

1 Introdução

1.1

Um Breve Histórico

O acelerado desenvolvimento das comunicações móveis foi um acontecimento marcante dos anos 90. As redes de Segunda Geração começaram a operar no início da década (a primeira rede GSM começou a operar na Finlândia, em 1991) e, desde então, houve um desenvolvimento em ritmo acelerado. Em setembro de 1992 já havia 460 sistemas GSM implantados, atendendo um total de 748 milhões de usuários.

No mesmo ano em que o GSM era lançado comercialmente, a ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) iniciou os trabalhos para a padronização das redes móveis de Terceira Geração. Assim, foram estabelecidas as bases para o sistema denominado *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS). Em 1996, foi criado o UMTS Forum, com a participação de diversos países, que deu um grande impulso aos trabalhos de padronização.

Posteriormente (1998), as maiores companhias de telecomunicações de âmbito mundial uniram forças para o estabelecimento de um programa global enfocando o desenvolvimento e a padronização do UMTS. Foi então criado o 3GPP (*Third Generation Partnership Project*), cujos documentos de especificações são de livre acesso ao público (www.3gpp.org) e foram de especial importância para a realização deste trabalho. O 3GPP encontra-se estruturado em cinco principais áreas relativas ao UMTS: Interface Aérea, Rede Central, Terminais de Acesso, Serviços/Aspectos de Sistema e GERAN (*GPRS Radio Access Network*).

O primeiro conjunto de especificações desenvolvido pelo 3GPP ocorreu no final de 1999 e foi definido como *Release 99*. Nessa época, já se considerava a existência dos modos CS (*Circuit Switching*) e PS (*Packet Switching*). Em março de 2001 foi completada a *Release 4*. Com a finalização da *Release 5* (março/2002) foi estabelecido o conceito do IMS (*IP Multimedia Subsystem*). Na verdade, o IMS constitui-se de uma nova tecnologia de rede baseada no IP (*Internet Protocol*), desenvolvida pelo 3GPP, que possibilita o tráfego adequado de

informação multimídia, sendo relevante para a execução deste trabalho. Vale ressaltar que o IMS vem sendo modernamente empregado em outras aplicações de rede que não somente o UMTS. A *Release 6* foi completada em agosto de 2005, sendo que o 3GPP está agora executando os trabalhos relativos a *Release 7*.

1.2

Serviços e Aplicações no UMTS

Os sistemas celulares de Terceira Geração foram projetados para o transporte de informação multimídia. Dessa forma, a comunicação pessoal pode ser efetuada por voz e imagem e o usuário pode ter acesso a dados em alta velocidade.

Foi padronizada para o UMTS a tecnologia WCDMA (*Wideband CDMA*), para ser empregada na interface aérea. O UMTS com o WCDMA conduz às seguintes vantagens^[1], em contraposição aos sistemas celulares de Segunda Geração, que empregam o CDMA (p.e. IS-95):

- Proporciona velocidades de até 2 Mbps, em canais de uso dedicado;
- Permite o emprego de serviços com característica VBR (*Variable Bit Rate*), por meio da oferta de facilidades de ajuste de taxas sob demanda;
- Possibilita a multiplexação de serviços com diferentes características de QoS (*Quality of Service*) em uma mesma conexão;
- Oferece serviços com diferentes graus de retardo, desde serviços em tempo real até serviços do tipo *background*;
- Pode garantir taxas de erro de bit de até 10^{-6} ;
- Suporta enlaces assimétricos nas direções *uplink* e *downlink*;

Uma outra característica que diferencia o UMTS dos sistemas de Segunda Geração é a possibilidade de negociação de diferentes características para os serviços de suporte rádio (RB - *Radio Bearers*), compreendendo: vazão, retardo de transferência e taxa de erro. Isto possibilita a oferta de serviços com diferentes graus de QoS. Também é permitida a alteração das características de um serviço de suporte rádio durante uma conexão em andamento.

Os diferentes tipos de serviços são especificados conforme os tempos inerentes de retardo, sendo agrupados em quatro classes: conversacionais, *streaming*, interativos e *background*.

Os serviços conversacionais são aqueles cuja transferência ocorre em tempo real, tais como: videotelefonia e video-jogos.

Os serviços do tipo *streaming* são aqueles em que a informação vai sendo apresentada no decurso de sua transferência, como: vídeo sob demanda e web rádio.

Os serviços interativos ocorrem quando o usuário interage trocando dados com um servidor, como por exemplo: *web browsing* e serviços baseados na localização do usuário.

Finalmente, os serviços *background* são aqueles que admitem elevados tempos de retardo, como, por exemplo, a transferência de e-mails.

Este trabalho aborda os aspectos relacionados à classe de serviços conversacionais, em particular o serviço de transferência de voz (telefonia).

O UMTS apresenta dois modos para transferência de informação: o modo denominado de Comutação de Circuitos (CS) e o modo de Comutação de Pacotes (PS). O modo Comutação de Circuitos emprega os princípios básicos da telefonia convencional para o tratamento de chamadas, enquanto que o modo Comutação de Pacotes utiliza recursos semelhantes àqueles das redes fixas de transferência de dados por comutação de pacotes. Conforme comentado anteriormente, a *Release 5* do 3GPP introduziu uma arquitetura baseada na tecnologia IP para o modo de Comutação de Pacotes, que foi denominada IMS. Com o advento da Telefonia IP, passou-se a considerar a viabilidade da oferta de serviços de VoIP (Voz sobre IP) também a partir do IMS. Isto tem a grande vantagem de possibilitar a oferta de novos serviços, baseados no IP, aos usuários de VoIP do UMTS (como, por exemplo, o serviço de *click-to-dial*).

1.3

Desenvolvimento do Trabalho

Uma empresa operadora que deseje prestar serviços móveis a partir de redes de Terceira Geração tem a possibilidade da escolha entre implantar o

UMTS com facilidades apenas de Comutação de Circuitos, implantar o UMTS com facilidades apenas de Comutação de Pacotes, ou ambas. Verifica-se que as operadoras têm, na maioria dos casos, optado por esta última possibilidade, implantando redes com facilidades de Comutação de Circuitos e de Pacotes. Então, para se manter o benefício inerente dos serviços de VoIP, e considerando que, atualmente, mais de 90% das aplicações em sistemas móveis celulares são relativas ao serviço de telefonia, deve-se garantir que a transmissão de voz pelo IMS seja competitiva com a transmissão convencional, ou seja, aquela efetuada por intermédio do modo de Comutação de Circuitos. A procura de soluções técnicas que permitam obter essa garantia foi o objetivo maior deste trabalho.

Torna-se importante ressaltar a influência positiva que vem ocorrendo com a introdução da tecnologia IP na constituição das redes de telecomunicações. De fato, a partir da constatação de que a Internet tornou-se uma rede de grandes proporções, cresceu a importância do IP como tecnologia a ser empregada nas redes fixas de dados. Mais recentemente esta influência estendeu-se às redes móveis, sendo que no caso do UMTS espera-se que isto venha a se constituir no elemento básico de operação da rede. Além do fato do IP ser uma tecnologia de amplo conhecimento do meio técnico e com uma crescente utilização no mercado, acarretando um barateamento na fabricação de equipamentos, pode-se atribuir uma série de vantagens na prestação de serviços pelo IP (maiores mobilidade e flexibilidade, por exemplo), principalmente a partir da união dos ambientes de serviços de redes de telefonia tradicional e de dados. Inclusive este fato foi que originou o desenvolvimento da tecnologia VoIP, que vem se firmando no mercado. Entretanto, a utilização do IP na prestação de serviços em tempo real, ainda apresenta desafios, notadamente o problema da latência, característico das redes de pacotes. Recentemente tem sido efetuados muitos estudos e desenvolvimentos, visando tornar-se a latência em redes IP compatível com a prestação de serviços ditos "conversacionais" (telefonia IP, videotelefonia, etc.).

No caso das redes móveis celulares, em particular o UMTS, deve-se cuidar da eficiência de transmissão primordialmente na interface aérea, dada a escassez natural deste recurso para as comunicações. Assim, a preocupação maior será a busca de soluções técnicas que minimizem os obstáculos para a transmissão de VoIP na interface aérea. Para este propósito, neste trabalho serão desenvolvidas

propostas complementares às recomendações existentes do 3GPP, baseadas em análise matemática, simulações e considerações de ordem prática. Se implementadas no sistema UMTS, estas propostas permitem tornar a transmissão de voz pelo IMS compatível, em termos de eficiência de transmissão de energia na interface aérea, com a telefonia convencional (CS).

Este aspecto torna-se importante na medida em que uma maior economia de energia na transmissão resulta em uma maior duração para a bateria do equipamento celular, na realização de uma conexão, bem como proporciona-se uma redução do problema de interferência na interface aérea. As propostas aqui apresentadas, relativamente a este aspecto, são de fácil implementação e adequadas às limitações físicas naturais dos componentes de um sistema móvel.

Para caracterizar as contribuições deste trabalho devem ser feitas algumas considerações sobre os procedimentos de transmissão no UMTS. Em ambos os modos de transmissão, as camadas inferiores da arquitetura do sistema de transporte são responsáveis por um conjunto de procedimentos como *padding*, codificação, entrelaçamento e *rate matching*. O 3GPP define um conjunto de *Radio Access Bearers* (RABs), cada um dos quais com a especificação de um ou mais quadros para acomodar os blocos de informação provenientes das camadas superiores. No caso do modo CS, os blocos de informação se encaixam perfeitamente nos quadros definidos pelo RAB apropriado. Já no modo IMS, existe um grande número de diferentes dimensões de pacotes e não é prático definir um RAB com o mesmo número de comprimentos de quadro. Neste caso, a operação denominada *padding* é usada para completar os blocos de informação de modo a encaixá-los em alguns comprimentos de quadros disponíveis. Esta operação é realizada na camada RLC (*Radio Link Control*). No nível físico, a operação denominada *Rate Matching* tem o objetivo de ajustar os blocos de bits provenientes dos codificadores de canal ao comprimento de quadro de nível físico. Este procedimento, que pode resultar em duplicação ou supressão de bits, pode ser usado para satisfazer critérios distintos de QoS estabelecidos para as diferentes aplicações.

Pode-se então destacar as seguintes contribuições deste trabalho:

- Especificação de fluxos de chamada fim-a-fim para os modos CS e PS, integrando os procedimentos de alocação de recursos para a interface aérea (RRC - *Radio Resource Control*) com aqueles típicos de uma Rede

de Nova Geração (NGN - *Next Generation Network*), utilizados pelo UMTS, e baseados nos protocolos SIP^[2] e H.248^[3]. Este resultado foi publicado em 2005 ^[17].

- Proposta de um esquema otimizado para a operação do equipamento *Rate Matching* cuja sistemática vigente ^[43] ignora características não lineares do processo e aplica um coeficiente de proporcionalidade entre o parâmetro de QoS e o número de bits. A proposta envolve três etapas:
 1. Desenvolvimento de famílias de curvas, obtidas por simulação, de Probabilidade de Erro versus E_b/N_0 para a transmissão na interface aérea.
 2. Desenvolvimento analítico de um algoritmo capaz de realizar um processo de otimização para a geração de quantidades de bits a serem repetidos ou suprimidos nos diversos canais constituintes de um sinal multiplexado, de forma a manter-se os níveis requeridos individuais de QoS e minimizando a energia total transmitida. Este procedimento foi apresentado em dois artigos ^[30,31].
 3. O envio direto, do RRC para o Nível Físico, da quantidade de bits a serem repetidos/suprimidos para cada canal, por TFC (*Transport Format Combination*).
- Um novo processo de otimização do processo de *padding* baseado em um algoritmo capaz de fornecer os comprimentos de pacotes para alocação de quadros específicos com um número mínimo de bits de *padding* adicionais. A aplicação deste algoritmo na formação de pacotes de voz a serem transmitidos, contribuiu para uma redução no gasto da energia necessária, devido ao menor número de bits transmitidos. Este processo de otimização foi objeto de um artigo^[21]. Ressalte-se que este algoritmo encontra aplicação não somente no UMTS como, também, em outras aplicações na área de Redes, quando se necessita obter uma minimização do *padding* ;
- Um procedimento alternativo para a transmissão de pacotes de voz na interface aérea pelo IMS, visando conseguir-se uma redução da energia total dispendida para transmissão na direção *uplink* - comparativamente àquele padronizado pelo 3GPP - e aproximando-se dos mesmos níveis

de qualidade de uma conexão de voz realizada no modo CS. As principais alterações são as seguintes, todas elas sendo detalhadamente descritas ao longo do texto e constantes de um artigo submetido para publicação^[42]:

- Supressão do envio do UDP *Checksum* na interface aérea, sendo este parâmetro recalculado e inserido nos pacotes pelo PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*) de destino;
- Operação do RLC no Modo Transparente, isto é, com cabeçalho nulo. A operação de *padding* passa a ser efetuada pelo PDCP;
- Utilização de Codificador Turbo para o canal de sinalização, em vez do Codificador Convolutacional atualmente recomendado;
- Operação do Nível Físico com CRC de 8 bits na transmissão de VoIP, ao contrário do CRC-16 recomendado pelo 3GPP;
- Uma comparação numérica abrangente de desempenho da transmissão nos modos CS e IMS, em termos de consumo de energia, considerando as diversas técnicas propostas. Esta comparação é o objeto de um artigo submetido para publicação^[49];

Ressalte-se que, conforme comentado anteriormente, o foco principal do trabalho será a direção *uplink* de transmissão, embora a maioria dos resultados obtidos sejam aplicáveis, também, na direção *downlink*.

O Capítulo 2 tem por objetivo fornecer as principais características dos diversos agentes que compõem um sistema UMTS. Inicialmente é analisada a arquitetura física, com a descrição de todos os seus componentes. Em seguida, mostra-se a arquitetura de protocolos, com a apresentação subsequente daquelas mensagens que tem uma significativa importância para a execução de chamadas na rede.

O Capítulo 3 descreve detalhadamente o processo de realização de chamadas no UMTS, abordando-se os modos CS e PS, tanto para chamadas originadas no UE como para chamadas terminadas no UE. São consideradas as mensagens trocadas tanto no âmbito dos níveis superiores como daqueles inferiores, da hierarquia de protocolos, o que se constitui em um tratamento ainda não considerado na literatura.

O Capítulo 4 trata do mecanismo de multiplexação desenvolvido pela camada física, sendo descritas todas as etapas do processo. Inicialmente é descrito um algoritmo para otimização do *padding*, sendo que, em seguida, é dada ênfase ao componente denominado *Rate Matching*, sendo fornecido um tratamento matemático que resulta no estabelecimento de um processo de otimização para a atuação deste componente.

O Capítulo 5 considera a transmissão de voz na interface aérea, tanto no caso do modo CS como no IMS. São aplicados os conceitos de otimização desenvolvidos no capítulo anterior, sendo que, então, permite-se quantificar a maior eficiência da transmissão pelo CS comparativamente àquela do IMS.

O Capítulo 6 aborda um tratamento técnico objetivando a redução de bits a serem transmitidos na interface aérea, com uma conseqüente redução da energia total dispendida para a transmissão de uma chamada telefônica realizada no modo IMS.

O Capítulo 7 procura utilizar os conceitos desenvolvidos nos três capítulos anteriores para formular uma proposta complementar às recomendações do 3GPP, de forma a aumentar-se a eficiência do IMS com o objetivo de torná-lo competitivo com o CS, relativamente aos serviços de VoIP.

Finalmente, no Capítulo 8 são apresentadas as Conclusões do trabalho, sendo posteriormente visualizado uma série de Apêndices que trazem informações adicionais complementares.