Edição Nº 6 – 28 de Abril de 2018

ISSN Print: 1646-9976 | ISSN Online: 2184-223X |

DOI: <https://doi.org/10.31112/kriativ-tech-2018-01-11>

<http://www.kriativ-tech.com>

<http://www.kriativ-tech.pt>

Evolução e desafios das redes de comunicações móveis

Lúcio Studer Ferreira

*ISTEC - Dep. de Estudos e Investigação em
Tecnologias de Informação e Sociedade*

Professor Adjunto do ISTEC

lucio.ferreira@my.istec.pt

<http://orcid.org/0000-0002-0235-2531>

Luís M. Correia

*INESC-ID \-Instituto Superior Técnico,
Universidade de Lisboa*

<http://orcid.org/0000-0002-7765-9896>

Resumo: A implantação de redes de acesso rádio que oferecem cobertura aos telemóveis tem seguido o progresso das tecnologias disponíveis, estando atualmente os sistemas GSM, UMTS e LTE disponíveis de forma combinada e o 5G em preparação. O aumento exponencial do tráfego gerado pelos utilizadores de telemóveis requer implantações densas de estações rádio, o que acarreta custos elevados. Por outro lado, o tráfego sofre grandes variações em termos geográficos e temporais, o que requer redes dinâmicas, algo até agora inexistente. Surgem assim novos desafios para as redes do futuro, englobando soluções que sejam escaláveis, dinâmicas e eficientes. As redes do futuro terão que ser ainda mais eficientes do ponto de vista energético e heterogêneas, partilhando os seus recursos entre vários operadores. Os seus componentes serão ainda mais baseados em software, recorrendo à virtualização e à *cloud* por forma a utilizar recursos de forma elástica e flexível, o que permitirá minimizar custos e uma implantação e atualização mais rápidas das redes. Só assim será possível dar resposta a uma utilização que se prevê cada vez mais intensa e exigente.

Palavras-chave: redes; comunicações móveis sem fios; GSM; LTE; UMTS; 5G.

Abstract: The deployment of radio access networks that provide coverage to mobile phones has followed the progress of the available technologies, with the GSM, UMTS and LTE systems being available in combination, and 5G being in preparation. The exponential increase in traffic generated by mobile phone users requires dense deployments of high-cost radio stations. On the other hand, traffic suffers strong geographic and temporal variations, which require dynamic networks. New challenges arise for future networks, solutions that are scalable, dynamic and efficient. The networks of the future will be efficient and heterogeneous, sharing their resources among various operators. Its components will be software-based, using virtualization and the cloud paradigm to use resources in a flexible way. This will enable minimization of costs, and faster deployment and upgrade of networks. Only then will it be possible to respond to an increasingly intense and demanding use.

Keywords: networks; wireless and mobile communications; GSM; LTE; UMTS; 5G.

I. Introdução

Os telemóveis tornaram-se um bem essencial para muitas pessoas, a grande maioria das pessoas, que já considera o serviço de voz móvel uma necessidade básica, e os serviços móveis de dados e vídeos estão rapidamente a tornar-se parte integrante da vida dos consumidores e dos utilizadores empresariais. O número de assinantes móveis cresceu muito rapidamente e a procura por banda larga de dados e conteúdo de vídeo continua a aumentar. A capacidade e a eficiência das redes terão que aumentar para conseguir dar resposta às tendências de uso dos utilizadores.

Este artigo apresenta uma visão geral do ecossistema das redes de comunicação móveis e sem fios. É apresentada uma perspectiva evolutiva desde a sua génese até aos nossos dias. São identificados também os principais desafios que estes sistemas têm pela frente, sendo apresentadas várias soluções em desenvolvimento e aplicação.

Para satisfazer a conectividade e os requisitos de tráfego, as operadoras móveis têm vindo a enfrentar frequentemente grandes mudanças. O aumento de necessidades de capacidade devido ao aumento exponencial do tráfego requer implantações densas de estações rádio, com custos altos de aquisição e operacionais. A eficiência requerida a estes sistemas é cada vez maior, sobretudo em termos energéticos, mas também em termos de arquitetura, que deve ser de custo baixo. São assim necessários novos paradigmas que suportem estas evoluções, tanto em termos arquiteturais como operacionais, permitindo atingir capacidade elevada e eficiência energética alta com uma arquitetura de custo baixo [1].

Este artigo estrutura-se em cinco secções. Na Secção II é apresentada a evolução das comunicações móveis desde a sua criação até aos dias de hoje, sendo descrito o funcionamento das redes celulares, e os serviços e tráfego associado. Na Secção III

são apresentadas as tendências atuais destas redes. Na Secção IV são apresentadas conclusões.

II. As redes de comunicações móveis

A. Breve história da evolução até ao 5G

A implantação de redes de comunicações móveis que permitem o acesso via rádio (RANs) tem seguido o progresso das tecnologias disponíveis. Várias gerações de sistemas coabitam hoje nas redes dos operadores, que são suportadas pelos terminais móveis.

As primeiras redes de comunicações móveis surgiram nos finais dos anos setenta, que eram sistemas analógicos, permitindo apenas comunicações de voz. No início da década de noventa, estas redes foram substituídas por redes digitais de 2ª geração (2G), das quais o GSM é o grande representante; este sistema foi desenvolvido por um consórcio europeu, garantindo serviços de voz compatíveis em muitos países através de uma grande variedade de terminais. Para além do serviço de voz, integrou quase desde o início um serviço de mensagens curtas (SMS) que ganhou muita adesão, sendo ainda hoje mais utilizado do que todos os outros sistemas de mensagens existentes juntos (Messenger, Skype, WhatsApp, etc.). Este sistema global mudou a forma como as pessoas comunicam entre si e trabalham.

Com o aparecimento da Internet, nos anos noventa, tornou-se então cada vez mais espetável que estes sistemas de comunicações móveis fizessem a ponte para este novo meio de comunicação global. É nesse sentido que é desenvolvido o UMTS, a 3ª geração (3G) destes sistemas, que começou a ser implantado em 2002, especificamente desenhado para a transmissão de dados. Com este sistema foi possível começar a utilizar eficientemente serviços tais como *web browsing*, *streaming*

de vídeo e áudio, *email*, e transferência de ficheiros.

Nesta última década, a Internet tem sido dominada por tráfego de vídeo assim como de serviços de elevado débito, sendo desejável que seja suportado adequadamente pelos sistemas de comunicações móveis. Como resposta, a 4ª geração (4G), o LTE, foi desenvolvida e disponibilizada desde 2010, com uma arquitetura de rede mais simples e permitindo a transmissão de dados a velocidades mais elevadas, tendo sido desenhada para comunicações multimédia.

A conceção de uma 5ª geração (5G) ainda está em estudo, não existindo ainda nenhuma norma. No entanto, vários operadores em todo o mundo estão a avaliar as tecnologias candidatas, prevendo-se a sua comercialização para 2020. O 5G tenta responder a vários requisitos técnicos, entre os quais suportar débitos ainda maiores, latências reduzidas, maior eficiência e menor consumo de bateria. Isto para melhor integração da chamada Internet das coisas, para permitir a comunicação entre veículos, assim como aplicações para cidades inteligentes e automação industrial. Algumas das inovações que o 5G integrará são apresentadas na Secção **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**

B. As redes celulares

Os sistemas de comunicações móveis recorrem a Estações rádio Base (EB), equipadas com antenas de transmissão e receção, para comunicar com os terminais que se encontrem em seu redor. Utilizam a transmissão de sinais rádio em bandas específicas e dedicadas a cada operador móvel. A área coberta por uma EB é chamada de célula. O terminal comunica com a EB mais próxima, sendo a comunicação encaminhada para o destino pretendido, tal como representado na Figura 1.

Figura 1. Rede celular, onde as estações base dão conectividade aos terminais móveis.

Quando se pretende dar cobertura a uma determinada área geográfica, esta é dividida em células. A zona de cobertura será sempre influenciada pelo meio envolvente, onde obstáculos poderão afetar de modo significativo as condições de propagação do sinal rádio. O tamanho das células é planeado para que seja possível dar serviço aos utilizadores que se estima que venham a estar ativos simultaneamente, com determinado tipo de serviços. Assim, em zonas rurais onde há poucos utilizadores, as células poderão ser de várias dezenas de quilómetros de raio, enquanto que no centro de uma cidade, onde existem muitos utilizadores, terão algumas centenas de metros.

Cada operador tem disponível um conjunto de frequências, para cada sistema que opera. Se se fizer um planeamento da distribuição das frequências adequado, só reutilizando em células distantes a mesma frequência, consegue-se garantir que não haja interferência de EBs vizinhas, fator essencial para que as comunicações tenham boa qualidade. Para um mesmo operador, os diferentes sistemas que este opera (GSM, UMTS e LTE) terão diferentes bandas de frequência atribuídas, por forma a funcionar simultaneamente sem interferências. Atualmente a cobertura nacional das redes celulares GSM e UMTS aproxima-se dos 100%, enquanto que a do LTE em zonas urbanas e nos eixos rodoviários está também próxima dos 100% [2].

Estes sistemas são especificados por normas que permitem a diferentes fabricantes produzir equipamentos e redes compatíveis entre si, sendo possível utilizar um equipamento em muitos países do mundo.

Os terminais móveis são capazes de utilizar vários sistemas (GSM, UMTS e LTE), dependendo a escolha da disponibilidade e da especificidade do serviço usado.

C. Serviços e tráfego

O motor da evolução dos sistemas de comunicações móveis são as características dos serviços usados e a sua intensidade de utilização. Existem terminais móveis cada vez mais potentes, desde os clássicos telemóveis aos *smartphones*, *tablets* e computadores portáteis. Os débitos cada vez maiores dos serviços que estes suportam assim como outros requisitos específicos incentivam a conceção de novas gerações de sistemas. De seguida são descritos alguns serviços e suas exigências de desempenho.

O GSM, que foi desenhado para voz e SMS, usa para a primeira a transmissão de 12.000 bits por segundo (12 kbps), enquanto que o segundo, com um máximo de 160 caracteres, é normalmente transmitidas rapidamente (60 milissegundos).

Com o aparecimento da Internet, tornou-se espectável que os telemóveis fossem capazes de aceder a *websites*. Quando abrimos um endereço de uma página de um portal na Internet, é necessário descarregar do servidor um ficheiro que pode ter uma dimensão até cerca de milhão de *bytes* (1 MB) antes de se poder visualizar a página. Se usássemos o GSM na sua versão original, com uma velocidade de transmissão de dados máxima de 9,6 kbps, a abertura da página demoraria quase 14 minutos! Recorrendo à versão melhorada do GSM (EDGE), que oferece 80 kbps, demoraria pouco mais de 1 minuto e meio, o que ainda não é aceitável para um utilizador hoje em dia. Se utilizarmos o UMTS, que suportava um máximo de 384 kbps na sua versão inicial, decorrerão 20 segundos, o que já começa a ser utilizável; mas o UMTS na sua versão melhorada (HSPA+) possibilita até 42 Mbps, permitindo descarregar a página em menos de 1 segundo, o que já é excelente para o utilizador mais exigente. Conclui-se

que o UMTS oferece uma boa qualidade de experiência na visualização de páginas na Internet.

Nos anos recentes, a Internet tem sido dominada por tráfego de vídeo, sendo desejável que seja suportado pelos sistemas de comunicações móveis. A visualização de um vídeo no Youtube requer um serviço de *streaming*, em que à medida que os pacotes de vídeo vão sendo recebidos o vídeo é exibido (por oposição a descarregar um vídeo e vê-lo mais tarde). O LTE surge como uma resposta a este tipo de requisitos, permitindo débitos até 300 Mbps. Um vídeo em alta definição com resolução de 1080p (1920×1080) é enviado pelo Youtube a 2,6 Mbps, o que é suportado facilmente pelo LTE.

Quando mais recente é o sistema (por ordem: GSM, UMTS, LTE, 5G), maior é a velocidade de transmissão, e um terminal recente é capaz de utilizar qualquer destes sistemas (com exceção do 5G, que está ainda em desenvolvimento). Quando um terminal tem boa cobertura tanto de GSM e UMTS como de LTE, para visualizar um vídeo utilizará naturalmente o LTE, mas para fazer uma chamada de voz deverá ser usado o GSM, ou seja, as redes de comunicações móveis gerem os recursos da forma mais eficiente possível.

III. Tendências atuais

A. Crescimento explosivo do tráfego móvel

O tráfego móvel tem crescido a um ritmo muitíssimo elevado: aumentou 18 vezes nos últimos 5 anos [3]. Espera-se que entre 2016 e 2021 o tráfego cresça 7 vezes, tal com representado na Figura 2, e que existirão em 2021 em média 1,5 terminais móveis por pessoa, num total de 11,6 biliões de terminais móveis.

Figura 2. Crescimento global do tráfego de redes móveis por serviço (extraído de [3]).

O LTE representa, em 2016, 2/3 do tráfego móvel de dados, correspondendo a 26% das ligações (comparativamente com 2G e 3G), enquanto que o 3G representa 24% do tráfego e 33% das ligações. Os *smartphones* representam 45% dos terminais existentes, mas são responsáveis por 81% do tráfego; o tráfego de vídeo representa 60% do tráfego móvel.

Na Figura 3 apresenta-se a evolução dos débitos médios por terminal por sistema, evidenciando-se que várias inovações tecnológicas a introduzir nos próximos anos permitirão fazer crescer estes débitos. A velocidade média de ligações descendentes (“download”, das EBs para os terminais móveis) situa-se atualmente em 7 Mbps, enquanto em 2015 era de apenas 2 Mbps. Em 2021, as velocidades de transmissão crescerão 3 vezes chegando a uma média de 20 Mbps, sendo que terminais LTE conseguirão atingir 38 Mbps. Três quartos dos terminais serão *smart* e igual percentagem de tráfego será vídeo. Um dos elementos chave para escoar todo este tráfego é a largura do espectro rádio disponível para cada um destes sistemas: quanto maior for a largura de banda disponível, maior será a capacidade e o débito, e o LTE em particular permite agregar várias bandas de frequência disponíveis, possibilitando a evolução para os aclamados débitos.

Figura 3. Evolução do débito médio por terminal por tecnologia: 2G, 3G e 4G (extraído de [3]).

Por outro lado, as limitações de velocidade de processamento e memória dos terminais estão a ser ultrapassadas com aplicações e serviços *cloud*, que permitem tornar estes terminais como simples consumidores de media. O tráfego *cloud* crescerá 11 vezes, estando associado a *streaming* áudio, vídeo, jogos online, redes sociais, navegação na web e armazenamento online.

B. Variações de tráfego oferecido

Como discutido anteriormente, o tráfego gerado pelos utilizadores está em crescimento exponencial, e é crucial que a capacidade destes sistemas acompanhe esta tendência. No entanto, previsões referem que nos próximos 5 anos o tráfego móvel crescerá 26 vezes enquanto a capacidade da rede móvel o fará apenas 10 vezes [3], o que requer, para além de maior capacidade, uma maior eficiência na utilização de recursos.

Uma das questões fundamentais é que o tráfego oferecido varia geograficamente e temporalmente. Por exemplo, zonas residenciais e empresariais têm diferentes horas para os picos de tráfego, e a intensidade de utilização é diferente, tal como ilustrado na Figura 4.

Figura 4. Variação do tráfego ao longo do dia numa zona residencial e numa empresarial (extraído de [4]).

Isto resulta numa utilização de recursos de forma diferente ao longo do dia: das EBs de um operador, 20% transportam 50% do tráfego da rede, enquanto que 50% das EBs gera apenas 10% [5]. Apesar de a taxa média de utilização das EBs ser baixa, os recursos não podem ser compartilhados com outras EBs. Estes são dimensionados para cargas máximas de tráfego, independentemente do tráfego médio ou variações, o que resulta em desperdício de recursos de processamento e de energia nos períodos “mortos”. De facto, cenários com baixa carga são os principais desafios para a melhoria da eficiência energética.

C. Densificação das redes móveis e aumento de custos associados

Quando o tráfego era dominado por serviços de voz a rentabilidade das redes era elevada. No entanto, os lucros médios por utilizador não acompanharam o crescimento explosivo de tráfego de dados móveis gerado por *smartphones*, afetando fortemente a rentabilidade dos operadores móveis. Os operadores são assim cada vez mais cautelosos com o custo total de propriedade (TCO) da rede, para se manterem rentáveis e competitivos.

O aumento explosivo de necessidades de capacidade requer uma densificação de EBs. Como resposta a uma necessidade de maior capacidade, há uma densificação das redes celulares, como se ilustra na Figura 5. Se considerarmos que cada célula tem uma capacidade idêntica, cobrir uma mesma área com células mais pequenas permite suportar mais tráfego. Por outro lado, o LTE suporta maior tráfego por célula que UMTS, o mesmo para o UMTS e GSM, o que se deve a maiores larguras de banda disponíveis e a modos de transmissão mais eficientes que permitem enviar mais bits por unidade de frequência.

Figura 5. Densificação das redes celulares.

Esta densificação tem elevadas despesas de aquisição e operacionais (CAPEX e OPEX, respetivamente). Destes custos, até 80% do CAPEX e 60% do OPEX são gastos na RAN [4], relacionado com a aquisição da EB, de equipamento suplementar (gerador, ar condicionado, etc.) e despesas de construção (aquisição do local, planeamento da rede, trabalhos de construção civil). Das despesas CAPEX, 65% não estão relacionadas com funcionalidades rádio (aluguer do local, aquisição da EB e planeamento da rede). As despesas OPEX incluem aluguer do site e da rede de transmissão, operação e manutenção e despesas de energia.

Para reduzir o TCO, é necessário reduzir o número de EBs, baixando o OPEX e CAPEX. No entanto, resulta numa pior cobertura da rede e pior qualidade de serviço. Assim, a forma mais eficiente de reduzir custos corresponde a minimizar as funcionalidades que não são de rádio, mantendo uma boa cobertura. Em particular, o consumo de energia, que cresce com o número de sites, deve ser reduzido [6]. Para reduzir o CAPEX deve-se reduzir os custos dos equipamentos suplementares e da instalação (em particular o ar condicionado que consome muita energia).

Esta densificação das redes resultou, em termos de infraestrutura, numa rede de fibra muito vasta que interliga as EBs. Em muitas áreas urbanas, 90% das EBs estão conectadas via fibra para centros de dados, de entre as quais 96% estão a uma distância inferior a 10 km [7], que congregam hoje em dia até 28 EBs. Isto representa um grande potencial para implementação de novos paradigmas baseados na virtualização de recursos e na cloud [8, 9, 10].

IV. Conclusão

A vulgarização e intensificação da utilização de serviços de comunicações móveis, desde a voz e SMS, até ao acesso à web e visualização de vídeos online tem crescido de forma muito rápida. Os sistemas de comunicações móveis têm evoluído, em gerações sucessivas, para dar resposta a estes requisitos. As tendências atuais de crescimento explosivo de tráfego móvel, associado a grandes variações temporais e espaciais tem resultado numa densificação das redes móveis e no subsequente aumento de custos.

Isto resulta em novos desafios de gestão e planeamento. A eficiência energética é uma exigência chave para as redes móveis, onde o consumo da RAN representa 50% do consumo total das redes de telecomunicações. A grande heterogeneidade de utilização no espaço e no tempo requer que as redes sejam também heterogêneas, integrando vários tipos de soluções. Em especial, as redes Wi-Fi têm sido aliadas aos sistemas celulares, permitindo que quando estão disponíveis grande parte do tráfego seja enviado através delas, libertando capacidade nas RANs. Por outro lado, em zonas de menor utilização, a partilha de recursos tem sido adotada sob várias formas, desde a partilha do site, à partilha de antenas e espectro. Por forma a permitir maior dinâmica na alocação de recursos, a virtualização é um paradigma que está a ser introduzido.

Referências

- [1] Ferreira, L.S. e Correia, L.M. *Charting the Path to C-RAN: Introduction and challenges of today's RAN, From Hetnets To Cloud Radio Access Networks*, 8th IC1004 Training School, Universidade do Luxemburgo, Luxembourg, Abr. 2015.
- [2] ANACOM, *Sistemas de Comunicações Móveis GSM/UMTS/LTE: Aferição da qualidade de serviço*, ANACOM, 2014.
- [3] CISCO, *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast, 2016–2021*. White Paper, 2017
- [4] China Mobile Research Institute, *C-RAN The Road Towards Green RAN*. White Paper, Version 2.5, 2011.
- [5] Guan, H, Kolding, T. e Merz, P., “Discovery of Cloud-RAN”, em *Proc. of NSN Cloud-RAN Workshop*, Beijing, China, 2010.
- [6] Godor, I., *Final Report on Green Network Technologies*, Deliverable C3.3, Projeto INFSO-ICT-247733 EARTH, Bruxelas, Bélgica, 2012.
- [7] Pizzinat A. e Chanclou, P., “C-RAN architecture and fronthaul challenges”, em *Proc. of LTE World Summit*, Amsterdão, Holanda, Abr. 2013.
- [8] Buyya, R., Broberg, J. e Goscinski, A., *Cloud Computing: Principles and Paradigms*, John Wiley & Sons, Inc., Nova Iorque, NY, USA, 2011.
- [9] Ferreira, L.S., Pichon D., Hatefi, A., Gomes, A., Dimitrova, D., Braun, T., Karagiannis, G., Karimzadeh, M., Branco, M., Correia, L.M., “An Architecture to offer Cloud-Based Radio Access Network as a Service”, em *Proc. EuCNC: 2014 European Conference on Networks and Communications*, Junho 2014.
- [10] Khatibi, S., Caeiro, L., Ferreira, L.S., Correia, L.M. e Nikaein, N., “Modelling and implementation of virtual radio resources management for 5G Cloud RAN”, *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Dez. 2017 (1), 128.