

ARQUITETURA DE REDES CELULARES, TDMA E GSM/GPRS: SIMULAÇÃO NO OPNET

Breno Perim Pimenta – brenoperim@click21.com.br

Thelma Virgínia Rodrigues – thelma@pucpcaldas.br

Marcos Trevisan Vasconcellos – marcostv@pucpcaldas.br

PUC Minas – *campus* Poços de Caldas, Engenharia Elétrica – ênfase Telecomunicação

Av. Padre Francis Cletus Cox, 1661 – Jardim Country Club

37701-355 – Poços de Caldas – Minas Gerais

Resumo: *Este trabalho apresenta um estudo comparativo entre as tecnologias IS-136 e GSM/GPRS quanto à arquitetura, canais de sinalização e transmissão de dados, observando a tendência do mercado atual e a necessidade da telefonia móvel em oferecer algo além dos tradicionais serviços de voz e dados a baixas velocidades (SMS, WAP). A migração das operadoras TDMA (IS-136) para GSM/GPRS ou para CDMA vem como uma opção para o aproveitamento máximo e econômico da infra-estrutura atual, disponibilizando melhores serviços, comparando-se aos da Internet. Uma arquitetura básica de um sistema celular foi implementada na plataforma OPNET e os resultados da simulação foram analisados quanto ao desempenho das taxas de transmissão, atrasos e perdas de pacotes. Estes resultados são apresentados e sugestões para futuros trabalhos são indicadas. Seu desenvolvimento ocorreu na disciplina de Orientação de Projeto Intermediário cursada no sexto período do Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em Telecomunicação da PUC Minas campus Poços de Caldas.*

Palavras-chave: *Banda larga, Comunicação móvel, Internet, Simulação, Práticas investigativas.*

1. INTRODUÇÃO

Seguindo a tendência do mercado atual e a necessidade da telefonia móvel em oferecer além dos tradicionais serviços de voz e dados a baixas velocidades (SMS e WAP), as operadoras TDMA não dispõem de uma transição suave para a terceira geração de sistemas celulares, 3G, a qual oferece serviços com altas taxas de velocidade na transmissão de bits. Com isso a migração para as tecnologias GSM/GPRS ou para CDMA 2000 vem como uma opção para as operadoras aproveitarem, ao máximo e economicamente, a infra-estrutura atual, podendo assim disponibilizar melhores serviços que possam ser até mesmo comparados com os da Internet.

Uma das tecnologias que mais evoluem hoje são as telecomunicações móveis. Devido a seus recursos e variedade de serviços a demanda por terminais vem aumentando em todo mundo. Um sistema de comunicação digital tem como principal objetivo permitir a mobilidade entre as partes durante uma comunicação. Como por exemplo, a comunicação entre dois celulares através de um sistema complexo que inclui a estação rádio-base ou ERB. Uma visão geral do desenvolvimento dos sistemas celulares é apresentada na seção 02.

O funcionamento dos terminais como espalhadores faz com que o sinal percorra múltiplos caminhos até atingir o receptor. O deslocamento do usuário impondo uma variação lenta na média do sinal devido à mudança de ambiente (árvores, prédios, túneis, morros, etc.)

atenuando o sinal de forma diferenciada e a velocidade com que isso ocorre, gera um deslocamento de frequência e um ruído conseqüente a esta variação. Sendo assim, um estudo das tecnologias IS-136 e GSM/GPRS, proporciona uma melhor compreensão em relação à transmissão de sinais e também simulações via software para o desenvolvimento de pesquisas.

Um estudo comparativo entre as tecnologias IS-136 e GSM/GPRS quanto à arquitetura, canais de sinalização e transmissão de dados, observando a tendência do mercado atual e a necessidade da telefonia móvel em oferecer algo além dos tradicionais serviços de voz e dados a baixas velocidades (SMS, WAP) é apresentado na seção 03.

Uma arquitetura básica de um sistema celular foi implementada na plataforma OPNET. No laboratório de Redes de Computadores e Telecomunicações da PUC Minas campus de Poços de Caldas, diversas experiências em comunicações móveis têm sido realizadas utilizando-se a disponibilidade das 15 licenças do *Modeler Opnet*, que é apresentado com mais detalhes na seção 04. O desenvolvimento desta pesquisa ocorreu na disciplina de Orientação de Projeto Intermediário cursada no sexto período do Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em Telecomunicação da PUC Minas campus Poços de Caldas. O propósito desta disciplina é a síntese dos conteúdos estudados até o sexto período com ênfase nas áreas de formação tecnológica.

Os principais resultados apresentados neste trabalho são os gráficos da simulação no OPNET, que foram analisados quanto ao desempenho das taxas de transmissão, atrasos e perdas de pacotes. Outro resultado relevante, não técnico foi, além da possibilidade do aprendizado técnico, o incentivo à elaboração de artigos prontos para submissão a congressos e simpósios, vide o trabalho ora apresentado. Estes resultados são apresentados na seção 05, juntamente com sugestões para futuros trabalhos.

2. HISTÓRICO

Os telefones celulares iniciaram como um sistema comercial na América do Norte em 1983. Em cinco anos seu sucesso foi tão grande que a saturação do sistema por volta de 1990 já era prevista para as grandes cidades. Com isso existem três formas de expansão do sistema para atender a demanda. Migrar para novas bandas do espectro, dividir as células em células menores com instalação de novas ERBs ou introduzir uma nova tecnologia capaz de melhorar a eficiência na utilização da largura de banda e das estações rádio base. Com a expansão geográfica do sistema celular, a adição de novas ERBs representa um aumento de custo significativo e a partir de um certo ponto torna-se praticamente inviável. Sem nova largura de banda para os serviços celulares e com um fator limitante na divisão celular, uma nova tecnologia é a melhor opção para a expansão do sistema.

Em 1987 a comissão de Comunicações Federal declarou que tecnologias alternativas de celular poderiam ser desenvolvidas nas bandas de 824-849 MHz desde que não houvesse nenhuma interferência em outros sistemas celulares. Nos anos de 1988 e 1989, a indústria aceitou duas propostas de transmissão digital de voz, TDMA (*Time Division Multiple Access*) e FDMA (*Frequency Division Multiple Access*). No início dos anos 90 a indústria optou por utilizar um sistema híbrido: divisão por frequência/divisão por tempo. Manteve a portadora do AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) para portar a voz em 30 kHz, transformando os canais físicos analógicos em canais digitais de múltiplo acesso por divisão temporal, o TDMA. Esse sistema disponibilizou a condição de dualidade analógico/digital. Nesta passagem para o sistema digital foi necessário também atualizar a segurança do sistema de redes, o que envolve a transmissão dos números de identificação do usuário codificados para evitar fraudes no sistema. Com isso foi possível também, diminuir o tamanho dos aparelhos, utilizar baterias internas de maior durabilidade e compatíveis para o uso em automóveis. Sendo assim em 1992 foi desenvolvido o Ínterim Standard 54 ou IS-54, que possibilitou aos telefones transmitir informações no formato digital em canais de tráfego digitais. Com estes

avanços tornou-se possível uma sofisticada codificação de voz e desenvolvimento de algoritmos de equalização para o sinal.

O IS-54 foi criado depois do GSM (*Global System Mobile*), sistema móvel digital Pan-Europeu desenvolvido entre 1982 e 1985 pela CEPT (*Conférence Européene des Postes et Télécommunications*), a qual incorporou inovações importantes no controle de rede como: associação dos canais de controle, procedimentos de autenticação baseado em transmissões codificadas e melhor *handoff*. Como a performance do sistema tornou-se limitada, publicou-se em 1994 as especificações de um canal de controle digital DCCH. Este melhorou os terminais introduzindo um *sleep mode*, que faz com que o terminal desligue seu receptor enquanto não houver chamadas em curso. O IS-136, que é uma versão revista e atualizada do IS-54, foi padronizado pela TIA (*Telecommunications Industry Association*) em 1996 onde especificava a operação do TDMA, na América do Norte, em bandas de 1900 MHz funcionando exclusivamente com canais de controle totalmente digitais.

3. TECNOLOGIAS TDMA: IS-136 E GSM

3.1 IS-136

Interim Standard 136 é uma versão revisada do IS-54. O IS-136 leva em conta a existência de controle de canais digitais. Ele especifica o tráfego digital e analógico dos canais de controle e dos canais FOCC e RECC. A nomenclatura para a combinação do FOCC/RECC* se chama FSK (*Frequency Shift Keying*). O IS-136 abriu caminho para a produção de todos os telefones digitais TDMA. Uma versão publicada do IS-136 em outubro de 1996 especifica a operação em 1900 MHz. Nessas bandas a rede TDMA opera exclusivamente com canais de controle digitais. Algumas provisões do IS-136 em relação ao AMPS foram oferecer serviços suplementares incluindo correio de voz, chamada em espera, identificação de chamadas, bate-bapo e SMS.

3.1.1 Arquitetura

Os sistemas IS-136 operam com terminais totalmente digitais. De acordo com a infraestrutura da rede AMPS de estação rádio base e centrais de comutação, o TDMA define o BMI (*Base station, Mobile switching center e Interworking function*). Cada equipamento toma suas próprias decisões de como alocar funções feitas pelo BMI para especificar partes do equipamento. De acordo com a meta do PCS em acomodar múltiplos modos de operação, NA-TDMA especifica três tipos de rede externa: sistemas públicos, residenciais e privados. Com isso um terminal pode funcionar como um telefone celular com acesso a ERBs das operadoras de celular (Rede Pública). Também pode ser programado para funcionar como um telefone sem fio operando em uma estação rádio base residencial (Rede Residencial) e como uma operação de negócios.

Estação Móvel (MS) é um terminal utilizado pelo assinante, identificado por um número de identificação móvel (MIN) que possui um número de série eletrônico (ESN). A estação

* Um *forward control channel* (FOCC), utilizado no AMPS, carrega a mesma informação de uma ERB para todos os terminais, em uma celular particular, que estejam ligados e que não tenham uma chamada sendo efetuada. Já o *reverse control channel* (RECC), carrega a informação de muitas MS quem não tem canais de voz atribuídos.

rádio-base (ERB) é o equipamento que se encarrega da comunicação entre as MSs de uma determinada área de cobertura que constitui a célula. A central de comutação e controle (CCC) tem a função de comutar e sinalizar as MSs localizadas em uma área geograficamente designada como área CCC. O Registro Local de Assinantes (HLR) é um banco de dados que armazena informações pertencentes aos assinantes do sistema celular. O Registro de Assinantes Visitantes (VLR) é também um banco de dados, porém armazena informações

pertencentes aos assinantes que realizam *roaming*, ou seja, o assinante de um sistema celular pode continuar falando do seu próprio terminal em outro sistema como visitante.

Na telefonia celular o TDMA define um grande número de códigos de identificação, incluindo todos do AMPS. A adição mais importante na parte de identificação de códigos é a chave de 64 bits (*A-key*), designada para cada assinante pela sua operadora. Esta chave codificada promove segurança para a rede e privacidade na comunicação em um sistema *dual-mode* TDMA. Outro código de identificação no TDMA é um identificador de localidade com 12 bits, o LOCAID. O sistema pode dividir sua área de serviços em clusters de células referentes à localização das áreas. Cada ERB faz o *broadcast* do seu LOCAID. Quando um terminal que não está recebendo chamada entra em uma nova área local, ele manda uma mensagem de registro mais recente. O IMSI (*International Mobile Subscriber Identification*), é um número de telefone com até 15 dígitos que se adapta com o planejamento numérico internacional publicado pela ITU. O valor do PV (*Protocol Version*) reflete o padrão da operação de uma ERB ou MS. O SOC (*System Operator Code*) Transmitido por uma ERB indica para o terminal qual operadora que controla essa ERB, enquanto o BSMC (*Base Station Manufacturer Code*) faz o mesmo papel que o SAT (*Supervisory Audio Tone*) nos canais de tráfego analógicos, porém em canais de tráfego digitais.

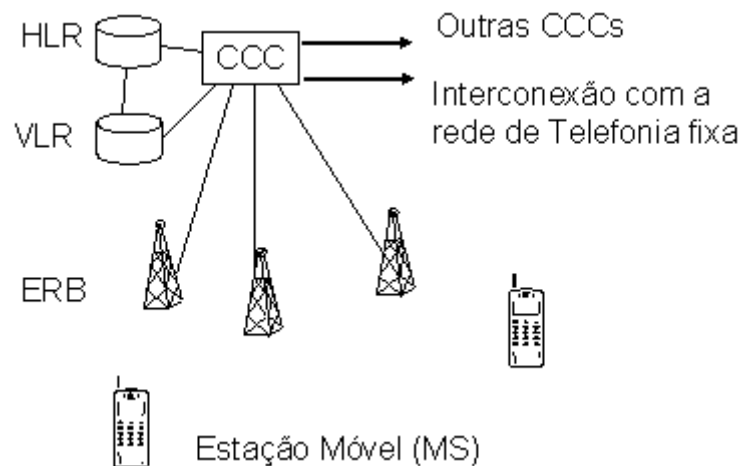


Figura 1 - Arquitetura TDMA (IS-136)

3.1.2 Canais de sinalização e tráfego

Como o TDMA é um sistema duplo, ou seja, funciona tanto no modo analógico quanto no digital, é capaz de suportar todos os canais lógicos do AMPS e ainda adicionar canais de controle e tráfego digitais. Um canal de tráfego digital (DTCH – *Digital Traffic Channel*) transmite a informação em seis formatos na transmissão direta e cinco formatos na direção reversa, enlace de subida e enlace de descida respectivamente.

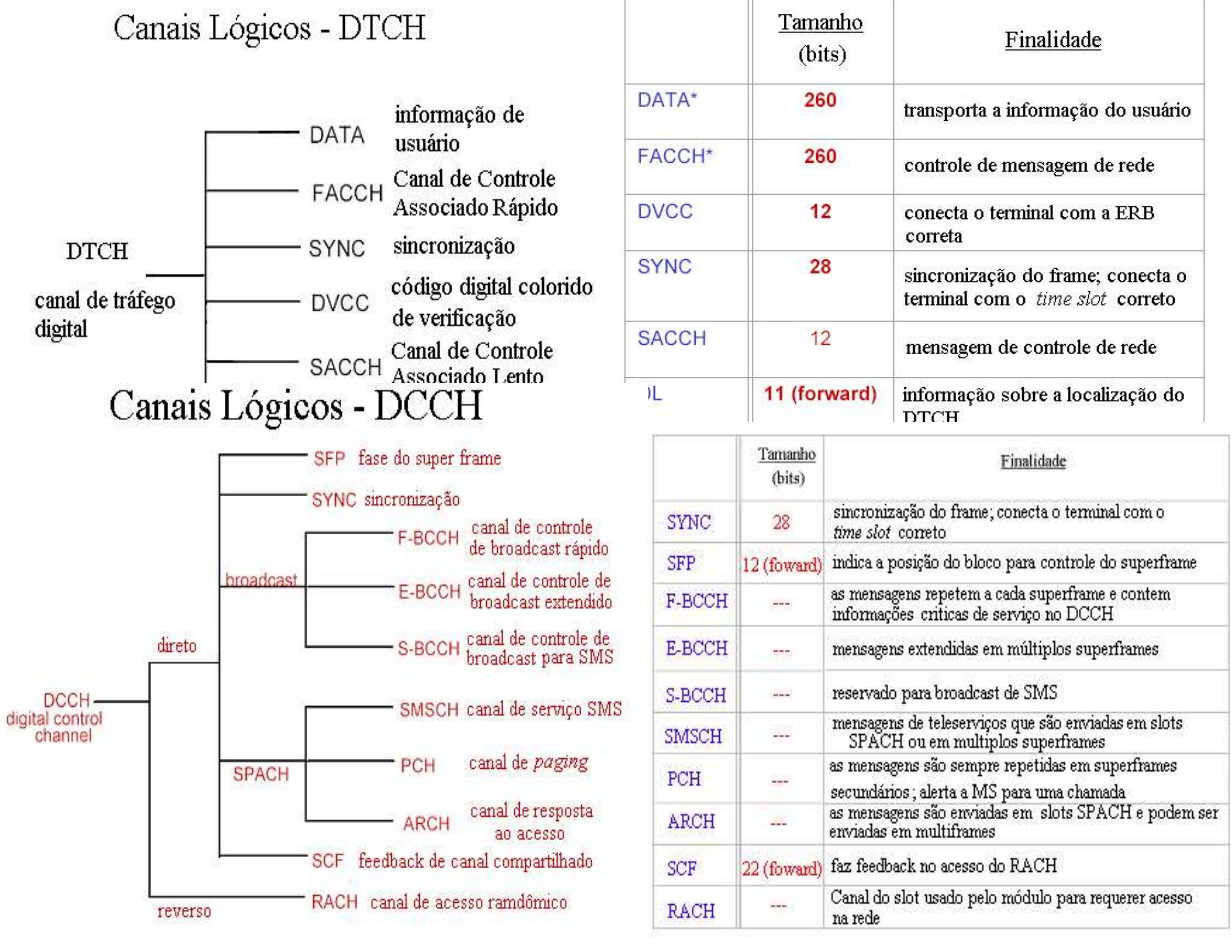


Figura 3 - Canais de Controle de Tráfego Digitais – Digital Traffic Channel - DTCH

3.2 GSM

O sistema GSM (*Global System for Mobile Communications*), desenvolvido pelo grupo GSM (*Groupe Special Mobile*) no início da década de 80, tinha como meta principal um *full roaming* em todos os países europeus. Outra meta importante seria manter uma diversidade nos planos de serviços em todos os países que adotassem a tecnologia. O GSM foi então desenvolvido na intenção de que o assinante possa deslocar-se por toda Europa levando um telefone que faça e receba ligações telefônicas em qualquer localidade sem que tenham que digitar os códigos referentes aos países. Com isso em 1987 disponibilizou-se novas bandas de frequência para operações Pan-Europeias com ligações compatíveis, onde as especificações eram baseadas na interface aérea do sistema híbrido FDMA/TDMA e na infra-estrutura de comunicação baseada em SS7 (*Signaling System Number 7*).

3.2.1 Arquitetura GSM

Arquitetura da rede GSM reflete uma influência do ISDN (*Integrated Service Digital Network*). A terminologia para os três elementos essenciais da rede GSM são: estação móvel (terminais), estação base (ERB), e central de comutação móvel (switches). O GSM especifica três bancos de dados: registrador de localização de origem, HLR, registrador de localização de visitante, VLR, e o registrador de equipamento.

O sistema de estação base, BSS, contém dois elementos. Estação Transceptora Base, BTS, e um controlador da BS, BSC, conectados por uma interface padrão chamada *Abis*. Isso reflete a tendência do projeto de *hardwares* de celular para servir células pequenas, em contraste com a configuração original dos sistemas celulares, com transmissores de alta potência conectados às antenas com 50 a 60 metros acima do solo. As micro-células transmitem em baixa potência em antenas com 10 metros acima do solo conectadas em prédios ou até mesmo postes de energia. Devido ao desejo de redução no tamanho e custo dessas instalações, os fabricantes separaram os equipamentos essenciais de rádio do controle de rede uma BS. Esta participação constitui na BTS, que é o equipamento de rádio, e na BSC que faz o controle da rede e processamento do sinal. Uma BSC controla várias BTS. A arquitetura do sistema celular GSM básico, com todas as suas entidades principais, é apresentada na figura 2 .

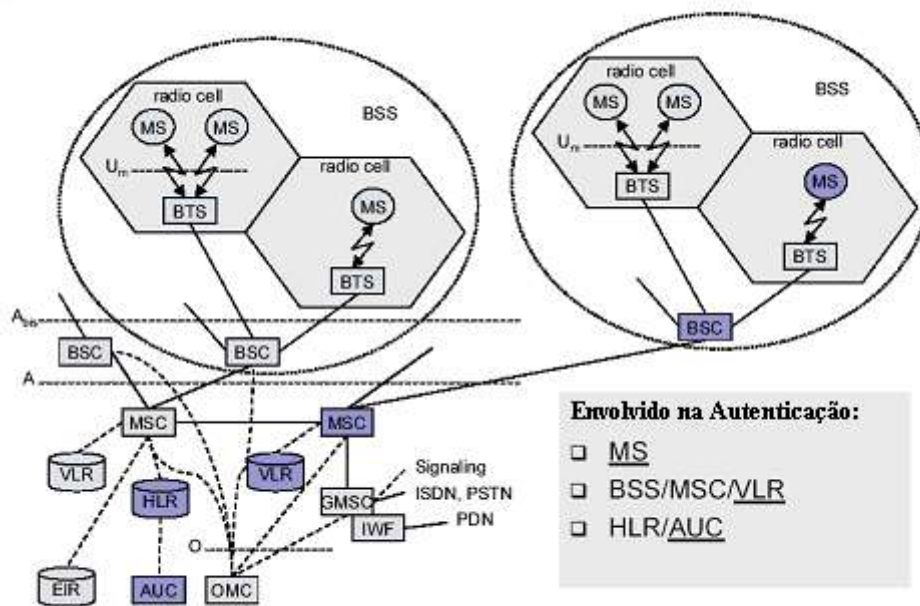


Figura 4 - Arquitetura GSM

Outra inovação importante no GSM é que cada terminal contém um *SIM card (Subscriber Identity Module)*. O SIM é um cartão removível que armazena informações essenciais do assinante, incluindo números de identificação, detalhes do plano de serviço e a agenda telefônica do usuário. O SIM é a conexão do assinante com o sistema celular. Ao remover o cartão, o usuário desabilita o telefone utilizando apenas o número de chamada de emergência, que no Brasil é o 190. Na troca de um aparelho, por exemplo, o assinante apenas transfere o cartão SIM para outro telefone, continuando assim com o mesmo número e toda a programação do aparelho anterior que estava armazenada no SIM. Já em outros sistemas como TDMA e CDMA, por exemplo, o usuário armazena suas informações no próprio *software* do terminal. Com isso ao trocar seu aparelho o usuário perde todas as informações armazenadas no aparelho anterior. Existem dois tipos distintos de *SIM card* em relação às suas características físicas. Um é parecido com um cartão de crédito e é facilmente inserido ou removido do aparelho. O outro, que é mais comum hoje em dia, é muito menor, do tamanho de um selo de correio, o que facilita sua compatibilidade com os aparelhos portáteis de última geração. Com isso, é um pouco mais difícil que no anterior de ser inserido ou removido do aparelho.

Assim como em outros sistemas, as estações rádio base GSM e os telefones celulares armazenam e transmitem uma variedade de códigos de identificação que fazem parte das

operações de rede. Alguns códigos, incluindo o IMEI (*International Mobile Equipment Identifier*) e o *classmark*, são próprios do terminal e nele são armazenados. Outros códigos, inclusive o IMSI (*International Mobile Subscriber Identifier*) e o Ki (*Secret encryption key*) pertencem ao assinante. Estes códigos são armazenados no SIM e podem ser transportados de um telefone para outro. O TMSI (*Temporary Mobile Subscriber Identity*) é uma inovação do sistema GSM. Depois que a rede designa um TMSI a um terminal, tanto o aparelho quanto a rede transmitem esse número nos procedimentos de chamada e mobilidade. Isso melhora tanto a privacidade do usuário quanto a segurança da rede, pois evita que o IMSI seja transmitido pela interface aérea, já que ele faz a identificação do assinante. Ele também economiza nos recursos de transmissão em largura de banda justamente por ser menor que o IMSI. O Ki está no coração da segurança GSM. O sistema operador determina o tamanho desta chave onde o máximo é 128 bits. Esta chave é armazenada no sim e no sistema do assinante. As redes e terminais utilizam o Ki para calcular o Kc (*Cipher Key*), o qual protege as informações do usuário e participa no controle de informações da rede para interceptações não autorizadas. O código de 32 bits, *classmark*, descreve a capacidade do terminal. Ele possui vários componentes onde três deles são essenciais: o nível de revisão é versão do GSM padrão na qual o terminal se ajusta; a potência de RF que indica níveis de potência disponíveis no transmissor do aparelho; e o algoritmo encriptado indica o modo no qual o terminal *encripta* as informações do usuário e o controle de informação da rede. Estes três componentes utilizam 8 bits do *classmark*. Em muitos procedimentos de controle, apenas esta parte do *classmark* é transmitida. Ele também indica a capacidade de operação de frequência do terminal e se o terminal é capaz de operar serviços de SMS. O BSIC (*Base Station Identity Code*) e o *training sequence* ajudam o terminal a verificar se ele recebeu informações da BS correta ao invés de outra BS que esteja utilizando o mesmo canal físico. As BSs utilizam estes códigos para verificar se o sinal recebido vem do terminal correto. O LAI (*Location Area Identity*) possui três componentes. Um código do país e um código de rede. Juntos eles identificam a qual rede uma determinada célula pertence.

3.2.2 Canais de Sinalização

Os canais de tráfego do GSM são diferentes do TDMA e CDMA. No caso dos dois sistemas, a multiplexação no canal de tráfego direto difere da multiplexação do canal de tráfego reverso. Já no GSM o formato de transmissão é o mesmo nos dois canais. Existem três categorias de canais de controle: canais de difusão (BCH), para transmitirem a mesma informação para todos os terminais dentro de uma célula; canais de controle comuns (CCCH), carregam informação de e para terminais específicos; canais de controle dedicados (DCCH), utilizam canais físicos específicos reservados para determinados terminais. Na terminologia GSM, todos estes canais juntos formam os Canais de Sinalização.

Canais de difusão - Broadcast channels – BCH

FCCH, canal de correção de frequência, possui direcionamento de enlace de descida, ponto a multiponto, onde a BS transmite uma frequência de portadora e a MS identifica a portadora de BCCH (*broadcast control channel*) pela frequência de portadora e sincroniza-se com a frequência.

SCH, canal de sincronização, possui direcionamento de enlace de descida, ponto a multiponto, onde a BS transmite informação sobre a estrutura de quadro TDMA em uma célula e a identificação da BS (código BSIC), e a MS sincroniza-se com a estrutura de quadro dentro de uma célula particular e garante que a BS escolhida é uma BS do GSM – o BSIC só pode ser decodificado por uma MS se a BS pertencer a uma rede GSM.

BCCH, canal de controle de difusão, possui direcionamento de enlace de descida, ponto a multiponto, onde de BS difunde alguma informação de célula geral como exemplo o LAI, potência máxima de saída permitida na célula e a identidade das portadoras de BCCH para as

células vizinhas. A MS recebe LAI e irá sinalizar à rede, como parte do procedimento de atualização de localização, se a LAI é diferente daquela já armazenada em seu SIM, proporciona seu nível de saída com base na informação recebida no BCCH, e também armazena uma lista das portadoras de BCCH nas quais irá efetuar medições para auxiliar o *handover*.

Canais de controle comuns – Commun Control Channels – CCCH

PCH, canal de paginação, possui direcionamento de enlace de descida, ponto a multiponto, onde a BS transmite uma mensagem de paginação para indicar uma chamada de entrada ou uma mensagem curta na qual contém o número de identidade do assinante móvel que a rede deseja contatar. A MS, em determinados intervalos de tempo sintoniza-se no PCH onde, se identificar seu próprio número de identidade de assinante móvel no PCH, irá responder.

RACH, canal de acesso aleatório, possui direcionamento de enlace de subida, ponto a ponto, onde a BS recebe a requisição da MS para um canal de sinalização a ser usado para estabelecimento de chamada, A MS responde à mensagem de paginação no RACH requisitando um canal de sinalização.

AGCH, canal de permissão de acesso, possui direcionamento de enlace de descida, ponto a ponto, onde a BS atribui um canal de sinalização (SDCCH) à MS, onde esta recebe atribuição de canal de sinalização (SDCCH).

Canais de controle dedicados – Ddicated Control Channel – DCCH

SDCH, canal de controle dedicado *standalone*, possui direcionamento de enlace de subida e enlace de descida, ponto a ponto, onde a BS comuta para o SDCCH atribuído onde o processo de estabelecimento de chamada é efetuado no modo livre e o BSC atribui um TCH. O SDCCH também é usado para transmissão de SMS. A MS comuta para o SDCH atribuído, o estabelecimento de chamada pe efetuado e a MS recebe uma informação de atribuição de TCH (portadora e *timeslot*).

CBCCH, canal de difusão de célula, possui direcionamento de enlace de descida, ponto a multiponto, onde a BS usa esse canal lógico para transmitir a difusão de célula de serviço de SMS. A MS recebe as mensagens de difusão.

SACCH, canal de controle associado lento, possui direcionamento de enlace de subida e enlace de descida, ponto a ponto, onde a BS instrui a MS a transmitir na potência de uso e fornece instruções sobre avanço de sincronismo (TA). A MS envia medições de intensidade e qualidade do sinal sobre sua própria BS, e das BS vizinhas, somente a intensidade do sinal. A MS continua a usar o SACCH para esse propósito durante a chamada.

3.2.3 Canais de tráfego

O sistema GSM define dois canais de tráfego. TCH/F, canal de tráfego de taxa plena e o TCH/H, canal de tráfego de taxa parcial. Um TCH/F ocupa 24 *time slots* a cada 26 *frames* de tráfego *multiframe*. Um TCH/H, que corresponde à metade, ocupa 12 *time slots* em cada *multiframe*. Ambos utilizam a estrutura *time slot* com 114 bits de dados.

A taxa de bit de um TCH/F é:

$$(1) \quad 24 \frac{\text{slots}}{\text{multiframe}} \times 114 \frac{\text{bits}}{\text{slot}} \div 0,120 \frac{\text{sec}}{\text{multiframe}} = 22.800 \text{ b / s}$$

Isso implica que a taxa de um TCH/H é a metade, ou seja, 11.400 *b/s*, que deixam clara a preocupação com a formação de profissionais integrados no ambiente natural e social em que vivem, num processo intenso de construção e interação.

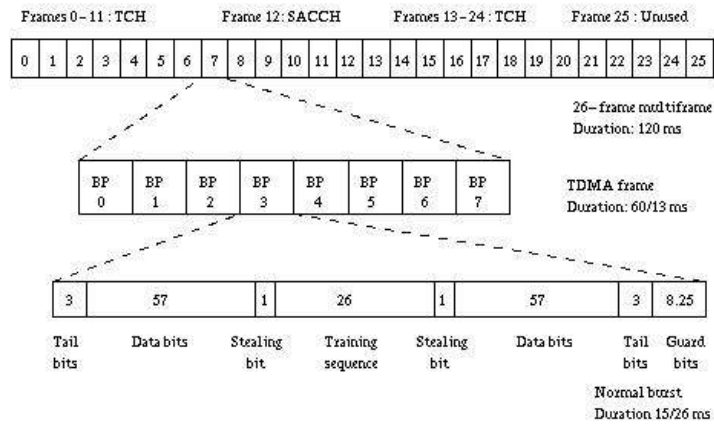


Figura 5 - Organization of bursts, TDMA frames, and *multiframes* for speech and data

3.3 GPRS

O serviço GPRS, *General Packet Radio Service*, é uma tecnologia da 2,5 G que utiliza comutação por pacote e na qual permite total mobilidade e uma grande área de cobertura. Na comunicação por pacote comutado, a rede envia um pacote de dados somente quando este pe requisitado. Então, para a interface aérea, um canal de rádio pode ser compartilhado por várias MS simultaneamente. O GPRS pode combinar até 8 *time slots* em cada intervalo de tempo em uma conexão de pacote de dados IP aumentando assim a velocidade à uma taxa teórica de 160Kbps. Quando uma Ms gera um pacote de dados, a rede manda o pacote para seu destino no primeiro canal de rádio disponível. Como o tráfego de dados geralmente consiste em *burts* de dados, os canais de rádio serão utilizados eficientemente A informação de endereçamento é incluída em cada pacote para que o pacote possa achar seu destino.

GPRS suporta tanto o IP quanto o X.25 na comunicação de rede. Como o GPRS pode ser adicionado à infra-estrutura GSM quase que imediato, ele toma vantagem nos 200 KHZ existentes de cal de rádio, não necessitando de um novo espectro. Os principais elementos da nova infra-estrutura são chamados de CGSN (*Gateway GPRS Support Node*) e SGSN (*Serving GPRS Support Node*). O CGDN provê a interconexão com outras redes como a Internet ou redes privadas, enquanto SGSN busca a localização dos dispositivos móveis e faz o roteamento dos pacotes de tráfegos para eles. A capacidade do GPRS será adicionada aos aparelhos celulares e também pode ser disponível para dispositivos de dados como modem de PCs.

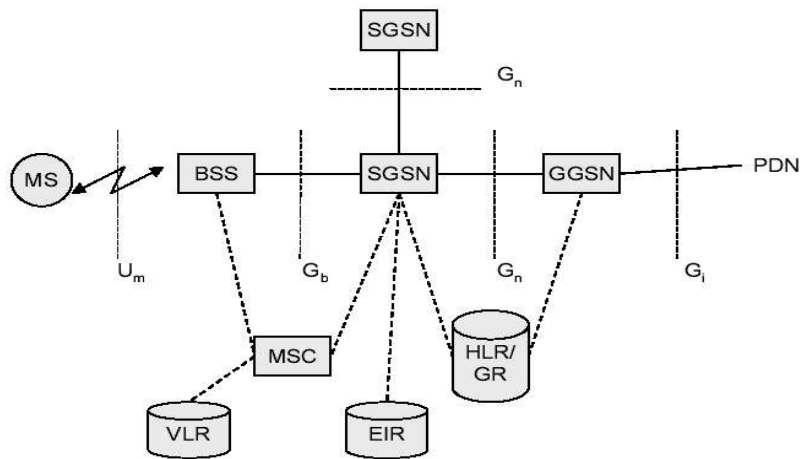


Figura 6 – Arquitetura Lógica do GPRS

4 O SIMULADOR OPNET

O OPNET é um software licenciado utilizado PUC-MG campus Poços de Caldas, onde é possível simular topologias de rede para várias aplicações. Este simulador possui uma interface que utiliza a linguagem C, na qual facilita a realização e análise de comportamento diante das modificações estruturais em projetos em andamento ou fases de projetos, disponibilizando assim maior agilidade no trabalho. Esta ferramenta necessita de um profundo conhecimento do sistema por parte do usuário, pois qualquer modificação em sua estrutura original poderá gerar erros, uma vez que a compilação do programa fonte ocorre a cada solicitação de simulação. Sendo assim, com a utilização deste é possível demonstrar a idéia de um sistema GSM, mesmo não sendo explorado, nesta etapa do projeto no sexto período, todo o potencial que este simulador pode oferecer. Como este projeto será continuado na disciplina OPFC - Orientação de projeto de fim de curso, no próximo semestre, as simulações mais complexas serão realizadas.

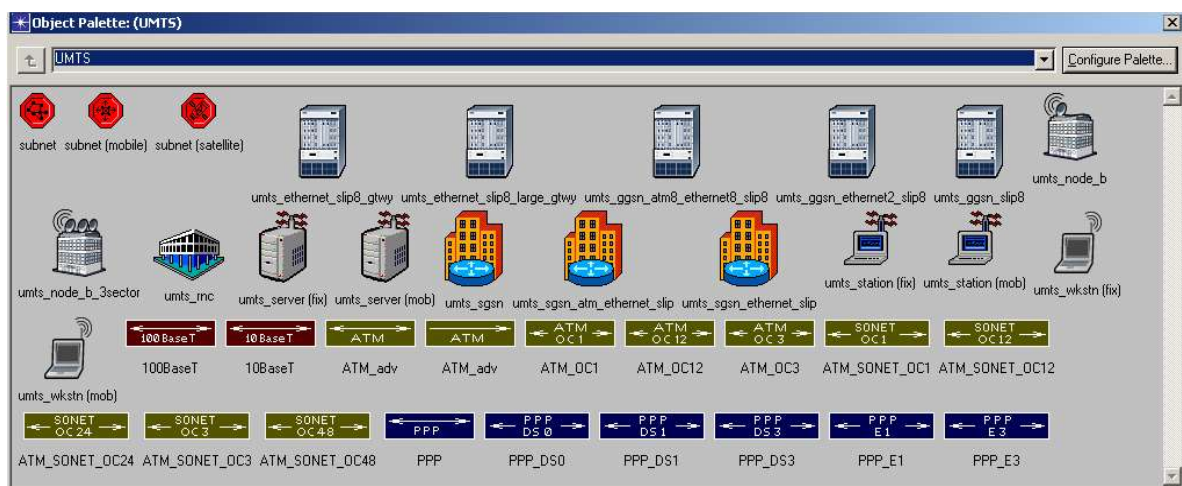


Figura 7 – Menu de Modelos do OPNET

O OPNET possui uma biblioteca de modelos onde são agrupados em dois tipos. O primeiro tipo, no caso o UMTS, são modelos básicos e o outro, UMTS *Advanced*, são modelos com melhoramentos e com maiores permissões de mudanças por parte do usuário.

Modelo	Descrição
umts_station	Clientes em geral onde estão inclusos <i>UE</i> e tráfego genérico. Este nó provê o envio de tráfego para outras <i>umts_station</i> e recebe tráfego das mesmas assistidas pelo SGSN.
umts_wkstn	Estações de trabalho em geral, (camada OSI completa) <i>UEs</i> e as funcionalidades das aplicações cliente/servidor.
umts_server	Servidores em geral, (camada OSI completa) <i>UEs</i> e as funcionalidades das aplicações cliente/servidor.
umts_node_b	<i>Node-B</i> uma parte da <i>UTRAN</i> .
umts_mc	<i>RNC</i> uma outra parte da <i>UTRAN</i> .
Umts_sgsn	Possui a função de núcleo da rede, porém não é roteador IP. Roteador de pacotes exclusivamente entre <i>umts_station</i> .
Umts_ethernet_slip8_gtwy	<i>Gateway</i> geral com funções SGSN e GGSN com funções de roteador, ethernet e interface SLIP

Tabela 1 – Descrição dos modelos da biblioteca de Modelos do OPNET

5 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

Serão apresentados a seguir os gráficos gerados após a simulação de uma topologia UMTS num período de quatro horas. De acordo com a figura 07, dos requisitos de QoS solicitados pelo programa, apenas o *Throughput* foi mais bem representado, uma vez que, este indica a taxa de dados esperados em uma transferência de pacotes, e mesmo com uma baixa quantidade de usuários temos ainda a geração de tráfego. Já os requisitos como *jitter*, o *delay* e a precedência necessitam de um maior número de usuários, com isso não foram apresentados resultados passíveis de análise. Como o UMTS utiliza o sistema GPRS, e o módulo de trabalho no OPNET disponível foi do UMTS, as simulações foram feitas baseadas nesta topologia.

Podemos observar, através dos gráficos, o *Throughput* de alguns elementos da topologia UMTS, os quais foram estudados e analisados no trabalho.

O desenvolvimento desta pesquisa ocorreu na disciplina de Orientação de Projeto Intermediário cursada no sexto período do Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em Telecomunicação da PUC Minas campus Poços de Caldas. O propósito desta disciplina é a síntese dos conteúdos estudados até o sexto período com ênfase nas áreas de formação tecnológica.

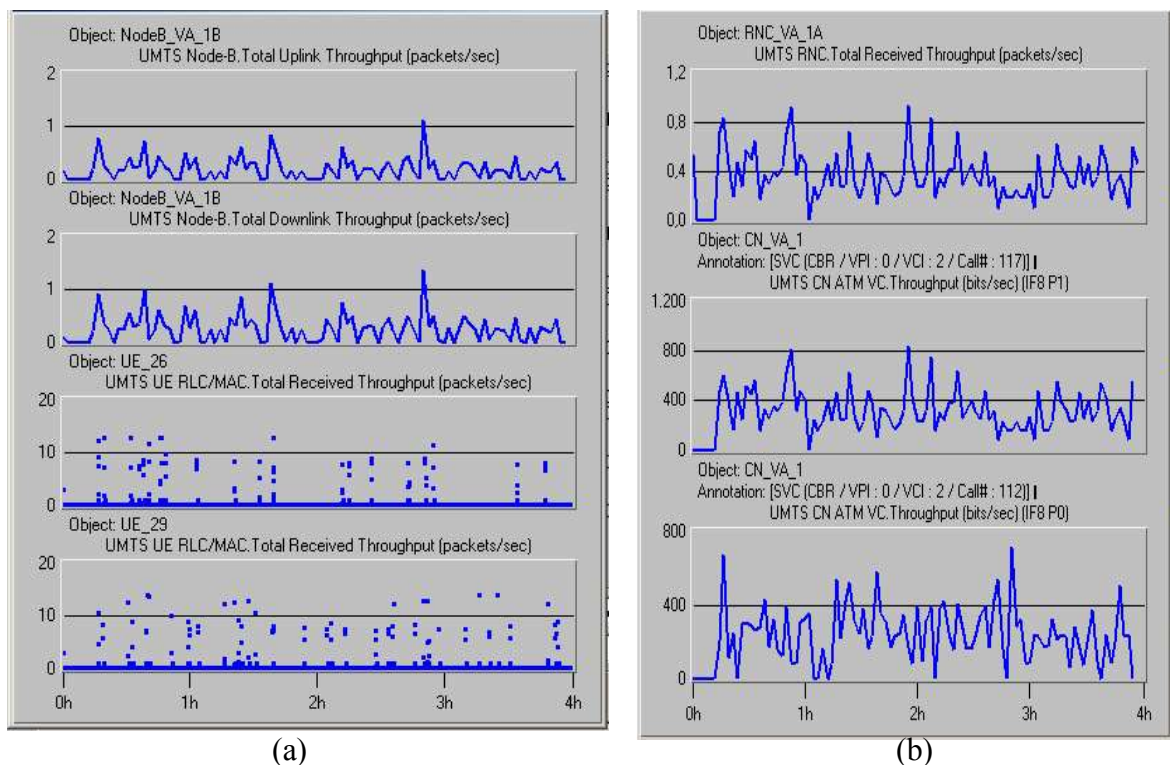


Figura 07: Gráfico de Comparação de *Throughput NodeB* e *UE* (a); Gráfico de Comparação de *Throughput RNC* e *CN* (b)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os principais resultados deste trabalho não foram as simulações que serão desenvolvidas no próximo semestre, na disciplina “Orientação de Projeto de Fim de Curso”. No entanto, este trabalho impulsionou as práticas investigativas de um grupo considerável de alunos em torno do software de simulação OPNET, gerando alguns trabalhos como este.

O desenvolvimento deste projeto ocorreu na disciplina de Orientação de Projeto Intermediário cursada no sexto período do curso de Engenharia Elétrica. O propósito desta disciplina é a síntese dos conteúdos estudados até o sexto período com ênfase nas áreas de formação tecnológica. Outro resultado relevante, não tecnológico foi, além da possibilidade do aprendizado técnico, o incentivo à elaboração de artigos prontos para submissão a congressos e simpósios, vide o trabalho ora apresentado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GOODMAN, DAVID J., **Wireless Personal Communications Systems**.
Massachusetts: Addison-Wesley, 1997

ERICSSON, **GSM/GPRS System Survey-Student Text**. EN/LZT 123 5374 R1B.