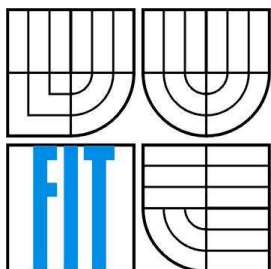


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

EMULÁTOR TELEFONNÍ ÚSTŘEDNY

Emulator of telephone exchange

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Raur

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. František Ščuglík Ph.D

BRNO 2012

Abstrakt

Tato práce tvoří úvod do problematiky GSM systému. Uvádí základní informace o jeho struktuře, aktivních prvcích, používaných protokolech a signalizačních zprávách. Obsahuje návrh struktury pro emulátor telefonní ústředny.

Klíčová slova

GSM, SS7, SIGTRAN, ISUP, MTP, M3UA SCTP, telefonní ústředna

Abstract

This work is an introduction to the GSM system. It gives basic information about its structure, active elements, used protocols and signalling messages. It contains a proposal for structures for emulator of telephone exchange.

Keywords

GSM, SS7, SIGTRAN, ISUP, MTP, M3UA SCTP, telephone exchange

Citace

Raur Martin: Emulátor telefonní ústředny. Brno, 2012, semestrální práce, FIT VUT v Brně.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Františka Ščuglíka, Ph.D.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....
Martin Raur

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu Ing. Františku Ščuglíkovi, Ph.D. za odborné vedení a poskytnuté rady při tvorbě této práce.

© Martin Raur, 2012.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

Obsah.....	1
1 Úvod.....	3
2 Historie a vývoj mobilní komunikace.....	4
2.1 Základy a prvopočátky radiové komunikace.....	4
2.2 Počátky mobilních sítí.....	4
2.2.1 První generace mobilních sítí.....	4
2.2.2 Druhá generace mobilních sítí	5
2.2.3 Třetí generace mobilních sítí.....	6
3 Systém GSM	6
3.1 Architektura systému.....	7
3.2 Identifikace a lokalizace MS	9
3.3 Typy kanálů systému GSM	11
4 Signalizace	14
4.1 Základní rozdělení.....	14
4.2 SS7	15
4.2.1 Protokolový model SS7	15
4.2.2 Přenosová část – Message Transfer Part (MTP).....	16
4.2.3 Uživatelská část	18
4.3 SIGTRAN.....	20
4.3.1 Protokolová sada SIGTRAN.....	21
4.3.2 Transportní protokol SCTP.....	22
4.3.3 Adaptační protokol M2PA	23
4.3.4 Adaptační protokol M2UA	24
4.3.5 Adaptační protokol M3UA	25
4.3.6 Adaptační protokol SUA.....	26
5 Analýza a návrh systému	27
5.1 Upřesnění požadavků	27
5.2 Model komunikace	28
5.3 Zprávy ISUP.....	29
5.4 Model architektury emulátoru ústředny	34
5.5 Modely interakce emulátoru ústředny	37
5.6 Návrh emulátoru stanice.....	39
6 Implementace	41
6.1 Kodování/dekodování zpráv ISUP	41

6.1.1	Kompozice zpráv	42
6.1.2	Kompozice parametrů	45
6.2	Kodování/dekodování zpráv adaptační vrstvy M3UA	47
6.3	Emulátor telefonní ústředny	49
6.4	Testování	51
7	Závěr	54
	Literatura	55
	Seznam použitých zkratk	57
	Seznam příloh	59
	Příloha 1: Kódy používané pro parametr Message Type	60
	Příloha 2: Kódy používané pro parametr Backward Call Indicators	62
	Příloha 3: Deklarace použitých struktur	64
	Příloha 4: Obsah CD	66

1 Úvod

Dnes v 21. století je mobilní komunikace brána jako nedílná součást života ve všech vyspělých zemích. Na službu, která byla původně primárně navržena pro přenos hlasu, tedy pro uskutečnění telefonního hovoru z mobilní stanice, jsou dnes kladeny mnohem vyšší nároky. Veliká a stále vzrůstající obliba mobilní komunikace vede ke stálému zvyšování nároků na propustnost a s tím související i nároky na potřebnou signalizaci. Tyto nároky zvyšuje i stále rostoucí poptávka pro multimediálních službách a připojení k internetu. Tento vývoj umocňují i výrobci tzv. „chytrých“ telefonů, tyto telekomunikační stanice nabízejí širokou škálu uživatelských služeb a telekomunikační sítě musí s tímto trendem držet krok.

Tato práce bude zaměřena na hlavní principy a prvky GSM sítě. Detailně se bude zabývat moderní signalizací, kterou tyto telekomunikační sítě používají. Umožní náhled na nejdůležitější protokoly a signalizační zprávy, které se pro tuto signalizaci používají. Bude zde prezentován model signalizace pro navázání telefonního hovoru a návrh signalizační části telefonní ústředny implementující tuto část signalizace.

První kapitola s názvem Historii a vývoj mobilní komunikace se bude zabývat historickým vývojem telekomunikačních sítí. Stručně popisuje počáteční pokusy o komunikaci prostřednictvím elektromagnetických vln. Následující vývoj telekomunikačních sítí se rozděluje do jednotlivých generací. Každá generace je charakterizována hlavními použitými technologiemi, principy, vlastnostmi a službami, které poskytovaly.

Druhá kapitola je zaměřena na celosvětově nejrozšířenější telekomunikační systém GSM. Je zde popsána architektura systému, jeho dělení na subsystémy a jejich nejdůležitější aktivní prvky. Uvedeme zde jejich úlohu v systému GSM. Seznámíme se způsobem identifikace a lokalizace mobilní stanice. Uvedeme rozdělení frekvenčních kanálů systému GSM, jejich vlastnosti a použití.

Ve třetí kapitole se blíže seznámíme s potřebou signalizace a její úlohu při spravování telekomunikační sítě. Zavedeme základní rozdělení signalizace. Detailněji se zaměříme na signalizační systém SS7, na jeho části a protokoly, které používá.

V následující kapitole nazvané SIGTRAN se blíže seznámíme s protokolovou sadou SIGTRAN. Její transportní a adaptační protokoly, určené k přenosu signalizačních zpráv systému SS7 přes IP síť. Zavedeme si protokol SCTP, který nahrazuje, pro přenos signalizace, nevyhovující protokol TCP. Stručně si popíšeme funkci jednotlivých adaptačních protokolů protokolové sady SIGTRAN.

Kapitola nazvaná analýzy a návrh systému, je zaměřena na návrh telefonní ústředny, které bude implementovat adaptační protokoly protokolové sady SIGTRAN k přenosu signalizace, umožňující navázání hovoru. Upřesníme požadavky na tento systém, seznámíme se s modelem komunikace a jednotlivými signalizačními zprávami. Provedeme návrh architektury emulátoru telefonní ústředny.

2 Historie a vývoj mobilní komunikace

2.1 Základy a prvopočátky radiové komunikace

Základy radiových přenosů položili v druhé polovině 19. století vědci J. C. Maxwell a M. Loomis. J. C. Maxwell v roce 1864 zveřejnil teoretickou práci, ve které došel k závěru, že světlem, elektřinou a magnetismem lze přenášet jako vlnové záření. V roce 1865 M. Loomis uskutečnil první pokus, kde na vzdálenost 18 mil přenášel pomocí části telegrafu morseovku zakódovanou do různých hodnot elektrického proudu.

První oficiálně uznaný systém pro bezdrátový mobilní přenos sestrojil a zprovoznil Guglielmo Marconi. V roce 1901 přenesl signál přes Atlantický oceán a rádio se tak začalo úspěšně používat v lodní dopravě. Tento systém byl používán pouze pro přenos telegrafních kódů, ale ne hlasu.

Roku 1910 zprovoznil Švéd L. M. Ericsson (zakladatel firmy Ericsson) pravděpodobně první mobilní telefon, který byl instalován v automobilu.

Počátkem dvacátých let se v USA začaly používat mobilní radiové stanice, které fungovaly v pásmu 2 MHz. Používaly je pouze policejní a vojenské složky a většinou šlo pouze o přijímače. V roce 1921 bylo zprovozněno první auto s radiopřijímačem morseovky a o sedm let později již přenášely také hlas.

První řešení pro veřejnost představily společnosti AT&T a Southwestern Bell 17. června 1946 v Saint Louis. Byly to radiotelefony montované do automobilů, které používaly šest kanálů v pásmu 150 MHz.

2.2 Počátky mobilních sítí

V roce 1947 zveřejnili D. H. Ring a W. R. Young první článek popisující principy mobilní celulární sítě (dnešní síť GSM). V roce 1977 FCC povolil Bell System a AT&T spustit testovací provoz první mobilní sítě.

2.2.1 První generace mobilních sítí

Analogové mobilní systémy první generace se soustředily na přenos hlasu, používaly převážně frekvenční modulaci, přístupovou metodu FDMA a duplexní přenos FDD. Do první generace řadíme systémy:

- AMPS (Advanced Mobile Phone Service) – spuštěna v USA v roce 1978, pracovala na frekvenci 800 MHz a bylo v ní možno používat zařízení různých výrobců.
- NMT450 (Nordic Mobile Telephone System) - spuštěna ve skandinávských zemích roku 1981, pracující na frekvenci 450 MHz.
- TACS – spuštěna ve Velké Británii roku 1985 na frekvenci 900 MHz
- C-Netz – spuštěna v západním Německu a Rakousku na frekvenci 450MHz

Tyto systémy měly závažné nedostatky. Mezi hlavní patří:

- Nízká kvalita přenosu
- Slabé zabezpečení proti odposlechu
- Plýtvání frekvenčním pásmem
- Nekompatibilita jednotlivých systémů (neexistující roaming mezi systémy znemožňuje úplnou mobilitu uživatele)

V roce 1982 proto Evropská komise pro pošty a telekomunikace spustila projekt Groupe Spéciale Mobile (GSM), která měla vyvinout celoevropskou mobilní telefonní síť. Bylo rozhodnuto, že nová síť bude plně digitální a bude pracovat na frekvenci 900 MHz. K tomuto rozhodnutí se připojili i společnosti v USA a vznikl standard IS-54B.

2.2.2 Druhá generace mobilních sítí

Digitální systémy působící od poloviny 90. let se soustřeďují na hlasové služby, jsou to tyto systémy:

- GSM(Global System for Mobile Communications) – celosvětově nejúspěšnější systém, založená na systému NMT, využívá přístupovou metodu TDMA spolu s FDMA
- D-AMPS – nasazen v USA, digitalizovaný nástupce AMPS, využívající přístupovou metodu TDMA spolu s FDMA
- PDC - nasazen v Japonsku, digitální přenos signálu, využívající přístupovou metodu TDMA spolu s FDMA
- CDMA ONE – nasazen v USA, digitální systém s přístupovou technologií CDMA

Ke spuštění prvních GSM sítí došlo v průběhu roku 1992. Využívá se digitálního přenosu signálu. Systémy se z velké části soustředí na služby umožňující přenos hlasu.

Roku 1995 byl definován standard GSM Phase 2. Tento standard reaguje na zvyšující se poptávku po datových službách, zavádí tedy nové služby pro datové přenosy (GPRS,HSCSD). Používají se pásma 900 MHz i 1800 MHz, přičemž většina mobilních telefonů dokáže pracovat v obou pásmech a přepínají se podle momentální dostupnosti a kvality signálu. Tyto systémy zavádí paketově orientovaný přenos, a změnu modulace, tvoří přechod mezi druhou a třetí generací, proto je někdy označujeme jako tzv. systémy 2.5 generace. Mezi tyto systémy řadíme:

- GPRS (General Packet Radio Service) – nástavba systému GSM, zavádí datově orientovaný přenos,
- EDGE – modernizace GPRS, zavádí změnu GMSK modulace na PSK ,
- CDMA20001x - vylepšená varianta CDMA ONE, zavádí datové služby a změnu modulačního schéma.

2.2.3 Třetí generace mobilních sítí

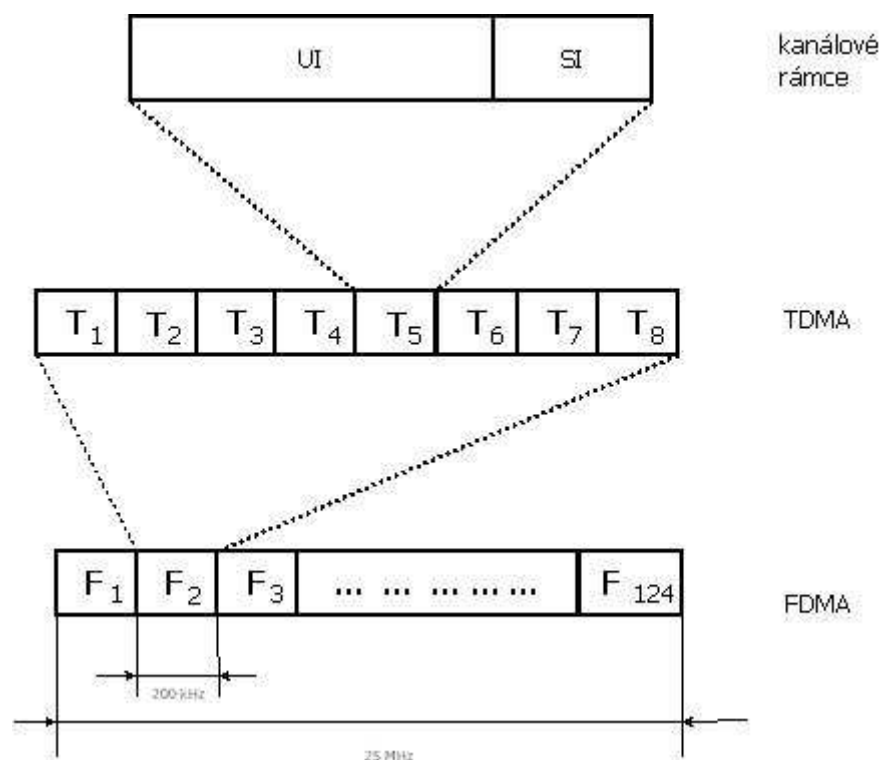
Třetí generace mobilních systémů se soustředí na poskytování širokopásmového připojení. Nejedná ovšem o jedinou technologii, ale o celou skupinu nových technologií. Uvedeme si ty hlavní a nejznámější technologie třetí generace:

- UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) - Systém třetí generace UMTS by měl podporovat všechny služby zamýšlené pro pevné širokopásmové sítě (B-ISDN). Na rozhraní mezi mobilní stanicí a sítí se bude využívat pro přenos dat na principu CDMA (Code Division Multiple Access). Jedná se o metodu, kde je možné celé frekvenční pásmo ve stejném čase sdílet více účastníky pomocí kódového dělení. Účastníci budou komunikovat se sítí za využití WATM (Wireless Asynchronous Transfer Mode), které umožňuje garantovat požadovanou kvalitu služby. Zajímavá vlastnost UMTS je také to, že jako první systém umožňuje mezinárodní handover.
- IMT-2000 (International Mobile Telecommunications - 2000) jde o systémy, které budou pracovat v 2 GHz pásmu a které sjednotí různé bezdrátové přístupové technologie současnosti do jedné pružné a výkonné infrastruktury schopné nabídnout široký rozsah multimediálních služeb s garantovanou kvalitou.[14]

3 Systém GSM

GSM je v dnešní době nejrozšířenějším mobilním telekomunikačním systémem na světě. Patří do skupiny DCS (digital cellular system) systému. Tyto systémy pokryjí oblast základnovými stanicemi tzv. BTS. Oblast pokrytá jednou stanicí je označována jako buňka.

Pracuje na frekvenci 900/1800/1900MHz . používá kmitočtový duplex FDD. Pro přístup k médiu využívá kombinaci metod FDMA a TDMA. Frekvenční pásmo je rozděleno na kanály o šířce 200 KHZ metodou FDMA. Pro přístup v rámci jednoho kanálu je použita metoda TDMA. Kanál je dělen na 8 úseků tzv. slotů. Každý slot představuje jeden uživatelský kanál. Používá modulaci GMSK, bitová rychlost je 270 kbit/s. Teoretický dosah GSM je 35km.

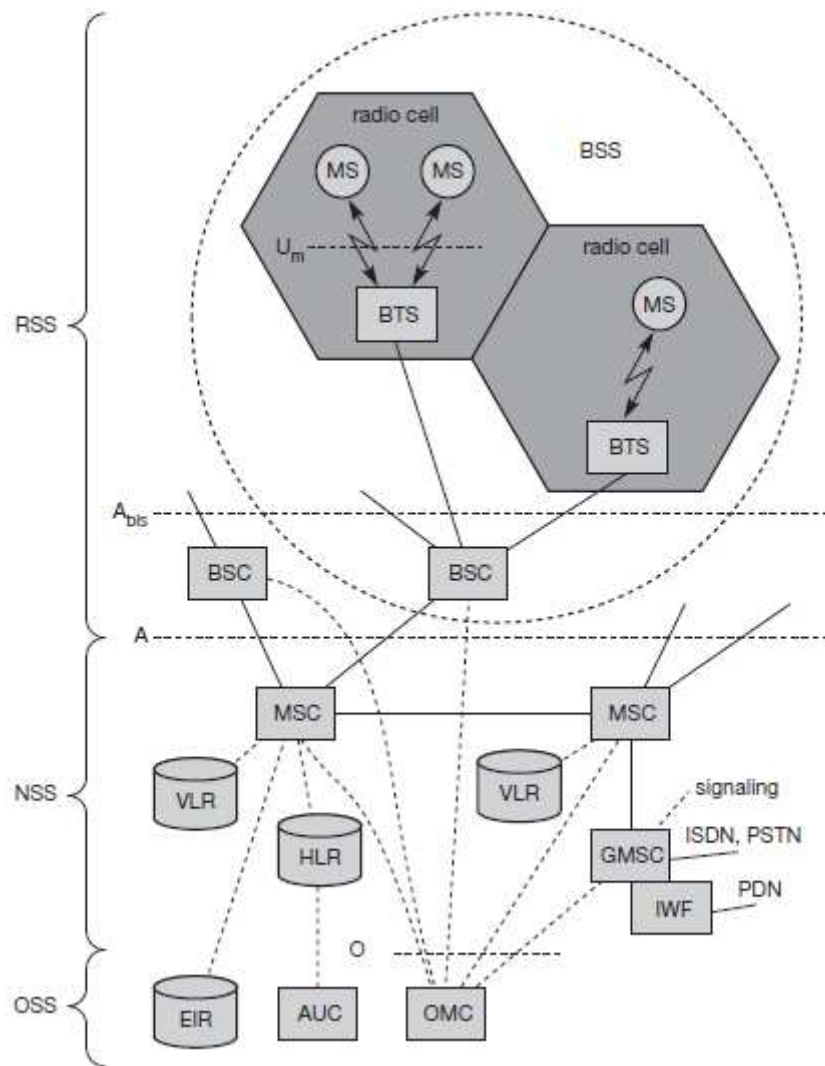


Obrázek 1 - struktura rámce systému GSM, zdroj: [9]

3.1 Architektura systému

- **RSS** (radio station subsystem) – radiový subsystém zahrnuje všechny radiové komponenty, které zajišťují komunikaci přes radiové rozhraní, skládá se z několika subsystémů BSS.
 - **BSS** (base station subsystem) – subsystém základnových stanic, zajišťující komunikaci mobilních stanic přes radiové rozhraní, prování údržbu a monitoring spojení.
 - **BSC** (base station controler) – základnová řídicí jednotka dohlíží na provoz několika radiových stanic BTS, spravuje prostředky sítě, umožňuje handover tj. předávání kanálů a hovorů mezi jednotlivými buňkami sítě, řídí mapování radiových kanálů na kanály pozemní
 - **BTS** (base transciever station) – základnová radiostanice, obsahující radiové komponenty jako jsou antény, přijímače, vysílače. Zajišťuje radiové spojení s mobilními stanicemi, udržuje a řídí tato rozhraní.
 - **MS** (mobile station) – mobilní stanice zahrnuje veškerá uživatelská zařízení určená ke komunikaci v rámci mobilní sítě GSM, tato zařízení mohou mít hardwarový i softwarový charakter. Typický příkladem je mobilní telefon.

- **NSS (network switching subsystem) – síťový spínací subsystém**
 - **MSC (mobile switching centre) – mobilní spínací ústředna**, prvek řídící spojení do/z mobilních terminálů. Provádí se zde kontrola přidělování uživatelských kanálů, evidence všech uživatelů v rámci příslušné MSC a účtování služeb.
 - **HLR (home location register) – centrální databáze**, obsahující všechny permanentní a dočasné informace o uživateli jako jsou čísla IMSI (tj. jednoznačný identifikátor mobilní stanice), informace o lokalitě MS, informace o aktivovaných službách pro příslušnou MS. Tato databáze je využívána vždy, když MS žádá o využití nějaké služby mobilní sítě.
 - **VLR (visitor location register) – návštěvnický lokalizační registr** je lokální databáze pro množinu dat skupiny uživatelů spadající pod danou VLR, tento registr uchovává přechodná aktuální data o MS, které se nacházejí v oblasti spadající pod danou VLR. V případě že MS opustí oblast dané VLR jsou data z registru smazána.
- **OSS (operation subsystem) – operační subsystém**
 - **AuC (authenticity centre) – autentizační centrum** je zabezpečená databáze, generuje autentizační parametry pro autentizaci uživatele a následné šifrování uživatelských dat, umožňuje tak ověřit totožnost každého účastníka ještě před zahájením komunikace a tím zabránit případnému neoprávněnému využití zdrojů mobilní sítě.
 - **OMC (operations and maintenance centre) – provozní a servisní centrum**, řídící prvek pro radiový a síťový subsystém, provádí koordinaci a údržbu technického zázemí ostatních subsystémů
 - **EIR (equipment identity register) – registr mobilních stanic** obsahuje databázi jednoznačných identifikačních čísel mobilních telefonů tzv. IMEI. Tento registr uchovává informace o mobilních telefonech, které mají nebo nemají oprávnění používat služby mobilní sítě. Platná a známá IMEI jsou umístěna v tzv. White list, neplatná, ukradená či jinak blokováná EIME se nacházejí v tzv. Black list.

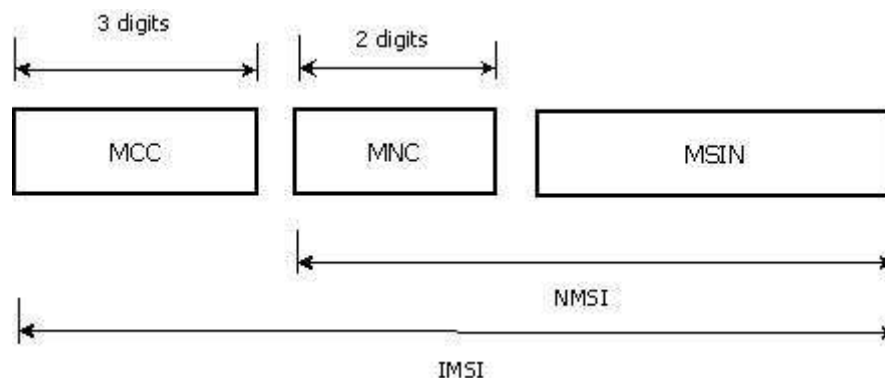


Obrázek 2 Architektura systému GSM, zdroj [1]

3.2 Identifikace a lokalizace MS

IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*) jedná se o jednoznačný a celosvětově platný identifikátor účastníka komunikace v systému GSM a UMTS. Toto 15timístné číslo je uloženo na kartě SIM (Subscriber Identity Module) v paměti ROM (Read-Only Memory). Skládá se z:

- MCC (Mobile Country Code) identifikace státu, ve kterém je účastník registrován
- MNC (Mobile Network Code) identifikace sítě operátora v rámci daného státu
- MSIN (Mobile Subscriber Identification Number) registračního čísla účastníka



Obrázek 3 - struktura IMSI, zdroj: [5]

Mobilní stanice obsahuje kromě paměti na kartě SIM také paměť ROM (Read-Only Memory), ve které je uložena i mezinárodní identifikace (číslo) IMEI (International Mobile Equipment Identity) registrované mobilní stanice. IMEI může být přes signalizační kanál zasláno k MSC. Lze ho využít ke zjištění ukradené mobilní stanice. Je složeno z:

- TAC (Type Approval Code) - šestimístné číslo, první dvě cifry jsou kód země
- FAC (Final Assembly Code) - dvoumístný kód výrobce
- SNR (Serial number) - šestimístné sériové číslo telefonu
- SP (Spare) - kontrolní součet

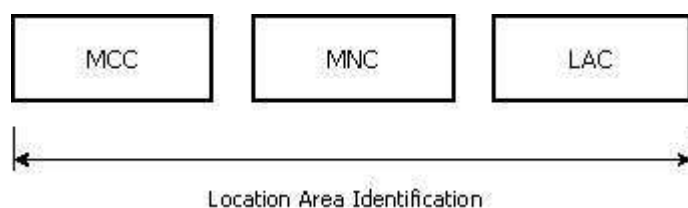
TAC	FAC	SNR	SP
-----	-----	-----	----

Obrázek 4 - Struktura IMEI

TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity) je dočasný jednoznačný identifikátor účastníka komunikace v síti GSM v rámci jedné VLR. Pro komunikaci v jedné lokační oblasti je identifikace pomocí TMSI a LAI dostačující, tedy není nutné používat IMSI. Pro zvýšení bezpečnosti je nežádoucí, aby bylo IMSI posíláno sítí GSM příliš často, proto je zvolen dočasný identifikátor. Při změně lokační oblasti musí být vygenerováno nové TMSI. VLR může pro vyšší bezpečnost měnit TMSI pravidelně a ne jen při změně lokační oblasti.

LAI (Location Area Identity) je unikátním celosvětovým identifikátorem přiděleným oblasti v síti GSM. Je složen z:

- MCC (Mobile Country Code)
- MNC (Mobil Network Code)
- LAC (Location Area Code)



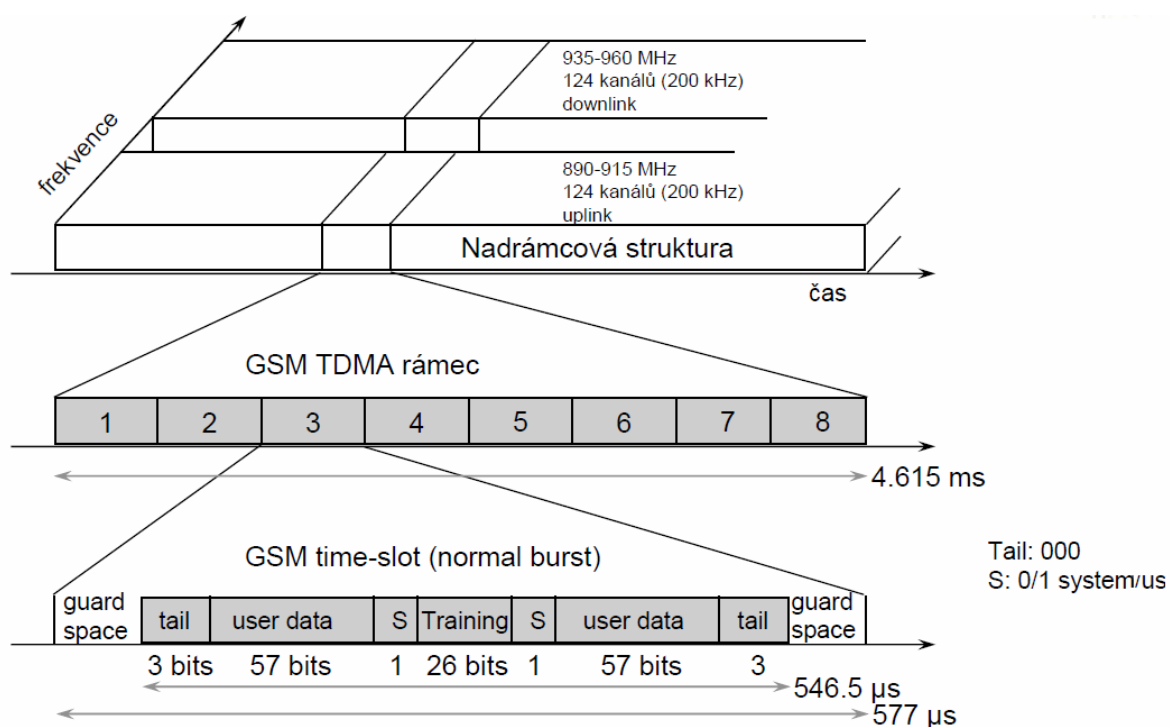
Obrázek 5 - struktura identifikátoru oblasti, zdroj: [5]

MSISDN (Mobile station international ISDN number) je celosvětově unikátní číslo, které identifikuje SIM kartu v mobilní síti GSM a UMTS. Z uživatelského pohledu jde o telefonní číslo dané SIM karty. Je složeno z:

- MCC (Mobile Country CODE) – číslo jednoznačně identifikující zemi
- NDC (National Destination Code) – mezinárodní směrovací číslo mobilní sítě v dané zemi
- SN (Subscriber number) – účastnické číslo

3.3 Typy kanálů systému GSM

Struktura TDMA na nosné frekvenci vytváří fyzické kanály, do těchto kanálů jsou mapovány kanály logické. Každý kanál v závislosti na jeho účelu je tvořen jiným typem burstu.



Obrázek 6 - Struktura TDMA pro GSM, zdroj: [1]

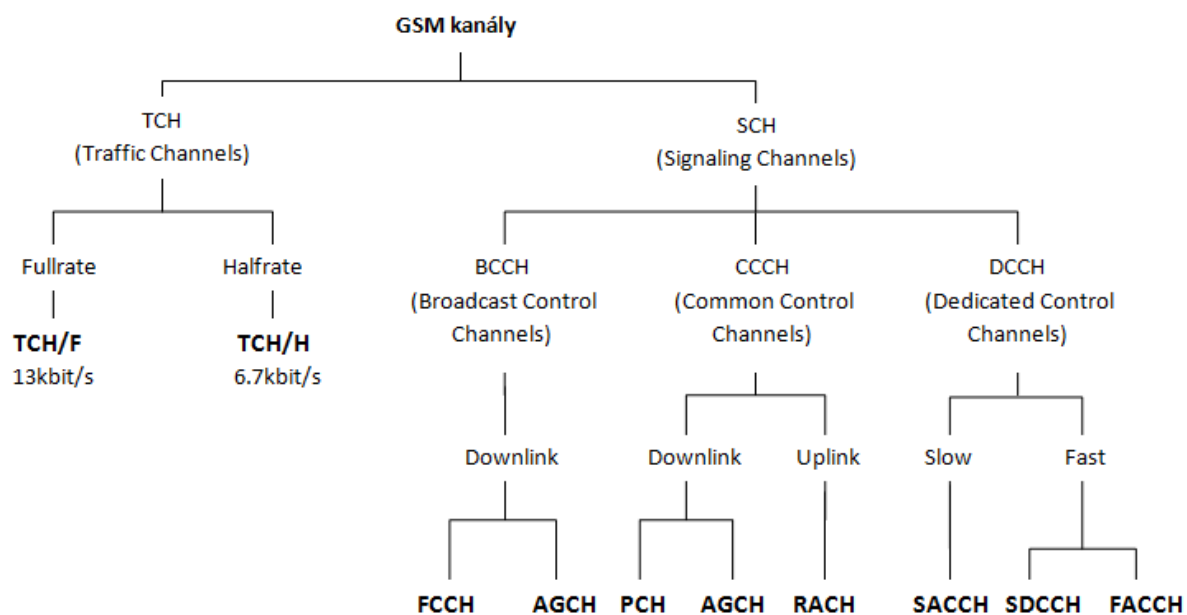
Provozní kanály (Traffic channels - TCH) – kanály určené pro přenos digitalizovaný hovorových nebo datových signálů

- full-rate TCH (TCH/F) - přenos plnou rychlostí, ve GSM je rychlost přibližně 13kbit/s
- half-rate TCH (TCH/H) - přenos poloviční rychlostí, ve GSM je rychlost přibližně 6,7kbit/s

Signalizační kanály (Control Channels CC) – signalizační kanály určené pro přenos signalizace (tvorba, udržení a zrušení spojení).

- Broadcast control channel (BCCH) – všeobecný rozhlasový kanál nese informace o aktuálním namapování signalizačních kanálů, všechny aktivní MS tento kanál sledují.
- frequency correction channel (FCCH) určený pro data umožňující korekci naladění mobilní stanice a identifikaci kmitočtu signalizačních kanálů.
- synchronization channel (SCH) přenáší informace o rámcové signalizaci mobilní stanice a identifikátor základnové stanice.
- Common control channel (CCCH) – kanály všeobecného řízení. Informace, které nesou, jsou určené pro řízení počáteční fáze při navazování spojení. Tyto kanály jsou jednosměrné. Mezi tyto kanály patří:
 - paging channel (PCH) – je tzv. návěstní signál, nebo také signál výzvy. Tento kanál slouží pro zaslání informace o příchozím hovoru. Nese stejnou informaci ve všech buňkách v rámci jedné oblasti. Tento kanál poslouchá každá mobilní stanice, které je v pohotovostním stavu.
 - random access channel (RACH) – kanál náhodného přístupu slouží k vyžádání samostatného řídicího kanálu pro potřebu další signalizace. Aktivita na tomto kanále je náhodná, může zde docházet ke kolizím požadavků od různých mobilních stanic. Proto je řízení komunikace realizováno protokolem ALOHA.
 - access grant channel (AGCH) – řídicí kanál s potvrzením přístupu je sestupný kanál. Zmíněný kanál slouží pro přidělení samostatného řídicího kanálu mobilní stanici. Samostatný řídicí kanál je mobilní stanici přidělen ústřednou na základě žádosti.

- Dedicated control channel (DCCH) – přidělené řídicí kanály. Tyto kanály jsou duplexní, nesou informace o závěrečné fázi sestavování spojení.
 - stand-alone dedicated control channel (SDCCH) – samostatný řídicí kanál je určený pro přenos signalizace mezi mobilní a základnovou stanicí před přidělením určitého provozního kanálu.
 - slow associated dedicated control channel (SACCH) – pomalý přidružený řídicí kanál. Přenáší informace o již existujícím spojení.
 - fast associated dedicated control channel (FACCH) – rychlý přidružený řídicí kanál. Tento kanál má velmi podobný účel jako SACCH. Na rozdíl do něj vzniká podle potřeby přidělením provozních kanálů



Obrázek 7 - rozdělení kanálu v GSM, zdroj: [5]

4 Signalizace

Signalizací rozumíme výměnu informací zasíláním zpráv na signalizačních kanálech mezi koncovými uzly. Těmito zprávami jsou předávány informace nezbytné k sestavení, údržbě, rušení spojení a zajištění správné komunikace koncových bodů spojení.

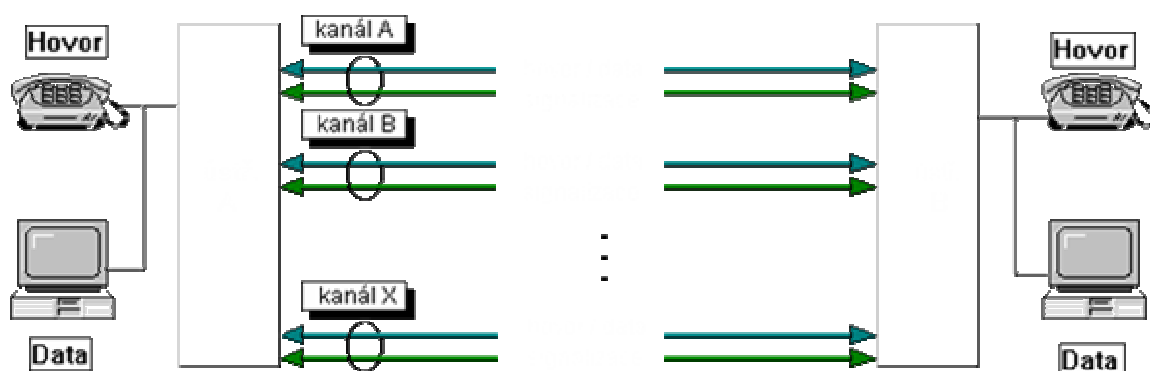
4.1 Základní rozdělení

Z hlediska přístupu můžeme rozlišovat dva druhy signalizace:

- signalizace přístupová (např. DSS1 v ISDN), používá se k signalizaci mezi mobilní stanicí a místní ústřednou.
- signalizace síťová (např. SS7 – Signaling System #7), ta se využívá pro signalizaci mezi jednotlivými prvky v rámci sítě, například mezi ústřednami

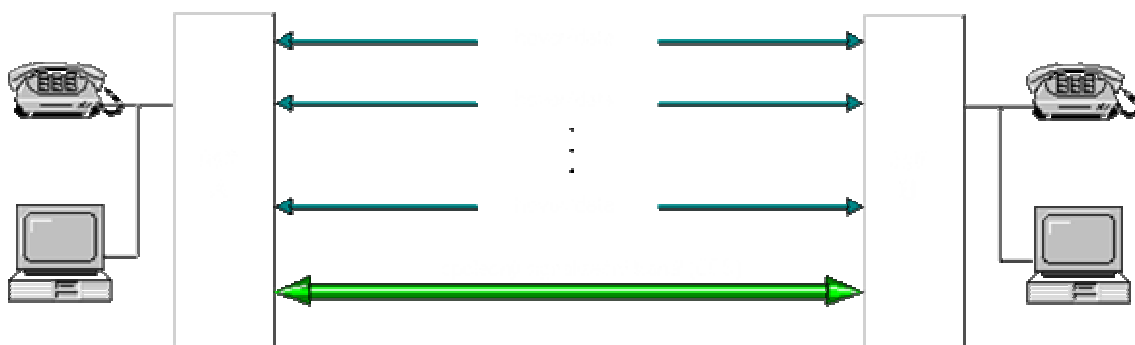
Síťovou signalizaci můžeme dále dělit na:

- CAS (Channel Associated Signaling) – signalizace je přenášena po hovorových nebo přidružených kanálech, každému hovorovému kanálu je vždy přidělen jeden signalizační kanál, což vede k plýtvání.



Obrázek 8 - CAS signalizace, zdroj [2]

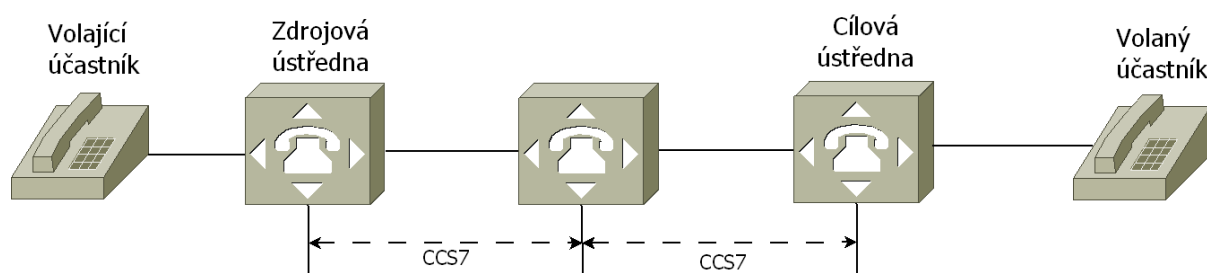
- CCS (Common Channel Signaling) – signalizace po sdíleném signalizačním kanálu. Pro více hovorových kanálů je přidělen jeden signalizační kanál. Hovorové a signalizační kanály jsou na sobě nezávislé, signalizace může jít jinou cestou než hovorové kanály.



Obrázek 9- CCS signalizace, zdroj [2]

4.2 SS7

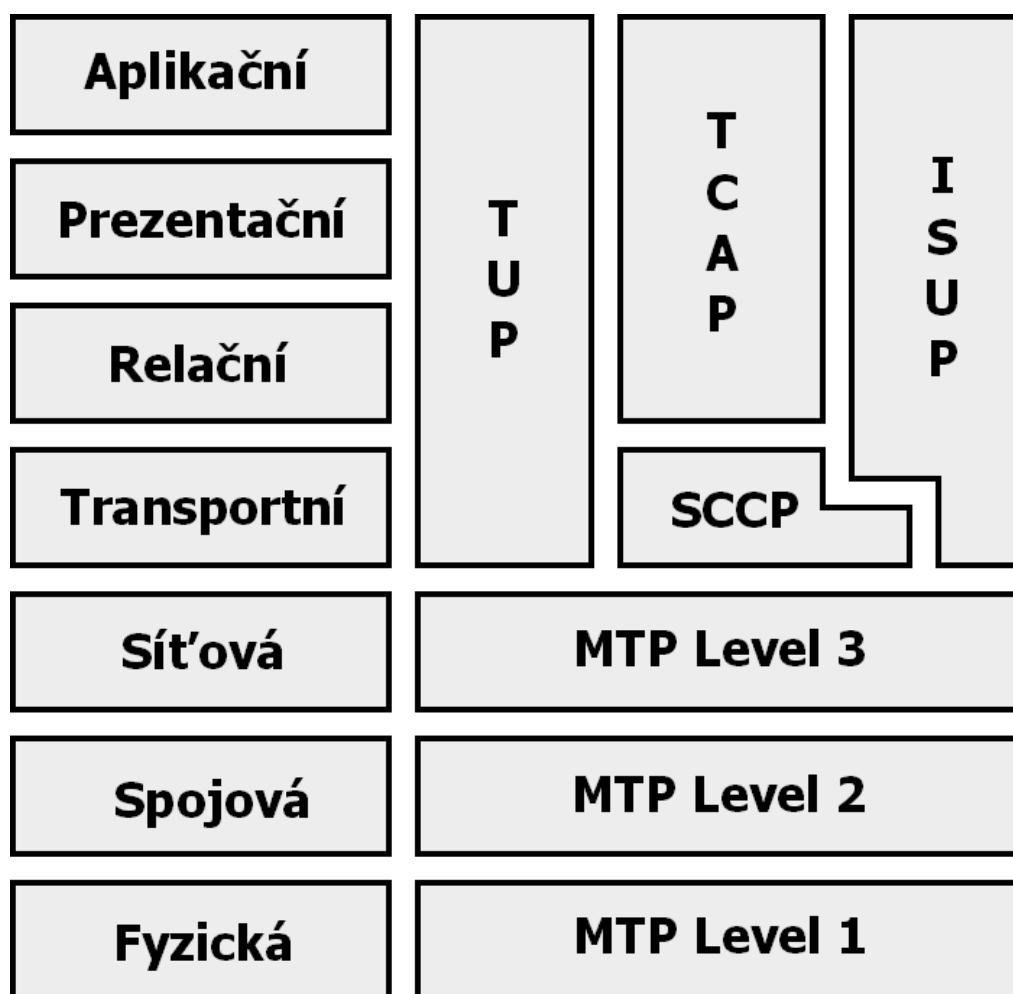
Signalizační síť SS7 patří do skupiny CCS (Common Channel Signaling), používá se pro signalizaci mezi ústřednami. Umožňuje sestavování, řízení a rušení spojení, kterými se mezi ústřednami přenášejí užitečná data. Spojení k cílové ústředně se provádí na základě čísla volané mobilní stanice.



Obrázek 10 - Využití CC7, Zdroj [9]

4.2.1 Protokolový model SS7

Signalizační protokol je množinou pravidel, které se používají pro přenos informací z cílového do koncového bodu. Tyto informace jsou nezbytné pro poskytování komunikačních služeb. Protokoly SS7 můžeme rozdělit do čtyř úrovní. Úrovně 1 až 3 patří do přenosové části protokolu SS7, která se stará o přenos MTP zpráv. Tyto zprávy představují univerzální prostředek pro přenos informací mezi dvěma síťovými uzly. Uživatelské části jsou vždy určeny pro specifický typ funkcí, protokolů a kódování signalizačních zpráv.



Obrázek 11 - model SS7 verzus model ISO/OSI

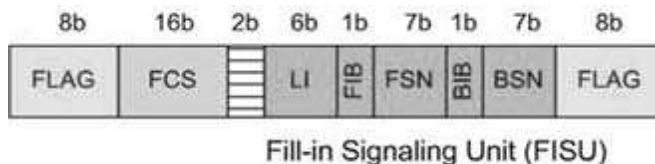
4.2.2 Přenosová část – Message Transfer Part (MTP)

Protokol MTP je rozdělen do tří úrovní, které víceméně odpovídají prvním třem vrstvám modelu OSI.

- MTP1 – odpovídá fyzické vrstvě modelu ISO/OSI, obsahuje funkce pro převedení bitového toku na příslušný tvar vhodný pro přenos po daném médiu (tj. elektrický nebo optický signál).
- MTP2 - odpovídá linkové vrstvě modelu ISO/OSI. Zabezpečuje spolehlivý přenos mezi dvěma síťovými uzly.
- MTP3 - odpovídá síťové vrstvě modelu ISO/OSI. Tato vrstva poskytuje funkce pro směrování, diskriminaci a distribuci. Diskriminační funkce rozhoduje, kde je přijatá zpráva určená pro daný (lokální) uzel. Pokud ano, je danou funkcí předána příslušné uživatelské vrstvě. Pokud zpráva není určená pro lokální uzel, je předána směrovací funkci, která jej odešle podle směrovací tabulky na další uzel.

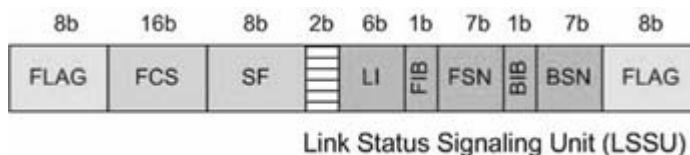
Typy signalačních jednotek na úrovni MTP:

- LSSU - stavová jednotka používaná k řízení a monitorování signalačního okruhu mezi sousedními uzly. Touto jednotkou jsou přenášeny zprávy, informující například o zahlcení uzlu, nedostupnosti vyšších vrstev, inicializaci signalačního okruhu, nebo neschopnost uzlu přijímat/odesílat signalační jednotky MSU.



Obrázek 12 - Formát FISU, zdroj [11]

- FISU – je tzv. vyplňovací jednotka, je zasílána v případě, že není přenášena žádná jiná jednotka, slouží také pro potvrzování přenesených jednotek typu MSU a LSSU. Využívá se pro monitorování signalačního okruhu.



Obrázek 13 - Formát LSSU, zdroj [11]

- MSU - tato signalační jednotka patří do třetí vrstvy MTP, obsahuje informaci o adrese, jejíž obsah už nemá pouze lokální význam, používá se při směrování. Tato signalační jednotka obsahuje parametry SIO (Service Information Octet) a SIF SIO (Service Information Field). SIO obsahuje typ protokolu nesený v datovém poli, např. OMAP, ISUP nebo SCCP. SIF obsahuje směrovací záhlaví a data vyšší protokolové vrstvy.



Obrázek 14- Formát MSU, zdroj [11]

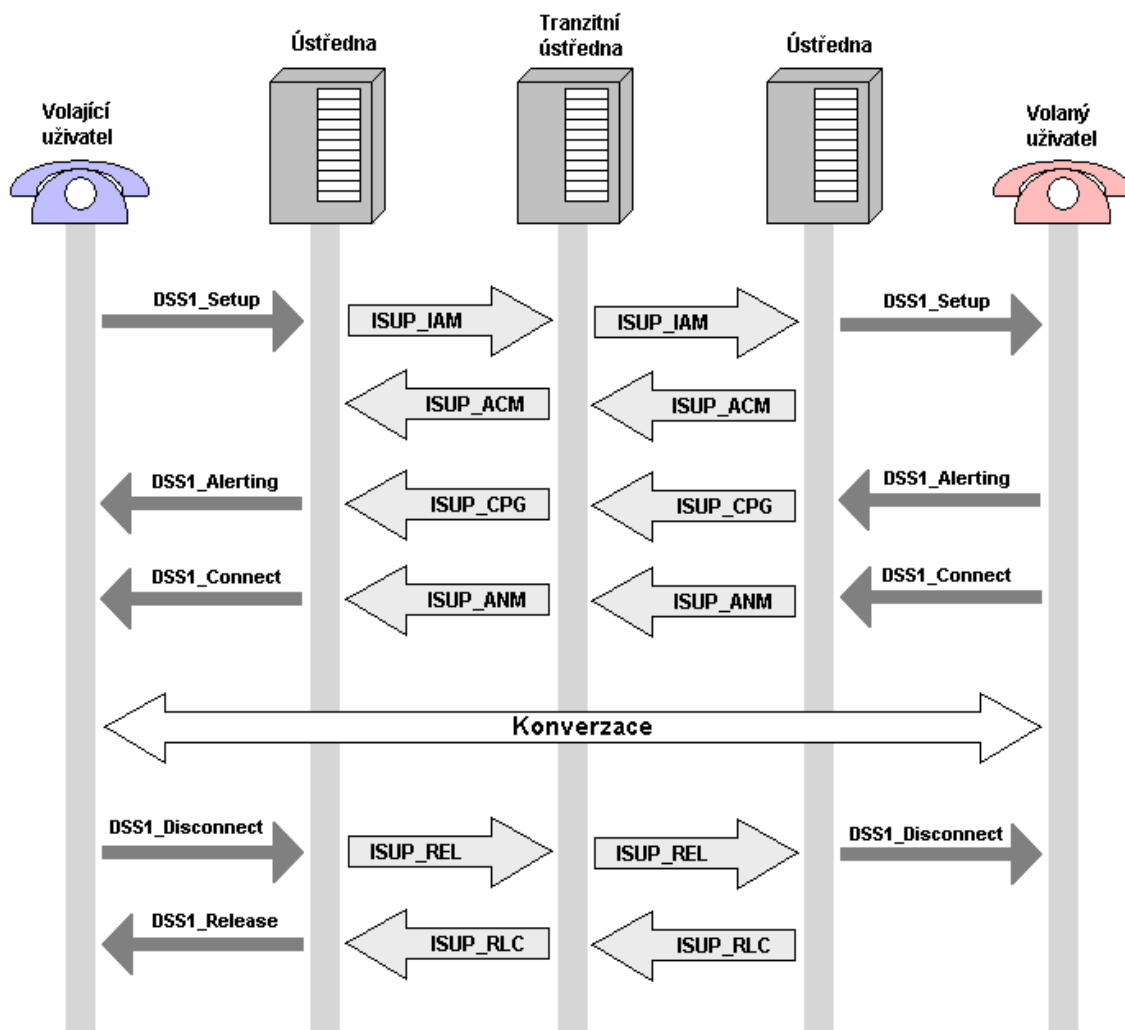
4.2.3 Uživatelská část

Protokol ISUP slouží k sestavování, řízení a ukončení hovorových spojení a dále k poskytování doplňkových služeb. Protože je signalizační a hovorová síť navzájem oddělena, musí být v signalizačních zprávách obsažena informace o hlasovém okruhu, ke kterému se vztahuje. Tato identifikace je provedena pomocí dvanáctibitového identifikátoru CIC (Circuit Identification Code). Veškeré signalizační informace příslušející danému hovoru jsou přenášeny po celou dobu hovoru po stejném signalizačním okruhu.

Vybrané signalizační zprávy, sloužící k ovládání spojení:

- **IAM** (Initial Address Message) – tato zpráva se používá pro inicializaci hovorového spojení. Mimo informace o čísle volaného obsahuje další parametry týkající se např. typu spojení, zda je použito potlačení echa, apod.
- **ACM** (Address Complete Message) – zpráva je posílána v opačném směru než IAM a indikuje, že hovor je zpracováván, například účastník je vyzváněn.
- **ANM** (Answer Message) – zpráva indikující přijetí hovoru.
- **CPG** (Call Progress Message) – tato zpráva slouží k informování vzdálené strany (ústředny) o nějaké události týkající se hovoru.
- **REL** (Release Message) – zpráva informující o ukončení hovoru.
- **RLC** (Release Complete Message) – tato zpráva se posílá druhé straně jako potvrzení ukončení hovoru.

Jako příklad je ukázán průběh sestavení a ukončení hovorového spojení mezi dvěma účastníky.



Obrázek 15 - Sestavení hovoru

Po volbě volaného čísla, je sestavována hovorová cesta krok za krokem po celé přenosové trase. Výchozí ústředna posílá zprávu IAM obsahující základní informace týkající se požadovaného spojení, např. číslo volaného, typ spojení, typ účastníka (ISDN, non-ISDN) a další nepovinné parametry závislé na konfiguraci příslušného operátora.

Když ústředna získá potřebné informace pro další směrování, signalizuje to předchozí ústředně zprávou ACM. Lze říci, že tato zpráva obsahuje podobné informace jako zpráva IAM, navíc může obsahovat například informaci o vyzvánění volaného účastníka. Maximální doba mezi zprávami IAM a ACM je hlídána časovačem T7 (20s – 30s), po jehož vypršení dojde k ukončení spojení (poslání zprávy REL). V případě, že hovor je směrován do mobilní sítě, se může stát, že doba než je účastník vyzváněn, může být díky dlouhému zvonění delší než časovač T7. Z důvodu, aby nebylo spojení zrušeno, posílá ústředna těsně před vypršením časovače T7 zprávu ACM s parametrem „No indication“. Informace o vyzvánění volaného účastníka je pak předána v signalizační zprávě CPG. Pokud účastník přijme hovor, ústředna to signalizuje pomocí zprávy ANM.

Probíhá hovor. Ústředna, která ukončuje spojení, o tom informuje ve zprávě REL. Důležitým parametrem v tomto případě je důvod ukončení. Vzdálená ústředna potvrzuje zprávou RLC.

SCCP

SCCP nebo-li Signaling Connection Control Part nabízí spojově i bezspojově orientované síťové služby nad úrovní MTP3, která umožňuje adresování konkrétního signalizačního bodu. SCCP pak nabízí adresování jednotlivých podsystémů. Podsystémem se rozumí jednotlivé konkrétní aplikace umístěné v adresovaném signalizačním bodě. SCCP je používáno jako transportní vrstva pro služby založené na protokolu TCAP (např. přednabitě karty, atd.). SCCP tedy rozšiřuje směrovací schopnosti MTP3, ať již na výběr konkrétní aplikace (směrování na základě SSN - SubSystem Number), tak na mezinárodní směrování mezi různými operátory na základě Global Title (GT). Na základě GT se určí příslušná brána k operátorovi, jehož služby jsou vyžadovány.

TCAP

Transaction Capabilities Application Part (TCAP) umožňuje využívat několik dialogů najednou pomocí identifikátoru spojení označované Dialog ID. Dialogem je označováno spojení mezi dvěma MAP uživateli.

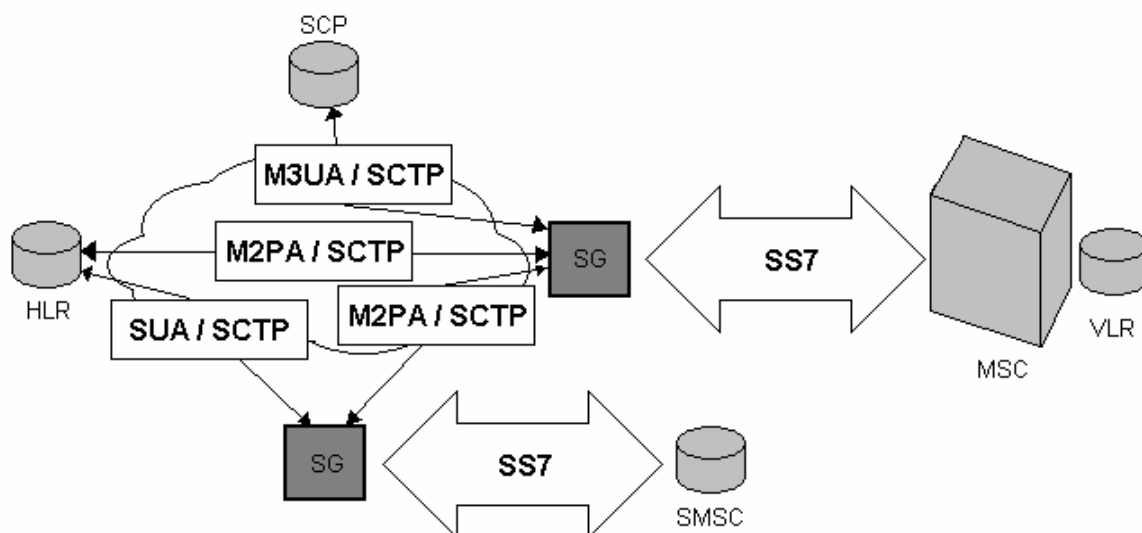
MAP/INAP

Zprávy Mobile Application Part/ Intelligent Network Application Part jsou využívány k dotazování se do databází a rozšiřují možnosti sítě o využívání služeb tzv. inteligentních sítí. Jsou tedy pomocí nich získávány například autentizační a roamingové informace. Jako příklad využití MAP protokolu si můžeme uvést příklad pohybu mobilního účastníka mezi dvěma MSC. Pokud se mobilní účastník přemístí v rámci dvou MSC, pak MSC do kterého přichází, využije právě MAP pro získání informací o uživateli z jeho domovského registru (HLR) a uloží je poté do svého návštěvnického registru (VLR).

4.3 SIGTRAN

Zvyšující se význam datových služeb nasměroval vývoj signalizačních systémů ke sjednocení platformy pro hlasové a datové služby. Jednou z možností může být migrace hlasové přenosové sítě do IP domény. Signalizační systém SIGTRAN (Signaling Transport) byl navržen, aby umožnil přenos signalizačních zpráv systému SS7 přes síť IP. Tato nová sada protokolů je složena z nového transportního protokolu SCTP a vrstvou adaptačních protokolů (M2PA, M2UA, M3UA a SUA).

Příklad přenosu signalizace SS7 přes IP síť znázorňuje Obrázek 16 - Přenos SS7 přes IP. Velice důležitým prvkem tohoto systému je signalizační brána SG (Signaling Gateway), která provádí konverzi mezi zprávami standardního signalizačního systému SS7 a formou zpráv vhodných pro přenos přes IP síť a naopak. Uzly signalizační sítě (HLR, SCP, ...) jsou propojeny IP sítí a komunikují nově zvoleným transportním protokolem.



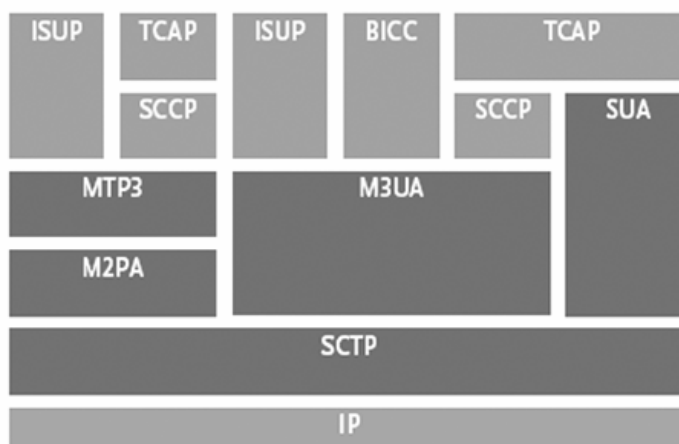
Obrázek 16- Přenos SS7 přes IP

4.3.1 Protokolová sada SIGTRAN

Hlavní úkolem protokolové sady SIGTRAN bylo definovat a zavést nový protokol s pracovním názvem CTP (Common Transport Protocol). Protože se ukázalo, že stávající protokoly TCP a UDP jsou nedostačující.

Byl tedy navržen protokol SCTP (Streaming Control Transport Protocol), který umožňuje přenášet signální protokoly klasických hlasových sítí s možností identifikace jednotlivých protokolů, ctí standardní strukturu TCP paketů, podporuje funkcionality protokolů vyšších vrstev (řízení toku, detekce a korekce chyb, ...) a zajistí detekci nefunkčnosti cílového uzlu.

Pro přenos protokolů SS7 musely být definovány tzv. adaptační protokoly přizpůsobující vyšší protokoly pro přenos přes IP, resp. SCTP. Tyto adaptační protokoly se liší podle toho, který protokol je jim nadřazen, viz Obrázek 17. Názvy těchto protokolů vyplývají z názvu protokolu, který nahrazují, např. M3UA (MTP3 User Adaptation Layer) nahrazuje protokol MTP3.



Obrázek 17- Protokolová sada SIGTRAN

V současné době je definováno šest adaptačních protokolů:

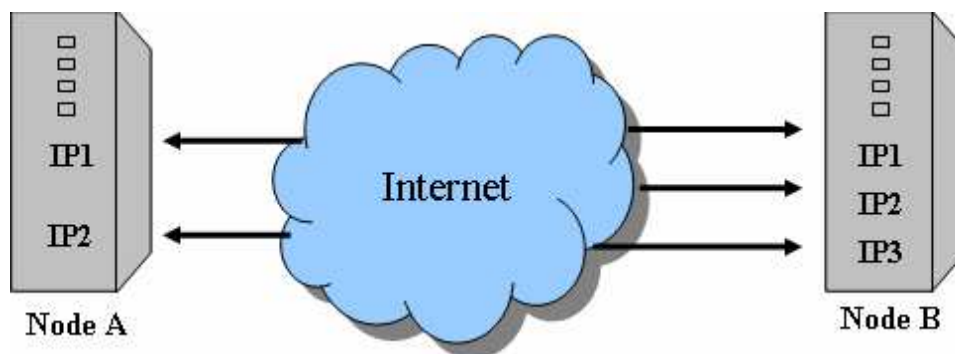
- V5.2 User Adaptation (V5UA) – poskytuje služby protokolu V. 5.2.
- ISDN UA (IUA) – poskytuje služby protokolu LAPD. Jeho uživatelem je protokol Q.931
- MTP2 UA (M2UA) – jeho služby využívá protokol MTP3. Tento protokol je používán hlavně pro komunikaci klient-server, např. SG – SP.
- MTP2 Peer-to-Peer (M2PA) – využíván hlavně pro komunikaci SG-SG. Použitelné například pro spojení dvou SS7 sítí přes IP.
- MTP3 UA (M3UA) – podporuje komunikaci peer-to-peer a klient-server. Jeho uživatelem je protokol SCCP nebo ISUP.
- SCCP UA (SUA) – jeho služeb využívá například protokol TCAP.

4.3.2 Transportní protokol SCTP

Transportní protokol byl navržen pro potřeby přenosu signalizace SS7, která má velice přísné požadavky na ztrátovost zpráv (spolehlivost) a zpoždění. Protokol SCTP je podobný protokolu TCP, má mechanismy pro řízení toku dat a řízení přetížení, ale má také několik důležitých nových vlastností.

Vlastnosti SCTP:

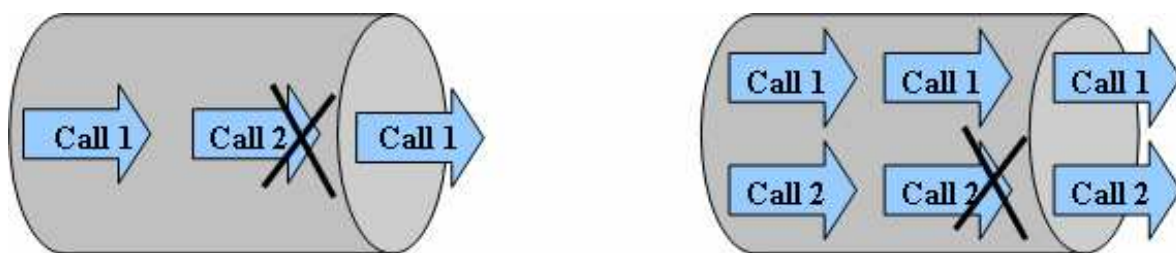
- Multihoming – každý uzel může mít více IP adres. Každý pár IP adres dvou uzlů sítě tvoří cestu. Každý uzel A může mít uloženo více cest do uzlu B. Jednotlivé uzly si volí primární cestu pro komunikaci, pokud je tato cesta zahlcená může použít alternativní cesty pro odeslání zpráv. Po určitém počtu selhání na aktivní cestě, je cesta vyměněna za její alternativu. Tato cesta se poté stává primární cestou. Tato vlastnost dává SCTP určitou toleranci k fyzickému selhání spojení.



Obrázek 18 – Multihoming

- multistreaming - využívá se k zamezení tzv. HOL (head-of-line) blokování. Toto blokování znázorňuje Obrázek 19 - multistreaming. Nastává, pokud je signalizační paket volání Call 2 v TCP proudu ztracen, celé spojení blokováno čekáním na přenos.

Obnova takto ztracených dat může trvat i několik sekund. To by bylo pro signalizaci nepřijatelné. Proto má SCTP pro komunikaci mezi dvěma body více datových toků z několika adres uzlu. Tato toky jsou navzájem neblokující.

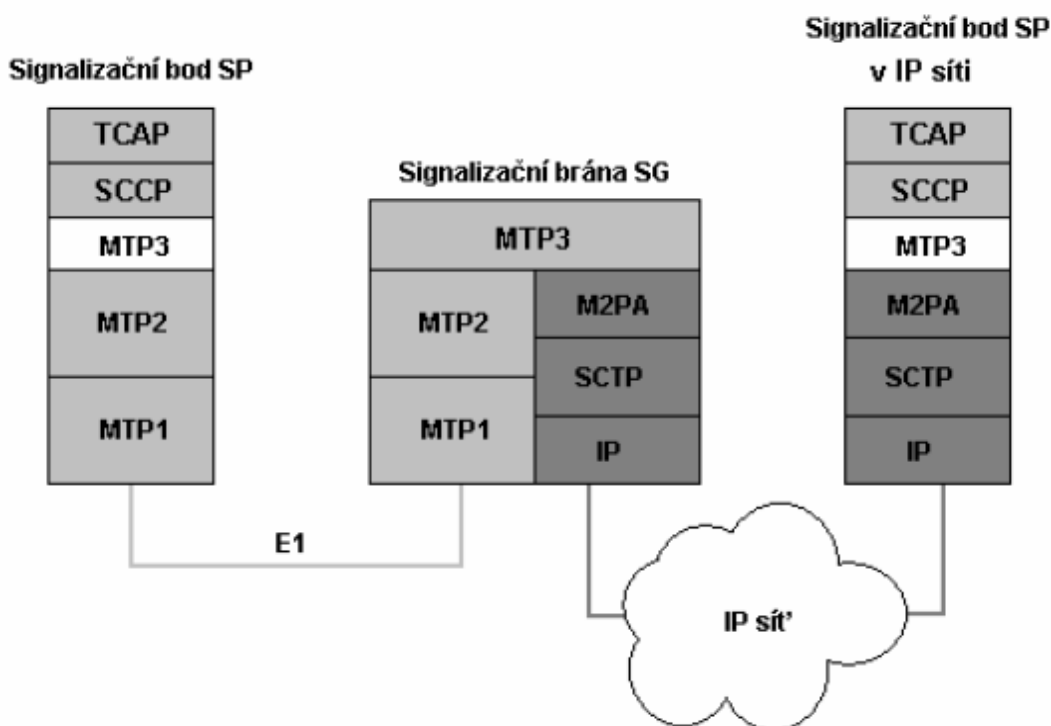


Obrázek 19 - Multistreaming

4.3.3 Adaptační protokol M2PA

M2PA je adaptační protokol, který vytváří přenosový most mezi signálními body SS7 přes IP síť. Na obou koncích přenosového mostu protokol M2PA nahrazuje protokol MTP2 a signální brána (SG) se z hlediska signalizace SS7 jako signální bod (SP). M2PA podporuje asynchronní oznamování změny stavu obsluhy. Adaptační protokol M2PA zajišťuje tedy následující funkce:

- Aktivace/deaktivace signálního okruhu
- Zpracování stavových informací o signálním okruhu
- Číslování signálních jednotek

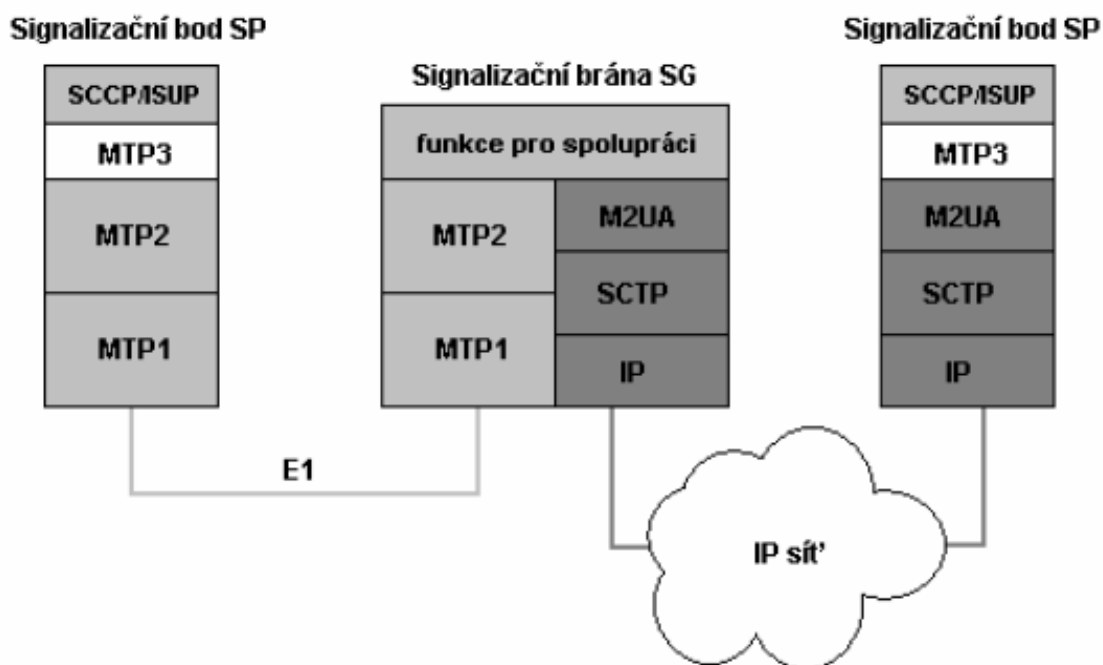


Obrázek 20 - Komunikace pomocí protokolu M2PA

Obrázek Obrázek 20 - Komunikace pomocí protokolu M2PA znázorňuje signalizační bod v SS7 síti připojený přes signalizační bránu SG k signalizačnímu bodu v síti IP. Signalizační brána se v podstatě chová jako STP bod.

4.3.4 Adaptační protokol M2UA

M2UA je protokol, který byl navržen pro přenos SS7 MTP2 uživatelských zpráv přes IP síť. Příklad komunikace mezi signalizační bránou SG a signalizačním bodem ukazuje Obrázek 21 - Komunikace pomocí protokolu M2UA. Zde instance protokolu MTP3 spuštěná na signalizačním bodu (SP) využívá instanci protokolu MTP2 na signalizační bráně (SG). Instance protokolu M2UA poskytuje vzdálené propojení instancí protokolů MTP3 a MTP2. Slouží jako rozhraní mezi MTP2 a MTP3, pro komunikaci mezi moduly spravujícími jednotlivé vrstvy nebo jako podpora pro správu aktivních spojení.



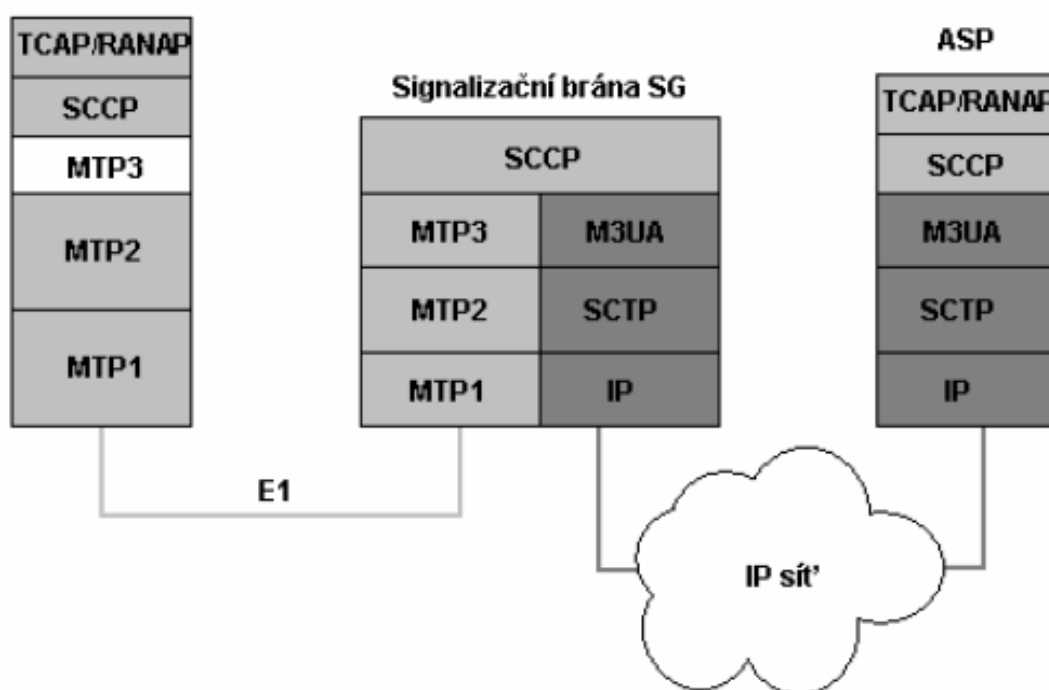
Obrázek 21 - Komunikace pomocí protokolu M2UA

Signalizační brána na jedné straně očekává signalizaci SS7 využívající MTP protokoly. Brána poté pošle pomocí SIGTRAN protokolu přijatou MTP3 zprávu signalizačnímu bodu v IP.

4.3.5 Adaptační protokol M3UA

M3UA podporuje přepravu jakéhokoli SS7 signalizace MTP3-User (např. ISUP a SCCP zprávy) přes IP, které využívají služeb Stream Control Transmission Protocol (SCTP). Tento protokol se používá pro komunikaci mezi Signalizační Gateway (SG) a Media Gateway Controller (MGC) nebo IP rezidentní databáze. Předpokládá se, že signalizační brána (SG) přijímající signalizaci SS7 přes standardní rozhraní pomocí SS7 zprávy (MTP) zajistí přenos. [13]

Signalizační bod SP

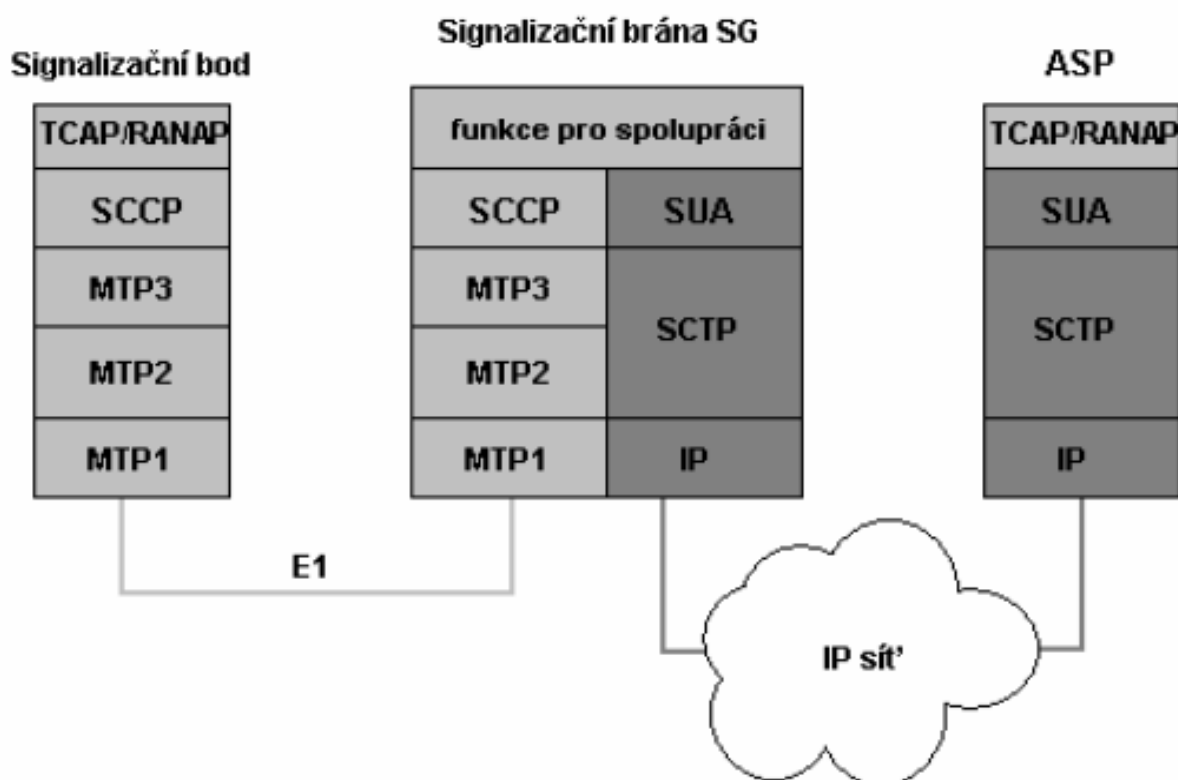


Obrázek 22 - Komunikace pomocí protokolu M3UA

Použití protokolu M3UA představuje Obrázek 22 - Komunikace pomocí protokolu M3UA. Toto řešení je využíváno hlavně mobilními operátory, protože protokol M3UA může přenášet signální zprávy jak protokolu ISUP tak SCCP.

4.3.6 Adaptační protokol SUA

SUA podporuje přenos SCCP uživatelských zpráv po IP síti opět s využitím SCTP. Je modulárně navržen pro nasazení na architektuře signální brána – signální bod, ale i na architektuře (peer to peer) signální body – signální bod. Instance tohoto adaptačního protokolu umístěna na signální bráně (SG) a na signálním bodu podporuje bezproblémový přenos uživatelských zpráv mezi signální branou a signálním bodem. Je navržen modulárně, aby mohl pracovat na architektuře signální brána - IP signální bod a peer-to-peer IP signální bod. SUA podporuje protokol SCCP ve formě spojované i nespojované služby, model komunikace je znázorněn na obrázku Obrázek 23 - SUA - struktura pro nespojovaný přenos.



Obrázek 23 - SUA - struktura pro nespojovaný přenos

5 Analýza a návrh systému

V této kapitole se detailněji zaměřím na problematiku návrhu výsledného systému. V první části uvedu zpřesněné požadavky na emulátor telefonní ústředny a zprávy, které jsou nezbytné pro sestavení hovoru. Další část bude věnována základnímu návrhu systému. V kapitole Model architektury se budu věnovat statickému návrhu architektury systému. Pro vizualizaci jsem zvolil digram tříd. Návrh dynamického modelu aplikace bude uveden a vizualizován v kapitole Modely interakce.

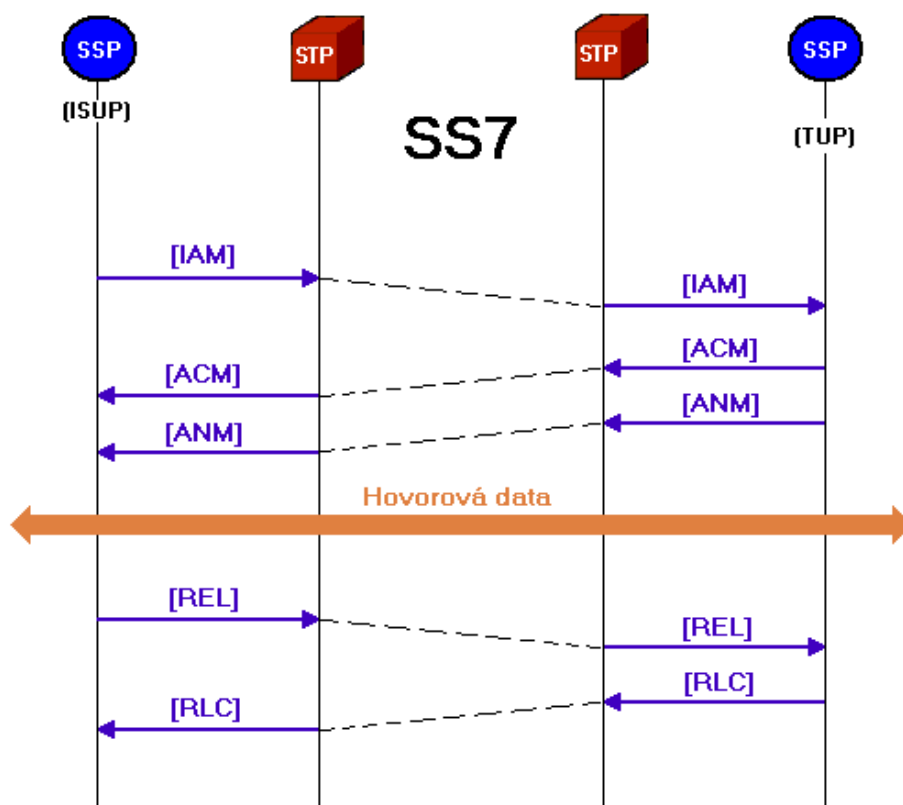
5.1 Upřesnění požadavků

Na základě informací, které jsou uvedeny v předchozích kapitolách této práce, můžeme zpřesnit požadavky kladené na výsledný emulátor telefonní ústředny.

- Emulátor telefonní ústředny bude pro komunikaci s jinou ústřednou používat výhradně protokol SCTP.
- Emulátor bude umožňovat zasílání a přijímání standardní signalizačních zpráv pro sestavení hovoru přes IP síť používaných v telekomunikačních sítích zaslaných mezi jednotlivými ústřednami. Signalizace používaná mezi ústřednou a mobilní stanicí pro sestavení hovoru nebude v rámci této práce implementována.
- Emulátor musí být kompilovatelný a spustitelný na operačním systému Linux s jádrem 2.6 a vyšší. Tato verze jádra má implementovanou podporu protokolu SCTP. Podpora tohoto komunikačního protokolu není standardně aktivována. Je proto nutné ji ručně aktivovat a překompilovat jádro operačního systému.
- Musí reagovat na ovládací prvky uživatelského rozhraní.
- Systém bude uživateli poskytovat informace o činnosti a stavu systému.
- Implementace bude provedena formou knihovny, která bude poskytovat potřebnou funkcionalitu.
- Bude implementováno několik základních vrstev, která zajistí elementární komunikaci prostřednictvím SCTP protokolu, směrování signalizačních zpráv a samotné sestavování signalizačních zpráv.
- V emulátoru bude implementována adaptivní vrstva obsahující standardní protokol M3UA z rodiny SIGTRAN, který bude použit pro směrování v telekomunikačních sítích.
- Dále, bude implementována signalizační vrstva s protokolem ISUP z rodiny SS7, který bude určen pro signalizaci v telekomunikační síti.

5.2 Model komunikace

Signalizace SS7 je primárně určená pro přenos signalizace po páteřních sítích. Pro přenos signalizace ke koncovým uživatelům je použito jiných technologií, konkrétně DSSS1. Ke konverzi jiných telefonních signalizací na signalizaci SS7 se používá tzv. modul SSP (Service Switching Point). Tato část signalizace do návrhu nebude zahrnuta. Model návrhu komunikace pro sestavení a následné zrušení spojení je znázorněn na obrázku Obrázek 24 - Schéma komunikace. Signalizace SS7 se přenáší mezi uzly STP (Service Transfer Point).



Obrázek 24 - Schéma komunikace

Předpokládejme, že imaginární účastník (volající) používá libovolný ISDN terminál a komunikuje s uzly SSP prostřednictvím signalizace DSSS1, a proto je na levé straně možno pozorovat komunikaci zprávami DSSS1. Účastník dává na uzel SSP žádost o sestavení hovoru s příslušným číslem volaného. Ústředna číslo analyzuje, zjistí existenci a umístění volaného a posílá požadavek zprávou [IAM] do sítě. Na cílové ústředně přichází zpráva [IAM]. Zde se provedou procedury ověření zda je možné uskutečnit spojení. Pokud nic nebrání sestavení spojení je generována odpověď [ACM]. Zpráva [ACM] také informuje druhou stranu, že cílový účastník je vyzváněn.. Dále je ve schématu znázorněno, že volaný účastník přijal hovor, zasláním zprávy [ANM]. Příjem zprávy [ANM] se dává souhlas k přenosu hovorových dat. Pro ukončení hovorového spojení účastník signalizuje své ústředně ukončení spojení, ústředna tuto signalizaci posílá dál zprávou [REL] do sítě SS7. Informace se přenesse na druhou stranu, kde dojde k ukončení hovoru. Odpověď na zprávu [REL] je zpráva [RLC], která říká, že hovorová relace byla ukončena.

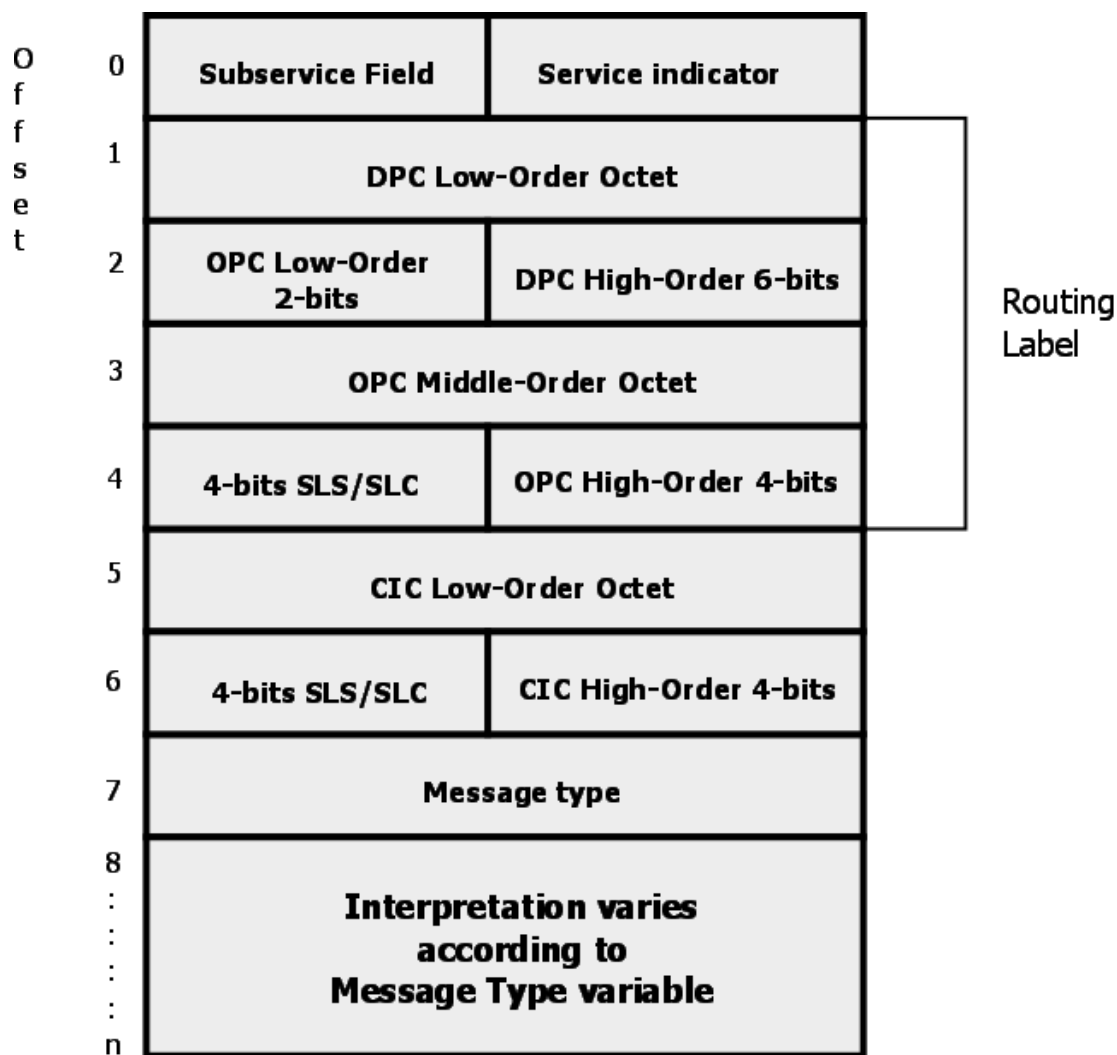
5.3 Zprávy ISUP

Signalizační zprávy ISUP slouží k sestavování, údržbě a rušení telefonního spojení. Tyto zprávy jsou podrobně popsány v dokumentu ITU-T Q.763 [15]. V tomto dokumentu jsou popsány všechny signalizační zprávy. Zde do návrhu aplikace zahrnu pouze ty nejdůležitější. Budou to zprávy, které slouží výhradně pro sestavení a rušení hovoru. Zprávy, které jsou určeny k údržbě spojení, nebo blokování kanálů, nebudou do návrhu zahrnuty. Každá signalizační zpráva má standardem dané typy parametrů i danou pozici ve zprávě. Mimo takto striktně daných parametrů může být k některým zprávám přidána volitelná část. V této části je možné uvést libovolný počet a typ parametrů. Tato část slouží k optimalizaci při komunikaci mezi ústřednami. Každá zpráva je jiná a skládá se z jiných parametrů, ale všechny mají stejnou hlavičku a společný algoritmus pro jejich sestavování.

Hlavička zprávy ISUP

Prefix každé signalizační zprávy ISUP je tvořen množinou parametrů, které jsou striktně dané protokolem a mají pevnou délku i přesně danou pozici. Tyto parametry se dají rozdělit do dvou skupin.

- Service Indicator Octet (SIO) je skupina parametrů obsahující parametry SI (service indicator) a SSF (subservice field). Pro službu ISUP je nutné nastavit parametr SI na hodnotu 0101.
- Routing Label (RL) - tato skupina obsahuje tři parametry. Parametr DPC (destination point code) uchovává kód cílového uzlu, neboli příjemce. Kód uzlu, které zprávu posílá, je vložen do parametru OPC (originating point code). Posledním parametrem je SLS (signaling link selector). Tento parametr slouží k odlišení signalizace více uživatelů využívajících stejný přístupový uzel.



Obrázek 25 - Offset zprávy ISUP

IAM

Signalizační zpráva AIM je zasílána jako první v sekvenci zpráv při navazování spojení. Touto zprávou zdrojová ústředna žádá cílovou ústřednu o přidělení prostředků k uskutečnění spojení. Je jakousi obdobou zprávy Setup u ISDN. Obsahuje proto základní údaje jako je číslo volaného, číslo volajícího a identifikátor volání. Tyto údaje jsou pro sestavení spojení nezbytné, jsou proto povinné (Mandatory IE). Číslo volaného není povinné, je proto ve variabilním IE, lze jej totiž poslat dodatečně. Zpráva IAM je ze všech zpráv ISUP nejobsáhlejší a bývá také nejdelší.

Offset	1 : : : : : 5	SIO and Routing Label		
		CIC Low-Order Octet		
	6	4-bits spare	CIC High-Order 4-bits	
	7	Message type		Value = 1
	8	Nature of Connection Indicator		Mandatory Fixed Part
	9	Forward Call Indicators bits H...A		
	10	Forward Call Indicators bits P...I		
	11	Calling Party Category		
	12	Transmission Medium		
	13	Offset of Mandatory Var. Parameter		Value = 1
	14	Offset to Start of Optional Part		Value = 0 if no optional part
	15	Length Indicator of Called Party No.		Mandatory Variable Part
		Called Party Number		
		Optional Paramater Code		Optional Part
		Optional Parameters Length Indicator		
		Optional Parameter		
		End of Optional Parameters Indicator		

Obrázek 26 - Formát zprávy AIM, zdroj [12]

ACM

Tato zpráva je pozitivní reakcí na IAM a znamená, že koncový účastník existuje. Ve svých IE specifikuje hovorové požadavky. Většinou vrací platnost původních požadavků. Je-li volaný a volající v rámci jedné operátorské sítě, je koncový účastník již vyzváněn. Je-li hovor přeposlán na jiného operátora, nemusí být koncový účastník ještě dohledán. Tato varianta se kombinuje se signálem CPG (Call Progress), které řeší mezi operátorskou komunikaci.

Offset	1 : : : : : 5	SIO and Routing Label		
		CIC Low-Order Octet		
	6	4-bits spare	CIC High-Order 4-bits	
7		Message type		Value = 6
8		Backward Call Indicators bits H...A		Mandatory Fixed Part
9		Backward Call Indicators bits P...I		
10		Offset to Start of Optional Part		Mandatory Variable Part
11		Optional Paramater Code		Sequance may repeat
12		Optional Parameters Length Indicator		
		Optional Parameter		
		End of Optional Parameters Indicator		Value = 0
				Optional Part

Obrázek 27 - Formát zprávy ACM, zdroj [12]

REL

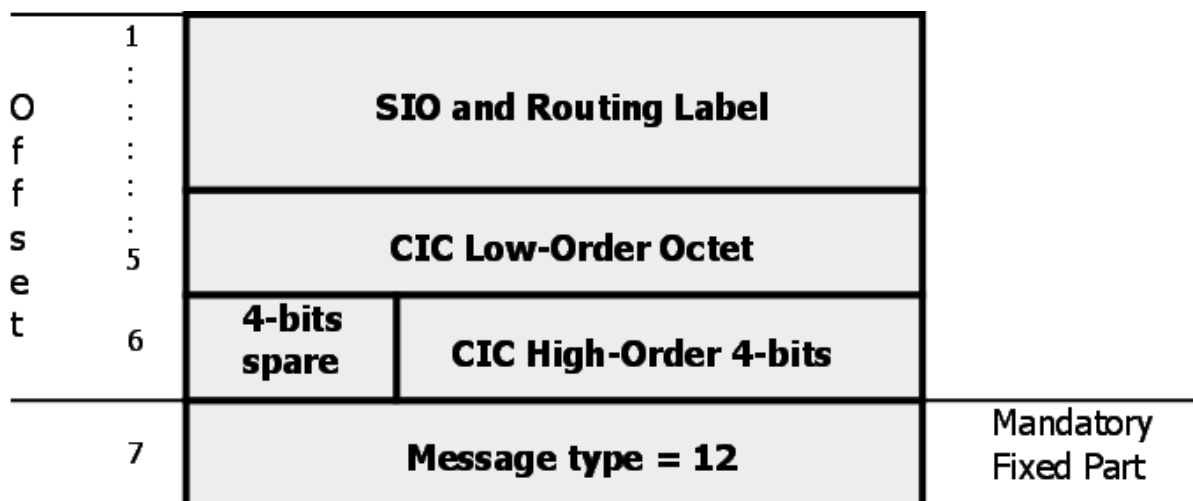
Zpráva je určena pro rušení hovorového spojení. Je možné zprávu použít i pro rušení nespojových služeb jako odpověď "neprovedeno, chyba", kde v povinném IE Cause Indicators se přenáší identifikátor příčiny. Ten je stejný jako u ISDN a je popsán v ITU-T Q.850. Povinností druhé strany je odpovědět zprávou RLC, kterou signalizuje, že je hovor zrušen a všechny použité zdroje jsou uvolněny.

Offset	1 : : : : : 5	SIO and Routing Label		
	6	4-bits spare	CIC High-Order 4-bits	
	7	Message type = 12		Mandatory Fixed Part
8	Offset of 1st Mandatory Var. Parameter		Value = 2	
9	Offset to Start of Optional Part			
10	Length Indicator of Cause Indicator		Mandatory Variable Part	
	Release Cause Indicator Parametr			
	Optional Paramater Code		Sequance may repeat	
	Optional Parameters Length Indicator			
	Optional Parameter			
	End of Optional Parameters Indicator		Value = 0	
			Optional Part	

Obrázek 28 - Formát zprávy REL, zdroj [12]

RLC

Zpráva je ukončovací pro spojové i nespojové služby SS7. Je analogií Release Complete u ISDN. Obecně mluvíme o destrukturu. Na rozdíl od REL je IE Cause Indicator nepovinný, ale může být v případě potřeby vložen do části pro nepovinné parametry.

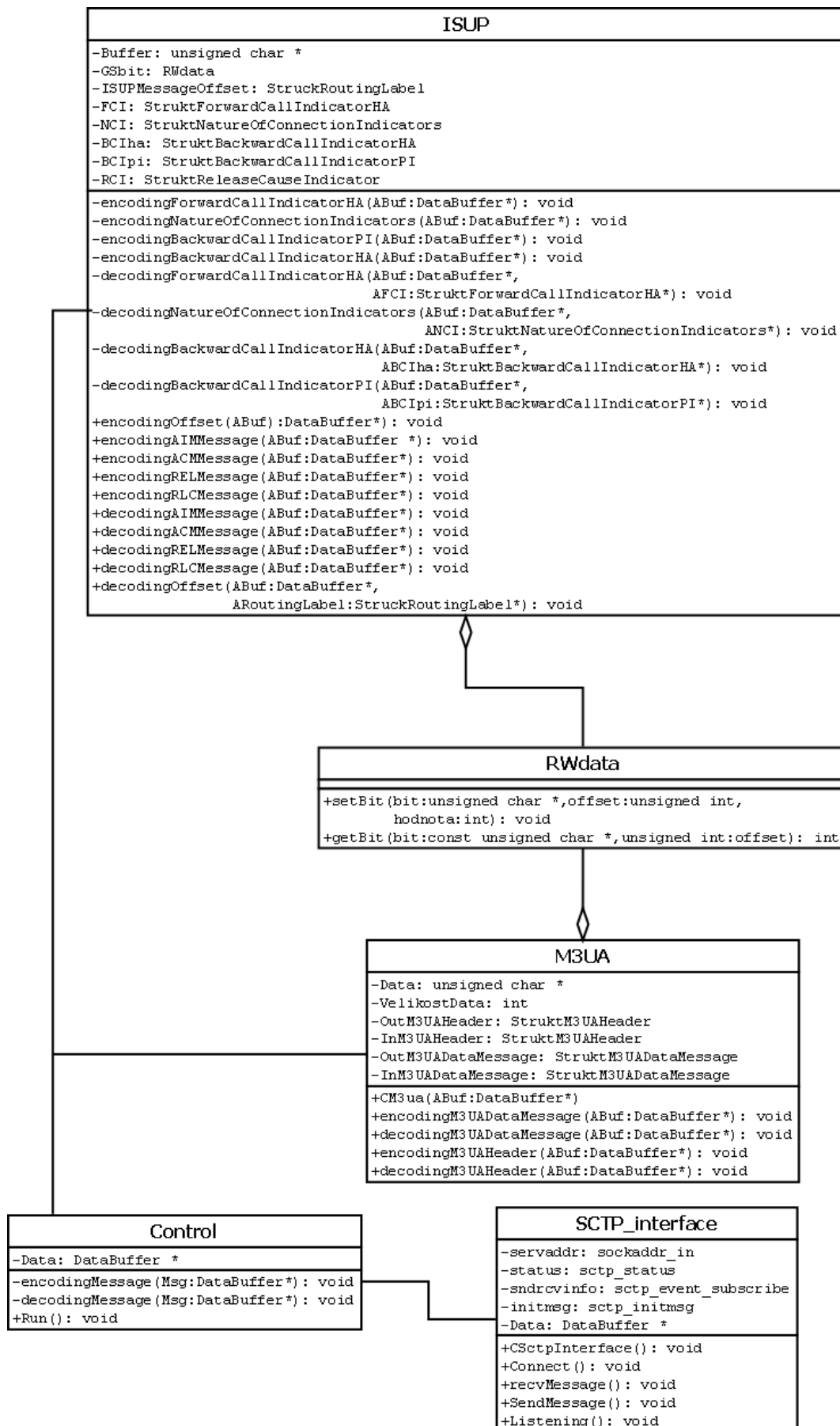


Obrázek 29 - Formát zprávy RLC, zdroj [12]

5.4 Model architektury emulátoru ústředny

Návrh statického modelu emulátoru telefonní ústředny vychází z předchozí fáze analýzy a návrhu. Reflektuje dynamický model komunikace, který byl uveden v předchozích kapitolách 5.2 a 5.3. Definuje statický pohled na architekturu celého systému, který bude implementován v následujících kapitolách.

Nejrozšířenějším způsobem je modelování pomocí diagramů UML. Pro návrh architektury jsem zvolil diagram tříd. Snažil jsem se navrhnout všechny potřebné části systému tak, aby pokrýval potřebnou funkcionalitu. Návrh jsem provedl tak, aby umožnil další rozvoj systému v budoucnu.



Obrázek 30 - Diagram tříd

Aplikace je tvořena pěti třídami. Každá třída je specializována na jiné druhy činnosti. Rozdělení implementací jednotlivých akcí, které jsou v aplikaci prováděny, do tříd je provedeno podle toho, jakého zaměření dané akce jsou, zda se jedná o kódování nebo dekódování signálních zpráv, aplikační logiku, nebo správu komunikačního rozhraní.

Pro vytváření signálních zpráv vrstvy ISUP ve specifickém formátu, který je daný komunikačním protokolem, slouží metody třídy ISUP. V této třídě je implementován algoritmus z pro komponování zpráv. Tento algoritmus je společný pro všechny typy signálních zpráv, umožňuje skládat zprávy z parametrů. Zmíněný algoritmus je detailněji popsán v kapitole 6.1.1. Informace nutné pro sestavení zprávy si třída uchovává ve svých privátní strukturách. Každá struktura nese název parametru pro který uchovává data. Přehled všech použitých struktur je uveden v příloze 3. Tato třída vytváří čtyři základní signální zprávy a to zprávy IAM, ACM, REL a RLC. Kódování a dekódování každé zprávy budou implementovány do samostatné metody. Názvy těchto metod jsou systematicky vytvořeny z *encoding* nebo *decoding* pro kódování nebo dekódování, názvu zprávy a slova *Message*. Na příklad pro kódování zprávy IAM má příslušná metoda název *encodingIAMMessage*. Pro implementace kódování a dekódování hlavičky signálních zpráv, které je u všech zpráv stejné, budou ve třídě vytvořeny tyto samostatné metody *int encodingOffset(DataBuffer *ABuf);* a *int decodingOffset(DataBuffer *ABuf);*. Pro zvýšení srozumitelnosti a přehlednosti kódu budou pro implementaci vybraných parametrů vytvořeny samostatné privátní metody.

Kódování a dekódování datagramu vrstvy M3UA, bude implementováno ve stejnojmenné třídě. Tato třída bude poskytovat oddělené metody pro kódování a dekódování hlavičky a těla datové zprávy vrstvy M3UA. Jiné zprávy této vrstvy než datové nebudou v rámci aplikace implementovány.

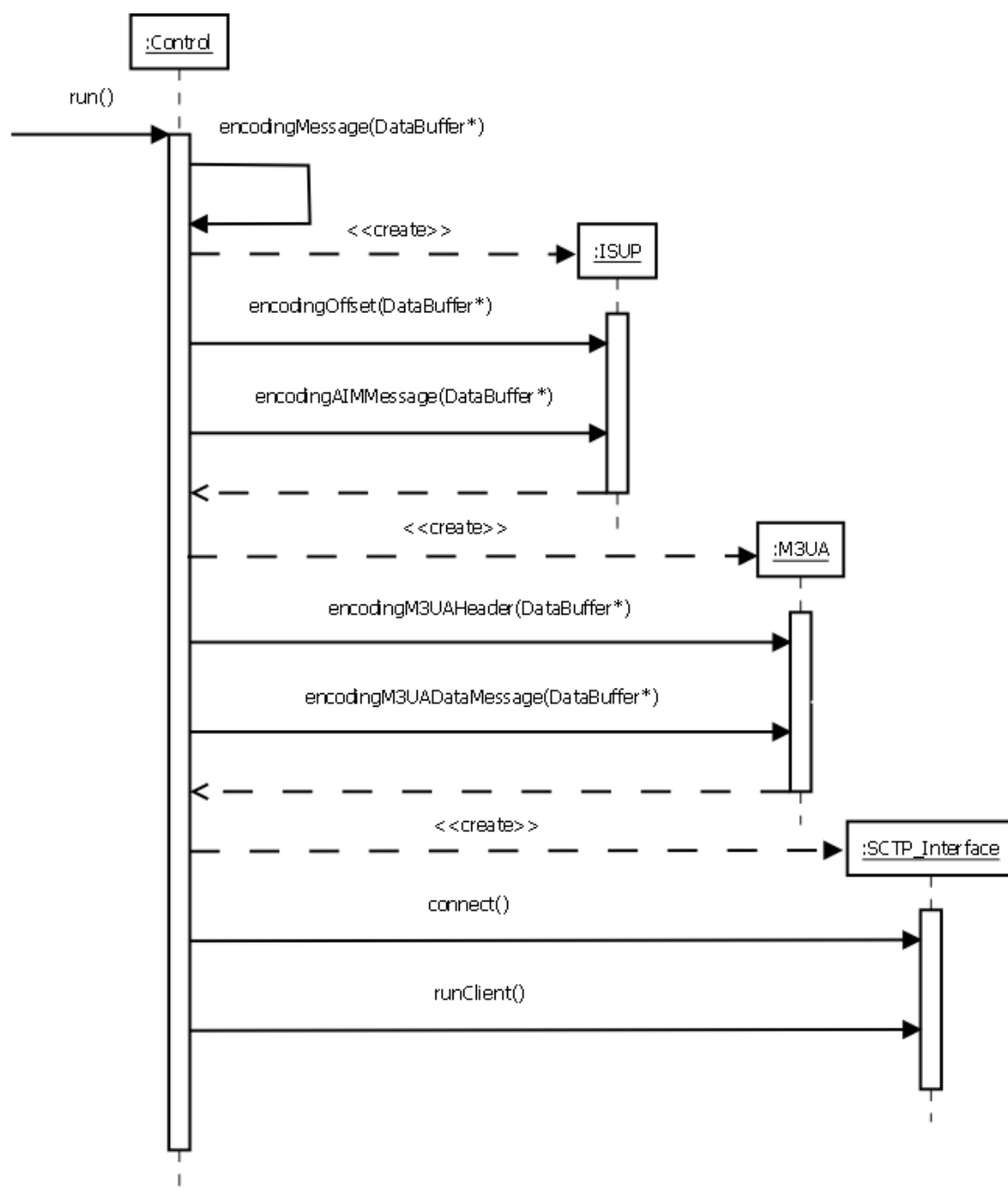
Třídy implementující kódování a dekódování zpráv, třídy ISUP a M3UA pro komponování některých parametrů využívají služeb pomocné třídy *RWData*. Tato třída má pouze dvě metody. Tyto metody poskytují služby pro získání hodnoty libovolného bitu z předaného oktetu a nastavení hodnoty (0 nebo 1) na určenou pozici v předaném oktetu.

Třída *SCTP_Interface* je určena pro správu komunikačního rozhraní. Jejím úkolem bude navazování a rušení spojení pomocí protokolu SCTP. Bude zajišťovat odesílání a přijímání kódovaných dat signálních zpráv a jejich předávání třídě *Control*.

Pro aplikační logiku je navržena již zmíněná třída *Control*. Tato třída tvoří kontrolér celého systému, na základě informací od ostatních tříd spouští příslušné akce. Vytváří nebo maže základní strukturu zprávy, předává danou strukturu buď třídě *SCTP_inteface* k odeslání nebo třídám ISUP/M3UA vytvoření či dekódování signální zprávy.

5.5 Modely interakce emulátoru ústředny

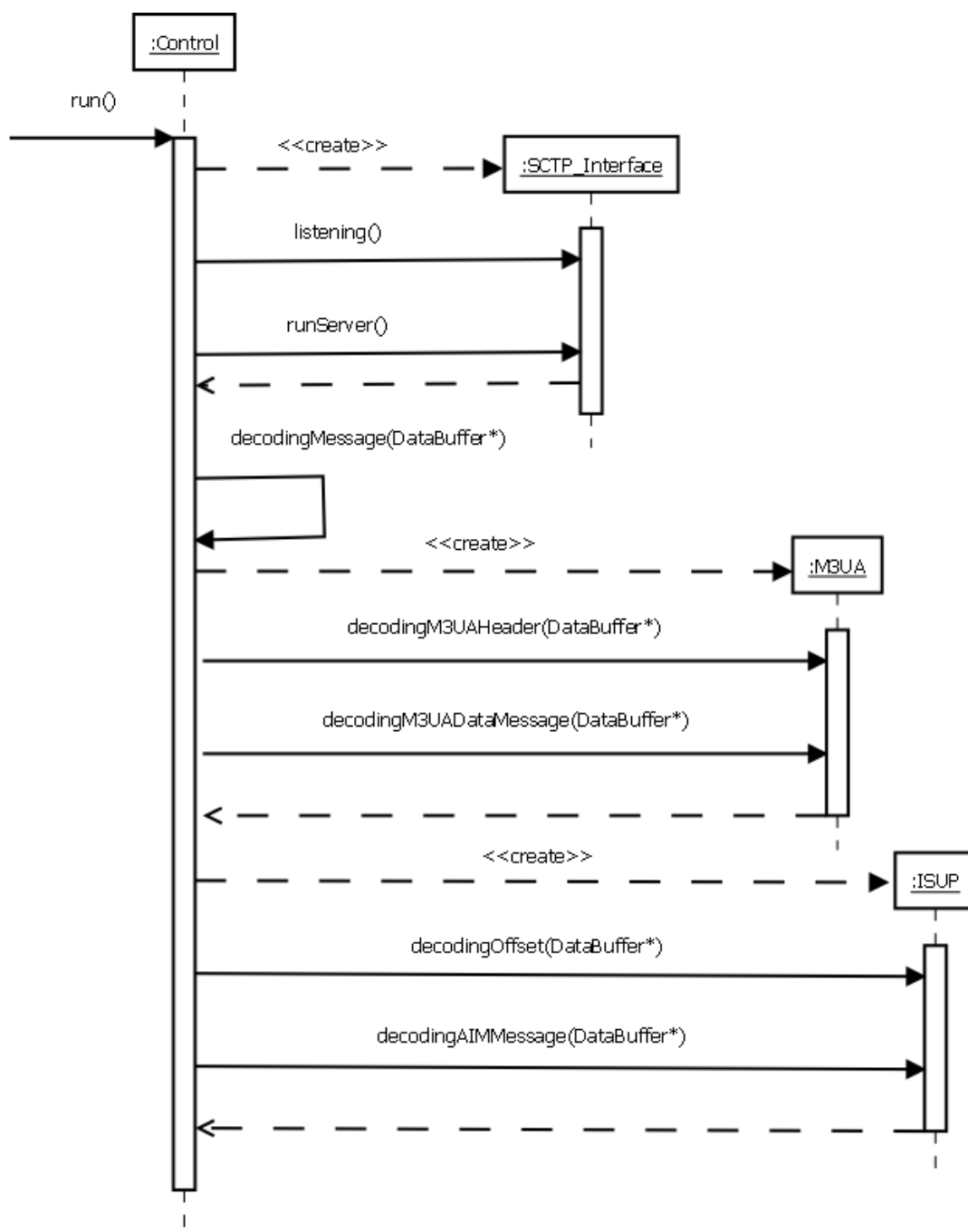
Sekvenční diagram zobrazený na obrázku Obrázek 31 - Sekvenční diagram vytvoření a odeslání zprávy IAM modeluje interakci tříd aplikace vedoucí k dosažení požadované funkcionality. Zmíněné třídy byly popsány v předchozí kapitole 5.4. Jedná se o modelování situace, kdy je aplikace spuštěna, začíná se sestavovat hovor, vytvořením a zasláním signalizační zprávy IAM. Z diagramu je zřejmé, že instance třídy *Control* je důležitým prvkem. Tento objekt analyzuje situaci, ve které se aplikace nachází a rozhoduje o další akci, kterou má aplikace provést.



Obrázek 31 - Sekvenční diagram vytvoření a odeslání zprávy IAM

Pro sestavení signalizační zprávy je předáno řízení objektu třídy *ISUP* zavoláním příslušné metody. Po sestavení zprávy IAM, je řízení navraceno zpět objektu *Control*, který ho opět předá objektu *M3UA*, ten zprávu IAM vloží do své datové zprávy, ta pak může být objektem *SCTP_interface* odeslána.

Na druhém sekvenčním diagramu je modelována situace na druhé straně spojení. Objekt *Control* předává řízení objektu *SCTP_interface* a ten zprávu přijme a předá ji objektu *Control* na zpracování. Ten s využitím služeb objektů *M3UA* a *ISUP* inverzním postupem dekóduje zprávu a analyzuje získaná data.



Obrázek 32 - Sekvenční diagram přijetí a dekódování zprávy IAM

5.6 Návrh emulátoru stanice

Jednoduchý emulátor telefonní stanice, bude tvořen jedinou třídou *Station*, která je zobrazena na obrázku Obrázek 33 - Třída Station. Tato třída obsahuje metody pro kódování a dekódování jednoduchých zpráv. Těmito metodami jsou *encodingMessage* a *decodingMessage*. Struktura *DataBuffer* bude využívána k uchovávání již zakódovaných dat zpráv. Její bližší popis deklaraci popisují u kapitole Kodování/dekodování zpráv ISUP. K odesílání zakódovaných zpráv bude sloužit metoda *sendMessage* a analogicky k této metodě bude navržena metoda *recvMessage* pro přijímání zpráv. Metoda *run* bude sloužit ke spuštění stanice a zahájení komunikace s ústřednou.

Station
<pre>-ConnectCode: unsigned short int -DialCode: unsigned short int -DisconnectCode: unsigned short int +encoding1Message(ABuf:DataBuffer*,typ:int): void +decodingConnectMessage(ABuf:DataBuffer*): int +sendMessage(ABuf:DataBuffer*): void +recvMessage(ABuf:DataBuffer*): void +run(): void</pre>

Obrázek 33 - Třída Station

Níže uvedený model komunikace znázorňuje jednoduchost celého komunikačního procesu. Samotná komunikace bude probíhat prostřednictvím protokolu TCP/IP. Signalizační zprávy, které jsou vytvořeny metodou *encodingMessage* výše popsané třídy *Station* budou zasílány emulátoru telefonní ústředny, který na ně bude adekvátně reagovat.



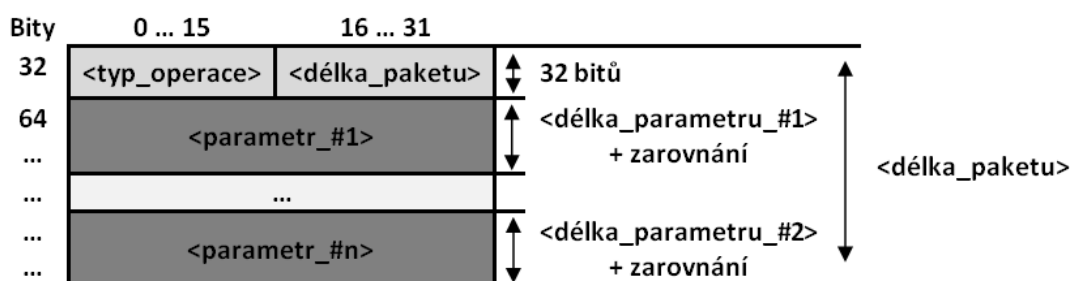
Obrázek 34 - Model komunikace mezi ústřednou a stanicí

Obecnou strukturu zprávy znázorňuje obrázek Obrázek 35 -Obecné schéma zprávy komunikačního protokolu, ve které jsou přenášeny jednotlivě. Každá zpráva se skládá ze dvou částí:

1. Společné hlavičky
2. Přenášených parametrů

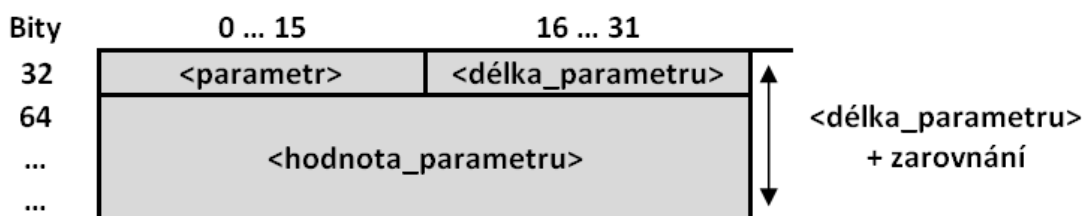
Společná hlavička je povinná pro všechny přenášené zprávy. Má pevně definovanou strukturu o délce 32 bitů a nachází se vždy na začátku paketu. Skládá se ze dvou parametrů – typ_operace a délka_paketu.

- Typ_operace je 16bitová hodnota, která reprezentuje typ přenášené zprávy.
- Délka_paketu je 16bitová hodnota, ve které je uložena velikost celého přenášeného paketu – tedy délka hlavičky (32bitů) a dalších přenášených parametrů, které jsou závislé na typu zprávy.



Obrázek 35 -Obecné schéma zprávy komunikačního protokolu

Protože každá operace vyžaduje rozdílné parametry, následuje za obecnou hlavičkou volitelný seznam parametrů. Každý parametr je přenášen zvlášť a je přenášen ve formátu name/length/value – tedy jméno parametru, následuje délka přenášeného parametru a nakonec vlastní hodnota. Hodnota parametr specifikuje, o jaký parametr se jedná. Pro každý typ zprávy je specifikována jiná sada parametrů. Délka_parametru nese velikost přenášeného parametru – tedy součet velikostí polí parametr, délka_parametru a hodnota_parametru. Pole hodnota_parametru nese vlastní data přenášeného parametru. Pokud jsou data nezarovnaná na hodnotu 4 bajtů, musí se použít zarovnání. Tento návrh je převzat z[16].



Obrázek 36 - Schéma parametru komunikačního protokolu¹

¹ Návrh komunikačního protokolu je převzat z diplomové práce mého spolužáka Jana Krajíčka, se kterým jsme pod vedením Ing. Františka Ščuglíka, PhD. vzájemně spolupracovali.

6 Implementace

6.1 Kodování/dekodování zpráv ISUP

Kódování a následné dekodování signalizačních zpráv vrstvy ISUP, je implementováno v souladu se standardním komunikačním protokolem popsáním v ITU-T Recommendation Q.763 [15]. Následující obrázek Obrázek 37 - Třída ISUP znázorňuje základní strukturu zpráv vrstvy ISUP. Obrázkem uvedené schéma je v aplikaci implementováno stejnojmennou třídou ISUP. V této třídě je implementováno sestavení jednotlivých signalizační zpráv z parametrů, které jsou standardem striktně dané.

ISUP
<pre>-Buffer: unsigned char * -GSbit: RWdata -ISUPMessageOffset: StruktRoutingLabel -FCI: StruktForwardCallIndicatorHA -NCI: StruktNatureOfConnectionIndicators -BCIha: StruktBackwardCallIndicatorHA -BCIpi: StruktBackwardCallIndicatorPI -RCI: StruktReleaseCauseIndicator -encodingForwardCallIndicatorHA(ABuf:DataBuffer*): void -encodingNatureOfConnectionIndicators(ABuf:DataBuffer*): void -encodingBackwardCallIndicatorPI(ABuf:DataBuffer*): void -encodingBackwardCallIndicatorHA(ABuf:DataBuffer*): void -decodingForwardCallIndicatorHA(ABuf:DataBuffer*, AFCI:StruktForwardCallIndicatorHA*): void -decodingNatureOfConnectionIndicators(ABuf:DataBuffer*, ANCI:StruktNatureOfConnectionIndicators*): void -decodingBackwardCallIndicatorHA(ABuf:DataBuffer*, ABCIha:StruktBackwardCallIndicatorHA*): void -decodingBackwardCallIndicatorPI(ABuf:DataBuffer*, ABCIpi:StruktBackwardCallIndicatorPI*): void +encodingOffset(ABuf):DataBuffer*): void +encodingAIMessage(ABuf:DataBuffer *): void +encodingACMMMessage(ABuf:DataBuffer*): void +encodingRELMMessage(ABuf:DataBuffer*): void +encodingRLCMessage(ABuf:DataBuffer*): void +decodingAIMessage(ABuf:DataBuffer*): void +decodingACMMMessage(ABuf:DataBuffer*): void +decodingRELMMessage(ABuf:DataBuffer*): void +decodingRLCMessage(ABuf:DataBuffer*): void +decodingOffset(ABuf:DataBuffer*, ARoutingLabel:StruktRoutingLabel*): void</pre>

Obrázek 37 - Třída ISUP

Každá zpráva je přenášena jako posloupnost bajtů. Tato posloupnost je v aplikaci implementována jako struktura obsahující pole nazvané data. Velikost této posloupnosti neznaménkových znaků (*unsigned char*) je dána předem definovanou hodnotou *#define SIZE_BUF 1024*. Do tohoto pole se ukládají již zakódované části zprávy. Struktura *DataBuffer* dále obsahuje dvě celočíselné hodnoty *aktIndex* a *dataSize*. Kde *aktIndex* je ukazatelem na

aktuální pozici v poli *data*, na kterou se právě zapisuje. Druhá číselná hodnota *dataSize* udává aktuální počet obsazených bajtů daného pole. Implementace této struktury je znárodněna níže.

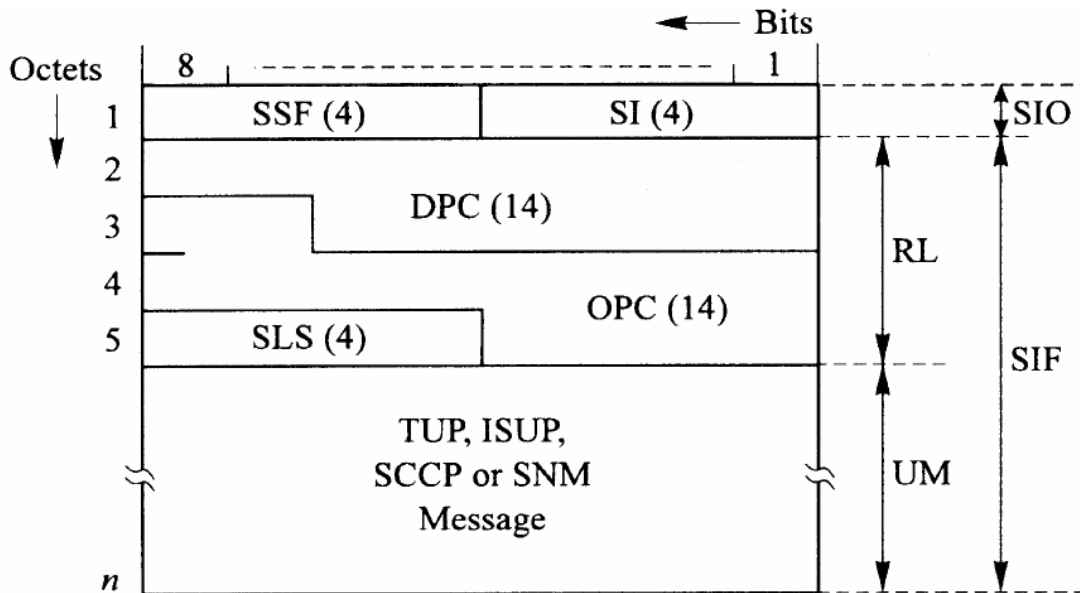
```
#define SIZE_BUF 1024

struct DataBuffer
{
    int aktIndex;
    unsigned char data[SIZE_BUF];
    int dataSize;
};
```

Ve třídě *ISUP* je struktura *DataBuffer* zpřístupněna prostřednictvím ukazatele na tuto strukturu. Pomocí tohoto ukazatele mohou metody této třídy provádět úpravy této struktury reprezentující výslednou zprávu, která je určena k odeslání.

6.1.1 Kompozice zpráv

Základní formát signalizačních zpráv vrstvy ISUP je zobrazen na obrázku Obrázek 38 - Základní schéma signalizační zprávy.



Obrázek 38 - Základní schéma signalizační zprávy

Části zprávy označené na obrázku Obrázek 38 - Základní schéma signalizační zprávy jako SIO a RL, tvoří dohromady prefix samotné uživatelské zprávy. Kódování/ dekodování tohoto prefixu je implementováno v metodách *codingOffset/decodingOffset* třídy *ISUP*. Společným parametrem těchto metod je ukazatel na strukturu *DataBuffer*. U metody pro dekodování je navíc předána i struktura pro uložení dekodovaných informací. Deklarace této struktury je uvedena níže.

```

struct StruckRoutingLabel
{
    unsigned char ServiceIndicator,SubserviceField;
    unsigned char DPCLowOrderOctet,OPCLowOrder,DPCHighOrder;
    unsigned char OPCMiddleOrderOctet,SLCfirst,OPCHighOrder;
    unsigned char CICLowOrderOctet,SLCsecond,CICHightOrder;
};

```

Podrobnější informace o způsobu sestavení tohoto prefixu zprávy ISUP jsou uvedeny v kapitole 5.3. Tato část signalizační zprávy je pro všechny typy ISUP zpráv stejná. Všechny uvedené parametry a jejich umístění jsou jednoznačně dány standardem.

Implementace uživatelské části zpráv, z hlediska parametru, jejich pozic a počtu jsou specifické pro každý typ zprávy. Ale všechny typy signalizačních zpráv jsou implementovány v souladu se základní formátem uživatelské části. Tento formát je zobrazen na obrázku Obrázek 39 - Základní schéma zprávy ISUP. První dva parametry jsou striktně dány. Jsou jimi CIC (circuit identification code) obsahující identifikátor komunikačního okruhu a parametr Message Type sloužící k identifikování signalizační zprávy, které je v následujících bajtech zakódována. Vybrané hodnoty těchto parametrů jsou uvedeny v následujících tabulkách. V tabulce Tabulka 1 - Typy zpráv jsou uvedeny identifikační kódy všech zpráv, které jsou v aplikaci implementovány. Jejich užití je vysvětleno v kapitole 5.2 Model komunikace.

Message Type	Code
Initial address	0000 0001
Address complete	0000 0110
Release	0000 1100
Release complete	0001 0000

Tabulka 1 - Typy zpráv

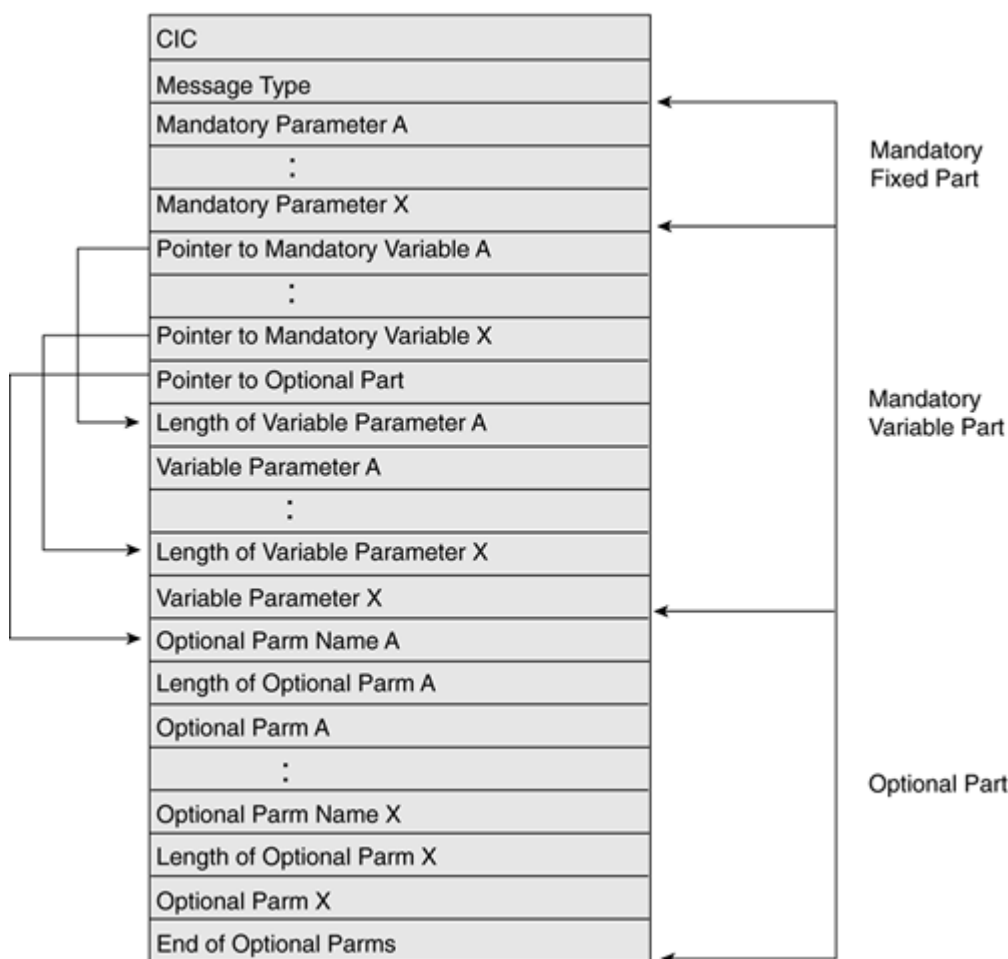
Circuit	Code
Circuit 1	0000 0000
Circuit 2	0000 0001
Circuit 3	0000 0010
.....	
.....	
Circuit 128	1111 1111

Tabulka 2 - Identifikátory okruhů

Kódování/dekódování uživatelské části, specifické pro daný typ zprávy, jsou implementovány v těchto metodách třídy ISUP.

- Kódování
 - *int encodingAIMMessage(DataBuffer *ABuf);*
 - *int encodingACMMMessage(DataBuffer *ABuf);*
 - *int encodingRELMMessage(DataBuffer *ABuf);*
 - *int encodingRLCMessage(DataBuffer *ABuf);*
- Dekódování
 - *int decodingAIMMessage(DataBuffer *ABuf);*
 - *int decodingACMMMessage(DataBuffer *ABuf);*
 - *int decodingRELMMessage(DataBuffer *ABuf);*
 - *int decodingRLCMessage(DataBuffer *ABuf);*

Tyto metody sice implementují rozdílné typy zpráv, ale všechny ctí následující schéma zobrazené na obrázku Obrázek 39 - Základní schéma zprávy ISUP. Jednotlivé parametry jsou těmito metodami vkládány do struktury *DataBuffer*. Nejdříve jsou kódovány parametry s fixní délkou, před těmito parametry nemusí být vložen identifikátor daného parametru, ani jeho délka. Následně jsou vkládány ukazatele na povinné parametry s variabilní délkou. Tyto ukazatele o velikosti jednoho bajtu obsahují tzv. offset svého parametru. Offset parametru je číslo určující, na kterém z následujících oktětů začíná daný parametr. Povinné parametry s variabilní délkou jsou vkládány za množinu ukazatelů. Následují volitelné parametry. Tyto parametry se skládají z kódu parametru, jeho délka a samotné hodnoty parametru.

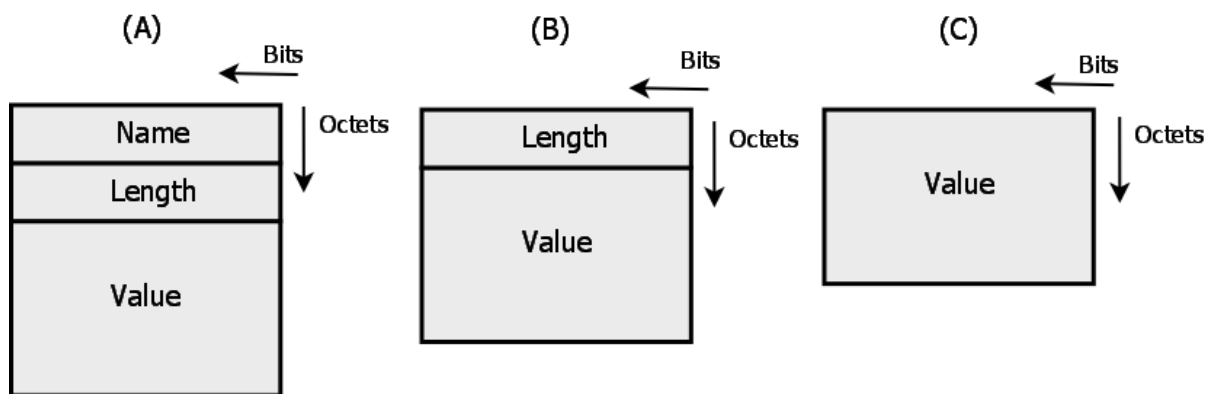


Obrázek 39 - Základní schéma zprávy ISUP

6.1.2 Kompozice parametrů

Všechny implementované zprávy této vrstvy mají protokolem dané parametry i pořadí těchto parametrů. Názvy a pořadí parametrů pro jednotlivé signalizační zprávy vrstvy ISUP jsou uvedeny z kapitole 5.3. Parametry zpráv jsou děleny do tří skupin.

- Povinné parametry s pevnou délkou (Mandatory, Fixed Parameters) tyto parametry jsou striktně přiděleny protokolem k danému typu zprávy. Tyto parametry jsou vždy do zprávy vloženy. Implementace povinného parametru s pevnou délkou je zobrazena na obrázku Obrázek 40 - Formát parametrů (C).
- Povinné parametry s proměnnou délkou (Mandatory, Variable Parameters) jsou stejně jako předchozí typ parametrů vázány na typ zprávy a jsou na základě protokolu vloženy na příslušný oktet. Jejich délka je proměnná a proto před hodnotou musí vždy být vložen oktet s délkou následujícího parametru. Implementace tohoto parametru je znázorněna na obrázku Obrázek 40 - Formát parametrů (B).
- Volitelné parametry mohou být případně potřeby vloženy do zprávy. Jejich délka může být pevná i proměnlivá. Implementovaný formát volitelného parametru je znárodněn na obrázku Obrázek 40 - Formát parametrů (A).



Obrázek 40 - Formát parametrů

Kódování a dekódování parametrů signální zprávy je implementováno buď přímo v metodě, která kóduje či dekóduje typ zprávy, kde se daný parametr vyskytuje, nebo je pro tento parametr volána privátní metoda třídy ISUP. Implementace kódování/ dekódování některých parametrů v privátních metodách třídy je výhodné z hlediska srozumitelnosti, znovupoužitelnosti a lepší udržitelnosti kódu. Níže uvedené implementace parametrů, jsou pouze vybrané typy, pro lepší představu.

Message Type

Tento parametr je jednoduchým příkladem parametru jehož hodnota je číslo v binárním tvaru. Toto číslo je kód některého typu zprávy. Je velice důležitý, podle tohoto čísla aplikace určí o jaký druh zprávy jde a zavolá příslušnou metodu, která zjištěný typ zprávy správně dekóduje. Hodnoty tohoto parametru použité v aplikaci uvádí tabulka Tabulka 1 - Typy zpráv.

Backward Call Indicators

Tento povinný parametr s fixní délkou dva bajty. Je aplikací vkládán do signální zprávy REL(release). Hodnota tohoto parametru není brána jako číslo, ale jako množina šestnácti indikátorů. Tyto indikátory nesou informaci pro zdrojovou telefonní ústřednu. Formát tohoto parametru je znázorněn na obrázku Obrázek 41 - Backward Call Indicators.

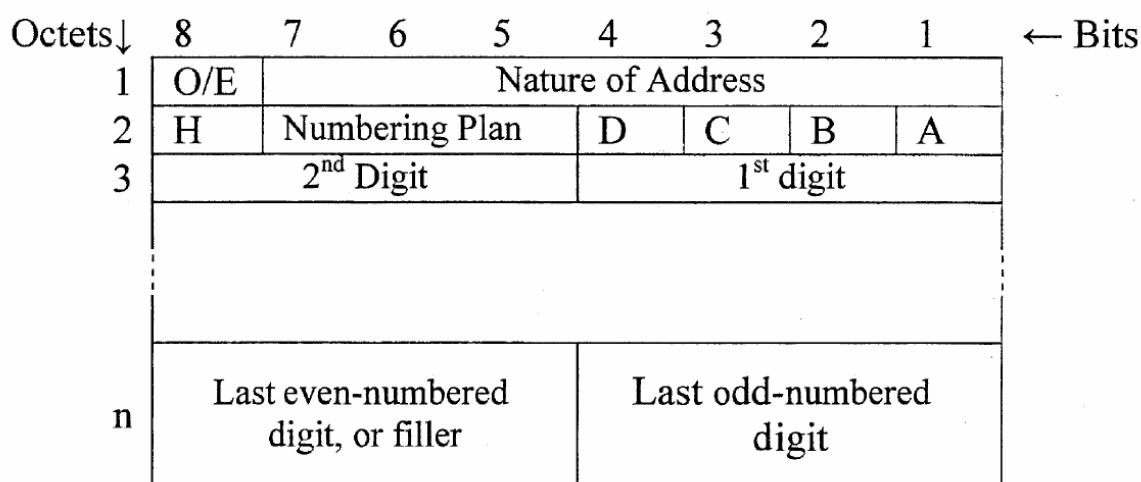
Octets↓	8	7	6	5	4	3	2	1	← Bits
1	H	G	F	E	D	C	B	A	
2	P	O	N	M	L	K	J	I	

Obrázek 41 - Backward Call Indicators

Seznam kódů pro jednotlivé indikátory tohoto parametru jsou uvedeny v příloze 2.

Called Party Numer

Tento parametr je kódován ve zprávě AIM, zde patří do skupiny povinných parametrů s proměnou délkou. Délka tohoto parametru se pohybuje v rozmezí 4-11 bajtů. Tímto parametrem se přenáší číslo volaného účastníka. Toto číslo je kódováno tak, že jsou aplikací vkládány binární tvary jednotlivých číslic telefonního čísla volaného účastníka. Pro vložení jedné číslice je rezervován vždy 4bitový prostor. Pokud je počet číslic volaného telefonního čísla lichý, jsou poslední čtyři bity posledního oktetu nastaveny na hodnotu "1111". Lichý nebo sudý počet číslic je indikován nejvyšším bitem prvního oktetu (O/E).



Obrázek 42 - Called Party Numer

Zpracování tohoto důležitého parametru je implementováno ve střídě ISUP konkrétně v metodách *int encodingAIMMessage(DataBuffer *ABuf)* a *int encodingAIMMessage(DataBuffer *ABuf)*.

6.2 Kodování/dekodování zpráv adaptační vrstvy M3UA

Adaptační vrstva M3UA umožňuje přenos signalizačních zpráv ISUP přes IP síť. Pro přenos těchto zpráv jsou využívány datové zprávy této vrstvy. Ostatní typy zprávy jsou určeny pro management vrstvy. V aplikaci služby vrstvy M3UA zabezpečuje stejnojmenné třída, tedy třída M3UA. Struktura třídy M3UA je zobrazena na obrázku Obrázek 43- Třída M3UA.

M3UA
-Data: unsigned char * -VelikostData: int -OutM3UAHeader: StruktM3UAHeader -InM3UAHeader: StruktM3UAHeader -OutM3UADataMessage: StruktM3UADataMessage -InM3UADataMessage: StruktM3UADataMessage
+CM3ua(ABuf:DataBuffer*) +encodingM3UADataMessage(ABuf:DataBuffer*): void +decodingM3UADataMessage(ABuf:DataBuffer*): void +encodingM3UAHeader(ABuf:DataBuffer*): void +decodingM3UAHeader(ABuf:DataBuffer*): void

Obrázek 43- Třída M3UA

Metody této třídy umožňují kódovat a dekódovat datové zprávy vrstvy M3UA. Tato aplikace je zaměřena pouze na přenos signalizačních zpráv, proto jsou v metodách třídy M3UA algoritmy pro implementaci právě datových zpráv této vrstvy. Zprávy pro management této vrstvy již implementovány nejsou.

Každá zpráva této vrstvy je uvozena hlavičkou. Hlavička zprávy je do struktury se zprávou vkládána metodou *encodingM3UAHeader(DataBuffer *ABuf)*, její parametr je ukazatel na strukturu, ve které jsou uchovávána již zakódovaná data celkové zprávy určené k odeslání. Formát hlavičky je zobrazen na obrázku Obrázek 44 - Hlavička zprávy M3UA.

0 1 2 3 4 5 6 7	0 1 2 3 4 5 6 7	0 1 2 3 4 5 6 7	0 1 2 3 4 5 6 7
Version	Reverved	Message class	Message type
Message length			

Obrázek 44 - Hlavička zprávy M3UA

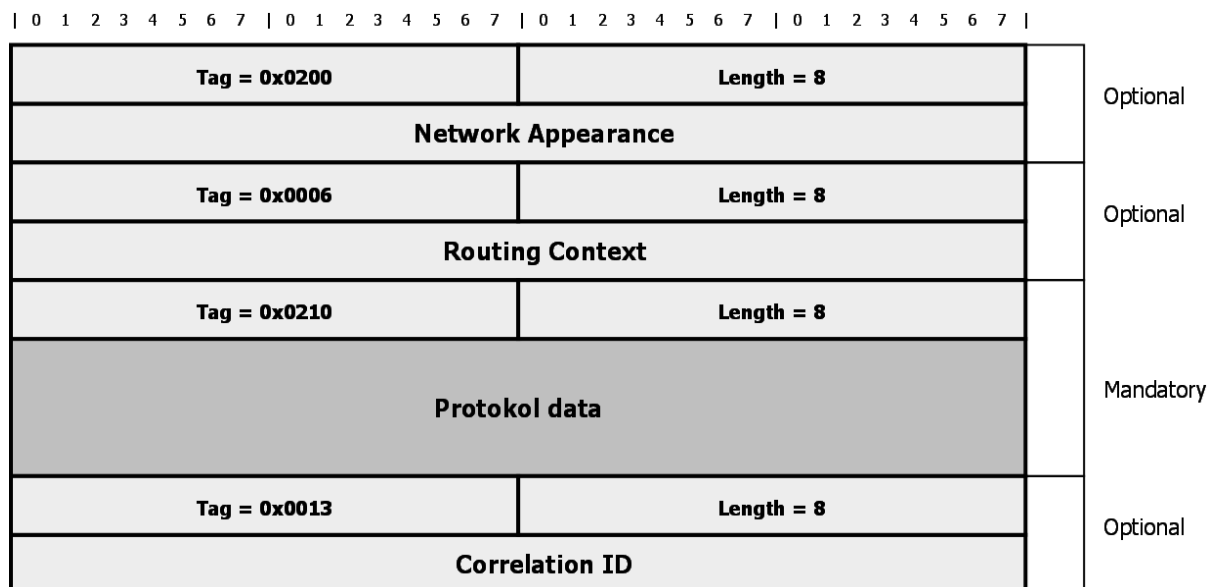
Pole *Version* a *Reverved* nejsou z hlediska implementace zajímavá, protože jejich hodnoty jsou standardem dané *Version=0x1*, protože je podporována pouze verze 1.0, a pole *Reverved = 0x0*. Pole *Message class* obsahuje kód, který určí k jakému účelu je následující zpráva určena. Například dříve zmíněné zprávy pro management mají v tomto poli hodnotu 0x0. Pro mnou implementované zprávy bude toho pole nastaveno na hodnotu 0x1. Parametr *Message type* obsahuje kód, který blíže specifikuje typ zprávy, která je touto hlavičkou uvozena. Pro datové zprávy je standardem přiřazený kód 0x1. Deklarace struktury, která obsahuje informace pro sestavení hlavičky zprávy M3UA, je uvedena níže.

```

struct StruktM3UAHeader{
    unsigned char Version,Reserved;
    unsigned char MessageClass,MessageType;
    long int MessageLength;
};

```

Tělo samotné zprávy této adaptační vrstvy je tvořeno parametry. Níže uvedený obrázek Obrázek 45 - Formát datové zprávy vrstvy M3UA zobrazuje strukturu datové zprávy, tak jak ji definuje standard. V aplikaci je tento formát implementován ve třídě M3UA. Pro kódování je volána veřejná metoda *encodingM3UADataMessage(DataBuffer *ABuf)* a pro dekódování analogicky volána metoda *decodingM3UADataMessage(DataBuffer *ABuf)*.



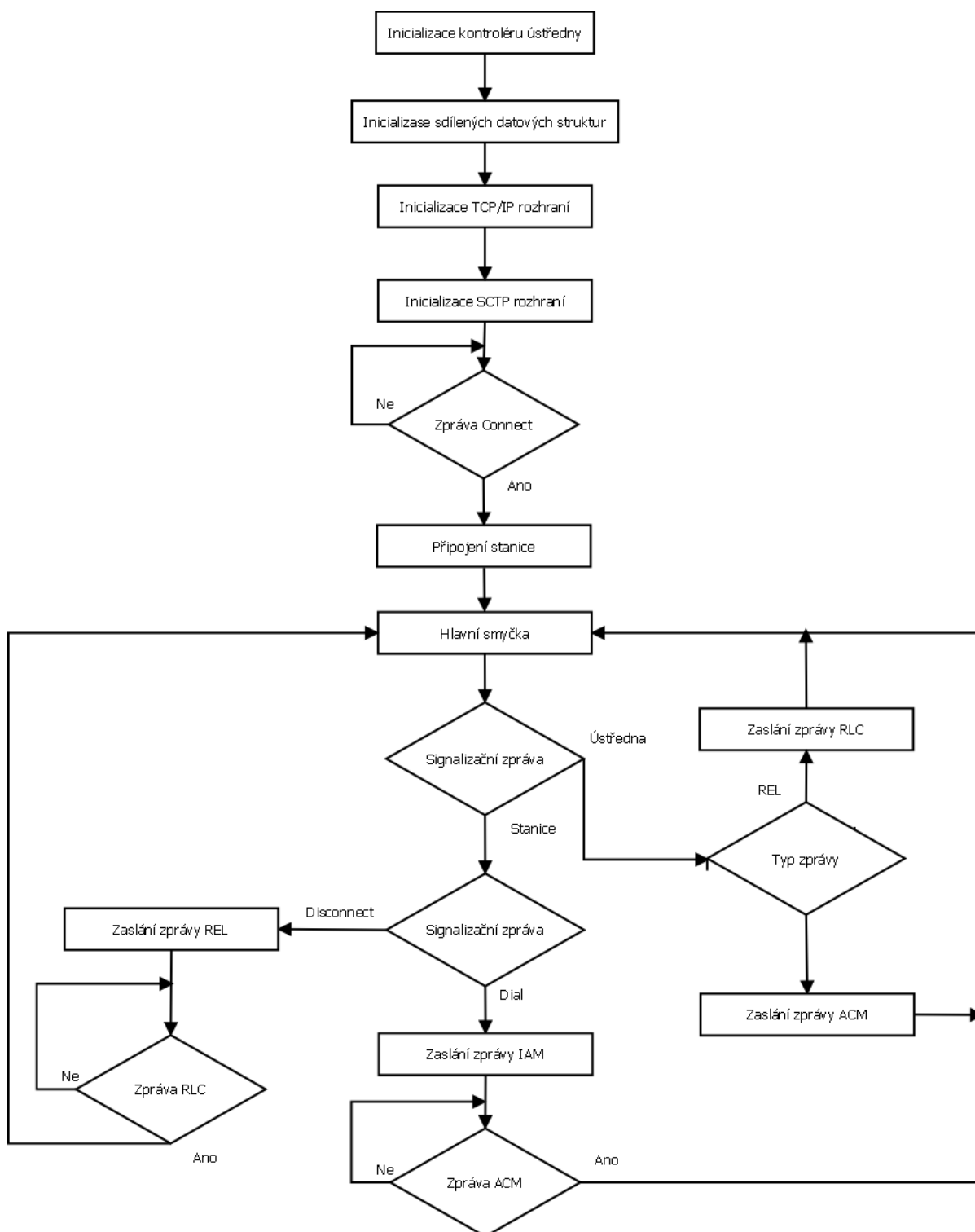
Obrázek 45 - Formát datové zprávy vrstvy M3UA

6.3 Emulátor telefonní ústředny

Jádro emulátoru telefonní ústředny je implementováno ve třídách *Control* a *SCTP_Interface*. Samotný emulátor je spouštěn metodou *run* třídy *Control*, kde je také soustředěna aplikační logika celého systému. Zde jsou také vytvořeny a inicializovány všechny sdílené datové struktury, které jsou nezbytně nutné k uchovávání informací důležitých pro bezchybný běh ústředny. Mezi nejdůležitější takové struktury bezpochyby patří struktura *DataBuffer*. Tato struktura reprezentuje samotnou zprávu, které je zasílána zdrojovou ústřednou prostřednictvím komunikačního protokolu SCTP cílové ústředně, v našem případě je ústřednou mnou vytvořený emulátor telefonní ústředny.

V jádře emulátoru jsou také inicializovány objekty výše zmíněných tříd, které poskytují služby kódování a dekódování zpráv. Algoritmy pro správné využití těchto služeb jsou implementovány v privátní metodách třídy *Control*. Těmito metodami jsou *encodingMessage* a *decodingMessage*.

Běh jádra emulátoru je zjednodušeně znázorněn na obrázku Obrázek 46 - Vývojový diagram jádra emulátoru.



Obrázek 46 - Vývojový diagram jádra emulátoru

6.4 Testování

Pro účely testování byl navržen jednoduchý emulátor mobilního telefonu (stanice). Návrh toho to emulátoru je uveden v kapitole 5.6 Návrh emulátoru stanice. Na základě spolupráce s Bc. Janem Krajíčkem pod vedením našeho společného vedoucího Ing. Františka Ščuglíka, Ph.D. byl vytvořen návrh komunikačního protokolu určený pro signalizaci mezi emulátorem mobilního telefonu a ústředny. Implementace tohoto jednoduchého emulátoru zahrnuje vytváření a dekódování signalizačních zpráv uvedených v tabulce Tabulka 3- Zprávy komunikačního protokolu.

Typ zprávy	Kód	Popis
Connect	01	Tato zpráva slouží k připojení emulátoru mobilní stanice k emulátoru mobilní telefonní ústředny.
Dial	02	Tato zpráva slouží k založení telefonního hovoru.
Disconnect	03	Tato zpráva slouží ke zrušení telefonního hovoru.

Tabulka 3- Zprávy komunikačního protokolu[16]

Pro současné potřeby testování je dostačující implementace těchto tří zpráv. Zprávy jsou komponovány z parametrů, jak se uvedeno v jejich návrhu v kapitole 5.6 Návrh emulátoru stanice. Spuštění samotného emulátoru stanice je implementováno v metodě *run* třídy *Station*. V této metodě je také aplikační logika celého emulátoru. Kódování a dekódování výše uvedených zpráv je implementováno metodách *encodingMessage* a *decodingMessage*. Stejně jako v emulátoru telefonní ústředny i zde se využívá struktura *DataBuffer* k uchovávání zakódovaných dat zpráv. Tato struktura je předávána také metodám zajišťující odesílání a přijímání zpráv.

Kompozice zpráv a jejich parametrů je implementována výše jmenovanými metodami na základě schématu uvedeném v kapitole návrhu na obrázku Obrázek 36 - Schéma parametru komunikačního protokolu. Kódování parametrů jednotlivých zpráv je prováděno podle níže uvedených tabulek.

Typ parametru	Hodnota (hexa)	Popis
IMSI	01	V tomto parametru se přenáší hodnota IMSI mobilní stanice (MS), která slouží k její identifikaci .
TMSI	02	V tomto parametru se přenáší hodnota TMSI mobilní stanice (MS), která slouží k její identifikaci .
IMEI	03	Přenos IMEI čísla pro potřeby EIR databáze .
RAND	04	Náhodné číslo, které je generováno autentizačním centrem (AuC) v průběhu autentizačního procesu .
SRES	05	Odpověď MS na přijaté RAND číslo. Používá se v autentizačním procesu .

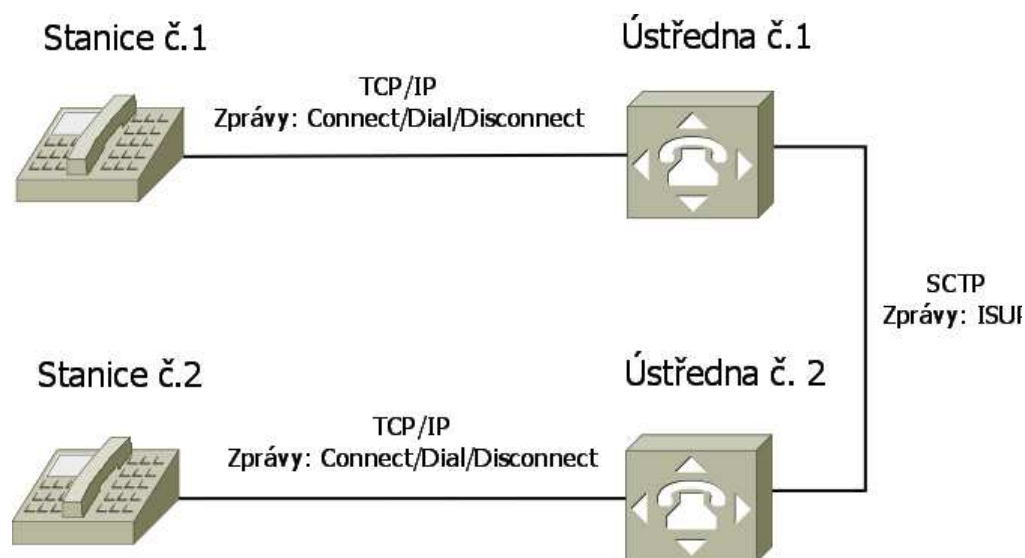
Tabulka 4 - Kódy pro zprávu Connect[16]

Signalizační zprávy Dial a Disconnect sloužící k založení a zrušení hovoru mají společný a zároveň jediný parametr. Tímto parametrem je MSISDN, který obsahuje číslo volané stanice.

Typ parametru	Hodnota (hexa)	Popis
MSISDN	01	MSISDN číslo volané mobilní stanice. Maximální délka je 15 číslic/bajtů.

Tabulka 5 - Kód pro zprávy Dial a Disconnect

Testování vzájemné komunikace mezi jednotlivými emulátory ústředen a jejich stanicemi. Bylo prováděno podle modelu uvedeném na obrázku Obrázek 47- Model komunikace pro testování.



Obrázek 47- Model komunikace pro testování

Testování bylo prováděno na základě analyzování datového toku mezi emulátory telefonních ústředen. Při modelované situaci, kdy se dvě instance emulátorů telefonních ústředen spustí a ke každé takové instanci se spustí a připojí jedna instance emulátoru stanice. Pro připojení použije výše popsanou zprávu *Connect*. Vybraná stanice zasílá zprávy Dial požádá svojí ústřednu o založení hovoru. Následuje výměna signalizačních zpráv pro sestavení hovoru. Po této sekvenci zpráv, mohou být v reálné situaci přenášena hovorová data. V mnou modelové situaci se soustředíme pouze na signalizaci pro sestavení a rušení hovoru a je tedy přenos hovorových data zanedbán a není v emulátorech implementován. Na základě zaslání zprávy Disconnect emulátorem stanice své ústředně následuje výměna signalizačních zpráv pro zrušení hovoru. Celá modelová situace je znázorněna v kapitole 5.2 na obrázku Obrázek 24 - Schéma komunikace.

Pro analýzu přenášených dat mezi ústřednami a ověření správnosti implementace sestavení a kódování jednotlivých signalizačních zpráv byl využit nástroj na analýzu datového toku LinkBit. Tento nástroj je přístupný online na adrese <http://www.linkbit.com/>. Po zvolení použitých komunikačních protokolů a datového toku je tento nástroj schopen dekodovat datový tok a zobrazit dekodovaná data. Vizuálně lze poté ověřit zda je kódování implementováno správně. Na následujícím obrázku je zobrazena analýza a dekodování zprávy IAM.

0	00000001	Protocol Version	1 (Release 1)
1	00000000	Reserved	0
2	00000001	Message Class	1 (Transfer)
65	00000001	Message Type	1 (DATA)
4-7		Message Length	84
		+ Routing Context	
		- Protocol Data	
16-17		Parameter Tag	528 (Protocol Data)
18-19		Parameter Length	67
20-23		Originating Point Code	123
24-27		Destination Point Code	456
28	00000101	SI	5 (ISDN User Part)
29	00000000	NI	0 (International Network)
30	00000000	MP	0
31	00000001	SLI	1
32-82		User Protocol Data	51 Octets (hex): 01 00 01 00 00 00...
145	00000000	padding	1 Octets (hex): 00
		- ISUP ITU: IAM	
		- Routing Label	
		DPC	456
		OPC	123
		SLI	1
		- CIC	
32-33		CIC	1
		- Message type	
34	00000001	Message type	IAM (1)
		+ Nature of connection indicators	
		+ Forward call indicators	
		+ Calling party's category	
		+ Transmission medium requirement	
		+ Pointer to Called party number	
		+ Pointer to start of optional part	
		- Called party number	
42	00000101	Length indicator	5
43	1.....	Odd/even indicator	1 (odd number of address signals)
	.0000011	Nature of address indicator	3 (national (significant) number)
44	0.....	Internal Network Number indicator	0 (routing to internal network number allowed)
	.001.....	Numbering plan indicator	1 (ISDN numbering plan)
	0000	spare	0
45-47		Address signals	22222
		+ Calling party number	
		+ End of optional parameters	

Obrázek 48 - Analýza datového toku

7 Závěr

Cílem této práce bylo seznámení se s vývojem telekomunikačních sítí, jejich strukturou a principy. Vytvoření detailnějšího pohledu na signalizaci v systému GSM a zaměřit se na signalizaci, která se v těchto systémech používá pro správu provozu na páteřních spojích. Navrhnout a implementovat emulátor telefonní ústředny a emulátor mobilního telefonu. Navrhnout a implementovat komunikační protokol pro signalizaci mezi emulátory ústředny a mobilního telefonu. Při procházení zdrojů, ať už v papírové nebo elektronické formě, jsem se seznámil z mnoha zajímavými poznatky, které souvisí s problematikou mobilních telekomunikačních sítí a o kterých jsem doposud nikdy neslyšel.

Trendem v telekomunikačních sítích je stále více využívat stávající infrastrukturu a ve zvyšování efektivnosti vývojem nových technologií umožňující propojování více sítí různorodých domén. Stále více se upouští od používání signalizace SS7 z důvodu nutnosti speciálního hardwaru a zakoupení licence. Signalizace SS7 je nahrazována protokolovou sadou SIGTRAN s využíváním stávající infrastruktury.

Pro samotnou realizaci emulátoru telefonní ústředny je vhodné používat protokoly protokolové sady SIGTRAN, které umožňují využívat IP sítě pro přenos signalizační zpráv. Podmínkou ovšem je implementace nového transportního protokolu SCTP, neboť protokol TCP je, pro přenos signalizace, nevyhovující. Pro samotný přenos ISUP uživatelský zpráv je nutné implementovat do emulátoru telefonní ústředny adaptační protokol M3UA.

V rámci této práce jsem navrhl a implementoval emulátor telefonní ústředny. Tato aplikace je složená ze samotné ústředny a knihoven, které ústředně poskytují služby pro kódování a dekodování signalizačních zpráv ISUP a datových zpráv adaptační vrstvy M3UA. Aplikace emuluje část reálné ústředny, které je zodpovědná za zasílání signalizačních zpráv mezi ústřednami s cílem umožnit sestavení hovoru. Vyžaduje podporu komunikačního protokolu SCTP. Byla vyvíjena a testována na operačním systému Linux s jádrem 2.6. Pro potřeby testování byl navržen a implementován emulátor mobilního telefonu i s jednoduchým komunikačním protokolem.

Celá aplikace je řešena modulově. Toto řešení umožňuje upravovat či rozšiřovat možnosti emulátoru. Všechny zprávy, ať už pro potřeby signalizace ISUP, nebo pro adaptační vrstvu M3UA, jsou implementovány v rámci standardu, proto i případné rozšiřující moduly by měly tento standard ctít. Pro rozšíření emulátoru bych se zaměřil na implementaci dalších signalizačních zpráv vrstvy ISUP, protože současná verze emulátoru podporuje pouze základní signalizační zprávy pro sestavení hovoru. Další možností rozšíření by mohlo být přidání podpory zpráv pro management k současným datovým zprávám adaptační vrstvy M3UA.

Literatura

- [1] Schiller, Jochen. Mobile Communications. London: Person Education Limited, 2003. ISBN 0-321-12381-6.
- [2] Ščuglík František, přednáškové materiály k předmětu Pokročilé komunikační systémy, VUT Brno 2011.
- [3] Pužmanová, Rita. Moderní komunikační sítě od A do Z. Brno: Computer press, a.s., 2006, ISBN 80-251-1278-0.
- [4] Pužmanová, Rita. Bezpečnost bezdrátové komunikace, Brno: Computer press, a.s., 2005.
- [5] Petr Hanáček, přednáškové materiály k předmětu Bezdrátové a mobilní sítě, VUT Brno 2011.
- [6] Pavel Bezpalec, přednáškové materiály k předmětu Přenosové a spojovací systémy, ČVUT FEL Praha, 2006.
- [7] Pavel Bezpalec, přednáškové materiály k předmětu Sítě integrovaných služeb, ČVUT FEL Praha, 2006.
- [8] Martin P. Clark, Network and Telecommunications: design and operation . 2nd ed., 1997 ISBN 0-471-97346-7.
- [9] Karol Blunár, Zdeněk Diviš, Telekomunikační sítě, díl 1, PRESSART Ostrava, ISBN 80-248-0391-7.
- [10] Message Transfer Part Tutoriál, [Online] [Citace: 29.11.2011], <http://www.pt.com/page/tutorials/ss7-tutorial/mtp>
- [11] Petr Vacek, přednáškový materiál z Teorie a praxe IP telefonie - Signalizace SS7, ČVUT FEL Praha, 2006.
- [12] Cisco SS7 Fundamentals - Chapter 5 ISUP and TCAP[Online] [Citace: 04.12.2011], http://www.cisco.com/en/US/products/hw/switches/ps2246/products_pre-installation_guide_chapter09186a00800ea6d4.html
- [13] SIGTRAN [Online] [Citace: 12.12.2011], <http://www.protocols.com/pbook/sigtran.htm>
- [14] Mobilní sítě [Online] 28.07.2004 [Citace: 12.12.2011], <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cislocianku=2004072801>

- [15] Specifications of Signalling System No. 7 – ISDN user part, ITU—T Recommendation Q. 763 [online] [Citace: 2.1.2012], <http://www.itu.int/rec/T-REC-Q.763-199912-I/en/>
- [16] Krajíček, Jan. Emulátor mobilní telefonní ústředny : diplomová práce. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií, 2012. Vedoucí diplomové práce František Ščuglík.
- [17] John G. van Bosse, Fabrizio U. Devetak, Signaling in telecommunication Network. second edition., 2007, ISBN-10 0-471-66288-7.
- [18] Signaling System 7 (SS7) Message Transfer Part 3 (MTP3) – User Adaptation Layer (M3UA), RFC 4666 [online] [Citace: 20.3.2012, <http://tools.ietf.org/html/rfc4666>

Seznam použitých zkratek

AGCH Access Grant Channel
AuC Authentication center
BCCH Broadcast Control Channel
BSC Base Station Controller
BSS Base Station Subsystem
BTS Base transceiver station
CAS Channel Associated Signaling
CCCH Common Control Channels
CCS Common Channel Signaling
CDMA Code Division Multiples Access
EIR Equipment Identification Register
FAC Final Assembly Code
FACCH Fast Associated Control Channel
FCCH Frequency Correction Channel
FCI Forward Call Indicators
GMSC Gateway MSC
GSM System for Mobile Communications, původně: Groupe Spécial Mobile
HLR Home location register
IMEI International Mobile Equipment Identity
IMSI International Mobile Subscriber Identity
INN Internal Network Number Indicator
ISUP ISDN User Part
IWF Interworking Functions
LAC Location Area Code
LAI Location Area Identity
LU Location Update
MCC Mobile Country Code
MM Mobility Management
MNC Mobile Network Code
MS Mobile Station
MSC Mobile Switching Center
MSIN Mobile Station Identification Number
MSISDN Mobile Station International ISDN Number
MSRN Mobile Subscriber Roaming Number
MTP Message Transfer Part
NOC Nature of Connection Indicators
NSS Network Switching Subsystem
OMC Operation and Maintenance Center
OSS Operation Subsystem
PCH Paging Channel
PSTN Public Switched Telephone Network
RACH Random Access Channel
RSS Radio Subsystem
SACCH Slow Associated Control Channel
SCCP Signaling Connection Control Part
SCH Synchronization Channel
SDCCH Standalone Dedicated Control Channel
SIM Subscriber Identity Module
SS7 Signaling System No. 7
SSP (Service Switching Point)

STP (Service Transfer Point)
TAC Type Allocation Code
TCAP Transaction Capabilities Application Part
TDMA Time division multiple access
TMSI Temporary Mobile Subscriber Identity
UMTS Universal Mobile Telecommunications System
VLR Visitor Location Register

Seznam příloh

Příloha 1: Kódy používané pro parametr Message Type

Příloha 2: Kódy používané pro parametr Backward Call Indicators

Příloha 3: Deklarace použitých struktur

Příloha 3: Obsah CD

Příloha 1: Kódy používané pro parametr Message Type

ACM	Address Complete	00000110
ANM	Answer	00001001
BLO	Blocking	00010011
BLA	Blocking Acknowledgment	00010101
CPG	Call Progress	00101100
CGB	Circuit Group Blocking	00011000
CGBA	Circuit Group Blocking Acknowledgment	00011010
CQM	Circuit (Group) Query	00101010
CQR	Circuit (Group) Query Response	00101011
GRS	Circuit Group Reset	00010111
GRA	Circuit Group Reset Acknowledgment	00101001
CGU	Circuit Group Unblocking	00011001
CGUA	Circuit Group Unblocking Acknowledgment	00011011
CRG	Charge Information	00110001
CFN	Confusion	00101111
CON	Connect	00000111
COT	Continuity	00000101
CCR	Continuity Check Request	00010001
FAC	Facility	00110011
FAA	Facility Accepted	00100000
FRJ	Facility Reject	00100001
FAR	Facility Request	00011111
FOT	Forward Transfer	00001000
IDR	Identification Request	00110110
IRS	Identification Response	00110111
IAM	Initial Address Message	00000001
INF	Information	00000100
INR	Information Request	00000011
LPA	Loop Back Acknowledgment	00100100
NRM	Network Resource Management	00110010
OLM	Overload	00110000
PAM	Pass-along	00101000
REL	Release	00001100

RLC	Release Complete	00010000
RSC	Reset Circuit	00010010
RES	Resume	00001110
SGM	Segmentation	00111000
SAM	Subsequent Address	00000010
SUS	Suspend	00001101
UBL	Unblocking	00010100
UBA	Unblocking Acknowledgment	00010110
UCIC	Unequipped CIC	00101110
UPA	User Part Available	00110101
UPT	User Part Test	00110100
USR	User-to-user Information	00101101

Příloha 2: Kódy používané pro parametr Backward Call Indicators

bits BA : Charge indicator (Note 1)

0 0 no indication

0 1 no charge

1 0 charge

1 1 spare

bits DC : Called party's status indicator

0 0 no indication

0 1 subscriber free

1 0 connect when free (national use)

1 1 spare

bits FE : Called party's category indicator

0 0 no indication

0 1 ordinary subscriber

1 0 payphone

1 1 spare

bits HG : End-to-end method indicator (Note 2)

0 0 no end-to-end method available (only link-by-link method available)

0 1 pass-along method available (national use)

1 0 SCCP method available

1 0 pass-along and SCCP methods available (national use)

bit I: Interworking indicator (Note 2)

0 no interworking encountered (Signalling System No. 7 all the way)

1 interworking encountered

bit J: End-to-end information indicator (national use) (Note 2)

0 no end-to-end information available

1 end-to-end information available

bit K: ISDN user part indicator (Note 2)

0 ISDN user part not used all the way

1 ISDN user part used all the way

bit L: Holding indicator (national use)

0 holding not requested

1 holding requested

bit M: ISDN access indicator

0 terminating access non-ISDN

1 terminating access ISDN

bit N: Echo control device indicator

0 incoming echo control device not included

1 incoming echo control device included

bits PO: SCCP method indicator (Note 2)

0 0 no indication

0 1 connectionless method available (national use)

1 0 connection oriented method available

1 1 connectionless and connection oriented methods available (national use)

Příloha 3: Deklarace použitých struktur

Struktura pro uložení zprávy

```
struct DataBuffer
{
    int aktIndex;
    unsigned char data[SIZE_BUF];
    int dataSize;
};
```

Struktury třídy ISUP pro hlavičku a parametry

```
struct StruckRoutingLabel
{
    unsigned char ServiceIndicator, SubserviceField;
    unsigned char DPCLowOrderOctet, OPCLowOrder, DPCHighOrder;
    unsigned char OPCMiddleOrderOctet, SLCfirst, OPCHighOrder;
    unsigned char CICLowOrderOctet, SLCsecond, CICHightOrder;
};

struct StruktForwardCallIndicatorHA{
    unsigned char CallType, InterworkingIndicator , IsupPreference[2];
    unsigned char IsupIndicator, IsdnAccessIndicator, EndToEndSignaling[2];
};

struct StruktNatureOfConnectionIndicators{
    unsigned char EchoControlDEviceIndicator ;
    unsigned char SateliteIndicator[2], ContinuityCheckIndicator[2];
};

struct StruktBackwardCallIndicatorHA{
    unsigned char EndToEndSignaling[2], CalledPartyStatus[2];
    unsigned char ChangeIndicator[2], CalledPartyCategory[2];
};

struct StruktBackwardCallIndicatorPI{
    unsigned char InterworkingIndicator, HoldingIndicator, SCCPMethodIndicator[2];
    unsigned char EchoControlIndicator, IsupIndicator, IsdnAccessIndicator;
};

struct StruktReleaseCauseIndicator{
    unsigned char Location, CauseValueIdentifies[2];
};
```

Struktury třídy M3UA pro hlavičku a tělo zprávy

```
struct StruktM3UAHeader{  
    unsigned char Version,Reserved;  
    unsigned char MessageClass,MessageType;  
    long int MessageLength;  
};  
struct StruktM3UADataMessage{  
    long int NetworkAppearance,RoutingContext,CorrelationID;  
    short int TagNetworkAppearance,TagRoutingContext,TagCorrelationID,Length;  
};
```

Příloha 4: Obsah CD

Tato příloha obsahuje diplomovou práci, soubory obsahující zdrojové kódy jednotlivých částí programu.

Adresářová struktura CD

- /Diplomova_prace_Martin_Raur.pdf
Text diplomové práce uložen ve formátu pdf.
- /Emulátor_telefonni_ustredny/
Adresář obsahující zdrojové kódy emulátoru telefonní ústředny.
- /Emulátor_stanice
Adresář obsahující zdrojové kódy emulátoru mobilního telefonu.