně digitální. Ústředny této generace mají přijatelné rozměry a velkou kapacitu. Díky rozšiřování výpočetní techniky se začínají i v telekomunikaci využívat mikroprocesory a je ujednocen signalizační systém SS7, který vytváří integrované prostředí pro všechny výrobce ústředen. Začíná se také využívat propojení účastníků přes ISDN – „*Integrated Services Digital Network*“, což znamená, že digitální signál není převeden na analogový na poslední ústředně na trase k příjemci, ale přímo v přístroji příjemce. Můžeme přenášet hlas, text, obraz, uskutečnit konferenční hovory. Tato technologie umožňuje i připojení do internetu. [2] [3]

Přenosový systém v této generaci využívá pouze digitální signál, což je datový tok složený ze střídání logických úrovní 1,0. Využívá se metalické vedení, ale s rozvojem technologií se začíná využívat optický kabel. Digitální signál se nezesiluje, po určité době

se regeneruje pomocí opakovače, který rozpozná logické úrovně a znovu signál vygeneruje. [2]

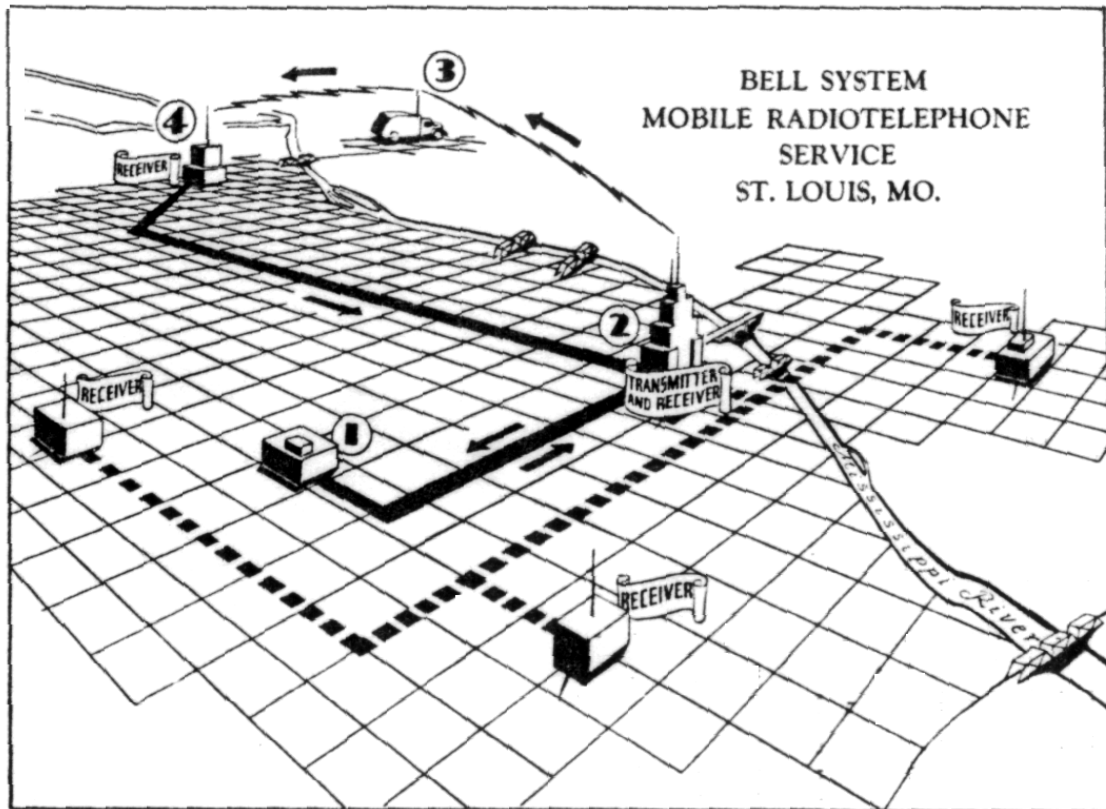
1.1.6 Pátá generace

Jedná se o takzvanou VoIP síť, která je stále ve vývoji. Zásadní rozdíl od ostatních ústředen je úplné vyřazení spojovacího pole a vlastně i ústředny jako takové. VoIP používá pro svoje přenosy síťový protokol TCP/IP (internet) a pro telefonování nám postačí PC se zvukovou kartou, které je připojeno k internetu. Fyzická ústředna se mění v jakýsi velice složitý softwarový prvek na serveru. Volající i příjemce mají svoji jedinečnou IP adresu stejně jako u e-mailu, jen zde jsou pro přenos mezi místem A-B použity hovorové pakety. VoIP technologie telekomunikace je stále ve vývoji, díky čemuž tu jsou zatím jisté nevýhody kvality hovoru, která je zatím závislá na rychlosti páteřních sítí internetu. Přesto sebou nese řadu výhod. Mezi ty největší se řadí spojení telekomunikační a počítačové sítě v jednu, ovládání telefonování přes PC a levné volání. [2]

1.2 Mobilní telekomunikace

Mobilní telekomunikace se od pevné drátové telekomunikace v zásadě liší v přenosovém systému, pro který se využívají elektromagnetické radiové vlny. Jako první byl schopný vysílat a přijímat tyto vlny na velkou vzdálenost Guglielmo Marconi, který v počátku 20. století přenesl signál přes Atlantský oceán. Radiové vlny se začaly razantně využívat. Kolem roku 1920 se v USA začínají používat mobilní radiové stanice pracující v pásmu 2 MHz, které jsou určeny pouze pro policii a armádu a umožňují pouze příjem. Po druhé světové válce je snaha rozšířit radiovou komunikaci i mezi veřejnost. Společnosti AT&T a Southwestern umožňují namontovat do automobilu antény, přes které se zákazník připojí k telefonním ústřednám pomocí hlavní antény. Důvodem, proč není možné vynechat hlavní anténu je, že hlavní anténa má velký výkon, ke kterému je zapotřebí velká energie, ale tu automobil nemůže dodat. Zákazník, když chce vytočit meziměsto, musí nejdříve nahlásit požadované číslo operátorovi, ten pomocí drátových ústředen provede spojení a teprve poté je možné hovor uskutečnit. Tuto takzvanou nultou generaci vytlačí nová technologie celulárních (buňkových) sítí, která ovšem stále využívá elektromagnetické radiové vlny. Jen kmitočty řádově kHz jsou přenechány rozhlasovému

pásmu, MHz televiznímu pásmu a pro mobilní telekomunikaci zůstává pásmo v řádech GHz.
[4] [7]



Obr. 2. Grafické znázornění první mobilní sítě [4]

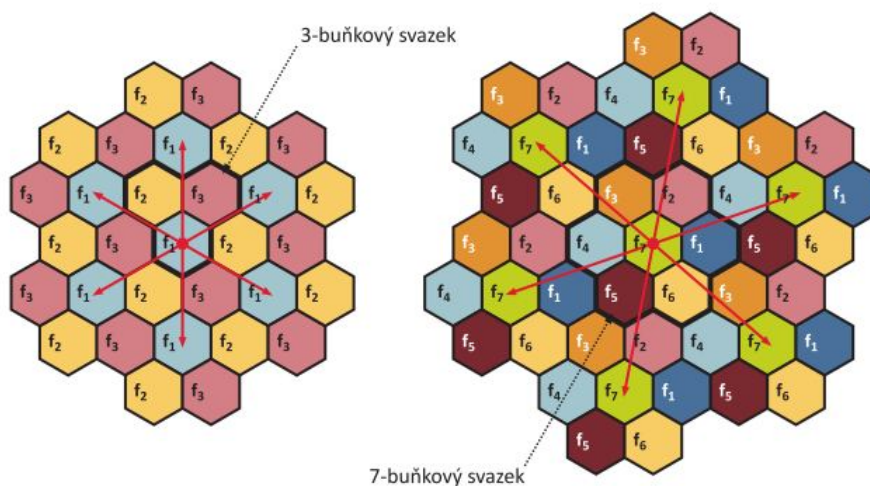
2 BUŇKOVÉ MOBILNÍ SÍTĚ

2.1 Princip Funkce

Mobilní spojení je realizováno radiovými vlnami mezi takzvanými buňkami (cells), které mohou mnohonásobně použít stejné frekvence v obsluhu oblasti, a tím značně zvýšit hospodárnost přidělených frekvencí kmitočtového spektra. Tyto buňky rozdělujeme podle velikosti:

- Femto buňka – místnosti nebo kanceláře
- Piko buňka – kanceláře a bytové prostředí
- Mikro buňka – městské aglomerace s husou zástavbou
- Makro buňka – velké a řídké osídlené oblasti
- Satelitní buňka – oblast dosažitelná telekomunikační družicí (spojení i v místech, kde by nebylo možné spojení s předchozími buňkami)

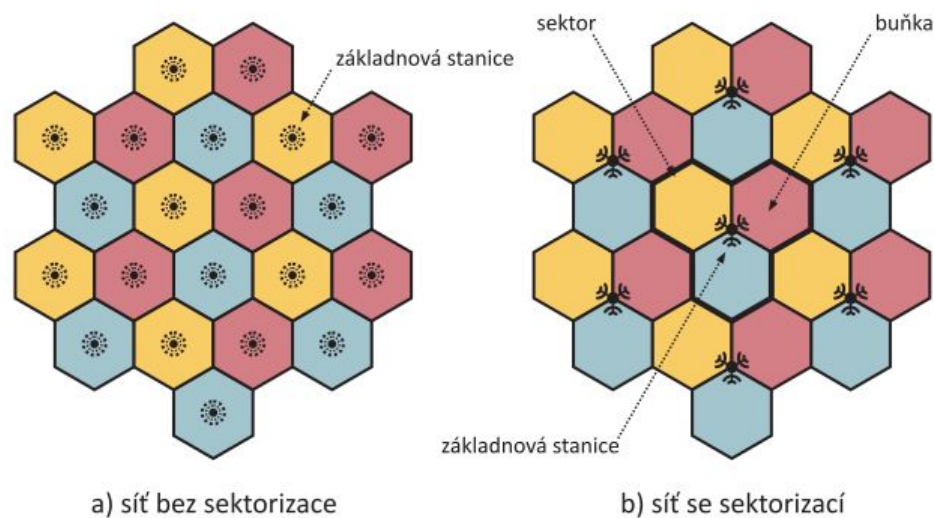
V každé buňce je obsažena základová stanice, která má přiděleny komunikační kanály. Tyto buňky slučujeme do svazku, který může obsahovat 3 nebo 7 buněk. Počet komunikačních kanálů je poté různý. Ve svazku sedmi buněk je to sedm kanálů pro každou buňku a k pokrytí libovolné plochy potřebujeme 49 kanálů, protože hned v sousedním svazku můžeme použít stejné kanály. Podobně pro svazek tří buněk potřebujeme vždy 9 kanálů. [5] [6]



Obr. 3. Grafické znázornění buňkové sítě sdružované do svazků [5]

2.1.1 Sektorizace

Nevýhodou sdružování buněk do svazků je přítomnost základové stanice v každé buňce, což je velice nákladné a přináší požadavky na vyšší vysílací výkony. Řešení tohoto problému přináší takzvaná sektorizace. Svazek z obr. 3 rozdělíme na 21 menších buněk a základovou stanici umístíme vždy do společného bodu 3 buněk. Každá stanice musí obsahovat tři antény vysílač/přijímač, které jsou směřovány do každé buňky, ale počet těchto stanic se zmenší na 7. Zvýšíme tak počet obslužených mobilních stanic a snížíme vysílací výkon. [5] [6]



Obr. 4. Grafické znázornění sektorizace buňkových sítí [5]

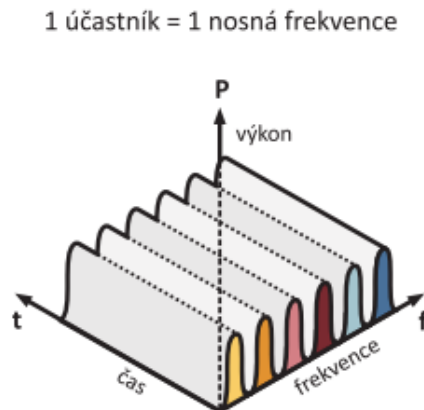
2.1.2 Vícenásobný přístup

Z důvodů zvyšování počtu mobilních stanic bylo zapotřebí vymyslet metody, které umožní přenos více hovorů v jednom komunikačním kanále ve stejném čase. V dnešní době jsou známy tři základní metody multiplexování využívající pro své kódování různých veličin.

- FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) - vícenásobný přístup na principu kmitočtového dělení
- TDMA (*Time Division Multiple Access*) - vícenásobný přístup na principu časového dělení
- CDMA (*Code Division Multiple Access*) - vícenásobný přístup na principu kódového dělení

2.1.2.1 FDMA

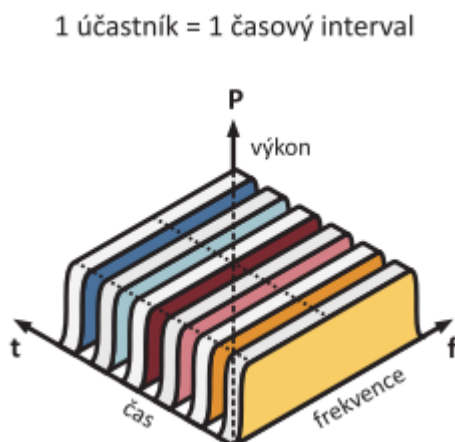
Tato metoda se používala již v systémech první generace, tedy analogových. Každému účastníku je přidělen jedinečný komunikační kanál na určité frekvenci, což znamená, že stejný kanál nemůže využívat více uživatelů. U FDMA není potřeba synchronizace a různí účastníci mohou hovořit současně, nevýhodou je malé využití kapacity komunikačního kanálu. [9]



Obr. 5. FDMA v trojrozměrném grafu [5]

2.1.2.2 TDMA

Je to metoda, která využívá pro vícenásobný přístup jediného radiového komunikačního kanálu. Účastníkům v síti jsou přidělovány stejně velké časové úseky (time slot), které tvoří jednotlivé TDMA rámce. Přenos tedy neprobíhá spojitě, ale je časově rozsekaný, a proto je potřeba využít složitější časovou synchronizaci. Signál musí být na vysílací straně komprimován a u příjemce znovu převeden do původní podoby. [9]



Obr. 6. TDMA v trojrozměrném grafu [5]

2.1.2.3 CDMA

V této metodě se k přenosu využívá jeden komunikační kanál a jednotlivé signály uvnitř se rozlišují pseudonáhodným kódem. Stejný komunikační kanál spolu nemusí sdílet jen klienti telefonní sítě, ale i řada jiných systémů. Na vysílací straně je signál kódován podle kódovacího předpisu, který musí být odlišný od ostatních, aby na přijímací straně mohly být signály identifikovány. CDMA pro svoji funkci potřebuje složitou synchronizaci a počet klientů telefonní sítě je „limitován úrovní interferenčních produktů v místě příjmu“ [9]. [5]



Obr. 7. CDMA v trojrozměrném grafu [5]

V praxi se nejčastěji používají kombinace těchto metod, aby byl zajištěn plně duplexní přenos. Každý směr například pracuje v jiném frekvenčním pásmu a v daném komunikačním kanále je pro přenos využito metody CDMA.

2.1.3 HandOver

Můžeme ho definovat jako automatické přeladění frekvence komunikačního kanálu při pohybu mobilní stanice mezi buňkami cellulární sítě. Mobilní stanice je stále spojena s nejbližší základovou stanicí, která vyhodnocuje kvalitu spojení a předává informace ústřednám. Díky tomu je možné zjistit polohu mobilní stanice s přesností na buňky a také podle síly signálu ústředna provede přeladění komunikačního kanálu. Tento proces trvá velmi malý časový okamžik a při hovorovém spojení nás toto přeladění nijak neomezuje. Později se objevuje i vnitrobuněčný handover, který pracuje na stejném principu, jen dokáže vyhodnotit kvalitnější spojení uvnitř buňky a přeladit se na jiný komunikační kanál. [6]

2.1.3.1 Network Controlled HandOver

Základové stanice přijímají kontrolní signál od mobilní stanice a nadřazený systém rozhodne podle síly signálu, jaká základová stanice bude nejlépe vyhovovat sledované mobilní stanici. Výhodou tohoto HandOveru je, že základová stanice nepřenáší zpět žádný signál, ale velikou nevýhodou je zatěžování přenosové trasy základová stanice - ústředna a rozhodovacích systémů ústředny, a proto se nejlépe využíval v analogových systémech. [6]

2.1.3.2 Mobile Assisted HandOver

Mobilní stanice stále měří sílu signálu nejbližších základových stanic a informace předá základové stanici, s níž právě komunikuje. Toto měření mohou provádět i základové stanice, ale logika radiotelefonní ústředny dává přednost informaci z mobilní stanice. Tento HandOver bere zřetel na aktuální podmínky, v kterých se nachází mobilní stanice, například když se pohybuje v místech s horší kvalitou signálu, ale nevýhodou je větší intenzita radiového přenosu. Použití našel například v sítích GSM. [6]

2.1.3.3 Mobile Controlled HandOver

Rozhodnutí, do které základové stanice vstoupí mobilní stanice, se odehrává přímo v mobilní stanici, a to z informací, které si sama naměří nebo jí jsou poskytnuty základovými stanicemi. Je zde menší spotřeba radiového sektoru a je z těchto HandOveru nejrychlejší.

2.2 Mobilní síť GSM

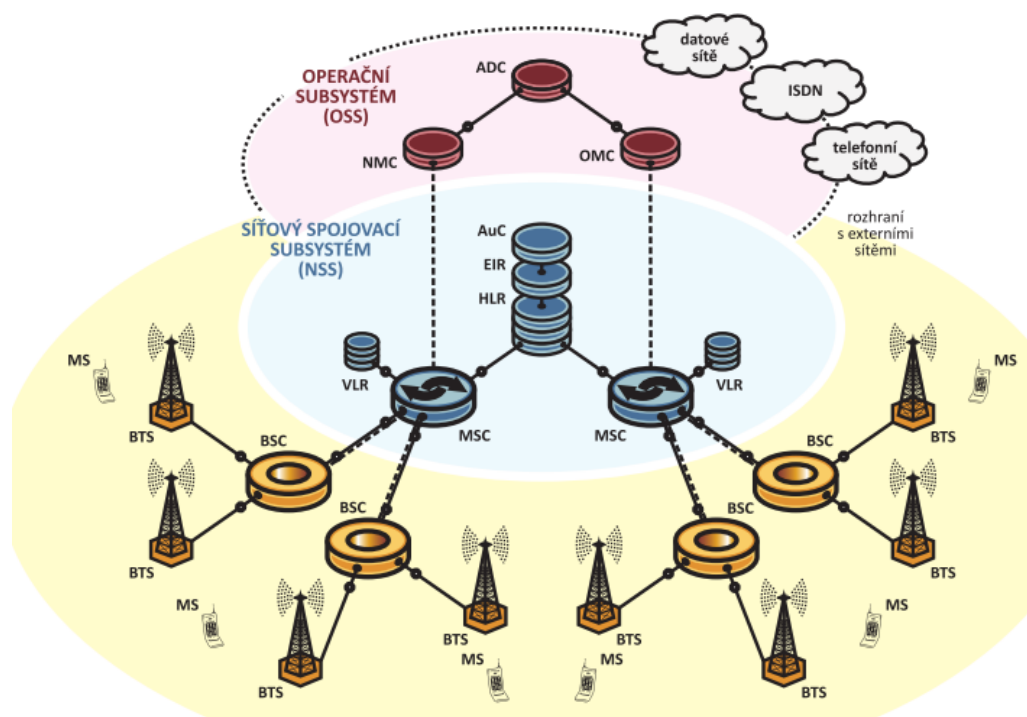
Globální systém pro mobilní komunikaci je celulární systém, který vznikl v osmdesátých letech jako evropský standart, ve Francii nazýván též jako Groupe Spécial Mobile. Dnes je také označován druhou generací mobilních sítí (2G), která je plně digitální a rozděluje se do dvou fází vývoje. V první fázi měl systém za úkol přenášet pouze hovorové signály, ale s vývojem sítě se začala využívat i pro přenos textu a obrazu. Dnes je GSM v druhé fázi a umožňuje na sebe nabalovat různé nové technologie jako například GPRS, HSCSD a plynule přechází do sítí třetí generace UMTS (Universal Mobile Telecommunication System). [7]

Z důvodů propojení mnoha států je potřeba, aby mobilní stanice byla jednoznačně identifikovatelná, což zajišťuje SIM karta (Subscriber Identity Module). Tuto kartu vydává operátor, u kterého máme předplaceny tarifní služby, a obsahuje identifikační číslo IMSI,

ověřovací klíč, telefonní seznam, SMS zprávy, šifrování a kódování pro ochranu uživatele před odposlechem. Pro tísňová volní musí operátor udělovat vyjimky a spojit mobilní stanici, i když nemá tarifní jednotky. [5]

2.2.1 Architektura sítě GSM

Síť GSM se dělí na tři základní subsystémy: subsystém základových stanic (BSS), do kterého patří základové stanice (BTS) a mobilní stanice (MS), síťový a spínací systém (NSS), operační a podpůrný subsystém (OSS), který zajišťuje údržbu, diagnostiku a komunikaci v rámci celé sítě. Tyto subsystémy mezi sebou komunikují a zajišťují spojení mezi uživateli nebo propojení do jiných sítí. Při spojení operuje GSM systém také s třemi externími složkami. Uživatelé systému (MS), operátoři, kteří zajišťují a tarifují služby v daném státě nebo dané oblasti, veřejné komunikační a datové digitální sítě. [6] [7]



Obr. 8. Architektura sítě GSM [5]

2.2.2 Mobilní stanice (MS)

Tato stanice představuje fyzické mobilní zařízení a modul SIM, který umožní unikátní identifikaci MS v celé síti GSM. Mobilní zařízení funguje jako radiový vysílač/přijímač, je řízen mikropočítačem, ke kterému je připojeno mnoho I/O periférií (klávesnice, displej a podobně). Vysílací část převádí analogový signál uživatele pomocí A-D převodníku na digitální signál, který je v kodéru kanálu zabezpečen a následně v následně pomocí GMSK

modulace modulován na nosnou vlnu pro přenos rámců do BTS. U přijímací části je postup pouze otočen. MS dělíme podle výkonových úrovní do pěti tříd. [7]

Tabulka 1- Tabulka výkonových tříd MS

Výkonová třída	Max výkon MS [W]	Max výkon MS [dBm]
1	20	43
2	8	39
3	5	37
4	2	33
5	0,8	29

2.2.3 Subsystem základových stanic (BSS)

Základní jednotkou tohoto subsystému je BTS a základová řídicí jednotka (BSC). BTS se nachází v každé buňce, které se slučují nejčastěji do skupin po devíti a mají společnou BSC. Slučování buněk může mít podobu hvězdicové, stromové, ale i kaskádové topologie. Základním úkolem BSC je zajistit správnou funkci HandOveru a mít pomocí BTS přehled o poloze MS. Spojení mezi BTS a BSC je realizováno metalickým vedení nebo optickým kabelem a rychlost přenosu je 13 kbit/s. Protože BSC komunikuje dále s mobilní radiovou ústřednou (MCS), která používá přenosovou rychlost 16kbit/s, musíme mezi ně zařadit transkódovací jednotku TC. [7]

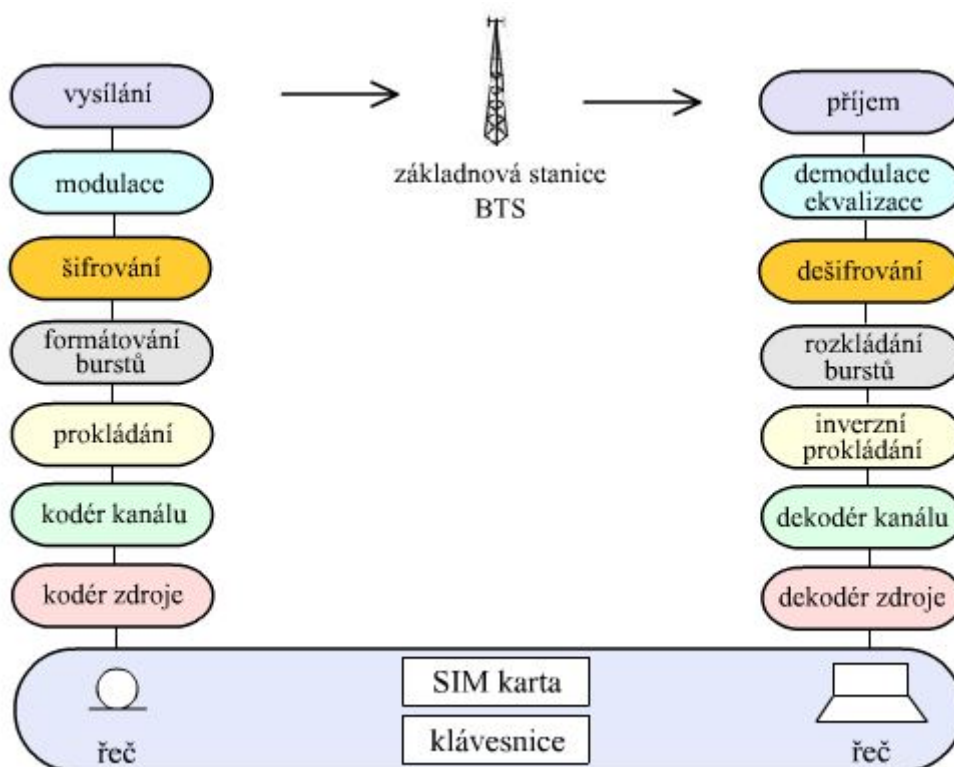
2.2.4 Síťové a spínací stanice (NSS)

Provádí spínací funkce a řídí komunikaci nejen v celé GSM síti, ale i v externích telekomunikačních sítích. Základem je mobilní rádiová ústředna (MSC) nebo gateway MSC pro externí sítě, které pracují v rámci velkých měst a blízkého okolí. Nad MSC pracuje řada registrů:

- **Home Location Register HLR (domovský lokační registr)** – představuje databázi uchovávající informace o všech uživateli, kteří patří do této oblasti, a informace o oprávněních k využití různých služeb. Nachází se zde také centrum autentičnosti (AuC) ověřující totožnost každého účastníka. Tento registr může být využit různými MSC ústřednami, ale každý účastník může být uložen pouze v jednom HLR. [9] [6]

- **Visitor Location Register VLR (Návštěvnícký lokační registr)** – tento registr obsahuje také každá ústředna MSC, ale ukládá pouze data účastníků, kteří se pohybují přechodně v oblasti dané MSC. Takový účastník může být například v automobilu a projíždět přes dvě oblasti s různými MSC. Po opuštění oblasti první MSC budou data v VLR smazána a uložena v druhé MSC. [7]
- **Equipment Identity Register EIR (Identifikační registr mobilních stanic)** – identifikuje odcizené MS pomocí IMEI uložené ve vnitřní paměti. O ověřování IMEI rozhoduje operátor. [7]

2.2.5 Zpracování signálu v síti GSM



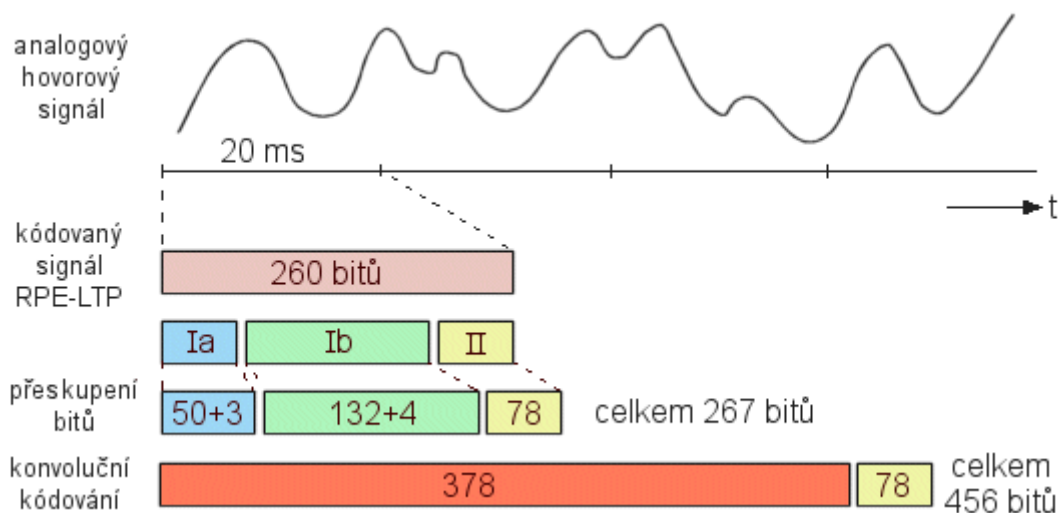
Obr. 9. Zpracování signálu v síti GSM [6]

2.2.5.1 Zdrojové kódování

Z původních devíti kodeků byl po mnoha testech vybrán parametrický kodek s názvem RPE-LTP, který z nezakódovaného digitálního signálu redukuje rychlost přenosu na 13 kbit/s. Vstupní analogový elektroakustický signál je v kodéru rozkouskovan na časové segmenty o délce 20 ms a proces kódování ho převede na digitální hovorové rámce o délce 260 bitů, jehož přenosová rychlost je $260 / 0,02 = 13$ kbit/s. S použitím

výkonnějších signálových procesorů jsme schopni zmenšit rychlost na 6,5 kbit/s. K rekonstrukci signálu na straně přijímače je potřeba 188 bitů excitačního signálu a zbylých 72 bitů je rozčleněno do skupin používané pro ochranné kanálové kódování. [6] [7]

2.2.5.2 Kanálové kódování

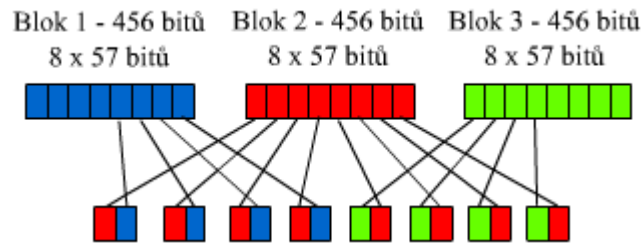


Obr. 10. Kódování GSM signálu [6]

Nejprve proběhne přeskupení signálu z důvodu přidání ochranných bitů. Ia má poté délku 53 bitů a je zabezpečeno kódem CRC. Ib přidáme 4 nulové bity, což dává 136 bitů. Skupiny Ia a Ib poté zakódujeme konvolučním kódováním, přidáme zbylých 78 bitů a dostaneme blok, kterému odpovídá pro 20 ms hovorového signálu 456 bitů zakódovaného signálu. Proto je potřeba zvýšit přenosová rychlost z 13 kbit/s na $456 \cdot 0,02 = 22,5$ kbit/s. Pro ušetření energie využívají GSM sítě přerušení signálu, když účastník nemluví. K tomu je zapotřebí detekce hlasové aktivity a při nečinnosti signálu je v kanálu přenášen šum, což ušetří až 90 % energie. [6]

2.2.5.3 Prokládání

Po zakódování se každý blok 456 bitů rozseká na osm částí po 57 bitech, které se mezi sebou proloží metodou diagonálního prokládání. Z rozsekaného bloku se vždy poslední čtyři části diagonálně proloženy s prvními čtyřmi částmi následujícího bloku. Po této úpravě nejsou vedle sebe části z jednoho bloku. [6]



Obr. 11. prokládání GSM signálu [6]

2.2.5.4 Vytváření Burstů a Rámců

Termín burst je označení dvou částí délky 57 bitů a po přidání dvou trojic okrajových bitů, dvou řídicích bitů a tréninkové sekvence zaujímá na časové ose interval dlouhý 0,577 ms (156,25 bitů). Tento upravený burst je základní kámen přenosu v síti GSM a označuje se jako normální burst. Velký význam zde má metoda prokládání, která zajistí, aby vedle sebe nebyly části ze stejného bloku. Když dojde při přenosu k chybě, je zabráněno po inverzní operaci vytvoření shluku chyb na straně příjemce, protože chyby se dekodují v různých blocích. Kromě normálního burstu se používají tři speciální bursty. [6]

- **Synchronizační burst** – využívá se k časové synchronizaci MS a je vysílán ihned za burstem pro kmitočtovou korekci. Oproti normálnímu bursteru tréninková sekvence zabírá více bitů.
- **Burst pro kmitočtovou korekci** – slouží ke kmitočtové synchronizaci MS a kromě dvou trojic okrajových bytů je tvořen pouze nulami.
- **Přístupový burst** – slouží k náhodnému přístupu a jeho struktura obsahuje okrajové bity, tréninkovou sekvenci, data a přídavnou ochranou dobu.

Spojením 8 burstů získáme časový TDMA rámec, který trvá 4,615 ms. Dalším spojením 26 TDMA rámců vzniká multirámec s dobou trvání 120 ms a spojením 51 TDMA multirámeců vznikne největší jednotka v hierarchii GSM je TDMA superrámec s dobou trvání 6,12 s. [6] [9]

2.2.6 Frekvenční pásma sítě GSM

2.2.6.1 GSM 900

Název toho frekvenčního pásma je dán jeho frekvenčním rozsahem, který je v rozmezí 890 MHz až 960 MHz, a dělí se na dvě části. Takzvaný uplink pro spojení mobilní stanice (MS) se základovou stanicí (BTS) je rezervováno pásmo 890 - 915 MHz.

Downlink je potom určen pro spojení BTS s MS a jeho rezervace je v rozmezí 935 - 960 MHz. BTS vysílají na kmitočtu duplexního páru, jehož šířka je 45 MHz, a v něm se vytvoří 124 radiových kanálů každý s šířkou 200 kHz. 125. kanál slouží pro oddělení horní a dolní části každého pásma. V každém ze 124 duplexních radiových kanálů je metodou TDMA vytvořeno 8 časových intervalů, které tvoří TDMA rámeček. Do každého časového intervalu je vložen uživatelský kanál. Poté je GSM 900 schopno vytvořit 992 účastnických duplexních kanálů s plnou rychlostí kódování. [7]

Nosné kmitočty získáme ze vztahu:

$$f_{\text{CUL}}(n) = 890 + 0,2 \cdot n \quad [\text{MHz}] \quad (1)$$

2.2.6.2 GSM 1800

Struktura pásma GSM 1 800 je stejná jako u GSM 900, ale používá jiné frekvenční pásmo. Pro uplink je to pásmo v rozmezí 1 710 až 1785 MHz. Pro downlink potom 1 805 až 1 880 MHz. Zvýšil se tedy počet radiových kanálů s šířkou 200 kHz a tím pádem i počet účastnických duplexních kanálů na 2 992. [7]

Nosné kmitočty získáme ze vztahu:

$$f_{\text{CUL}}(n) = 1710 + 0,2 \cdot (n - 511) \quad [\text{MHz}] \quad (2)$$

2.2.6.3 GSM 1900

GSM 1 900 je standart, který se od roku 1995 používá v USA. Pro uplink je rezervováno pásmo 1 850 až 1 910 MHz a pásmo 1 930 až 1 990 MHz pro downlink. Lze zde vytvořit 299 radiových kanálů s šířkou 200 kHz, ale od GSM 1 800 se liší v používaných výkonových úrovních. [7]

Nosné kmitočty získáme ze vztahu:

$$f_{\text{CUL}}(n) = 1850 + 0,2 \cdot (n - 512) \quad [\text{MHz}] \quad (3)$$

2.2.7 Zabezpečení sítě GSM

GSM síť musí dávat větší důraz na zabezpečení než telefonní síť, protože při radiovém spojení je mnohem jednodušší nabourat se do komunikačního kanálu. Zabezpečení se dá dělit do dvou fází. První fáze je zabezpečení odcizené či ztracené mobilní stanice, kde musíme prokázat identifikaci pomocí kódu PIN nebo PUK. Při odcizení je možné nahlásit operátorovi číslo SIM karty, která má být zablokována, a IMEI

mobilní stanice je zařazeno do protokolu EIR. U druhé fáze je pozornost soustředěna na data komunikující mezi MS a BTS. Kryptografické metody šifrování hovoru a dat vybírají operátoři, ale vždy se jedná o transformaci série bitů matematickými a logickými operacemi na jinou sérii dat. Šifrovací algoritmus se má zkratku A5 a pro generování klíče A8. [5] [7]

2.2.8 Mobilní síť 2.5 generace

Jedná se o novější typ sítě GSM, která pro hovorové a SMS spojení využívá technologie 2G, ale přináší nové možnosti v datové oblasti s provozním označením 2.5G. V GSM síti 2G byl přenos dat umožněn pomocí metody CSD, která využívala přepojování okruhů, a její přenosová rychlost byla 9,6 kbit/s, která byla časem maximalizována na 14,4 kbit/s. Protože však rostly požadavky na přenosovou rychlost, vznikají nové technologie HSCSD, GPRS specifické pro 2.5G a v architektuře sítě se přidávají prvky EDGE (*Enhanced Data for GSM Evolution*) a SGSN (*Gateway GPRS Support Node*). [5]

2.2.8.1 HSCSD

Přenosová rychlost jednoho časového slotu zůstává stále 9,6 nebo 14,4 kbit/s jako v CSD, ale HSCSD umožňuje využít více časových slotů současně. Počet časových slotů mezi mobilní stanicí a základovou stanicí je omezený dostupným počtem kanálů a parametrech mobilní stanice. Mezi základovou stanicí a řídicí stanicí se kanál upraví z 14,4 kbit/s na 16 kbit/s, který se následně v řídicí stanici sloučí až do čtyř timeslotů a dosáhne maximální přenosové rychlosti 64 kbit/s. [5]

2.2.8.2 GPRS

Jedná se o paketový přenos, který v sobě nese požadavky vnést do struktury sítě GSM nové prvky pro využití IP protokolu k přenosu dat nebo připojení do sítě Internet. Operátor může pomocí definování množiny SIM karet vytvářet veřejné i privátní datové sítě jako jsou WAP (*Wireless Application Protocol*) nebo MMS (*Multimedia Messaging Service*). Technologie WAP slouží pro připojení do sítě internet, která zobrazuje obsah webových serverů na displeji mobilní stanice s maximální přenosovou rychlostí 192 kbit/s. K zvyšování přenosové rychlosti dochází při sdružování více kanálů směrem k účastníkovi. Jedná se tedy o asymetrický přenos dat z důvodu vyšší rychlosti příjmu než odesílání. Nevýhodou je zpoždění, které při paketech o velikosti až 1 kB může dosáhnout několik sekund. [5] [8]

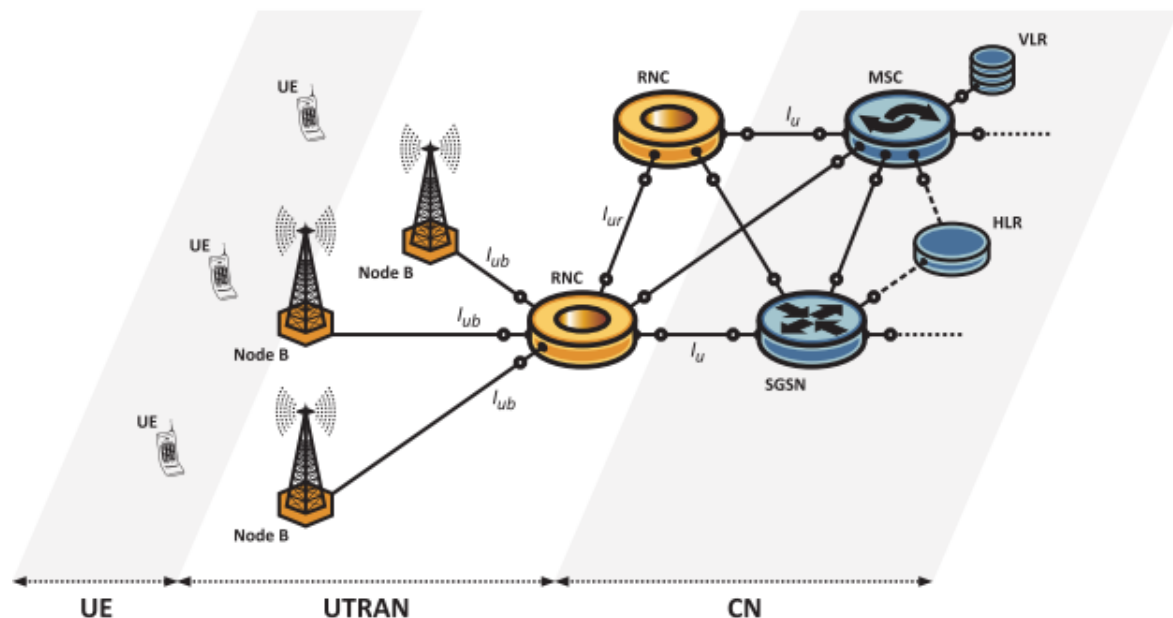
2.3 Mobilní síť třetí generace – UMTS

Celá myšlenka této 3G generace je založena na globalizaci frekvenčního pásma a vytvoření pomocí roamingu univerzální sítě. Ve světě je tato síť označována IMT-2 000 a v Evropě nese název UMTS. Předností je hlavně vysoká rychlost dat s připojením do Internetu nebo jiných sítí. Aby zavedení UMTS do praxe nevyžadovalo kompletní vybudování nových stanic, využívá se modifikované architektury 2G, do které se implementuje nový hardware pro využití IP protokolu, a vznikne síť 3G. Pro přenos hovorů se však stále využívá funkční síť GSM. [8]

2.3.1 Architektura sítě UMTS

Systémy třetí generace se skládají z dvou hlavních částí:

- **UTRAN** (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*) – zajišťuje spojení mezi uživatelem a páteřní sítí s využitím radiového signálu, který je obdobou subsystému základových stanic v síti GSM.
- **CN** (*Core Network*) – páteřní síť, která zajišťuje propojení účastníků, směrování paketů, připojení do Internetu a obstarává informace o poloze, zabezpečení nebo tarifaci uživatele. [8]



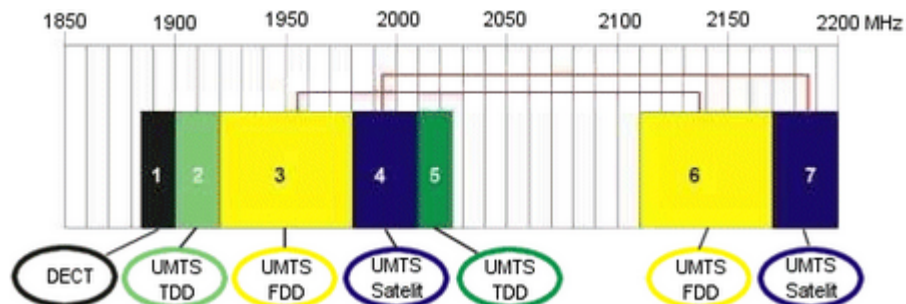
Obr. 12. Architektura sítě UMTS [5]

Na nejvyšší úrovni se nachází páteřní síť CN, ve které jsou implementovány databázové a managementové funkce. Dále na cestě k uživatelskému zařízení UE je

rádiová síť UTRAN. Síť se skládá z jednotlivých bloků RNS (*Radio Network Subsystem*), které obsahují několik základových stanic spojených přes rozhraní I_{ub} do bloku RNC, který řídí jednotlivé základové stanice. Další rozdíl oproti síti GSM je rozhraní mezi jednotlivými stanicemi RNC s názvem I_{ur} , který zajišťuje vzájemnou signalizaci a management sítě (nevznáší požadavky na transportní vrstvu). Při uskutečnění spojení pracuje RSN jako obsluha spojení s CN. Při pohybu UE mezi dvěma RSN je nová RSN nazývána „Drift RSN“. Obsluha tohoto „Driftu“ spočívá v tom, že vyžaduje použití buněk pod tímto RSN. Buňky se dělí do čtyř základních skupin, mezi nimiž je rozdíl ve velikosti obslužné plochy a přenosovou rychlostí. Jestliže má tento „Drift RSN“ přímé spojení s CN, provádí obsluhu páteří síť. [8] [6]

2.3.2 Alokace frekvenčního spektra UMTS

Systém UMTS využívá oddělené kódování přenosových kanálů s přístupovou metodou širokopásmového CDMA. Frekvenční spektrum tvoří jedno párové pásmo (1 920-1 980 MHz + 2 110-2 170 MHz) jedno nepárové (1 910-1 920 MHz + 2 010-2 025 MHz). [6]



Obr. 13. Frekvenční pásma sítě UMTS [6]

Pro přenos se využívá dvou duplexních technik:

- **TDD** (*Time Division Duplex*) - Časově dělený duplex se užívá pro asymetrické vysokorychlostní datové přenosy a pokrytí uvnitř budov. [8]
- **FDD** (*Frequency Division Duplex*) - Frekvenční duplex je vhodný pro velkoplošné pokrytí, párová pásma a symetrické středně rychlé datové služby, ale zvyšuje se náročnost regulace výkonu na straně mobilního telefonu i základnové stanice. [8]

3 KOMUNIKACE GSM MODULU S ŘÍDÍCÍM ČLEMEM

Veškerá komunikace mezi řídicím členem a GSM modulem po sériovém rozhraní zajišťují takzvané AT příkazy, které se od sebe mohou lišit mezi různými výrobci, ale podstata věci je stejná. Dále je v této kapitole nastíněn princip funkce PDU protokolu pro příjem a odesílání SMS zpráv.

3.1 AT příkazy

Přes „AT commands“ se provádí základní komunikace s čipem telefonů nebo modemu. Je to textový řetězec, který vždy začíná prefixem AT (*Attention Terminal-Pozor Terminál*), který doplníme podle požadovaného povelu například při vytočení volání, odesílání SMS, ukládání kontaktů a podobně. Na konci textového řetězce je vždy postfix <CR>, který se generuje při komunikaci s počítačem po sériovém rozhraní klávesou ENTER nebo při komunikaci s procesorem je nahrazen tento postfix znaky 0Dh. Základní AT příkazy a struktura jsou u všech výrobců stejné, ale složitější příkazy se mohou lišit v zadávání parametrů. Proto je ke každému modulu vytvořen datashet funkčních AT commands.

Tři základní formáty AT příkazů:

- Test, zda telefon příkaz podporuje: **AT+<příkaz>=? <CR>**
- Načtení hodnot z telefonu: **AT+<příkaz>? <CR>**
- Vložení dat do telefonu: **AT+<příkaz>=<parametr> <CR>**

Tabulka 2 - Příklad základních AT příkazů

AT příkaz	Popis	Příklad povelu	Odpověď
AT	Umožňuje otestovat komunikaci s MT.	AT <CR>	OK
ATA	Vyzvednutí příchozího hovoru.	ATA <CR>	OK
ATD	Vytočení telefonního čísla.	ATD0602123456; <CR>	OK
ATH	Zrušení probíhajícího hovoru	ATH <CR>	OK

3.2 PDU protokol

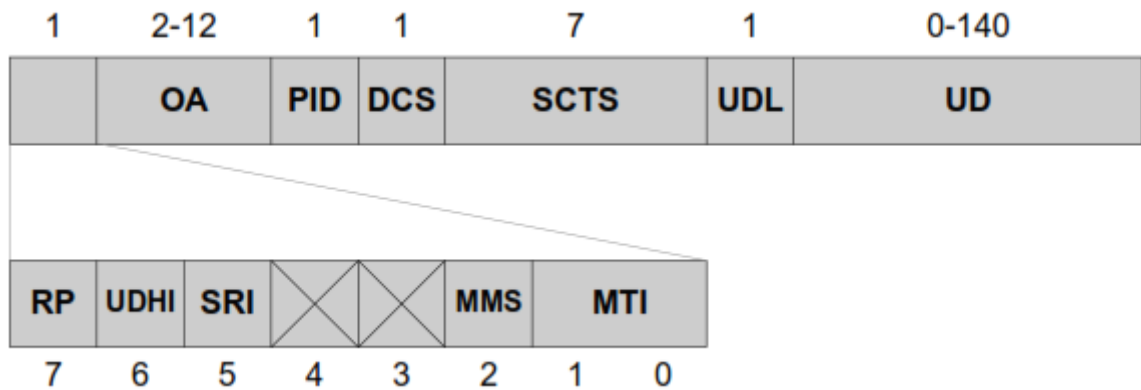
Formát PDU (*Protocol Description Unit*) slouží k přenosu SMS s pomyslnou kompresí v síti GSM. Kromě specifických polí obsahuje PDU rámec také text SMS, údaje pro doručení zprávy, údaje o kódování a dekódování a jiné. PDU má několik typů, které se liší svou funkcí využití.

Tabulka 3 - Typy PDU

Typ PDU	Směr	Funkce
SMS-DELIVER	SMSC->MS	Doručí SMS na MS
SMS-DELIVER-REPORT	MS->SMSC	Potvrzení od MS
SMS-SUBMIT	MS->SMSC	Odešle SMS na SMSC
SMS-SUBMIT-REPORT	SMSC->MS	Potvrzení od SMSC
SMS-STATUS-REPORT	SMSC->MS	Doručenka
SMS-COMMAND	MS->SMSC	Příkazy pro práci s SMS

Pro odeslání SMS z mobilní stanice (MS) slouží PDU SMS-SUBMIT, který doručí SMS do SMS centra. To následně odpoví PDU SMS-SUBMIT-REPORT o správnosti doručení. Nyní se pomocí PDU SMS-DELIVER doručí SMS na MS, která také ihned odpoví o správnosti doručení. PDU SMS-STATUS-PRPORT zaručuje informace o doručení/nedoručení SMS k cílové MS. PDU SMS-COMMAND umožňuje práci se zprávami, ale mobilní stanice tyto služby většinou neumožňují. [9]

3.2.1 PDU SMS-DELIVER



Obr. 14. Struktura formátu PDU SMS-DELIVER [9]

Popis prvního oktantu je rozepsán v tabulce 4 A zbývající oktanty tohoto formátu v tabulce 5.

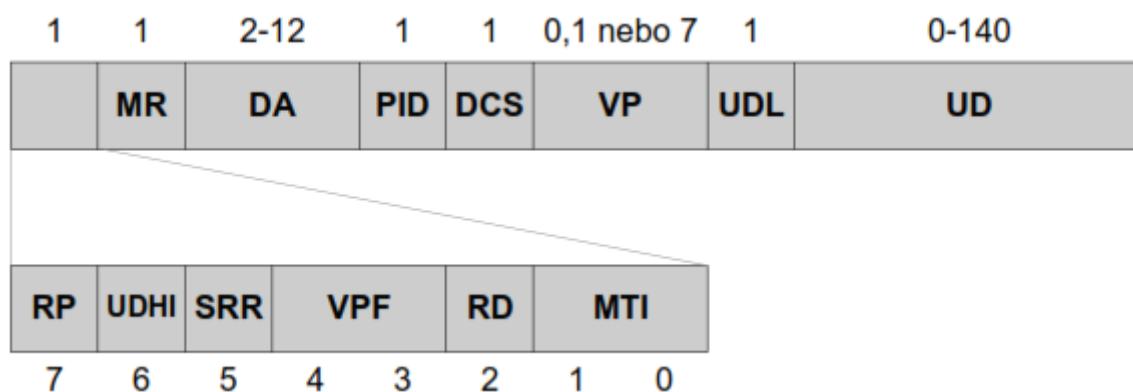
Tabulka 4 - Bloky prvního oktantu PDU SMS-DELIVER 4

Pole	Název	Význam
RP	Reply Path	Indikuje existenci cesty pro odpověď.
UDHI	User Data Header Indicator	Informuje o přítomnosti hlavičky.
SRI	Status Report Indicator	Informuje o zaslání potvrzení doručení odesílateli SMS.
MMS	More Messages to Send	Informuje MS na terminále v SMSC je více zpráv. Může se využít vybudované spojení pro transport více zpráv najednou.
MTI	Message Type Indicator	Určuje typ PDU : bit 1 bit 0 PDU 0 0 SMS-DELIVER 0 0 SMS-DELIVER-REPORT 0 1 SMS-SUBMIT 0 1 SMS-SUBMIT-REPORT 1 0 SMS-STATUS-REPORT 1 0 SMS-COMMAND 1 1 REZERVA

Tabulka 5- Popis zbylých oktantů PDU SMS-DELIVER

Oktet	Název	Význam
OA	Originating Address	Vyjadřuje adresu odesílatele SMS, číslo nebo textový řetězec.
PID	Protocol Identifikátor	Určuje formát uložené zprávy: SME-to-SME - přenos SMS mezi dvěma terminály v GSM síti (mobilní telefony). Telematické služby - využívá se pro práci s jinými sítěmi. Formát SMS musí být převeden do formátu cílové sítě.
DCS	Data Coding Scheme	Kódování vlastního textu (User Data) 7-bit. Kódování -> 160 znaků textu 8-bit. Kódování -> binární SMS (melodie, obrázky).
SCTS	Service Centre Time Stamp	Datum a čas doručení SMS do SMSC.
UDL	User Data Length	Délka vlastních dat SMS.
UD	User data	Uživatelská data zprávy.

3.2.2 PDU SMS-SUBMIT



Obr. 15. Struktura formátu PDU SMS-SUBMIT [9]

Stejně jako u PDU SMS-DELIVER je v prvním oktetu definován typ PDU. Některá pole a oktanty jsou stejné jak pro SMS-DELIVER, tak pro SMS-SUBMIT, ale některé jsou zcela specifické pro SMS-SUBMIT PDU. Popis oktantů pro SMS-SUBMIT je popsán v tabulce 6, 7.

Tabulka 6- Bloky prvního oktantu PDU SMS-SUBMIT

Pole	Název	Význam
RP	Reply Path	Indikuje existenci cesty pro odpověď.
UDHI	User Data Header Indicator	informuje o přítomnosti hlavičky.
SRR	Status Report Request	Indikuje, že odesílatel požaduje doručení.
VPF	Validity Period Format	Určuje formát VP (Validity Period) bit 4 bit 3 Význam 0 0 VP pole není přítomno 1 0 VP pole je přítomno - relativní formát (1 okt.) 0 1 VP pole je přítomno - rozšířený formát (7 okt.) 1 1 VP pole je přítomno - absolutní formát (7okt.)
RD	Reject Duplicates	Určuje, zda má SMSC přijmout zprávu, která je již v SMSC uložena pod stejným referenčním číslem a stejnou cílovou adresou.
MTI	Message Type Indicator	Určuje vlastní typ PDU stejně jako v SMS-DELIVER

Tabulka 7- Popis zbylých oktantů PDU SMS-SUBMIT

Oktet	Název	Význam
MR	Message Reference	Obsahuje referenční číslo (0-255) odeslané zprávy. Toto číslo jednoznačně identifikuje danou SMS a je využita pro práci na SMSC pomocí SMS-COMMAND.
DA	Destination Address	Obsahuje adresu příjemce SMS.
PID	Protocol Identifier	Stejný jako u SMS-DELIVER.
DCS	Data Coding Scheme	Stejný jako u SMS-DELIVER.
VP	Validity Period	Specifikuje čas uložení SMS na SMSC. Řídí se polem VPF v prvním oktetu PDU. Relativní formát - délka 1 oktetu udává platnost zprávy od doručení do SMSC. Absolutní formát - délka 8 oktetu, do kterých se uloží přesný datum a čas vypršení platnosti SMS. VP nepřítomno - Platnost se nastaví na defaultní hodnotu.
UDL	User Data Length	Délka vlastních dat SMS.
UD	User data	Uživatelská data zprávy.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 KONSTRUKCE A POUŽITÍ GSM MODULŮ

Tato kapitola praktické části by měla nastínit problematiku blokové konstrukce GSM zařízení, která se využívají v zabezpečujících systémech nebo pro průmyslové využití přenosu dat po síti GSM. Budou zde prezentovány vybrané GSM moduly, které jsou dostupné na celosvětovém trhu.

4.1 GSM modul

Podle terminologie je GSM modul v podstatě jen komunikační jádro, které neobsahuje vnější periferie, ale jen vstup antény a propojovací rozhraní. Pro připojení do digitální sítě GSM je potřeba ke komunikačnímu jádru přidat část, obvykle nazývanou GSM modem, která obsahuje konektor pro vložení SIM karty vybraného operátora (v ČR jsou to T-mobile, Vodafone a O2) a základní vstupy a výstupy. Pomocí SIM karty jsme identifikováni v síti a máme povoleno využívat její komunikační kanály, které jsou tarifovány.

S rozvojem minimalizace byly tyto dvě části výrobcem integrovány do jednoho čipu a navíc rozšířeny o další technologie, které se staly standardem pro vývoj (GPRS, TCP/IP, MMS). Celý tento čip je dnes označen jako GSM modul. Uživatel má na trhu poměrně velký výběr, a proto není problém zvolit adekvátní GSM modul pro realizaci konstrukce. Nejčastěji GSM technologie využívá pro zabezpečení objektů jako součást vyšších systémů (PLC, montážní linky) nebo jako informativní prvek například u sledování výšky hladiny, obsahu zásobníků (v automatu na kávu dochází káva) a podobně.

4.2 Konstrukce a parametry GSM modulu

Bloková konstrukce modulu je pro různé výrobce takřka identická. Největší rozdíly jsou znatelné ve spotřebě energie, provedení zapouzďení, způsob montáže a připojení do modulárních systémů. V této podkapitole budou popsány dva GSM moduly pro libovolné využití a jeden více kompaktní GSM modul, který je vytvořen pro PLC (programovatelný logický automat) od firmy Insys.

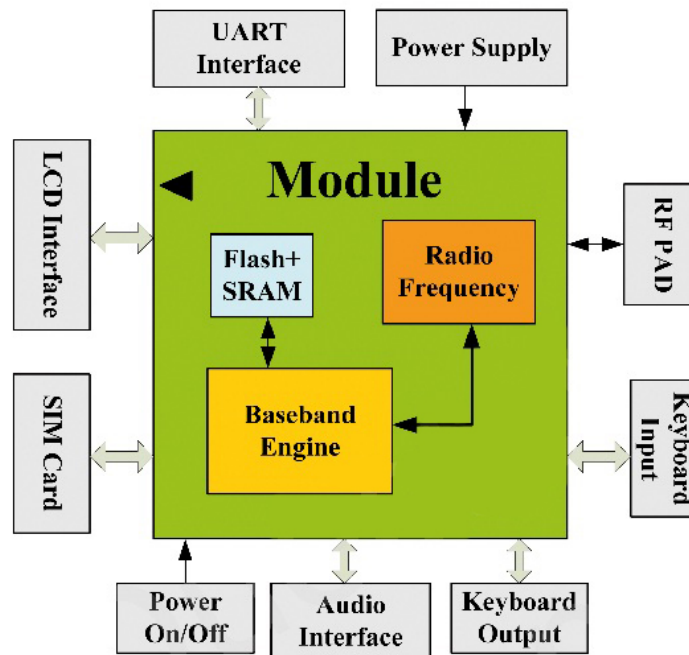
4.2.1 QUECTEL M10

Tento GSM modul pochází z katalogu čínské firmy Quectel, která se zabývá vývojem modulů s technologiemi GSM / GPRS, UMTS / HSPA a GNSS. Modul M10 je vybaven technologií GSM/GPRS a pro komunikaci s řídicím členem využívá

dvouvodičového sériového rozhraní pomocí pinů TxD, RxD a společného pinu GND (může být rozšířeno o piny RTS, CTS, DTR, DCD, RI). BaudRate komunikace není specifikována, protože má zabudovaný autobauding, ale doporučuje se 9 600 Kbit/s nebo 19 200 Kbit/s (8 bitů + stop bit). Celý modul je integrován do SMD pouzdra s 64 piny. Veškeré informace a platné AT příkazy uvádí výrobce v příloženém datasheetu. [10]

Parametry:

- Čtyřpásmové provedení: 850/ 900/ 1 800/ 1 900 MHz
- GPRS multi-slot: Class 12/10/8
- Kompatibilní s GSM: Class 4 (2W 850/ 900 MHz) a Class 1 (1W 1 800/1 900 MHz)
- Podpora hlasových služeb s odděleným výstupem pro hands-free
- Integrované datové služby: TCP/IP, HTTP, SMTP, FTP, SMS, MMS, WAP, fax
- Podpora pro LCD displej, maticovou klávesnici
- Možnost dobíjení napájecí baterie
- Telefonní seznam s funkcí vyhledávání
- Integrovaná vyzváněcí melodie
- Rozsah napájecího napětí: 3,4 až 4,5 V
- Rozsah provozních teplot: -45 °C až +85 °C
- Rozměry: 29 x 29 x 3,6 mm [10]



Obr. 16. Blokové schéma GSM modulu Quectel M10 [10]

Využití tohoto typu GSM modulu je poměrně velké a převážně bývá součástí menších konstrukcí, které pro řízení používají mikropočítač. I cena na českém trhu je poměrně přijatelná a pohybuje se okolo 350 Kč za samotný modul (SMD pouzdro). Deska osazená GSM modulem s konektory pro připojení SIM karty, antény a patičí, která usnadní mechanické upevnění do kontaktního pole nebo plošného spoje, můžeme zakoupit zhruba za 650 Kč (ceny jsou uváděny bez dph).

4.2.2 Cinterion MC55i

Pod novým obchodním názvem a dokonalejší technologií byl firmou Siemens vyvinut GSM modul, který byl dříve znám jako Siemens MC55i. Siemens je stabilní německá firma působící na trhu již od počátku vývoje GSM modulů, které později využívala ve svých mobilních telefonech. Cinterion MC55i je jeden z velkého množství GSM modulů určených pro vývojáře. Modul využívá Quad-band GSM a připojení TCP/IP pomocí technologie GPRS class 10. Velkou výhodou je zabudovaný ovladač Windows mobile™ 6 pro komunikaci s PDA nebo smartphony. Modul také umožňuje využití po celém světě, nevyjímaje USA, díky FTA (free to air) připojení. Pro sériovou komunikaci taktéž používáme asynchronních pinů TxD, RxD, GND, RTS, CTS, DTR, DCD, RING. Vývody z čipu modulu jsou vyvedeny na konektor pro systémovou sběrnici. [11]

Parametry:

- Čtyřpásmové provedení: 850/ 900/ 1 800/ 1 900 MHz
- GPRS multi-slot: Class 10
- Kompatibilní s GSM: Class 4 (2W 850/ 900 MHz) a Class 1 (1W 1 800/1 900MHz)
- Ovládání přes AT příkazy
- Integrované datové služby: TCP/IP, UDP, HTTP, SMTP, FTP, SMS, PDU, POP3
- Napájecí napětí: 3,3 – 4,8 V
- Spotřeba:

Modul vypnutý	50 μ A
Modul zapnutý	3 mA
Hovor	260 mA
GPRS	450 mA
- Základní Hands-free s nastavením hlasitosti
- Rozsah provozních teplot: -40 °C až +85 °C
- Rozměry: 35 x 32,5 x 2,95 mm
- Váha: 5,5 g [11]



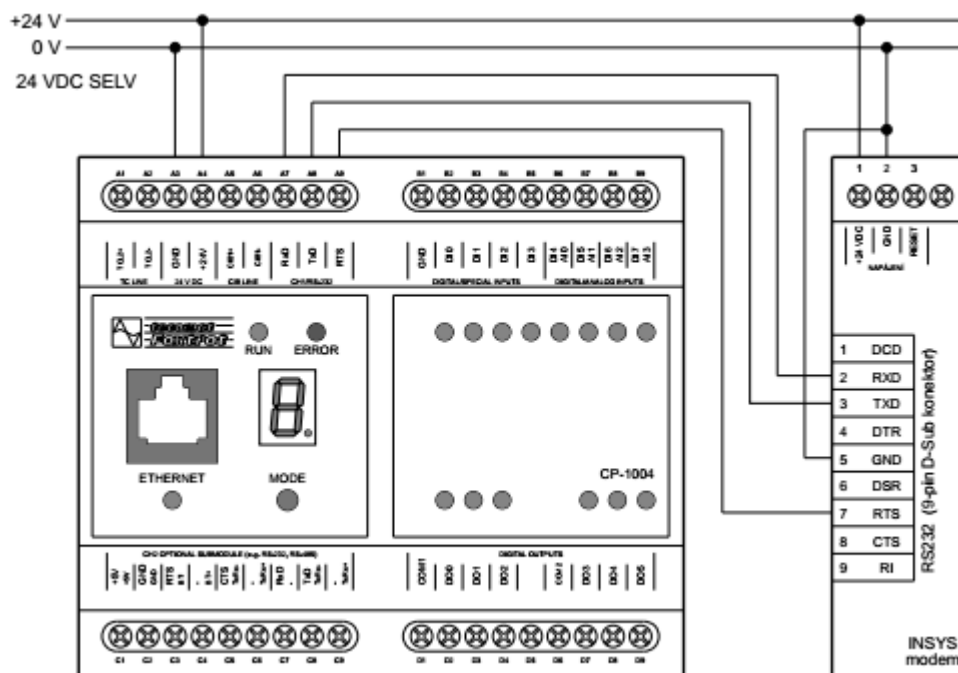
Obr. 17. GSM modul Cinterion MC55i [11]

Cinterion MC55i je tedy velice perspektivní pro své nároky na spotřebu a další výhodou je podrobný datasheet, který lze získat po registraci na webu prodejce

wirelessmodules. Cena za samotný modul, která má pouze vstupní konektor pro anténu, činní u českých prodejců průměrně 1 014 Kč bez DPH (záleží na kurzu měny).

4.2.3 INSYS GSM/GPRS small

Pro nasazení do výrobních podmínek je tento modul využíván jako SMS brána pro obousměrnou komunikaci mezi mobilním telefonem a centrální jednotkou Tecomat Foxtrot a INELS. V systémech Tecomat Foxtrot je pro příjem a odesílání SMS zpráv definována knihovna, kterou v programovacím prostředí MOSAIC vložíme do programu. Je možné modul ovládat prostřednictvím MOSAIC klasickými AT příkazy. Systémy INELS využívají ke konfiguraci program IDM, kde můžeme nastavit poměr příchozí/odchozí zprávy a až 32 různých telefonních čísel, na které může být zaslána zpráva. Modul je vyroben pro přímé připojení na DIN lištu stejně jako PLC, s kterým komunikuje přes rozhraní RS232 přes 9 pinový konektor. Je zde možnost připojení externí antény z důvodu možného rušení signálu prostředím okolo rozvaděče. [12]



Obr. 18. Připojení INSYS GSM small modulu s Tecomat Foxtrot [12]

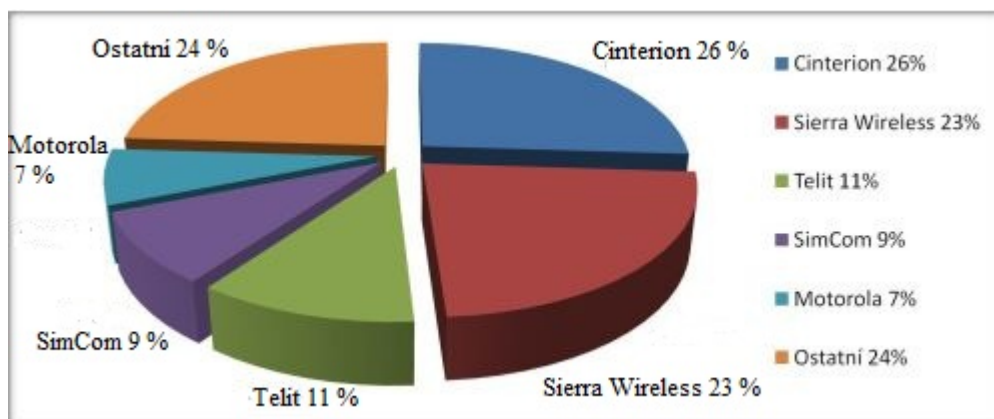
Parametry:

- GSM síť: Dual-band EGS 800 MHz, GSM 1 800 MHz
- Připojení k centrální jednotce: 1 x RS-232
- Napájecí napětí: 12 - 24 V DC /80 - 160 mA
- Pracovní teplota: 0 – 55 °C
- Elektrická pevnost: EN 60 950
- Stupeň krytí: IP20
- Rozměry: 120 x 23 x 75 mm
- Hmotnost: 125 g [12]

Z výše uvedených parametrů je zřejmé, že tento modul má ořezané funkce oproti výše uvedeným modulům, ale tyto nedostatky se kompenzují velkou odolností proti nepříznivým vlivům a nepřetržitému provozu. Cena tohoto produktu je 6 500 Kč.

4.2.4 Podíl výrobců na trhu s GSM moduly

Trh je v této oblasti velice rozmanitý a zákazník si může vybírat modul podle požadavku na technologii zpracování, velikost, spotřebu nebo komunikační rozhraní, který se nejlépe hodí pro danou aplikaci. Řada modulů různých výrobců je velice podobná, ale je třeba také zvážit postoj výrobce k reklamaci a poskytnutí dokumentace. V níže uvedeném grafu je znázorněn podíl trhu z října roku 2010, který prováděla společnost GARTNER.



Graf 1. Podíl trhu výrobců GSM modulů [13]

5 KONSTRUKCE ZABEZPEČENÍ OBJEKTU POMOCÍ GSM MODULU

V této kapitole je obsažen podrobný popis fyzického zařízení pro zabezpečení malého až středně velkého objektu pomocí GSM modulu, který je řízen mikroprocesorem MC9S08SH32 od firmy freescale. Velikost střeženého objektu je úměrná k použití čidel pro detekci narušení. V této konstrukci je použit jeden okruh, který detekuje narušení při stavu logické nuly na vstupním pinu mikroprocesoru pro střežení například chaty nebo garáže. Dále je možnost využít konstrukci ke spínání silových obvodů z každého místa, kde je GSM signál, zasláním předem definované SMS.

5.1 Mikroprocesor

Jako řídicí člen celého zařízení je zvolen 8 bit mikroprocesor MC9S08SH32 s jádrem rodiny HCS08. Mikroprocesory s tímto jádrem využívají Von Neumannovu architekturu, která používá společnou paměť pro instrukce i data se sekvenčním zpracováním, a jejich instrukční soubor je typu CISC (instrukční soubor obsahuje řadu instrukcí, které je možné naprogramovat pomocí základních instrukcí např. násobení nahradit sčítáním a bitovými posuny). Dále mají poměrně nízkou spotřebu, množství integrovaných periférií a obsahují background debug umožňující pohodlné ladění zdrojového kódu takřka v reálném čase.

5.1.1 Parametry MC9S08SH32

Procesor je umístěn v SMD pouzdře v provedení s 28 piny. Výhodou je komplexnost využití díky jeho rozsahu napájecího napětí 2,7 – 5 V. Disponuje také velkým paměťovým prostorem, který se při této aplikaci užije pro práci s kódováním do PDU formátu, a teplotním čidlem, které však není využito, ale může poskytnout vylepšení zařízení například pro udržení teploty na ochranu proti zamrznutí odpadu. Přesné parametry jsou uvedeny v tabulce č. 8. [14]

Tabulka 8- Parametry mikroprocesoru MC9S08SH32

Parametry mikroprocesoru MC9S08SH32 – 28 PIN	
CPU	8 bit HCS08, 40 MHz
Paměť	Flash – 32 768 byte
	RAM – 1 024 byte
Hodinový signál	vnitřní oscilátor: 31.25 kHz až 38.4 kHz
Napájecí napětí	2,7 - 5 V
Sériové rozhraní	asynchronní – SCI
	synchronní - SPI
	I2C
Přerušeni	TOF, KBI, SCI, SPI
I/O piny	23
Periferie	Analog komparátor
	A/D převodník
	Časovač
	Hodiny reálného času
	Dělič frekvence
	Pulzní modulátor
Provozní teplota	Rozmezí: -40 °C až +85 °C

5.1.2 Programátor freescale USB-BDM multilink

Pro nahrání programu do mikroprocesoru nebo debugování (krokování programu) je použit originální programátor s obchodním názvem USB-BDM multilink. Je určen pro programování mikroprocesorů s jádrem: RS08, HCS08, HCS12. Instalace do systému Windows 7 je jednoduchá, ovladač se nainstaluje přímo s vývojovým prostředím codewarrior nebo instalací originálního ovladače, který je součástí balení, nebo jej lze stáhnout na stránkách výrobce. Cena programátoru je asi 2 400 Kč, ale pro některé typy mikroprocesorů rodiny HCS08 lze využít Open-source verze.

5.1.3 Vývojové prostředí Codewarrior

Freescale poskytuje pro programování svých mikroprocesorů zdarma vývojové prostředí Codewarrior, které lze použít pro psaní zdrojových kódů, v jazyku symbolických adres (assembleru) nebo jazyku C. Dále umožňuje krokování programu s možností kontroly obsahu proměnných nebo registrů a nastavení periférií mikroprocesoru. V novějších verzích 10.0 a výše (nejnovější verze je nyní 10.4) je navíc možno programovat za pomoci nástroje PROCESOR EXPERT, který umožňuje objektové programování s předem definovanými funkcemi pro vybraný typ mikroprocesoru. Při založení nového projektu je

důležité vybrat programovací jazyk (viz výše uvedené), prostor pro uložení a jméno projektu, typ rozhraní pro propojení s mikroprocesorem (je na výběr řada rozhraní, ale pro tuto práci je zvolen USB-BSM) a nejdůležitější částí je vybrat z nabídky používaný mikroprocesor pro správné konfigurování registrů a dalších důležitých modulů. Zdrojový kód této práce uvedený na přiloženém CD je psán v nástroji procesor expert.

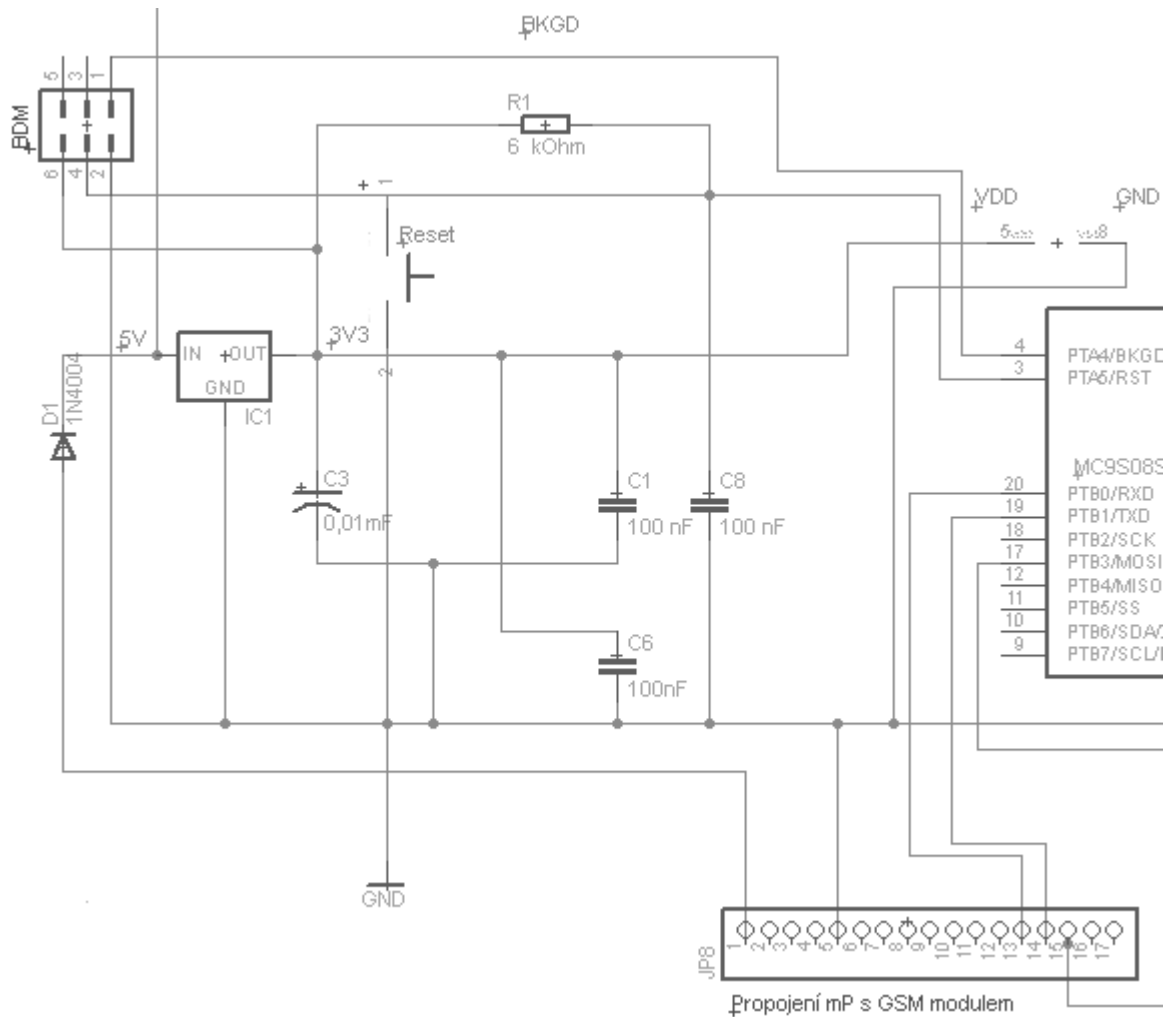
5.2 Hardwarové zapojení

5.2.1 Schéma zapojení

Schéma zapojení GSM alarmu je vytvořeno v programu EAGLE 6.3, který je možné používat bez licence s omezením velikosti plošného spoje 10 x 10 cm, ale jinak je možné využít všech nástrojů a knihoven se základními součástkami nebo si takovouto knihovnu můžeme vytvořit podle lehce dohádatelných návodů. Zapojení lze rozdělit do základních skupin, které jsou podrobně popsány níže. Celé schéma zapojení v programu EAGLE je součástí přiloženého CD.

5.2.1.1 *Napájení a komunikace*

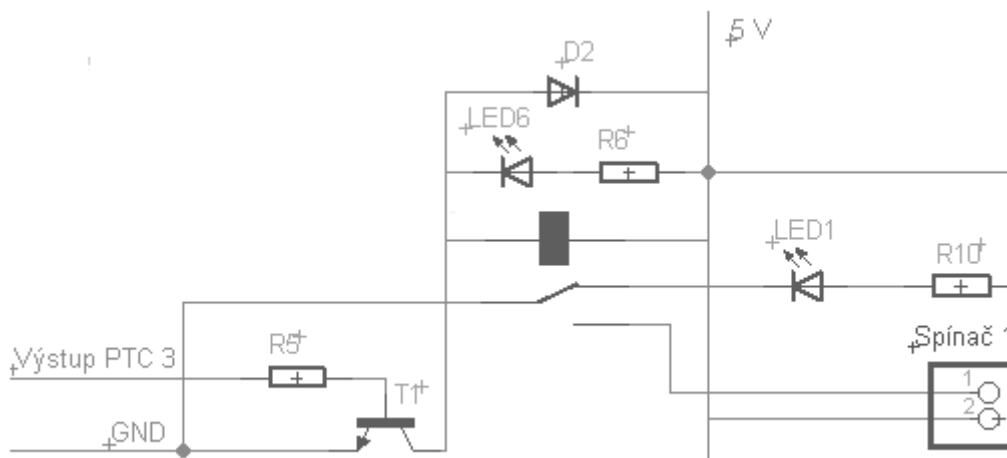
Celý obvod je napájen stabilizovaným napětím 5 V, které je přivedeno na napájecí piny GSM modulu (1,5) a je možné použít libovolný zdroj s konektorem NAK 1.7. Velikost napětí 5 V je důležitá pro spínání výstupních relé a pro napájení GSM modulu. Pro mikroprocesor je napětí upraveno stabilizátorem IC1 (LM2937ET-3,3V) na 3,3V, které je důležité pro komunikaci po sériové lince TTL 3V3. Konektor SV1 slouží k připojení programátoru USB-BSM pro komunikaci mezi PC a mikropočítačem. Tento typ programátoru potřebuje pro svoji funkci napájecí napětí mikroprocesoru, které vezme z výstupu stabilizátoru IC1. Pin mikroprocesoru TxD (19 - vysílač) je propojen s pinem RxD modulu a také pin mikroprocesoru RxD (20 - přijímač) musí být propojen s TxD na modulu. Pro start GSM modulu musí být přivedená log 1 na pin power_on, který je na konektoru JP8 označený číslem 15. Zapojení kondenzátorů C₁, C₃, C₆, C₈ a odpor R₁ vychází z datasheetu mikroprocesoru.



Obr. 19. Schéma zapojení napájení a komunikace s GSM modulem

5.2.1.2 Výstupní část

Na výstupu mikroprocesoru ve stavu log 1 je přes odpor R5 (1 k Ω) sepnut bázovým proudem tranzistor BC 337, který přivede napětí na cívku relé a to sepne. Paralelně s cívkou relé je zapojena zelená LED (*Light-Emitting Diode*), která signalizuje sepnutí relé a na konektoru JP1 se objeví napětí 5 V. V opačném případě, je-li na výstupu mikroprocesoru stav log 0, tranzistor přivede napětí na cívku, relé zůstane v defaultním stavu a na konektoru JP1 nenaměříme žádné napětí. Tento stav signalizuje červená LED. Dioda D2 (1N4004) slouží k odstranění napěťové špičky, která vzniká u cívky při rozepnutí obvodu a mohla by prorazit tranzistor a poškodit mikroprocesor.

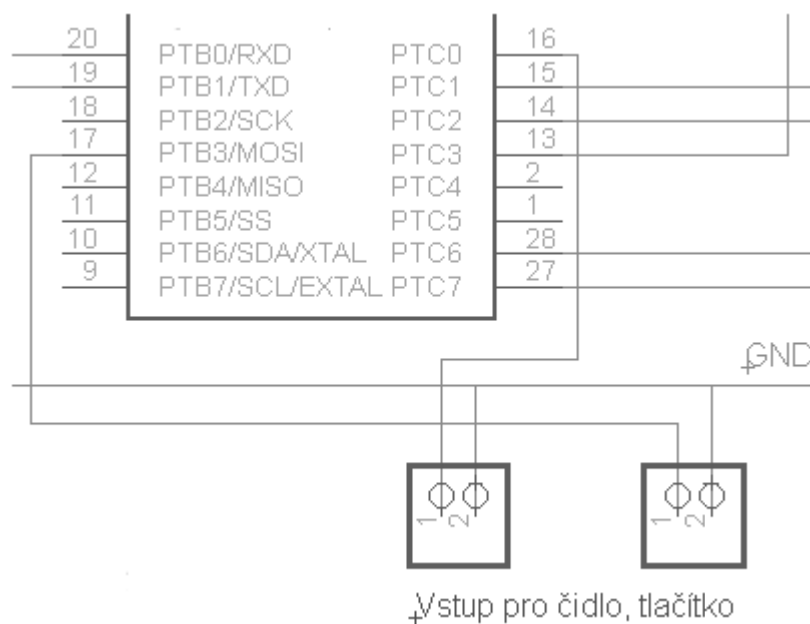


Obr. 20. Schéma zapojení výstupní části

Výstup z pinu PTC1 slouží pro přivedení log 1 na pin power_on GSM modulu, který jej uvede do provozního stavu (svítí červená LED, která signalizuje připojení do sítě GSM).

5.2.1.3 Vstupní část

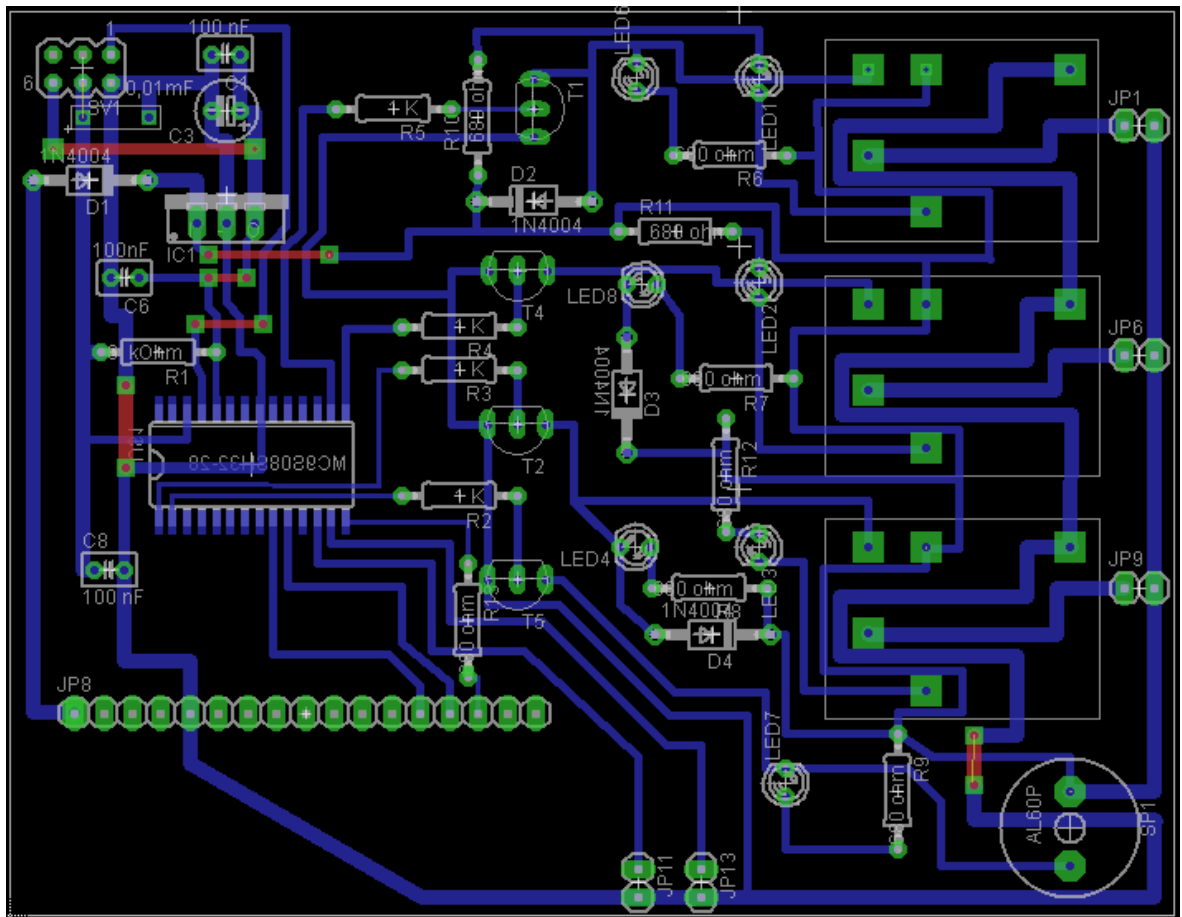
Mikroprocesor má vyvedeny dva vstupní konektory. Konektor JP12 je připraven pro připojení čidla, které při signalizaci log 0 sdělí mikroprocesoru, že objekt je narušen (pro demonstraci je použit magnetický spínač). Konektor JP11 slouží pro zrušení poplachu a je připojeno na pin PTB3, u kterého je možná obsluha přerušení KBI.



Obr. 21. Schéma zapojení vstupní části

5.2.2 Plošný spoj

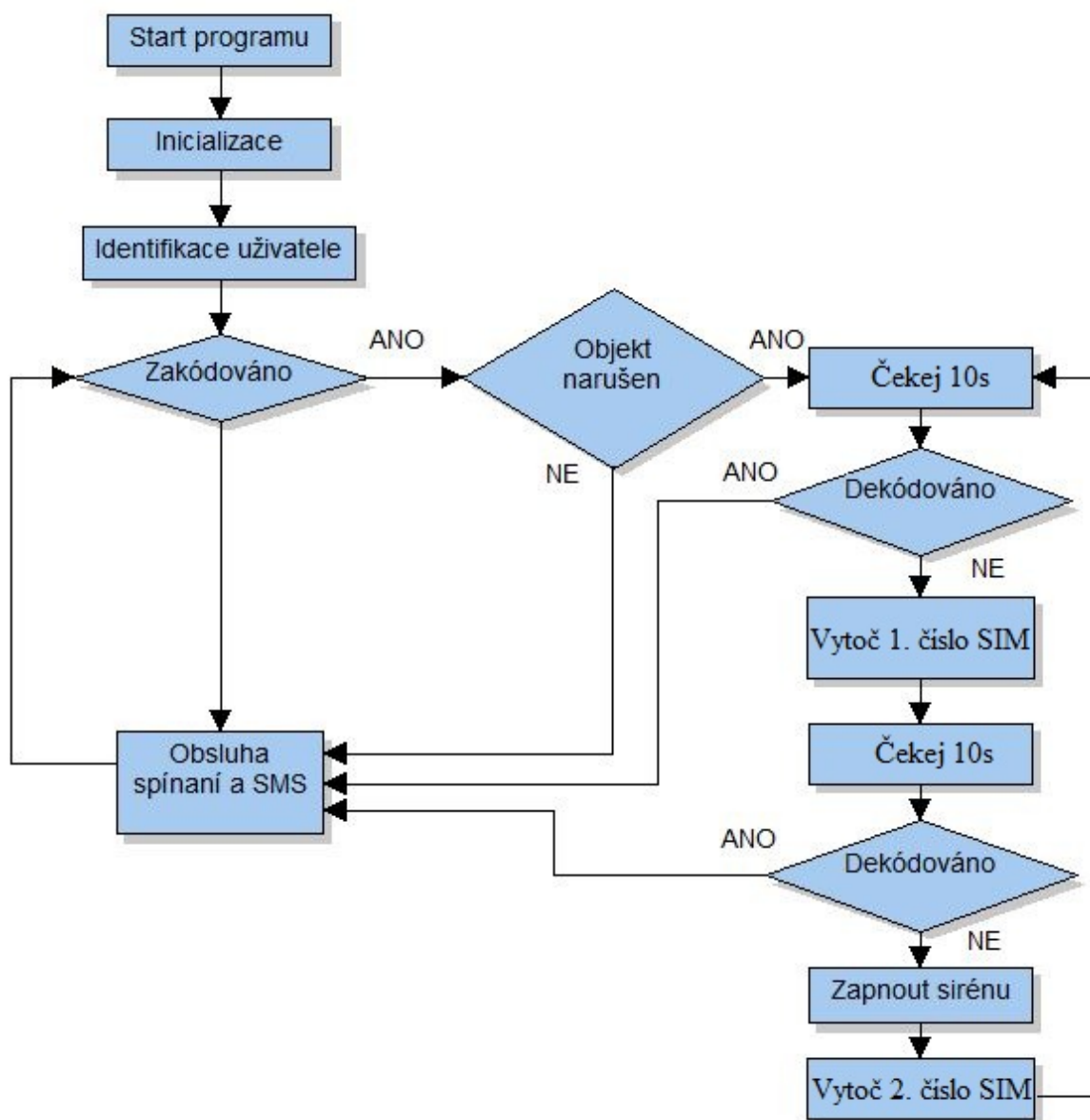
Deska plošného spoje je také vytvořena v programu EAGLE a rozmístění součástek přesně odpovídá maximální povolené velikosti 10 x 10 mm. Pro výrobu byla zvolena poměrně zastaralá metoda leptání cuprexitové desky v speciálním roztoku. Návrh plošného spoje je uveden na obrázku 22.



Obr. 22. Rozvržení součástek na plošném spoji 10 x 10 mm

5.3 Softwarové řešení

Program mikroprocesoru je jednou z hlavních částí celé konstrukce. Obsahuje hlavní funkci void main () a mnoho dalších předem definovaných funkcí: pro inicializaci vstupů/výstupů, inicializaci SCI, ovládání SCI a podprogramy, které volá hlavní funkce programu. Na obrázku 23 je graficky znázorněn vývojový diagram znázorňující logický postup programu.



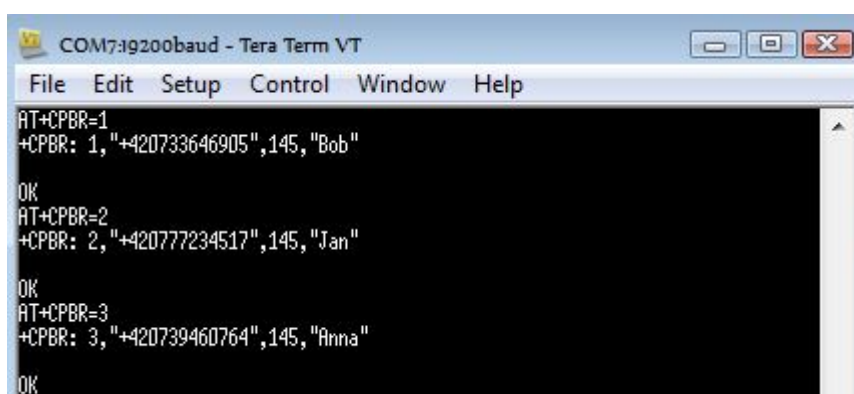
Obr. 23. Vývojový diagram

5.3.1 Inicializace

Tento blok nastavuje vstupy/výstupy mikroprocesoru a asynchronní sériovou linku SCI. Výstupy jsou inicializovány na potu PTC (piny 2, 3, 6, 7) a vstupy na pinu PTC0 a PTB3, na kterém je nastaven vektor přerušení KBI. Jednotka SCI musí mít nastavenou přenosovou rychlost „Baudrate“ 19 200 kbit/s, velikost datového bloku 8 bit (jeden znak char), jeden stop bit a kontrola parity musí být deaktivována.

5.3.2 Identifikace uživatele

Tato část kódu slouží k nastavení až tří uživatelů, na jejichž telefonní číslo bude alarm reagovat. Tyto čísla jsou uložena na SIM kartě s indexem 1, 2, 3 a po zaslání AT příkazu `AT+CPBR=index <CR>` vrátí modul textový řetězec ve tvaru: `1,"+420733646905",145,"Bob"OK`. Z tohoto řetězce vyčteme telefonní číslo, které následně uložíme do řetězce majitel1 pro další použití. Změna telefonního čísla uživatele je velice jednoduchá. Stačí pouze vložit SIM kartu do telefonu a uložit nové číslo do telefonního seznamu simkarty nebo jen změnit dříve uložený kontakt (jméno, číslo).



```

COM7:39200baud - Tera Term VT
File Edit Setup Control Window Help
AT+CPBR=1
+CPBR: 1,"+420733646905",145,"Bob"
OK
AT+CPBR=2
+CPBR: 2,"+42077234517",145,"Jan"
OK
AT+CPBR=3
+CPBR: 3,"+420739460764",145,"Anna"
OK
  
```

Obr. 24. Rozvržení součástek na plošném spoji 10 x 10 mm

5.3.3 Kódování a dekodování objektu

Uživatel má možnost pomocí tlačítka PTB3 nebo SMS ve tvaru „kod / dekod“ zakódovat / dekodovat hlídaný objekt. Při využití tlačítka má uživatel po narušení objektu 10 s na dekodování, jinak bude detekováno narušení a obvod začne vytáčet číslo majitele. Obdobně při kódování čeká obvod 10 s, než se obnoví pohotovostní stav alarmu. Defaultní stav po připojení napájecího napětí alarmu je: dekodováno.

5.3.4 Obsluha spínání SMS

Program v každé otočce cyklu odesílá do modulu příkaz „AT+CMGL=0“, který testuje, zda byla přijatá nová textová zpráva. Pokud ano, odpoví modul odesláním SMS zprávy v PDU formátu do bufferu a ukončí textový řetězec znaky „OK“. Poté se z příchozího řetězce otestuje číslo odesílatele a text zprávy se porovná v podmínce na sepnutí příslušného výstupu nebo kódování/dekodování alarmu. Jako názorná ukázka zpracování a dekodování SMS je zaslána zpráva ve tvaru „UTB ZLIN“, která je zobrazena pro vizuální představu komunikace na PC v programu TeraTerm.

```

COM4:19200baud - Tera Term VT
File Edit Setup Control Window Help
at
OK
at
OK
AT+CMGL=0
+CMGL: 2,0,,26
0791246080006568040C912470334696500000315012819481800855AA10A465269D
OK

```

Obr. 25. SMS zpráva ve formátu PDU na výstupu GSM modulu

Není-li SMS zpráva přijata, odpoví GSM modul textovým řetězcem „ERROR“. Pro účely spínání výstupů mikroprocesoru je tvar zprávy „1 ON nebo 1 OFF“, kde číslovka znamená číslo výstupu a postfix značí zapnuto/vypnuto. Nyní ukázka dekodování SMS „UTB ZLIN“.

PDU rámeček zprávy:

0791246080006568040C912470334696500000315012819481800855AA10A465269D

Textový řetězec nyní rozdělíme na 12 základních částí, které mají speciální význam:

07 91 246080006568 04 0C 91 247033469650 00 00 31501281948180 08 55AA10A465269D

Tabulka 9 - Popis jednotlivých částí řetězce

Řetězec	Význam
07	Udává počet oktetů v SMS v HEX soustavě - zde 7 oktetů
91	Udává formát následujícího tel. Číslo - 91 -mezinárodní formát
246080006568	Zakódovaný tvar čísla SMS centra z kterého zpráva přišla
04	První oktet PDU deliveru
0C	Udává délku následujícího tel. Číslo v HEX soustavě
91	Udává formát následujícího tel. Číslo - 91 -mezinárodní formát
247033469650	Zakódovaný tvar čísla odesílatele zprávy
00	PID - udává formát SMS zprávy - 00h - obyčejná SMS zpráva
00	DCS - udává kódovací schéma - 00h - 7 bitová výchozí abeceda
31501281948180	Udává datum a čas příchodu z SMS centra -
08	Udává počet znaků SMS zprávy
55AA10A465269D	Kódovaný text SMS zprávy

5.3.4.1 Dekódování textu zprávy

V poslední části textového řetězce je zakódován vlastní text zprávy „UTB ZLIN“. K dekodování musíme řetězec „55AA10A465269D“ rozdělit na dvojice znaků a převést je z hexadecimálního tvaru na binární (binární číslo musí být vždy osmimístné, jinak musíme doplnit 0 na nejvyšší pozice). Nyní u prvního byte vyjmeme 1. Bit a přidáme ho na poslední bit druhého byte. První dva bity druhého byte vyjmeme a vložíme na místo posledních dvou bit třetího byte. Tento postup se stále opakuje a pro názornost je vše graficky znázorněno v níže uvedené tabulce. Jedná se v podstatě úpravu 8 bitového řetězce na 7 bitový.

Tabulka 10 - Ukázka dekodování textu SMS zprávy

HEX	55	AA	10	A4	65	26	9D	Doplňk
8 bit	01010101	10101010	00010000	10100100	01100101	00100110	10011101	
7 bit	1010101	1010100	1000010	0100000	1011010	1001100	1001001	1001110
DEC	85	84	66	32	90	76	73	78
ASCII	U	T	B	mezera	Z	L	I	N

5.3.4.2 Zjištění odesilatele SMS

Z důvodu bezpečnosti se nejprve musí ověřit číslo odesilatele SMS zprávy, aby se zabránilo spínání obvodů z libovolného telefonního čísla. Obvod ověřuje čísla, která jsou přichystána z bloku identifikace uživatele v proměnných: majitel1, majitel2, majitel3. Tato čísla porovnáme se sedmou částí PDU rámce, kde je obsaženo číslo odesilatele zakódováno algoritmem, který přehodí dvě sousední čísla. Tento způsob je použit například i k zjištění času příchodu SMS.

2	4	7	0	3	3	4	6	9	6	5	0	zakódované číslo
4	2	0	7	3	3	6	4	6	9	0	5	originál čísla

Obr. 26. Ukázka získání telefonního čísla odesilatele SMS zprávy

ZÁVĚR

Náplní této práce bylo nastínit princip funkce telekomunikačních buňkových sítí. Hlavní pozornost byla soustředěna na síť druhé generace GSM, AT příkazy a PDU protokol. Tyto teoretické části se nejvíce pojí s praktickým návrhem alarmu s využitím GSM modulu. V praktické části je poté uveden popis GSM modulů určených pro vývoj a samotný fyzický návrh GSM alarmu s možností spínání silových obvodů SMS zprávami.

Obvod alarmu byl navržen pro GSM modul Quectel M10 řízený mikroprocesorem freescale MC9S08SH32. Cena celé konstrukce včetně modulu, desky plošného spoje 10 x 11 cm, mikroprocesoru a zbylých součástek je kolem 1 200 Kč. Oživení plošného spoje proběhlo bez komplikací, ale funkčnost GSM modulu a jeho připojení do sítě bylo velice záhadné. Napájecí napětí modulu je 4,3 V s možností připojení na zdroj 5 V, kdy je napětí sníženo zabudovanou diodou. Problém byl, že tato dioda napětí nesnížila o potřebných 0,7 V, ale pouze o 0,2 V a modul byl tedy napájen 4,8 V. Výsledkem tohoto přepětí bylo nekontrolovatelné, zmatené chování modulu a neschopnost navázat spojení s mikroprocesorem pomocí AT příkazů. Po tomto náhodném zjištění jsem snížil, pomocí křemíkové usměrňovací diody, napájecí napětí na 4,12 V. Modul tedy funguje jak má a komunikuje přes piny TxD a RxD s mikroprocesorem. Z neznámého důvodu se však občas stane, že příjem odpovědi z modulu není identifikován. Není zřejmé, zda je problém na straně modulu či mikroprocesoru, ale je pravděpodobné, že tyto náhodné výpadky jsou zapříčiněny dřívějším dlouhodobým přepětím. Při řešení problémů bylo takřka nemožné se spojit s dodavatelskou firmou Pandatron, která nebrala telefony, ani neodpověděla na emaily, a proto je zjištění závad časově náročné. Jako napájecí napětí celé konstrukce je nyní tedy možné využít libovolného stabilizovaného zdroje 5 V. Napětí mikroprocesoru je poté sníženo stabilizátorem na 3,3 V z důvodu komunikace po sériové lince v TTL úrovních.

Obvod i program je tedy otestovaný, funkční a připravený pro použití k zabezpečení menších až středně velkých objektů. Předností alarmu je jeho jednoduchost. V budoucnu by bylo možné obvod vylepšit přidáním kvalitních čidel pro detekci narušení, přidáním maticové klávesnice k možnosti zadání číselného kódu a aplikaci přídatné záložní baterie, která zajistí odolnost vůči výpadkům energie. Na přiloženém CD je k dispozici schéma zapojení, plošný spoj navržen v programu Eagle a zdrojový kód vytvořený nástrojem pro programování mikroprocesorů Freescale codewarrior.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The purpose of this final work was to outline the principle of the telecommunication cell network. The attention was focused on second generation GSM networks, AT orders and PDU protocols. These theoretical parts are connected with the practical alarm construction using GSM modules. In the practical part is mentioned the description of GSM modules determined for development and the GSM alarm construction itself and the possibility of use the switching of the power circuits by SMS messages.

The alarm circuit was designed for GSM module Quectel M10 controlled by freescale MC9S08SH32 microprocessor. The whole construction price includes the module, the printed circuit board 10 x 11 cm, microprocessor and rest of the devices, and is about 1200 CZK. Printed circuit board revive was carried out without any complications, but the GSM module function and its network connection was very mysterious. Module power voltage is 4,3 V and its possible to connect it to power of 5 V, whereas the power voltage is decreased by diode that is built in. The difficulty was that this diode did not reduce this voltage to 4,3 V, but only to 4,8 V. As a result of this voltage, were uncontrolled and confused reactions and inability to connect the microprocessor by using the AT orders. After this finding, I decreased power voltage to 4,12 V by silicon diode. Module communicates with microprocessor throughout pins TxD and RxD. The unknown reason caused that sometimes the receiving of the answer from the module is not identified. It is not obvious where the problem is - if on the module side or on the side of the microprocessor. But most likely the random failures are caused by earlier too long overvoltage. When I was trying to solve this problem, it was impossible to connect with the supplier Pandatron. This supplier answered neither my phones nor emails. Therefore searching for these faults was time-consuming. In the present days it is possible to use any of stable power supplies 5V as power voltage of whole construction. The voltage of the microprocessor is decreased by stabilizer to 3,3 V in TTL levels because of serial communication.

The power circuit and the program were tested, working and ready to use for security of smaller size to midsize buildings. The advantage of this alarm is its simplicity. In the future would be possible to improve the power circuit by adding high-quality sensors for intrusion detection, by adding matrix keyboard would be possible to enter the number code and additional reserve battery application. This application ensures the power failure

resistance. The schema for plugging in is available on the attached CD, printed circuit designed in Eagle program and the source code designed by tool for programming of Freescale codewarrior microprocessors.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Z historie sdělovací techniky. PETERKA, Jiří. *EArchiv.cz: Články* [online]. Computerworld, 1994 [cit. 2013-06-04]. Dostupné z: <http://www.earchiv.cz/a94/a404c501.php3>
- [2] BEN. Telekomunikace a VoIP telefonie. 1. vyd. Praha: BEN, 2006. ISBN 80-7300-201-9. Dostupné z: <http://shop.ben.cz/121737>
- [3] KAPOUN, Vladimír. Digitální ústředny. 1. vyd. Brno: FEI VUT, 1998, 54 s. ISBN 80-720-4089-8.
- [4] Historie mobilní komunikace. RAMBOUSEK, Adam. Fakulta Informatiky Masarykovy Univerzity [online]. 2003 [cit. 2013-06-04]. Dostupné z: http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2003/xrambous_index.htm
- [5] Mobilní sítě. BEČVÁŘ, Zdeněk, Pavel MACH a Ivan PRAVDA. Improvet [online]. Technická 2, Praha 6: České vysoké učení technické v Praze, 2009 [cit. 2013-06-04]. Dostupné z: http://improvet.cvut.cz/project/download/C4CZ/Mobilni_site.pdf
- [6] RICHTR, Tomáš. Technologie pro mobilní komunikaci [online]. 19. 1. 2002 [cit. 2013-06-04]. Dostupné z: <http://tomas.richtr.cz/mobil/index.htm>
- [7] HANUS, Stanislav. Bezdrátové a mobilní komunikace. 1. vyd. Brno: VUT, 2001, 134 s. ISBN 80-214-1833-8.
- [8] MOLNÁR, Jiří: Návrh sítě UMTS Hodonína a okolí, diplomová práce, 2003. Dostupné z: <http://www.umts.wz.cz/start.htm>
- [9] PDU formát SMS zpráv. STRAKA, Jan. ČVUT FEL [online]. Praha, 2005 [cit. 2013-06-04]. Dostupné z: http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK06_semestralky/PDUformatSMS_zprav_StrakaJ.pdf
- [10] GSM/GPRS M10. QUECTEL. Quectel: Wierless Module Expert [online]. 2012 [cit. 2013-06-04]. Dostupné z: <http://www.quectel.com/product/prodetail.aspx?id=14>
- [11] Migration from MC55/MC56 to MC55i. SIEMENS. Siemens [online]. 1. vyd. 2007 [cit. 2013-06-04]. Dostupné z:

http://read.pudn.com/downloads157/ebook/699844/MC38I/mc55i_migration_v01.pdf

- [12] INSYS GSM. TECOMAT. *Automatizace, IT, Smart Grid* [online]. 1. vyd. 2009 [cit. 2013-06-04]. Dostupné z: http://www.tecomat.com/wpimages/other/DOCS/cze/PRINTS/Cat_Foxtrot-CZ-datasheets/Foxtrot-CZ-INSYS.pdf
- [13] Jak si vybrat nejlepší GSM modul. SELECTRON. *Selectron* [online]. 2010 [cit. 2013-06-04]. Dostupné z: <http://www.sectron.cz/home/novinka/268-jak-si-vybrat-nejlepsi-gsm-modul-.html>
- [14] Freescale datasheet. FREESCALE SEMICONDUCTOR. [Www.freescale.com](http://www.freescale.com) [online]. 2008 [cit. 2013-06-04]. Dostupné z: http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC9S08SH32.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SMS	Short message service – Služba krátkých textových zpráv
GSM	Groupe Spécial Mobile - Globální Systém pro Mobilní komunikaci
ISDN	Integrated Services Digital Network - Digitální síť integrovaných služeb
VoIP	Voice over Internet Protocol - přenos digitalizovaného hlasu přes internetové protokoly
IP	Internet Protocol - protokol síťové vrstvy
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol - primární transportní protokol/protokol síťové vrstvy
Pc	Personal komputer – Osobní počítač
FDMA	Frequency Division Multiple Access - vícenásobný přístup na principu kmitočtového dělení
TDMA	Time Division Multiple Access - vícenásobný přístup na principu časového dělení
CDMA	Code Division Multiple Access - vícenásobný přístup na principu kódového dělení
MS	Mobilní stanice
BSS	Subsystem základových stanic
NSS	Síťové spínací stanice
HLR	Home Location Register - domovský lokační registr
VLR	Visitor Location Register - Návštěvnický lokační registr
EIR	Equipment Identity Register - Identifikační registr mobilních stanic
PIN	personal identification number - osobní identifikační číslo
PUK	Personal Unlocking Key - osobní odblokovací kód
GPRS	General Packet Radio Service – přenos dat na mobilní telefon
CSD	Circuit Switched Data – přepojování okruhu dat

EDGE	Enhanced Data for GSM Evolution - zvýšené přenosové rychlosti pro GSM
SGSN	Gateway GPRS Support Node – datové přenosy mezi GSM sítí a základovou stanicí
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data - přepojování okruhu dat s vysokou rychlostí
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System – Univerzální telekomunikační mobilní systém
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network - UMTS rádiové přístupové sítě
CN	Core Network – Páteřní síť
TDD	Time Division Duplex – Časově dělený duplex
FDD	Frequency Division Duplex – Frekvenčně dělený duplex
PDU	Protocol Data Unit – Jednotka datového protokolu
PLC	Programmable Logic Controller – Programovatelný logický automat
FTA	Free To Air – Volně vysílaný
TxD	Transmit Data – Posílání dat
RxD	Receive Data – Příjem dat
GND	Ground – Signálová zem
RTS	Request to Send – Požadavek na vyslání
CTS	Clear to Send – povolení k vyslání
DTR	Data Terminal Ready – signalizuje připravenost
DCD	Data Carrier Detect – Detekce nosného signálu
RI	Ring Indicator – signalizace příchozího hovoru
TTL	transistor-transistor-logic - tranzistorově-tranzistorová logika
CISC	Complex Instruction Set Computer – Komplexní sada strojových instrukcí

SMD	Surface-mount device – Součástka pro povrchovou montáž
SCI	Scalable Coherent Interface – Asynchronní sériová sběrnice
KBI	Keyboard Interrupt Module – vektor přerušení od tlačítka
SIM	subscriber identity module – Účastnická identifikační karta
LED	Light-Emitting Diode – Dioda emitující světlo

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Grafické znázornění telefonních sítí	11
Obr. 2. Grafické znázornění první mobilní sítě	16
Obr. 3. Grafické znázornění buňkové sítě sdružované do svazků	17
Obr. 4. Grafické znázornění sektorizace buňkových sítí	18
Obr. 5. FDMA v trojrozměrném grafu	19
Obr. 6. TDMA v trojrozměrném grafu	19
Obr. 7. CDMA v trojrozměrném grafu	20
Obr. 8. Architektura sítě GSM	22
Obr. 9. Zpracování signálu v síti GSM	24
Obr. 10. Kódování GSM signálu	25
Obr. 11. prokládání GSM signálu	26
Obr. 12. Architektura sítě UMTS	29
Obr. 13. Frekvenční pásma sítě UMTS	30
Obr. 14. Struktura formátu PDU SMS-DELIVER	33
Obr. 15. Struktura formátu PDU SMS-SUBMIT	34
Obr. 16. Blokové schéma GSM modulu Quectel M10.....	39
Obr. 17. GSM modul Cinterion MC55i	40
Obr. 18. Připojení INSYS GSM small modulu s Tecomat Foxtrot	41
Obr. 19. Schéma zapojení napájení a komunikace s GSM modulem.....	46
Obr. 20. Schéma zapojení výstupní části	47
Obr. 21. Schéma zapojení vstupní části	47
Obr. 22. Rozvržení součástek na plošném spoji 10 x 10 mm.....	48
Obr. 23. Vývojový diagram	49
Obr. 24. Rozvržení součástek na plošném spoji 10 x 10 mm.....	50
Obr. 25. SMS zpráva ve formátu PDU na výstupu GSM modulu.....	51
Obr. 26. Ukázka získání telefonního čísla odesílatele SMS zprávy	52

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Tabulka výkonových tříd MS.....	23
Tabulka 2 - Příklad základních AT příkazů.....	31
Tabulka 3 - Typy PDU.....	32
Tabulka 4 - Bloky prvního oktantu PDU SMS-DELIVER 4	33
Tabulka 5 - Popis zbylých oktantů PDU SMS-DELIVER.....	34
Tabulka 6 - Bloky prvního oktantu PDU SMS-SUBMIT	35
Tabulka 7 - Popis zbylých oktantů PDU SMS-SUBMIT	35
Tabulka 8 - Parametry mikroprocesoru MC9S08SH32.....	44
Tabulka 9 - Popis jednotlivých částí řetězce	51
Tabulka 10 - Ukázka dekodování textu SMS zprávy	52

SEZNAM PŘÍLOH

- P I Schéma zapojení GSM alarmu
- P II Seznam použitých součástek
- P III Fotodokumentace
- P IV Elektronické přílohy na přiloženém CD

PŘÍLOHA P II: SEZNAM POUŽITÝCH SOUČÁSTEK

	Počet kusů	Typ	Reference
1	3	100 nF	C1, C2, C3
2	1	10 μ F	C4
3	1	6 k Ω	R1
4	4	1 k Ω	R2, R3, R4, R5
5	7	680 W	R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12
6	4	D1N4004	D1, D2, D3, D4
7	3	LED červená	LED1, LED2, LED3
8	4	LED zelená	LED4, LED5, LED6, LED7
9	1	MC9S08SH32	Mikroprocesor
10	1	LM2937ET-3,3	IC 1
11	4	BC 337	T1, T2, T3, T4
12	3	LT-056	Relé1-3
13	5	Pinhead 1x2	JP1, JP2, JP3, JP4, JP5
14	1	Pinhead 2x3	JP6
15	1	Patice 1x17	JP7
16	1	Siréna	Siréna
17	1	tlačítko	Reset
18	1	Quectel M10	GSM modul

PŘÍLOHA P III: FOTODOKUMENTACE

