

Planeamento Micro-celular e Determinação da Capacidade em Sistemas de Comunicações Móveis de Banda Larga

Fernando J. Velez^{1,2}, Luis M. Correia²

¹ Departamento de Engenharia Electromecânica
Universidade da Beira Interior

Rua Marquês d' Ávila e Bolama, 6200 Covilhã, Portugal
Fax: +351-75-320 820, fjv@ubi.pt

² Instituto de Telecomunicações, Instituto Superior Técnico
Universidade Técnica de Lisboa
Fax: +351-1-8418 472, luis.correia@lx.it.pt

Resumo

O planeamento celular para sistemas de comunicações móveis de banda larga envolve aspectos de cobertura, reutilização de frequências, tráfego de mobilidade e tráfego multi-serviço, entre outros. Com o trabalho envolvido nesta comunicação conclui-se que a utilização da faixa dos 60 GHz permite atingir uma capacidade mais elevada devido aos valores mais elevados da atenuação pelo oxigénio, correspondendo a um factor de reutilização co-canal de 4 para geometrias de cobertura linear e para grelhas urbanas regulares; enquanto a 40 GHz se obtém um valor de 6. Para “chamadas” de curta duração, a utilização de canais de guarda para handover melhora o desempenho do sistema relativamente ao tráfego de mobilidade, não se observando nenhuma melhoria para serviços de longa duração. Considerando cinco aplicações a operar simultaneamente no sistema, da análise do tráfego multi-serviço, conclui-se que a mobilidade dos terminais impõe limitações de capacidade, tal como valores elevados da fracção de ocupação de aplicações com elevada utilização da componente de vídeo de alta definição. É necessário desenvolver mais trabalho sobre a caracterização de serviços/aplicações de banda larga a utilizar pelo sistema contabilizando, nomeadamente, a simetria/assimetria das aplicações, e fornecendo uma caracterização mais completa das componentes de serviço a ter em conta.

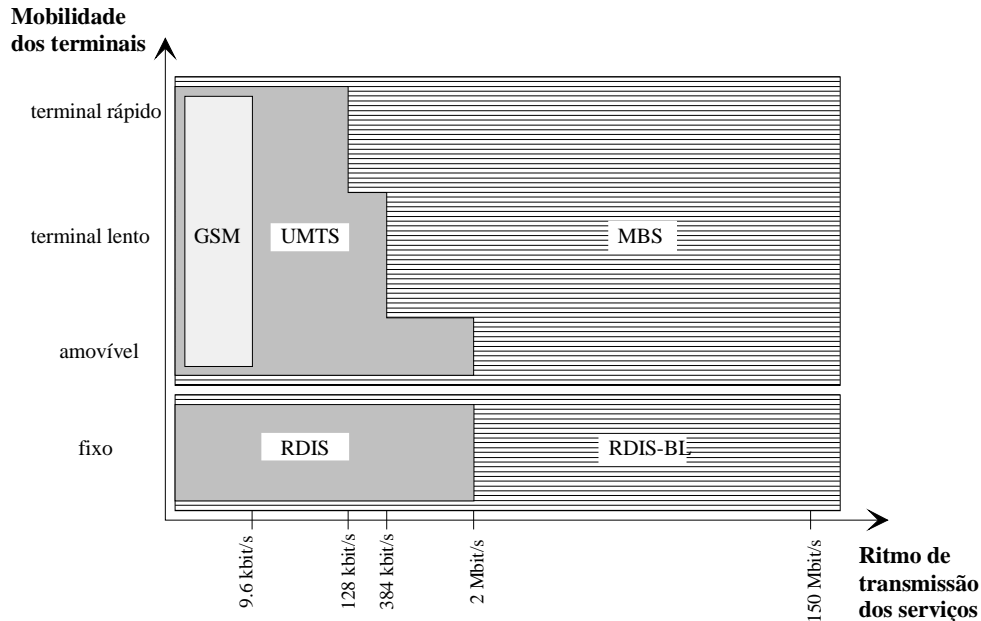
1. Introdução

Os sistemas de comunicações móveis de banda larga (MBS – *Mobile Broadband System*) disponibilizarão ritmos de transmissão superiores ao do UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), permitindo estender os serviços da RDIS-BL (Rede Digital Integrada de Serviços de Banda Larga) ao sector das comunicações móveis, suportando novas aplicações móveis e também as aplicações do UMTS com ritmos de transmissão superiores, mas suportando uma mobilidade de terminais mais elevada, Fig. 1. Por isso, tem surgido um forte interesse de investigação nesta área, nomeadamente no programa ACTS (*Advanced Communications Technologies and Services*) da Comunidade Europeia, mais especificamente no projecto SAMBA (*System for Advanced Mobile Broadband Applications*), onde se desenvolveu um demonstrador que operou pela primeira vez durante a EXPO' 98 [DFPH99].

Estes elevados ritmos de transmissão justificam a utilização da banda das ondas milimétricas na operação do sistema. Em ambientes urbanos, como a propagação se efectua essencialmente em linha de vista, sendo a difracção desprezável, o sistema será baseado numa estrutura de micro-células, confinadas às ruas, com dimensões da ordem das poucas centenas de metro [VeCo97]; mesmo na cobertura de estradas se prevê a utilização de micro-células, com as antenas das estações de base colocadas ao nível do topo dos postes de iluminação pública.

O nosso trabalho tem-se debruçado sobre aspectos de planeamento celular, ou seja, o processo de escolha da localização das estações de base, a determinação da sua área de cobertura (célula), a escolha dos grupos de frequências a utilizar em cada célula e o cálculo das probabilidades de bloqueio e de falha de *handover* associada aos serviços, dadas as características do tráfego, de forma a satisfazer os requisitos de capacidade de sistema e as restrições relativas à qualidade do sinal. Como se sabe, a tentativa de reutilizar cada frequência ao máximo em células próximas é limitada pela interferência entre células co-canal. De forma a garantir uma dada qualidade de

serviço (probabilidade de erro de bit máxima) é necessário que a relação portadora-interferência



ultrapasse um valor de limiar, o que limita a capacidade máxima do sistema.

Figura 1 – Conceito do MBS.

Pretende-se suportar aplicações através de terminais com elevada mobilidade, para os quais a análise do tráfego é feita considerando simultaneamente as “chamadas”¹ novas e as provenientes de *handover*². Do ponto de vista de dimensionamento, por exemplo, num sistema com geometria de cobertura linear (uma geometria típica e fácil de analisar), Fig. 2, com as células em forma de cigarro colocadas lado a lado, e as estações de base no centro, pretende-se maximizar o tráfego de “chamadas” novas suportado por unidade de comprimento, isto é, a densidade linear de tráfego de “chamadas” novas ξ_n [VeCo98a].

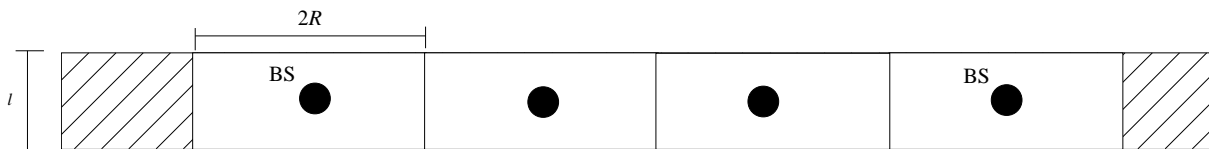


Figura 2 - Geometria de cobertura linear.

Outro aspecto importante é a caracterização de serviços/aplicações a utilizar no sistema. Devido à escassez de trabalhos na área de sistemas de comunicações móveis de banda larga, baseámo-nos na Recomendação do ITU-T (*International Telecommunications Union*) para a rede fixa de banda larga, I.211 [HäAS95], generalizando-a através da inclusão de serviços de comunicações móveis de banda larga. Esta caracterização é bastante útil para a obtenção da capacidade máxima do sistema tendo em conta o tráfego multi-serviço, ou seja, a contribuição simultânea das várias aplicações na utilização dos recursos disponíveis no sistema [Ve99].

Um aspecto relevante nessa análise é a simetria/assimetria das aplicações, pois a utilização de menos recursos de comunicação num dos sentidos de comunicação (ascendente ou descendente) permite economizar esses mesmos recursos, que são escassos, sendo o licenciamento de uma determinada faixa de frequências por parte de uma operadora bastante caro; frequentemente não existem mais frequências disponíveis, mesmo que a operadora esteja disposta a pagar para as poder

¹ No MBS não faz sentido falar em “chamadas” do ponto de vista habitual (voz), pelo que as “chamadas” se referem a ligações ao sistema, para utilização de serviços de banda larga.

² Utiliza-se o termo *handover* para designar a transferência entre células durante a comunicação.

utilizar. É portanto necessário efectuar uma caracterização estatística/probabilística de cada aplicação, tendo em conta as componentes de serviço concretas a que elas têm acesso (por exemplo, HDV – *High Definition Video*, IV – *Interactive Video and Image*, e DATA- dados). O acesso a cada componente de serviço apenas quando a aplicação necessita também permite economizar recursos pois, caso contrário, se a atribuição fosse estática, os recursos ficariam indisponíveis para outras aplicações, mesmo que não estivessem ser utilizados pela primeira aplicação.

Esta comunicação é organizada da seguinte forma. Na Secção 2, apresentam-se os modelos de propagação e para a reutilização de frequências nas faixas de 40 e 60 GHz, as faixas previstas para a operação do sistema. Na Secção 3, apresentam-se aspectos da influência da mobilidade de terminais no tráfego, apresentando-se os modelos considerados, as principais limitações devido à mobilidade elevada e comparando-se dois tipos de aplicações: os de duração curta e elevada. Na Secção 4, abordam-se os aspectos de caracterização das aplicações, de acordo com a Rec. I.211 do ITU-T, apresentando-se a sua taxonomia de classificação e as principais conclusões da análise do tráfego multi-serviço considerando aplicações específicas do MBS simétricas, nesta primeira análise. Finalmente, apresentam-se as conclusões.

2. Modelos de Propagação e de Reutilização de Frequências

A principal diferença entre as faixas de 40 e 60 GHz prende-se com a atenuação pelo oxigénio, que é importante a 60 GHz e desprezável a 40 GHz, decrescendo de cerca de 15 dB/km, a 60 GHz, até aproximadamente 1 dB/km, a 66 GHz, Fig. 3.

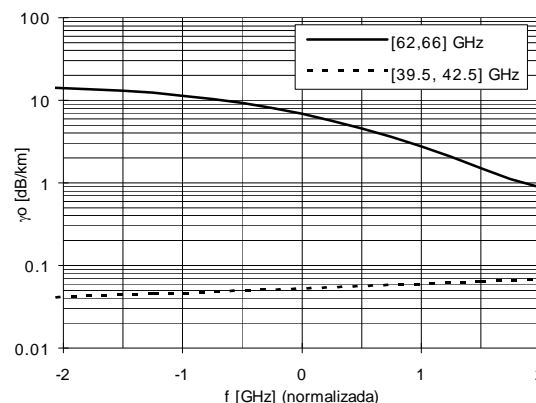


Figura 3 - Atenuação do oxigénio em função de da frequência em escala normalizada (-2 GHz corresponde ao início da faixa inferior e 2 GHz corresponde ao final da faixa superior).

Na faixa de 40 Hz e na ausência de chuva, a relação portadora-interferência considerando apenas duas células, Fig. 4, não depende da distância de cobertura, mas apenas da distância de reutilização, apresentando um valor de cerca de 10 dB para $r_{cc}=4$, Fig. 5. Para a faixa de 60 GHz, contudo, verifica-se um comportamento diferente devido à atenuação pelo oxigénio. Neste caso, a relação portadora-interferência depende também da distância de cobertura e quanto maior for R maior a relação C/I . Obtêm-se valores que variam de 12 a 25 dB (para $r_{cc}=4$) quando R varia uma ordem de grandeza (de 50 até 500 m). Na presença de chuva, embora não se apresentem aqui os gráficos, o coeficiente de atenuação é superior e, portanto, o comportamento observado anteriormente para 60 GHz, verifica-se para as duas bandas. Dependendo da distância máxima de cobertura, o sistema pode operar limitado pela interferência ou por interferência mais ruído. Devido ao limiar de ruído térmico a distância de cobertura não pode ser superior a um determinado valor assintótico, que é mais elevado na banda de 40 GHz (na presença de chuva o seu valor é de 806 m, enquanto que a 60 GHz toma um valor de 309 m). Considerando a utilização da modulação OQPSK, para a geometria de cobertura linear só se obteve um valor realizável do factor de reutilização co-canal, $r_{cc} = D/R$, de 4 na faixa de 60 GHz, enquanto que na faixa dos 40 GHz o valor terá que ser pelo menos de 6. Para

a cobertura de grelha cartesianas obtêm-se os mesmos valores observados para a geometria linear, ou seja, 4 e 6 para a modulação OQPSK, Fig. 6.

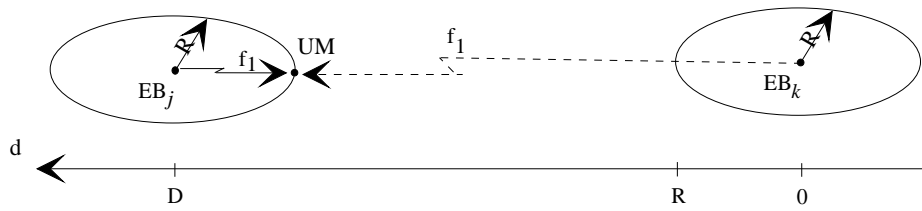


Figura 4 - Interferência co-canal numa unidade móvel (proveniente de uma estação de base).

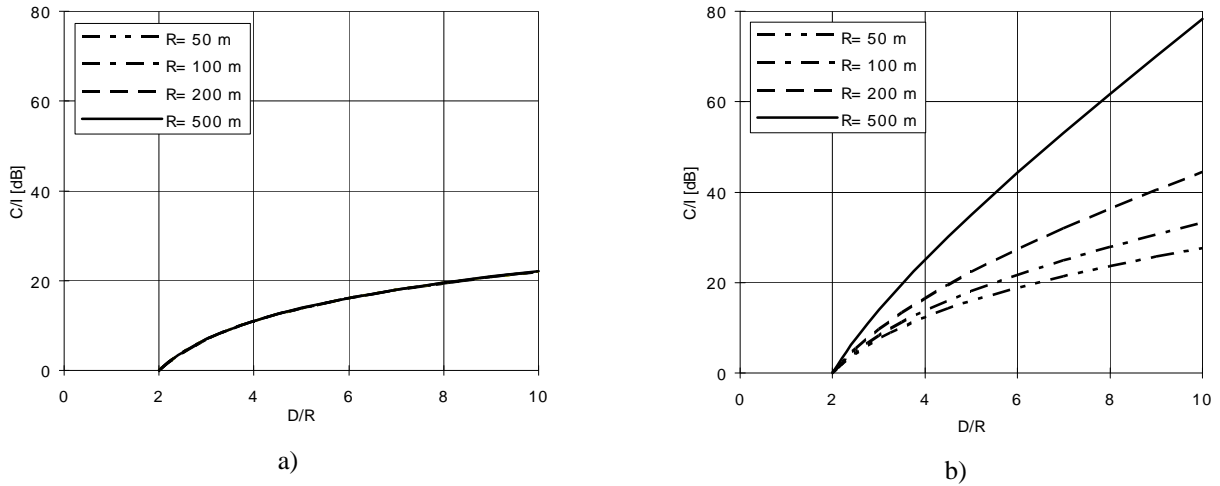


Figura 5 - Relação portadora-interferência em função do factor de reutilização co-canal para vários valores do raio de cobertura, dado R , sem chuva, na faixa de a) 40 GHz e b) 60 Hz.

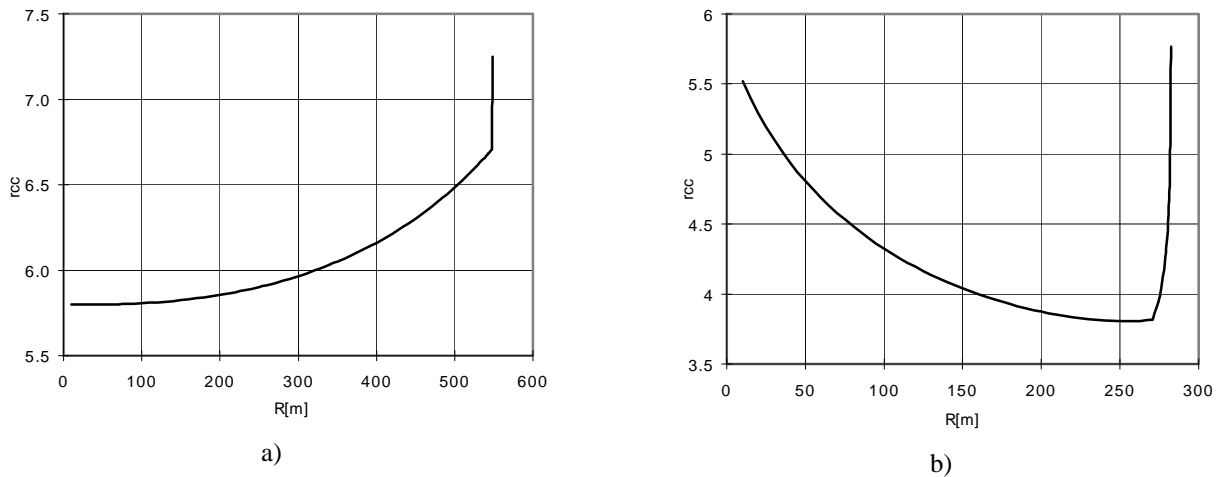


Figura 6 - Factor de reutilização co-canal em função da distância máxima de cobertura para a grelha cartesiana, modulação OQPSK, nas faixas de a) 40 GHz e b) 60 GHz.

Conclui-se que se o sistema operar na faixa dos 60 GHz se obtêm configurações às quais corresponde um menor factor de reutilização co-canal e logo uma maior capacidade de sistema.

3. Tráfego de Mobilidade

Desenvolveram-se modelos para a análise do tráfego em redes de comunicações móveis micro-celulares com terminais de elevada mobilidade, tendo em conta o tráfego novo gerado nas células e o tráfego de “chamadas” de *handover*. Estudou-se a variação de ξ_n com a distância de cobertura

máxima das células R , para valores típicos de R , considerando o tráfego de “chamadas” novas homogêneo em toda a área servida. A densidade linear de tráfego de “chamadas” novas, para além da dependência com R , depende consideravelmente da velocidade v , sendo diferente para os vários cenários considerados: estático, pedestre, urbano, estrada e auto-estrada [VeCo98a].

À primeira vista, poderia parecer que a densidade linear de tráfego de “chamadas” novas deveria crescer proporcionalmente a $(1/R)$. Contudo, isso só é válido no cenário estático, onde não existem *handovers*. Nos cenários com mobilidade elevada, à medida que a dimensão das células diminui, aumenta-se o número de “chamadas” geradas devido a *handover*, o que é tanto mais relevante quanto maior for a velocidade. Assim, o aumento da densidade linear de tráfego de “chamadas” novas não é linear com $(1/R)$, crescendo com declive (decrescente) inferior ao do caso linear, até se atingir um determinado valor assintótico [VeCo98b]. À diminuição da distância de cobertura da célula corresponde um aumento do tráfego novo por unidade de comprimento (ou unidade de área, para geometrias mais gerais) e um aumento da taxa de *handover*, (devido ao aumento da taxa de atravessamentos), que é o número médio de *handovers* por “chamada” quando a probabilidade de falha de *handover*³ P_{hf} é desprezável. Este fenómeno provoca um aumento da probabilidade de falha de *handover* e logo da probabilidade de perda de “chamadas”⁴.

Pretende-se determinar quais os valores da distância de cobertura R que permitem alcançar os requisitos de qualidade para o sistema. Esses requisitos resultam de um equilíbrio entre valores suficientemente elevados para a densidade linear de tráfego de “chamadas” novas e valores baixos para as probabilidades de perda de “chamadas” e de bloqueio. As grandezas envolvidas irão depender da velocidade dos móveis, através da taxa de atravessamentos, e também da duração média das “chamadas”, da sua taxa de geração, do número de canais disponíveis no sistema e do padrão de reutilização. Como a probabilidade de perda de “chamadas” P_d tem que ser muito menor do que a probabilidade de bloqueio⁵ P_b , pode ser necessário dar prioridade às “chamadas” de *handover*, utilizando-se para tal canais de guarda para *handover*, Fig. 7.

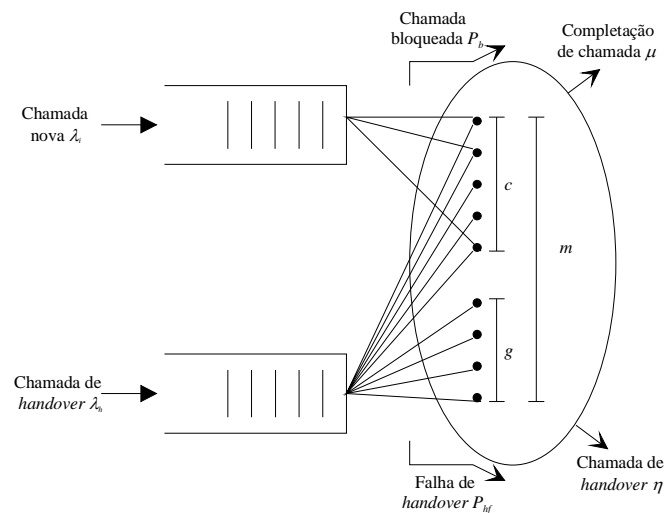


Figura 7 - Modelo para o tráfego associado a uma célula.

Dos m canais disponíveis numa célula, c servem indistintamente novas “chamadas” e “chamadas” de *handover*, e os restantes g são canais de guarda só para “chamadas” de *handover*. A utilização de canais de guarda para *handover* permite ultrapassar, em parte, as limitações introduzidas pela elevada mobilidade dos terminais. Utilizou-se a abordagem de [Jabb96] que, fundamentalmente,

³ A probabilidade de falha de *handover* é a probabilidade de um utilizador não conseguir transferir a sua chamada para uma célula vizinha.

⁴ A probabilidade de perda de “chamadas” é a probabilidade de terminação forçada de uma chamada durante toda a sua duração.

⁵ A probabilidade de bloqueio é a probabilidade de um utilizador não conseguir fazer uma chamada, por inexistência de canais disponíveis.

considera que o tráfego de “chamadas” de *handover* tem distribuição de Poisson, o que se verifica essencialmente quando o sistema não está em sobrecarga; são também essas as condições para as quais se faz o dimensionamento [ChLu95]. Desenvolveram-se modelos e expressões para calcular o tráfego novo e de “chamadas” de *handover* gerado em cada célula, como uma fracção do tráfego suportado, calculado de acordo com os requisitos para as probabilidades de bloqueio e de perda de “chamadas”. Nesse caso existem fórmulas distintas e desacopladas para o cálculo das probabilidades de bloqueio e de falha de *handovers*. Obtiveram-se resultados para diferentes valores do número de canais de guarda g para “chamadas” de curta e longa duração, concluindo-se que, no primeiro caso ($\mu = 1/3 \text{ min}^{-1}$), para as distâncias de cobertura típicas do MBS se obtêm valores mais elevados para a densidade linear de tráfego novo para $g = 2$, Fig. 8.

Os valores óptimos obtêm-se para $R = 175, 250$ e 475 m ($\xi_n = 2.47, 1.65$ e 0.84 Erlang/km) para os cenários urbano, estrada e auto-estrada, respectivamente. No entanto, para o cenário de auto-estrada a correspondente distância máxima de cobertura é superior ao comprimento previsto para as células. Essa limitação pode ser ultrapassada utilizando $g = 3$ canais de guarda, obtendo-se valores mais favoráveis que nos casos $g = 0, 1, 2$ para $100 < R < 150 \text{ m}$. Verificou-se também que existe uma degradação na capacidade do sistema, medida em Erlang/km, para cenários com mobilidade cada vez mais elevada; e que o valor óptimo para a distância de cobertura máxima das células decresce com o aumento do número de canais disponíveis na célula.

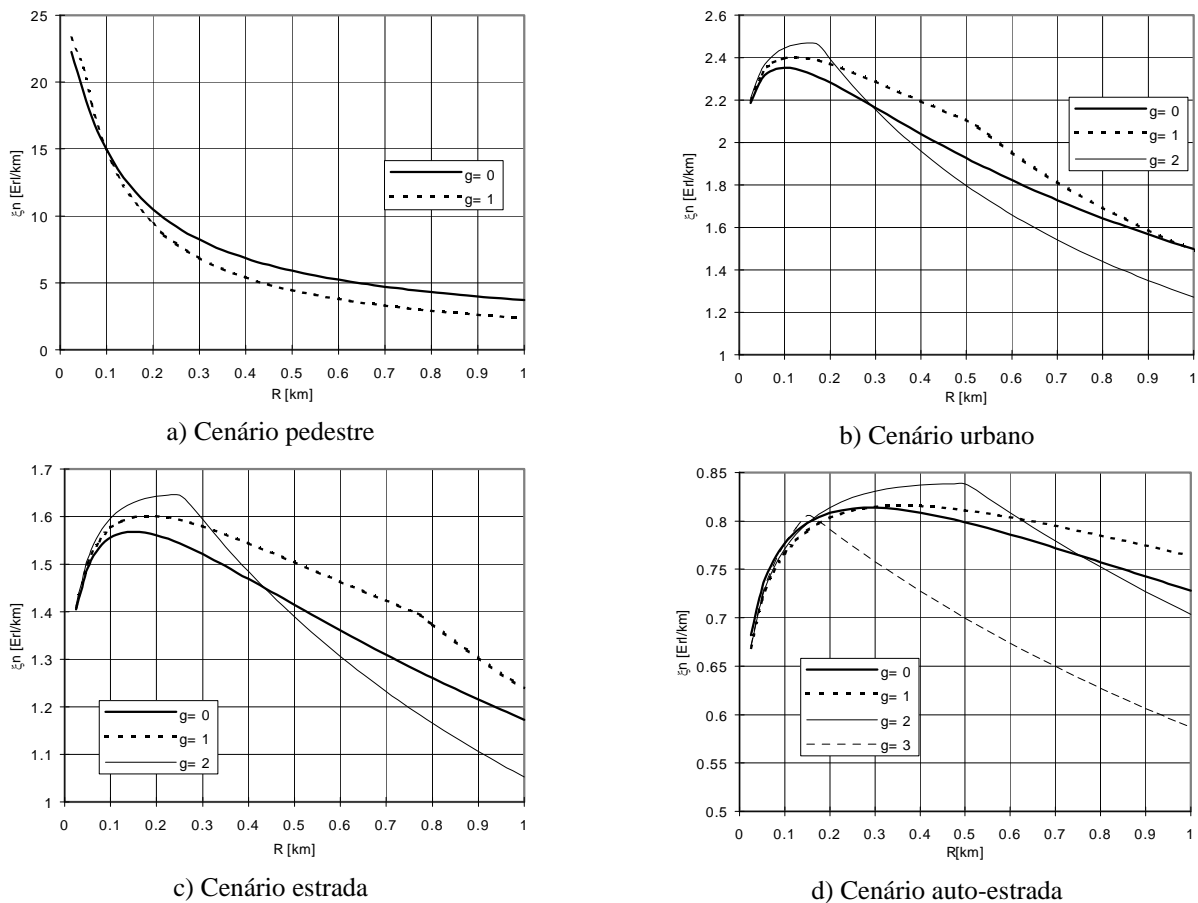
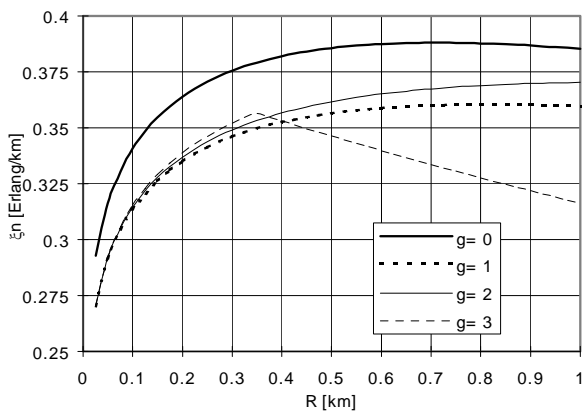
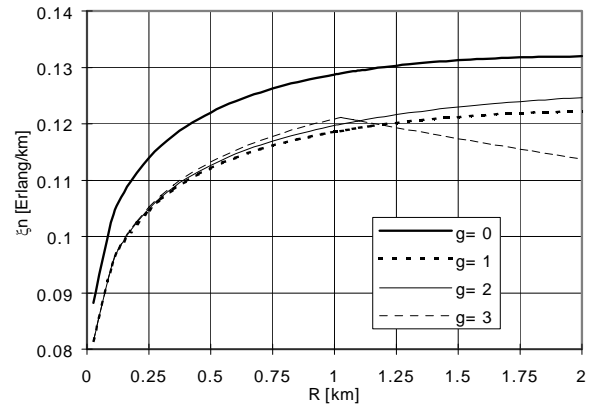


Figura 8 – Densidade linear de tráfego novo em função de R para $\mu = 1/3 \text{ min}^{-1}$, $m = 11$.

Para “chamadas” de longa duração ($\mu = 1/20 \text{ min}^{-1}$), Fig. 9, obtêm-se valores óptimos inferiores para $g = 0$ e $R = 75, 700, 100$ e 2000 m ($\xi_n = 3.9, 0.39, 0.26$ e 0.13 Erlang/km) aproximadamente, para os quatro cenários respectivos [VeCo99].



a) Cenário urbano



b) Cenário auto-estrada

Figura 9 – Densidade linear de tráfego novo em função de R para $\mu = 1/20 \text{ min}^{-1}$, $m = 11$.

É importante realçar que, neste caso, a utilização de canais de guarda para *handover* não introduz nenhum benefício. Poderia-se supor que a utilização de canais de guarda trouxesse melhorias, mas a consequente degradação na probabilidade de bloqueio impõe uma limitação que não é possível resolver [VeCo98a]. Existe um quociente de aproximadamente 1/6 entre os valores da densidade linear de tráfego novo para “chamadas” de longa e curta duração, enquanto que as respectivas distâncias máximas de cobertura são quatro vezes superiores. Como, para “chamadas” de curta duração, os valores realizáveis são próximos dos valores óptimos, para “chamadas” de longa duração o sistema operará tendo distâncias máximas de cobertura das células inferiores aos valores óptimos. Por exemplo, para $R = 150 \text{ m}$, $\xi_n = 3.4, 0.36, 0.23$ e 0.11 Erlang/km (valores 87%, 91%, 88% e 82% inferiores aos óptimos), respectivamente. Note-se que este valor de R é maior do que o óptimo no cenário pedestre, sendo, no entanto, inferior nos restantes casos. Para as distâncias máximas de cobertura previstas, embora a utilização de canais de guarda para *handover* resulte num maior desempenho do sistema para “chamadas” de curta duração, causa contudo alguma degradação quando se consideram “chamadas” de longa duração.

Também se concluiu que para valores fixos do quociente g/m , e para as distâncias máximas de cobertura relevantes, a melhoria na densidade linear de tráfego novo é semelhante para valores distintos de g e m , sendo contudo ligeiramente superior para valores superiores de m .

4. Tráfego Multi-serviço

De acordo com esta Recomendação I.211 do ITU-T [HäAS95], os serviços são classificados como interactivos ou não-activos. Os primeiros são ainda divididos nas seguintes classes: conversacionais, de mensagens e “de entrega” (*retrieval*); enquanto que os segundos podem ser de difusão ou cíclicos. Esta classificação dos serviços/aplicações [HäAS95], foi generalizada de forma a incluir aplicações móveis de banda larga específicas, na perspectiva do trabalho desenvolvido no projecto RACE II-MBS [AsZu94], correspondendo à adição dos seguintes serviços:

- a) **Interactivos de mensagens** – Vigilância de propriedades móvel, difusão de televisão digital de alta definição a partir de exteriores, LAN (*Local Area Network*) industrial sem fios, assistência a reparações, comunicações empresariais, e gestão de fortas.
- b) **Interactivos “de entrega”** – informação turística, guia urbano e assistência a veículos em viagem.

Dada uma lista de serviços organizados de acordo com estes critérios, utiliza-se uma taxonomia que considera vários parâmetros, divididos em cinco categorias, que fornecem uma caracterização completa de cada aplicação específica: parâmetros gerais, de tráfego e de comunicações, componentes de serviço e ambientes de operação. Esta caracterização é bastante útil para a obtenção da capacidade máxima do sistema tendo em conta o tráfego multi-serviço, ou seja, a

contribuição simultânea das várias aplicações na utilização dos recursos disponíveis no sistema [Vele99]. O trabalho de identificação de serviços/aplicações, a sua classificação e a sua caracterização de acordo com os parâmetros definidos acima, permitirá um conhecimento completo e detalhado das diversas possibilidades de operação do sistema e facilitará a definição de vários cenários de operação. Aqui, no entanto, vai-se apenas considerar o caso de aplicações móveis de banda larga específicas e simétricas, de acordo com a abordagem do projecto RACE II-MBS [AsZu94], como uma primeira abordagem ao problema [Vele99], bastante útil na definição de algoritmos e de critérios de contabilização de componentes de serviço e da mobilidade de terminais. Consideram-se cinco aplicações distintas: serviços de emergência (SE), Assistência a Reparações (AR), Guia Urbano (GU), difusão de televisão de alta definição a partir de exteriores (HDTV-OB) e tele-trabalho (TW) [AsZu94]. Cada uma delas é caracterizada por uma determinada utilização das componentes de serviço HDV, IV e DATA em termos do tráfego oferecido por cada aplicação.

Como estamos em presença de um sistema micro-celular, com células de reduzidas dimensões, tipicamente com distâncias de cobertura entre 100 e 500 m, assume-se o modelo de Bernoulli para a taxa de geração de “chamadas” [AwVI97] pois ele permite contabilizar a diminuição dessa taxa à medida que um maior número de utilizadores estão a ser servidos. Para além disso, a geração de cada tipo de “chamadas” só é feita por uma fracção do número total de utilizadores, pois os restantes poderão aceder a outras aplicações. Apesar de se considerar o modelo de Bernoulli, assume-se que a equação de equilíbrio de fluxo para a taxa de geração de “chamadas” é a mesma que no caso de Poisson [Jabb96], [Vele98].

Uma forma simples de atribuir a largura de banda necessária a cada aplicação é dar-lhe a largura de banda necessária para voz⁶, dados e vídeo. No entanto, essa atribuição estática não é eficiente, constituindo um desperdício de largura de banda. Aceder às diferentes componentes de serviço só quando se necessita, permite diminuir a largura de banda retida pelo sistema. É assim importante caracterizar a utilização média de cada componente durante cada aplicação, definindo os pressupostos para análise do tráfego considerando múltiplos serviços.

As três componentes de serviço consideradas caracterizam-se da seguinte forma: i) a imagem de alta definição (HDV), tipicamente utiliza a norma MPEG2, prevendo-se que um ritmo de transmissão de 8 Mbit/s seja suficiente para ter qualidade para difusão (*broadcasting*) num futuro próximo, ii) a imagem e vídeo interactivo (IV), tipicamente utiliza MPEG1 a 2 Mb/s ou uma aplicação de video-telefonía a cerca de 2 Mb/s (normas H.261 ou H.263) e iii) os dados (DATA) Têm um ritmo de transmissão de 1 Mb/s.

Na Tabela 1 apresentam-se as características de cada componente de serviço, ou seja:

- A sua duração média, $\bar{\tau}_s$, em minutos, que irá depender de aplicação para aplicação, sendo o inverso de $\mu_{j/k}$, a taxa de serviço da componente j na aplicação k , $j = \text{HDV, IV, DATA}$, $k = \text{SE, AR, GU, HDTV e TW}$,
- A sua taxa de transmissão a_j , em Mbit/s.

Tabela 1 - Características das componentes de serviço (caso estático).

Componente	$\bar{\tau}_s$ [min]	Taxa [Mbit/s]	μ_s [min ⁻¹]
HDV	0.5; 50	8	0.02; 2
IV	20 - 40 - 60	2	{1.(6)-2.5-5}.10 ⁻³
DATA	8.(3).10 ⁻³	1	120

⁶ A transmissão de voz não é relevante na análise do tráfego multi-serviço (devido aos ritmos de transmissão envolvidos serem desprezáveis em comparação com as outras componentes).

Na Tabela 2 apresentam-se os valores previstos para a utilização média de cada uma das componentes ao longo do tempo de duração de cada aplicação, dos quais também se apresentam valores médios, $\bar{\tau}$. Apresentam-se ainda os valores da fracção relativa do número de utilizadores. Consideram-se dois valores para a fracção de ocupação das aplicações GU e HDTV pois admitem-se dois casos em estudo, 1 e 2, um com mais peso da aplicação mais fortemente baseada na componente de vídeo de alta definição e vice-versa.

Tabela 2 - Utilização média das componentes por aplicação (caso estático).

Aplicação	HDV	IV	DATA	$\bar{\tau}$ [min]	μ [min ⁻¹]	Fracção [%]
SE	4 vezes	permanente	10 vezes	20	0.05	15
AR	4 vezes	permanente	20 vezes	40	0.025	20
GU	0	permanente	30 vezes	60	0.01(6)	40-45
HDTV-OB	permanente	0	20 vezes	50	0.02	10- 5
TW	0	permanente	20 vezes	20	0.05	15

A duração média duma componente permanente é igual à duração média da aplicação. O facto de uma componente de serviço ser utilizada um determinado número de vezes, significa que, por exemplo, para a componente HDV, as aplicações respectivas utilizam essa componente frequentemente, durante 0.5 min de cada vez; para a componente DATA esses acessos duram 0.5 s, ou seja, 0.008(3) min. A fracção do tempo em que elas são utilizadas determina a sua utilização, e logo o tráfego respectivo.

Algumas destas aplicações poderão vir a ser assimétricas, necessitando de diferentes requisitos de largura de banda/taxa de transmissão nas ligações ascendente e descendente. No, entanto aqui assumem-se aplicações simétricas deste ponto de vista.

Aqui, vão-se considerar três tipos de ambientes relativamente à mobilidade:

- O estático, onde todas as aplicações são fornecidas a utilizadores imóveis ou amovíveis, mas fixos durante a prestação do serviço, decorrendo completamente nas células onde são iniciadas
- O típico da baixa de uma cidade, onde os utilizadores são pedestres, caso faça sentido (guia urbano e HDTV-OB), ou então estáticos (Serviços de Emergência, Assistência a Reparações e Tele-trabalho) [VeCo98]
- A situação típica das grandes avenidas e ruas principais de uma cidade, onde se considera o cenário estrada para as aplicações Serviço de Emergência e Tele-trabalho, pois a primeira é uma aplicação onde os móveis são veículos prioritários e a segunda é uma aplicação a ser prestada tipicamente em transportes públicos, que usualmente utilizam corredores especiais, de alta velocidade. As restantes aplicações (Assistência a Reparações, Guia Urbano e HDTV-OB) são caracterizadas por velocidades médias típicas do cenário urbano.

Considera-se uma densidade de 500 utilizadores por quilómetro e uma geometria de cobertura linear. Obtiveram-se os valores para a fracção do número de utilizadores activos, f , invertendo o processo de cálculo do algoritmo utilizado [AwVI97] para cada valor de $P_b = P_{hf}(R)$, Tabela 3, $R = 100$ m. Utilizou-se a abordagem apresentada em [Vele99], onde se consideram $c_h = 72$ “canais” de 8 Mbit/s, correspondendo a $c = 576$ unidades de 1 Mbit/s. De acordo com os requisitos para a mobilidade, no ambiente “grandes avenidas” o requisito para a probabilidade de falha de *handover* é $(P_{hf})_{max} = 6 \cdot 10^{-5}$ (apenas para $R = 100$ m). Nos outros dois ambientes, o requisito é $(P_b)_{max} = 2 \cdot 10^{-2}$, excepto no caso da “baixa de cidades”, caso 1, onde $(P_{hf})_{max} = 10^{-2} < (P_b)_{max}$.

Tabela 3 - Resultados para a fracção de utilizadores activos, f , para $R = 100$ m.

Ambiente	Caso 1	Caso 2
Estático	15.0 %	18.5%
Baixa de cidade	13.5 %	18.5 %
Grandes avenidas	7.0%	9.2%

As diferenças entre os ambientes estático e baixa de cidade são desprezáveis. No entanto, a diferença entre o ambiente baixa de cidade e o das grandes avenidas é drástica, sendo apenas suportados aproximadamente metade dos utilizadores. A diferença entre os dois casos em estudo, 1 e 2, é justificada pelo peso da componente de serviço HDV nas aplicações do caso 1.

De forma a analisar o impacto da mobilidade dos terminais nos resultados, é também importante apresentar os resultados de f em função de R , Fig. 10 (caso 2).

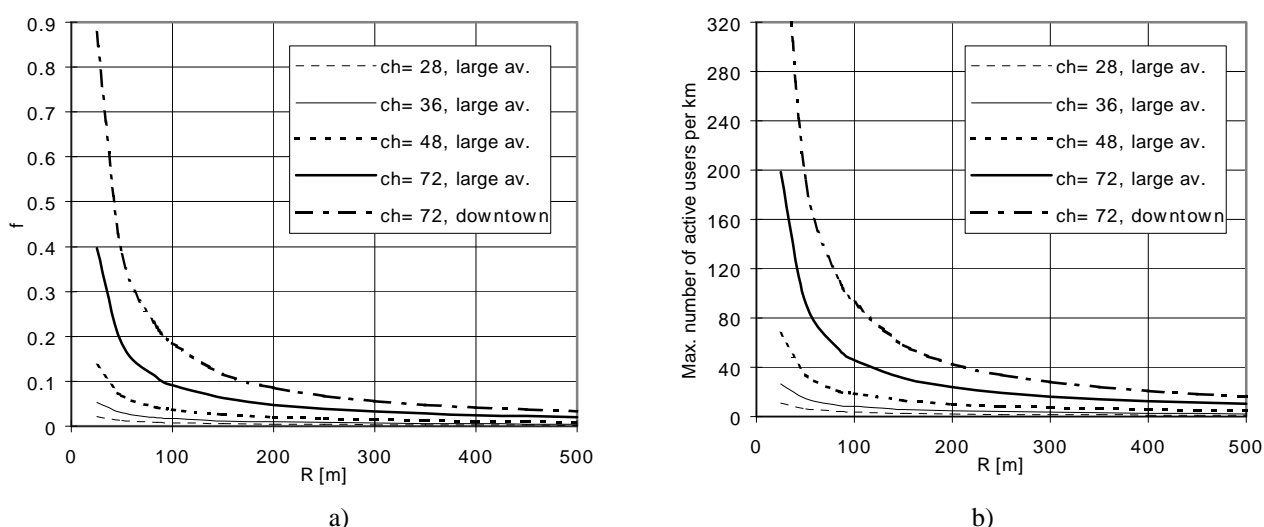


Figure 10 – a) Fração de utilizadores activos suportados e b) máximo número de utilizadores activos por km.

No ambiente grandes avenidas considera-se um número de recursos de 8 Mbit/s $c_h = 28, 36, 48$ e 72 , enquanto que no ambiente baixa de cidade apenas se considera $c_h = 72$. Como os resultados para o ambiente baixa de cidade para $R > 85$ m coincidem com os do ambiente estático, não é necessário apresentar uma curva diferente. A partir dos valores de f , também se pode determinar o número máximo de utilizadores por km, $f \cdot M \cdot (1000 / (2R)) = 500 \cdot f$, onde M é o número de utilizadores na célula e a igualdade resulta de R ser numericamente igual a M , quando se considera uma densidade de 500 utilizadores por km, Fig. 10.b). O número máximo de utilizadores activos por km aumenta quando R diminui, sendo superior para o ambiente baixa de cidade, devido à influência da mobilidade dos terminais. É importante notar que, por exemplo para $R = 100$ m, são necessários pelo menos $c_h = 72$ recursos de 8 Mbit/s para suportar 10 % de utilizadores activos, um valor usualmente apresentado na literatura. Em cenários onde se utilizam predominantemente aplicações com elevada utilização da componente HDV o desempenho é fortemente afectado, $f = 7\%$ para $R = 100$ m.

5. Conclusões

Apresentou-se o trabalho sobre o planeamento micro-celular em sistemas de comunicações móveis de banda larga já realizado no âmbito do trabalho de doutoramento do primeiro autor. Conclui-se que a utilização da faixa dos 60 GHz permite atingir uma capacidade mais elevada devido aos valores mais elevados da atenuação pelo oxigénio, correspondendo a um factor de reutilização co-canal de 4 para geometrias de cobertura linear e para grelhas urbanas regulares; enquanto a 40 GHz se obtém um valor de 6. Para “chamadas” de curta duração, a utilização de $g = 2$ canais de guarda para handover melhora o desempenho do sistema relativamente ao tráfego de mobilidade, não se

observando nenhuma melhoria para serviços de longa duração. Existe um quociente de aproximadamente 1/6 entre os valores da densidade linear de tráfego novo para “chamadas” de longa e curta duração, enquanto que as respectivas distâncias máximas de cobertura são quatro vezes superiores. Considerando cinco aplicações a operar simultaneamente no sistema, da análise do tráfego multi-serviço, conclui-se que a mobilidade dos terminais impõe limitações de capacidade, $f = 10\%$ para $c_h = 72$ recursos de 8 Mbit/s ($R = 100$ m), tal como valores elevados da fracção de ocupação de aplicações com elevada utilização da componente de vídeo de alta definição, $f = 7\%$ (também para $R = 100$ m). É necessário desenvolver mais trabalho sobre a caracterização de serviços/aplicações de banda larga a utilizar pelo sistema contabilizando, nomeadamente, a simetria/assimetria das aplicações e fornecendo uma caracterização mais completa das componentes de serviço a ter em conta.

Referências

- [AsZu94] S. Ashby, J. Zubryski, “*Report on MBS Applications and Services*,” RACE Deliverable R2067/CT1/1.2./DR/P/027.b1, RACE Central Office, Brussels, Belgium, 1994.
- [AwV197] G. A. Awater, H. A. van de Vlag, “Exact Computation of Time and Call Blocking Probabilities in Large, Multi-traffic, Multi-resource Loss Systems,” *Performance Evaluation*, Vol. 25, 1996, pp. 41-58.
- [ChLu95] E. Chlebus, W. Ludwin, “Is Handoff Traffic Really Poissonian?,” in *Proc. of ICUPC’95 - IEEE International Conference on Universal Personal Communications*, Tokyo, Japan, Nov. 1995, pp. 348-353.
- [DFPH99] M. Dinis, J. Fernandes, M. Prögler, W. Herzig, “The SAMBA Trial Platform in the Field,” in *Proc. of 4th ACTS Mobile Communications Summit, Sorrento, Italy, Jun. 1999*, pp. 1013-1018.
- [HäAS95] R. Händel, M. Auber, S. Schröder, “ATM Networks, Concepts, Protocols, Applications,” Addison-Wesley, 1995.
- [Jabb96] B. Jabbari, “Teletraffic Aspects of Evolving and Next-generation Wireless Communication Networks,” *IEEE Personal Communications Magazine*, Vol. 3, No. 6, Dec. 1996, pp. 4-9.
- [VeCo97] F. J. Velez and L. M. Correia, “Optimization Criteria for Cellular Planning of Mobile Broadband Systems in Linear and Urban Coverages,” in *Proc. of 2nd ACTS Mobile Communications Summit, Aalborg, Denmark, Oct. 1997*, pp. 199-205.
- [VeCo98a] F. Velez, L. M. Correia, “Capacity Trade-offs in Mobile Broadband Systems using Guard Channels for High Mobility Handover,” in *Proc. of 9th IEEE International Symposium on Personal Indoor, and Mobile Radio Communications*, Boston, Massachusetts, USA, Sep. 1998, pp. 749-753.
- [VeCo98b] F. Velez, L. M. Correia, “Influence of Traffic from Mobility on the Micro-cellular Coverage Distance in Mobile Broadband Systems,” in *Proc. of 3rd ACTS Mobile Communications Summit, Rhodes, Greece, Jun. 1998*, pp. ___-__.
- [VeCo99] F. Velez, L. M. Correia, “New Calls Traffic Performance in Micro-cellular Mobile Broadband Systems,” in *Proc. of ConfTele’99 – II Conferência de Telecomunicações*, Sesimbra, Portugal, Apr. 1999.
- [Vele98] F. J. Velez, “Validation of Models for Traffic from Mobility in Microcellular Mobile Broad-band Systems,” in *Proc. of 9th IEEE International Symposium on Personal Indoor, and Mobile Communications*, Boston, Massachusetts, USA, Sep. 1998, pp. ___-___.
- [Vele99] F. J. Velez, “Multi-service Traffic Analysis in Mobile Broadband Systems,” in *Proc. of 4th ACTS Mobile Communications Summit, Sorrento, Italy, Jun. 1999*, pp. 239-244.