

LTE – LONG TERM EVOLUTION

Uma breve visão da 4ª geração de telefonia móvel

**Arisson J. M. de Castro, Fabrício de C. Panhussatt,
Pedro H. S. Dias, Josiane C. Rodrigues,**

IESAM – Instituto de Estudos Superiores da Amazônia.

Av. Governador José Malcher, 1148-Nazaré Cep: 66055-260 - Belém - Pará

Fone (91) 4005-5400 / Fax (91) 4005-5407 / www.iesam-pa.edu.br

Resumo: O artigo apresenta um estudo de uma das tecnologias da próxima geração das redes celulares, conhecida como LTE (*Long Term Evolution*). Serão apresentadas as principais características dessa tecnologia, sua arquitetura, evolução ao longo do tempo da rede de telefonia móvel, técnica de multiplexação, flexibilidade espectral, duplexação, modulação, MIMO e latência.

Palavra chave: LTE, 4G, Sistema Celular.

Abstract ¾ The article presents a study of the technologies of the next generation cellular networks, known as LTE (*Long Term Evolution*). We will present the main features of this technology, its architecture, evolution over time of the mobile phone network, multiplexing technique, spectral flexibility, duplexing, modulation, MIMO and latency.

Keyword: LTE, 4G, Cellular System.

I. Introdução

É impensável viver nos dias de hoje, na maioria dos países, sem a existência da telefonia móvel, PDAs (*Personal digital assistant*), *Tablets* ou computadores portáteis com acesso a redes sem fios. A oferta de serviços baseados nessas comunicações é crescente e exponencialmente expressiva nas últimas décadas, principalmente na atualidade tecnologicamente globalizada, onde a comunicação flui de ponta a ponta nos mais variados âmbitos da sociedade como: economia, lazer, negócios, etc; onde se fala de velocidade e altas capacidades de dados, tendo como marco atual o advento da Copa de 2014 no Brasil. *Long Term Evolution* ou LTE é mais uma das evoluções da rede GSM e da terceira geração para esses tempos. Tem como um dos objetivos principais, desenvolver uma arquitetura

simplificada e evoluída chamada de EPC (*Evolved Packet Core*). O LTE busca a integração de vários serviços como voz, dados e multimídia de forma digital em um só canal.

Cada vez mais são exigidas maiores taxas de transmissão assim como uma melhor QoS (*Quality of Service*), sem comprometer a potência de transmissão ou largura de banda disponível. O 3GPP é o projeto de parceria da terceira geração, órgão responsável pela especificação do 3G e LTE, o qual traz otimizações que possibilitam maior qualidade e taxas de *Up/ Down link* diferenciais [1].

Serão abordados, de forma coletiva, parâmetros e características para possibilitar uma visão macro e completa de como essa tecnologia se faz presente no desenvolvimento e evolução das redes 3G.

1. *Redes móveis 4G (quarta geração)*

É baseada totalmente em IP (*Internet Protocol*), alcançando convergência entre redes a cabo e sem fio com velocidades muito elevadas (interoperabilidade), mantendo assim o QoS ponto a ponto. Dispõe de alta segurança para permitir que forneça serviços de diversos tipos, tais como: vídeo *chat*, *mobile TV*, Vídeo Digital *Broadcasting* em qualquer momento e em qualquer lugar. Essas redes suportam também IPv6.

III. *QoS (Quality of Service)*

Esta visão da QoS nasce já com o GPRS, em que surge a necessidade de garantir que os pacotes transmitidos cheguem ao seu destino final. Recentemente, surgiram já questões (cada vez com maior importância) como o controle do congestionamento da rede e a diferenciação de serviços utilizados na rede [2]. Os requisitos de Qualidade de Serviço (QoS) para aplicações de dados em redes móveis são muito diversos (multimídia em tempo real, acesso à Internet, e-mail, etc.). Desta forma, é importante suportar diversas classes de serviços, específicas para cada sessão individual. O GPRS permite definir diferentes perfis de QoS, usando como parâmetros: prioridade, confiabilidade, atraso e eficiência. Abaixo se apresenta algumas premissas dessa nova tecnologia:

- Existem três níveis de prioridade de um serviço em relação a outro: alta, normal e baixa;
- O parâmetro atraso define o valor máximo para o atraso médio e o atraso a 95% (atraso máximo garantido em 95 % das transferências);
- A eficiência está relacionada com questões, como por exemplo, a quantidade de pacotes que chegam ao destino e a velocidade de transmissão que é possível atingir.

1. *Arquitetura (comparativa)*

A rede utilizada no LTE é considerada mais simples do que as utilizadas em redes anteriores, uma vez que os pacotes são processados e geridos no núcleo EPC (*Evolved Packet Core*). Esse processo produz respostas mais rápidas, melhorando a taxa de transmissão e diminuindo o tempo de latência. Uma característica comum numa rede sem fio é a rápida variação na taxa de transmissão de dados. A fim de contornar esse obstáculo, a arquitetura LTE faz uso de retransmissão no “*eNodeB*” (*estação radio-base LTE*) para

gerir tal variação, conforme ilustra a Fig. 1. A adoção de mecanismos de controle de fluxo no núcleo principal da arquitetura EPC permite evitar perda de dados ou *overflow*. Na Fig. 1 está representado o esquema da arquitetura LTE e a arquitetura UMTS (WCDMA) [3].

Fig. 1 – Topologia LTE. Fonte: Iterc wordpress, 2012

As maiores diferenças do LTE, face aos sistemas atuais como o 3G, são o fornecimento de taxas mais elevadas e uma maior eficiência espectral. O LTE será a tecnologia do futuro próximo para as redes móveis. Uma maior velocidade, rapidez e eficiência espectral vão permitir responder ao crescimento de tráfego de dados previsto. O fato de suportar diversas larguras de banda tem especial importância numa altura em que a banda larga móvel tem tido um crescimento exponencial.

1. 3G

A tecnologia 3G já oferece excelente largura de banda móvel através do HSPA (*High Speed Packet Access*). A sua baixa latência e as características eficientes do seu QoS permitem prover toda a gama de serviços baseados em IP como VoIP, jogos interativos com baixa latência, dentre outros [2].

1. LTE caminhos paralelos de evolução

Na busca por novos níveis de experiência para o usuário, ambos LTE e 3G estão evoluindo paralelamente, como ilustrado na Fig. 2. O HSPA+ Rel.7, que já é comercial, dobra as taxas de pico e a capacidade de dados em comparação com o HSPA, e mais que duplica a capacidade de voz em comparação com o WCDMA. O HSPA+ Rel.8 expande o HSPA+ para 10 MHz de espectro através de multiportadoras, aprimorando a experiência de banda larga. Multiportadoras dobram a taxa de dados para todos os usuários na célula [2], [11]. A comercialização e a adoção maciça do Rel.8 aconteceram em 2010. A padronização do Rel.9 está quase concluída no 3GPP. Além disso, o processo de padronização do Rel.10 já foi iniciado [4].

O LTE, por outro lado, será primariamente impulsionado pela disponibilidade de um novo espectro e mais largo ou um espectro TDD. Ele será implantado como uma sobreposição para aumentar a capacidade de dados das redes 3G e suas evoluções.

Fig. 2 – O caminho evolutivo das redes móveis. Fonte: Teleco, 2012

1. Desempenho

A Fig. 3 mostra um exemplo de uma parte da arquitetura da rede LTE, na qual o *eNodeB* recebe uma solicitação de informação (*Uplink*) requerida pelo móvel, e repassa para ser processada no EPC (*Evolved Packet Core*), que retorna para a *eNodeB*, o qual repassa novamente ao usuário (*Downlink*) a informação solicitada.

Fig. 3 – Exemplo de arquitetura de rede LTE. Fonte: Ericsson 2012

O LTE oferece vários benefícios para os consumidores e operadoras. Um dos requisitos do LTE é fornecer taxas de pico *Down link* de pelo menos 100Mbit/s e *Up link* 50Mbit/s [5],[6]. A tecnologia permite velocidades acima de 200Mbit/s e a Ericsson já demonstrou taxas acima de 150Mbit/s. Além disso, a latência deverá ser inferior a 10ms. Efetivamente, isso significa que o LTE – mais do que qualquer outra tecnologia – já atende aos principais requisitos de 4G.

1. *Técnica de Multiplexação OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)*

A tecnologia OFDM teve seu princípio na década de 60, na qual a ideia era transmitir várias frequências multiplexadas com certa sobreposição de canais, de forma que cada canal seja ortogonal aos outros, porém sua utilização só passou a ser viável no final dos anos 90, após diversos avanços nos campos de microprocessadores e processamento de sinais. Sua implementação se tornou viável devido à evolução do processamento digital de sinais e ao fato dos canais de radio móvel serem caracterizados pela recepção de sinais por multipercursos [7],[8].

Esta tecnologia é tida como base para as comunicações móveis vindouras, pois, é uma técnica de transmissão digital baseada no conceito de modulação com múltiplas portadoras e que permite alcançar altas taxas de transmissão. No OFDM são utilizadas várias subportadoras espaçadas de $1/T$ em que T é o período do símbolo OFDM. OFDM mostra ser uma solução bastante efetiva no combate aos efeitos negativos causados pelo desvanecimento de multipercursos, que é uma característica dos canais de comunicações móveis. Por outro lado, os sistemas OFDM são sensíveis a problemas de sincronização na frequência da portadora em relação aos sistemas com portadora única [8]. OFDM é um caso especial de transmissão de múltiplas portadoras. Para esse caso uma única sequência de dados é transmitida a uma taxa menor em várias subportadoras. Uma das principais razões do OFDM ser utilizado é aumentar a robustez contra a seletividade em frequência. Significa que, enquanto um canal tiver sua componente máxima no domínio da frequência, todas as componentes de frequência das outras portadoras serão zero. Com o uso desta técnica é possível obter uma economia de banda, como é visto na Fig. 5.

Fig. 4 – Técnica de Multiplexação OFDM. [8]

É perceptível na Fig. 4 que as tecnologias que utilizam uma única portadora apresentam uma perda de banda devido a real necessidade de ter banda de guarda para que não aja interferência cocanal. Enquanto que as tecnologias que utilizam o OFDM em suas transmissões, têm uma inserção de intervalo de guarda 20khz, usado para combater os atrasos causados pelo canal, mas mesmo com esse intervalo de guarda o OFDM adquire uma economia de banda, alta taxa de transmissão e um canal mais robusto contra interferência e ISI (Interferência intersimbólica). Pois, no mundo “virtual” (tecnológico) de hoje sente-se a real necessidade de se conseguir uma eficiência espectral porque várias frequências da rede estão sobrecarregadas.

1. *Interferência Intersimbólica com e sem intervalo de Guarda*

A Fig. 5 ilustra a transmissão de uma sequência de símbolos OFDM, um atrás do outro, sem banda de guarda.

Fig. 5 – Símbolos transmitidos sem banda de guarda. [8]

A Fig. 6 ilustra um canal não ideal, quando se tem vários sinais chegando aos receptores defasados e atrasados devido aos multipercursos, estes símbolos começam a interferir um no outro consequentemente, a recepção se torna prejudicada com o aparecimento de interferência intersimbólica (ISI).

Fig. 6 – Símbolos com interferência intersimbólica ISI. [8]

A Fig. 7 ilustra uma solução para o problema apresentado, na qual se faz necessária a colocação de intervalo de guarda entre as transmissões dos símbolos, onde estes intervalos de guarda tenham tamanho de pelo menos o maior atraso encontrado no canal.

Fig. 7 – Símbolos com colocação do período de guarda. [8]

Entende-se que, caso o tempo de retardos seja maior do que o período de guarda ocorrerá interferência intersimbólica, porém, se for inserido um período de guarda grande, maior que o espalhamento dos retardos, consequentemente não haverá interferência intersimbólica (ISI). A Fig. 8 ilustra bem esse processo.

Fig. 8 – Símbolos livres de interferência intersimbólica ISI. [8]

1. *Largura de Banda no Domínio da Frequência*

Hoje, na evolução da telefonia móvel, encontram-se algumas tecnologias que antecederam o LTE, na qual essas tecnologias utilizam em sua largura de banda uma portadora única, isto significa que todos os dados são transmitidos de uma só vez (juntos). Porém, caso esta portadora venha ter ruído no seu canal, os dados podem não ser enviados, ou transmitidos, pelo fato de que chegariam com baixo nível de sinal, podendo ser perdido ou decodificado de forma errada no demodulador do receptor.

Na tecnologia LTE a mesma largura de banda que foi utilizada pelas outras tecnologias com portadora única, a técnica OFDM, introduziu conceito de trabalhar com múltiplas portadoras ou subportadoras sincronizadas, na qual o diferencial é, se o canal possui ruído, não afetará a transmissão dos dados enviados, pois esta largura de banda trabalha com subportadoras, isto significa que o ruído estará encaixado em algumas subportadoras, na qual estas subportadoras serão perdidas, mas a informação transmitida chegará ao receptor, contudo, os dados que foram corrompidos nas subportadoras serão recuperados por meio da técnica de correção seletiva de erros.

A Fig. 9 ilustra a diferença entre as tecnologias com portadora única e portadora com subportadoras ou múltiplas portadoras.

Fig. 9 – Portadora Única - Subportadoras. [8]

1. *Flexibilidade Espectral*

Em uma rede carregada como a rede de telefonia móvel no Brasil o objetivo é conseguir uma alta eficiência espectral.

Uma das grandes vantagens do LTE é possibilitar a flexibilidade de alocação de espectro, pois as subportadoras podem operar com bandas em 1.4; 5; 10; 15 e 20MHz. Como ilustra a Fig.10 [8].

Fig. 10 – Flexibilidade Espectral das Subportadoras.

O LTE foi especificado para operar nos modos FDD (*Frequency Division Duplex*) e TDD (*Time Division Duplex*) podendo operar nas frequências 450 MHz a 2.6GHz.

Na técnica de duplexação FDD, usa-se uma frequência de transmissão (*Downlink*) entre estação base (eNodeB) para estação móvel, e outra frequência (*Uplink*) entre a estação móvel para estação base.

Um dispositivo denominado duplexador permite o uso de uma mesma antena para os módulos de recepção e transmissão da estação móvel.

A separação de frequência de transmissão e recepção geralmente é fixa em todo sistema. Sendo suficientemente alta para permitir pouco acoplamento entre os módulos receptores e transmissores de um terminal de assinante.

Entretanto na técnica de duplexação TDD, a transmissão de dados só ocorre em momentos permitidos e pré-determinados, através do *Time Slots*. Usa-se apenas uma frequência para comunicação entre a estação base (eNodeB) e a estação móvel, porém, com tempos diferentes para *Uplink* e *Downlink* da mesma frequência.

O TDD, ao permitir que transmissor e receptor ocupem a mesma frequência, não requer cuidados na separação de frequências. Sendo os equipamentos mais simples e baratos. No TDD existe um tempo de latência na comutação entre transmissão e recepção, pois a comunicação não é verdadeiramente *Full-Duplex*. Esta latência torna o sistema TDD sensível aos atrasos de propagação particulares de cada estação.

Devido ao rígido esquema de temporização necessário no TDD e a sensibilidade aos atrasos de propagação, o TDD é restrito a telefones sem fio e ou sistemas de pequeno alcance.

1. Sistema MIMO

Como consequência de todo este crescimento e mudanças, novas exigências são requeridas, tanto por parte dos usuários dos sistemas como pelos próprios serviços e aplicações, já vistos. Então, exigem-se taxas de transmissão cada vez mais elevadas juntamente com uma necessidade de uma melhoria na QoS do sistema. Contudo, aumentar as taxas de transmissão e melhorar a QoS constitui um enorme desafio.

A largura de banda tornou-se um recurso extremamente escasso e, por isso, caro. Recorrer ao aumento desta como solução não é praticável nem econômico. Conseguir superar tal desafio recorrendo a um aumento da largura de banda ou aumento da potência de transmissão do sistema não é, atualmente, uma solução viável, uma vez que existem regulamentações para a potência máxima que se pode irradiar, com o objetivo de não prejudicar a saúde humana, bem como o custo associado.

É necessário considerar os fatores inerentes ao ambiente de propagação, como o desvanecimento de multipercurso, atraso temporal e dispersão Doppler, de modo a conseguir contorná-los, de certa forma, ou reduzir ao máximo os seus efeitos. Por outro lado, o aumento da potência de transmissão poderá, potencialmente, provocar interferência em sistemas de comunicação vizinhos, reduzindo, desta forma, o potencial de reutilização de frequências.

Um caso particular dos sistemas de antenas inteligentes é a utilização de múltiplas antenas para transmissão e múltiplas antenas para recepção, designados sistemas MIMO (*Multiple-Input and Multiple-Output*). Nesse sistema é possível explorar totalmente o domínio espacial, introduzindo o conceito de Multiplexação Espacial. Através dessa consegue-se aumentar a capacidade de um sistema de comunicações, com a criação de vários canais de transmissão paralelos sob a mesma banda de transmissão. Deste modo, os sistemas MIMO conseguem combater os vários desafios inerentes a um ambiente de propagação hostil.

Na Fig. 11 são ilustradas as várias configurações de antenas possíveis em um sistema de comunicação sem fios: sistema SISO, sistema SIMO, sistema MISO e sistema MIMO [9],[10].

Fig. 11 – Configurações de antenas: SISO – uma antena transmissora e uma antena receptora; SIMO-uma antena transmissora e várias antenas receptoras; MISO – várias antenas transmissoras e uma receptora; MIMO-várias antenas transmissoras e receptoras.

Tipicamente, os esquemas de transmissão utilizados em sistemas MIMO podem ser divididos em duas categorias: esquemas de maximização da eficiência espectral e esquemas de maximização de diversidade. O primeiro tipo tem como objetivo maximizar a taxa de transmissão de dados conseguida em um dado sistema MIMO, resultando daí um aumento da capacidade, ou seja, tais esquemas permitem oferecer um ganho de capacidade ao sistema. O segundo tipo foca na proteção do sistema contra possíveis erros causados pelo fenómeno do desvanecimento associado ao canal rádio, ruído e interferência. Com isto consegue-se, como já referido anteriormente, um ganho de diversidade.

A tecnologia MIMO introduz diversos ganhos, ajudando na otimização do desempenho de um sistema de comunicação sem fio (ganho de formatação de feixe, ganho de agregado, ganho de diversidade espacial, ganho de multiplexação espacial e a redução de interferência).

- Ganho de Formatação de Feixe: consiste na formatação do diagrama de radiação das antenas, tal que privilegia alguns canais de propagação previamente selecionados.
- Ganho de Agregado: corresponde ao aumento médio na SNR no lado do receptor, que resulta da combinação coerente entre os sinais recebidos nas várias antenas.
- Ganho de Diversidade Espacial: reduz os efeitos do desvanecimento através do envio de múltiplas cópias do mesmo sinal no tempo, frequência ou espaço.
- Ganho de Multiplexação Espacial: resume-se em uma melhor eficiência espectral, ou seja, na elevação da capacidade do sistema, sem recorrer ao aumento da largura de banda ou potência transmitida.

Nos sistemas MIMO, compostos por várias antenas para transmissão e recepção, o número de percursos entre emissor e receptor é igual ao produto entre o número de antenas emissoras pelo número de antenas receptoras, tal como ilustrado na Fig. 12, mais uma vez, ignorando os efeitos causados pelo desvanecimento multipercurso.

Fig. 12 – Configuração Multipercurso MIMO

Segundo o teorema de Shannon [9], a maior limitação imposta pelo ruído em um canal de comunicações não é na qualidade da comunicação em si, mas sim na quantidade máxima de informação que pode ser transmitida com fiabilidade (capacidade de um canal em bps/Hz). A capacidade de um canal de comunicações é fortemente condicionada pelo ambiente de propagação ao qual o canal está associado, assim como também depende do sistema de emissão e do sistema de recepção. Nesse sentido, no caso de um sistema de comunicações sem fios a capacidade do canal dependerá do número de antenas utilizadas para emissão e do número de antenas utilizadas para recepção.

1. Modulação

A transmissão de sinais a grandes distâncias é fundamental nas telecomunicações. Radiodifusão, televisão, telefonia, comunicações por satélite e comunicações óticas são exemplos de soluções encontradas para difundir um sinal de informação. A modulação corresponde a um processo de conversão de sinais para fins de transmissão, sendo definido como um sistema que recebe duas entradas (informação e portadora) e fornece um sinal de saída que será utilizado no transporte da informação.

A tecnologia LTE utiliza várias técnicas de modulação, conforme ilustra a Fig. 13 e comentadas adiante.

Fig. 13 – Variações das técnicas de modulação com a distância.

Entre outros aspectos, a modulação tem como objetivo contribuir para uma melhor qualidade da comunicação através de:

- Deslocamento do espectro do sinal a transmitir para uma banda de frequências mais apropriada ou disponível;
- Produzir um sinal modulado com um espectro mais estreito (ou mais largo) que o sinal original (eficiência espectral);
- Tornar o sistema de transmissão mais robusto relativamente a algum tipo de ruído e/ou interferência; adaptar a sensibilidade do receptor às características do canal.

1. Modulação 64QAM

A modulação de amplitude em quadratura QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) é utilizada para sistemas que necessitam de alta taxa de transferência de informação, permitindo maior carga útil trafegada.

A QAM pode ser: 4QAM, 16QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM, 256QAM, 512QAM, 1024QAM, 2048QAM, 4096QAM ou mais densas. Todavia o artigo busca focar nas modulações utilizadas pela multiplexação OFDM e conseqüentemente relacionadas à tecnologia LTE.

Quando se fala de modulação na amplitude em quadratura, implicam em modificar, simultaneamente, duas características da onda da portadora: amplitude e fase, obtendo altas taxas de velocidade e dados. Nas modulações digitais, os bits do sinal de informação são codificados através de símbolos. O conjunto de símbolos gerado por uma modulação é chamado de constelação, sendo que cada tipo de modulação gera uma constelação de símbolos diferentes. A modulação é responsável por mapear cada possível sequência de bits de um comprimento preestabelecido em um símbolo determinado.

1. Modulação 16QAM

No caso da 16QAM, a modulação é similar à 64QAM, contudo a constelação apresenta 16 símbolos, sendo 4 em cada quadrante do diagrama, o que significa que cada símbolo representa 4 bits. Podendo notar que nesse modo tem-se uma taxa de transmissão menor do que no modo 64 QAM, uma vez que cada símbolo transporta um número menor de bits. No entanto, no modo 16 QAM, a distância métrica (distância euclidiana entre dois pontos) entre os símbolos é maior face ao modo 64QAM. Isto permite que o modo 16QAM disponha de uma melhor QoS, pois a maior distância entre os símbolos dificulta erros de interpretação no receptor quando este detecta um símbolo. Ressaltando que essa modulação é implementada em um segundo momento ou necessidade do sistema, levando em consideração os níveis de SNR (Relação Sinal Ruído) do canal.

1. Modulação QPSK

O PSK (*Phase Shift Keying*) é uma forma de modulação em que a informação do sinal digital é embutida nos parâmetros de fase da portadora [12].

A modulação QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) utiliza parâmetros de fase e quadratura da onda portadora para modular o sinal de informação. É uma técnica de modulação derivada do PSK.

A modulação PSK, por exemplo, utiliza 1 bit por símbolo. Na 64QAM tem-se 6 bits por símbolo. Isso implica que a modulação QPSK é uma técnica derivada do PSK, porém, nesse caso, são utilizados parâmetros de fase e quadratura da onda portadora, existindo mais tipos possíveis de símbolos na constelação, permitindo transmitir mais bits, face ao PSK. Relacionado aos 64 e 16QAM, possui, notoriamente, menos bits por símbolo, no entanto detém mais espaço entre os símbolos, possibilitando ser implementado em regiões do meio que agregam condições que reduzem, significativamente, a relação sinal ruído (SNR), garantido um nível satisfatório de QoS para o usuário.

O LTE emprega uma modulação adaptativa, ou seja, se o canal estiver com baixo ruído é utilizado o 64QAM nas portadoras. Se o canal começar a ficar ruidoso, pode ser escolhido outro tipo de constelação mais robusta (com menos pontos na constelação e, portanto, menos susceptível ao ruído) com uma pequena queda na qualidade do sinal (muitas vezes imperceptível), mas com garantia de recepção.

1. Latência

Período de espera ou demora em que se chegue a um resultado esperado. Resposta ao estímulo [13].

O indicador de latência nas redes de telecomunicações contabiliza o tempo gasto na transmissão dos pacotes IP, desde a origem até ao destino, ou seja, desde a unidade de medidas até ao servidor alvo, no teste e vice-versa. Por regra, teoricamente, quanto maior for o valor da latência, menor será a qualidade do serviço prestado [14].

No LTE foi especificada uma latência no Plano-C com um tempo de transmissão menor que 100ms de um estado acampado para um estado ativo. A Latência é ultra baixa, quando se tem um atraso menor que 10ms de conexão do EU (equipamento do usuário) para o servidor. Com a diminuição das camadas na arquitetura dessa nova tecnologia, é perceptível a redução no tempo de estabelecimento da chamada para valores entre 50 e 100ms.

VII. Conclusão

Os usuários de comunicações móveis estão se tornando cada vez mais exigentes, acelerando o desenvolvimento dos sistemas no sentido do fornecimento de novos serviços e de ritmos de transmissão cada vez mais elevados. De uma forma paralela, o interesse pelo protocolo IP também cresceu, levando à mutação da visão tradicional de redes móveis, e modificando a noção de qualidade de serviço que se associava a estas redes. No mundo da Internet, a QoS pode ser um mecanismo de competitividade, permitindo distinguir os serviços oferecidos por fornecedores diferentes. A QoS associada a redes de dados, é um ponto fundamental na atual migração de gerações de redes móveis. De fato, com a chegada dos sistemas de LTE, o interesse por novas aplicações (de dados), por novos serviços a disponibilizar nestas plataformas móveis, irá aumentar, pois a mudança para ambientes de transporte IP permite a criação de uma plataforma aberta, proporcionando flexibilidade e redução dos custos na criação de novos serviços e na evolução da rede.

REFERÊNCIAS

- [1] LTE/LTE-Advanced Cellular Communication Networks, Guest Editors: Cyril Leung, Raymond Kwan, Seppo Hamalainen, and Wenbo Wang, Julho 2012.
- [2] Jocksam G. Matos, Jonas P. M. Junior, José A. M. S. Junior e Ananias Neto “Avaliação da Qualidade de Vídeo e VoIP em Sistema LTE com diferentes Algoritmos de Escalonamento utilizando Métricas de QoS.”
- [3] *Qualidade de Serviço em redes móveis: presente e futuro*. Lina Maria Pestana Leão de Brito. Rui L. Aguiar. Universidade da Madeira, Julho 2012.
- [4] Marcia, M. Savoine. "Análise da Eficiência Espectral considerando a Duplexação e o perfil de tráfego para bandas licenciadas". Dissertação de Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicações.
- [5] www.ericsson.com.br , acesso em Julho 2012.
- [6] www.teleco.com.br, White Paper “Long Term Evolution (LTE): an introduction” elaborado pela Ericsson, acesso em Julho 2012.
- [7] *Televisão Digital: Marcelo Sampaio de Alencar - 1ª Edição, São Paulo – 2007, Editora Érica Ltda.*

- [8] Mendes, M. G. (2009). "Utilização da estimativa do canal (Sounding) na alocação de recursos de rádio no enlace reverso (Uplink) de redes Long Term Evolution – LTE". Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica
- [9] Jorge Tiago Pereira Mogas da Silva. "Receptor MIMO em FPGA baseado no esquema de Alamouti". Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Dissertação de Mestrado.
- [10] www.teleco.com.br, "Introdução ao LTE – Long Term Evolution"apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Telecomunicações da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.
- [11] 4G Mobile Broadband Evolution: Release 10, Release 11 and a Beyond HSPA+, SAE/LTE and a LTE-Advanced, October 2012.
- [12] http://www.gta.ufrj.br/grad/04_2/Modulacao/ , Modulação, acesso em Setembro 2012.
- [13] <http://www.dicionarioinformal.com.br/lat%C3%Aancia/> , Latência, acesso em Setembro 2012.
- [14] <http://wikicom.mc.gov.br/index.php/Lat%C3%Aancia> , Latência, acesso em Setembro 2012.

LTE – LONG TERM EVOLUTION

Uma breve visão da 4ª geração de telefonia móvel

**Arisson J. M. de Castro, Fabrício de C. Panhussatt,
Pedro H. S. Dias, Josiane C. Rodrigues,**

IESAM – Instituto de Estudos Superiores da Amazônia.

Av. Governador José Malcher, 1148-Nazaré Cep: 66055-260 - Belém - Pará

Fone (91) 4005-5400 / Fax (91) 4005-5407 / www.iesam-pa.edu.br

Resumo: O artigo apresenta um estudo de uma das tecnologias da próxima geração das redes celulares, conhecida como LTE (*Long Term Evolution*). Serão apresentadas as principais características dessa tecnologia, sua arquitetura, evolução ao longo do tempo da rede de telefonia móvel, técnica de multiplexação, flexibilidade espectral, duplexação, modulação, MIMO e latência.

Palavra chave: LTE, 4G, Sistema Celular.

Abstract ¾ The article presents a study of the technologies of the next generation cellular networks, known as LTE (*Long Term Evolution*). We will present the main features of this technology, its architecture, evolution over time of the mobile phone network, multiplexing technique, spectral flexibility, duplexing, modulation, MIMO and latency.

Keyword: LTE, 4G, Cellular System.

I. Introdução

É impensável viver nos dias de hoje, na maioria dos países, sem a existência da telefonia móvel, PDAs (*Personal digital assistant*), *Tablets* ou computadores portáteis com acesso a redes sem fios. A oferta de serviços baseados nessas comunicações é crescente e exponencialmente expressiva nas últimas décadas, principalmente na atualidade tecnologicamente globalizada, onde a comunicação flui de ponta a ponta nos mais variados âmbitos da sociedade como: economia, lazer, negócios, etc; onde se fala de velocidade e altas capacidades de dados, tendo como marco atual o advento da Copa de 2014 no Brasil. *Long Term Evolution* ou LTE é mais uma das evoluções da rede GSM e da terceira geração para esses tempos. Tem como um dos objetivos principais, desenvolver uma arquitetura simplificada e evoluída chamada de EPC (*Evolved Packet Core*). O LTE busca a integração de vários serviços como voz, dados e multimídia de forma digital em um só canal.

Cada vez mais são exigidas maiores taxas de transmissão assim como uma melhor QoS (*Quality of Service*), sem comprometer a potência de transmissão ou largura de banda disponível. O 3GPP é o projeto de parceria da terceira geração, órgão responsável pela especificação do 3G e LTE, o qual traz otimizações que possibilitam maior qualidade e taxas de *Up/ Down link* diferenciais [1].

Serão abordados, de forma coletiva, parâmetros e características para possibilitar uma visão macro e completa de como essa tecnologia se faz presente no desenvolvimento e evolução das redes 3G.

1. *Redes móveis 4G (quarta geração)*

É baseada totalmente em IP (*Internet Protocol*), alcançando convergência entre redes a cabo e sem fio com velocidades muito elevadas (interoperabilidade), mantendo assim o QoS ponto a ponto. Dispõe de alta segurança para permitir que forneça serviços de diversos tipos, tais como: vídeo *chat*, *mobile TV*, Vídeo Digital *Broadcasting* em qualquer momento e em qualquer lugar. Essas redes suportam também IPv6.

III. *QoS (Quality of Service)*

Esta visão da QoS nasce já com o GPRS, em que surge a necessidade de garantir que os pacotes transmitidos cheguem ao seu destino final. Recentemente, surgiram já questões (cada vez com maior importância) como o controle do congestionamento da rede e a diferenciação de serviços utilizados na rede [2]. Os requisitos de Qualidade de Serviço (QoS) para aplicações de dados em redes móveis são muito diversos (multimídia em tempo real, acesso à Internet, e-mail, etc.). Desta forma, é importante suportar diversas classes de serviços, específicas para cada sessão individual. O GPRS permite definir diferentes perfis de QoS, usando como parâmetros: prioridade, confiabilidade, atraso e eficiência. Abaixo se apresenta algumas premissas dessa nova tecnologia:

- Existem três níveis de prioridade de um serviço em relação a outro: alta, normal e baixa;
- O parâmetro atraso define o valor máximo para o atraso médio e o atraso a 95% (atraso máximo garantido em 95 % das transferências);
- A eficiência está relacionada com questões, como por exemplo, a quantidade de pacotes que chegam ao destino e a velocidade de transmissão que é possível atingir.

1. *Arquitetura (comparativa)*

A rede utilizada no LTE é considerada mais simples do que as utilizadas em redes anteriores, uma vez que os pacotes são processados e geridos no núcleo EPC (*Evolved Packet Core*). Esse processo produz respostas mais rápidas, melhorando a taxa de transmissão e diminuindo o tempo de latência. Uma característica comum numa rede sem fio é a rápida variação na taxa de transmissão de dados. A fim de contornar esse obstáculo, a arquitetura LTE faz uso de retransmissão no “*eNodeB*” (*estação rádio-base LTE*) para gerir tal variação, conforme ilustra a Fig. 1. A adoção de mecanismos de controle de fluxo no núcleo principal da arquitetura EPC permite evitar perda de dados ou *overflow*. Na Fig. 1 está representado o esquema da arquitetura LTE e a arquitetura UMTS (WCDMA) [3].

Fig. 1 – Topologia LTE. Fonte: Itecr wordpress, 2012

As maiores diferenças do LTE, face aos sistemas atuais como o 3G, são o fornecimento de taxas mais elevadas e uma maior eficiência espectral. O LTE será a tecnologia do futuro próximo para as redes móveis. Uma maior velocidade, rapidez e eficiência espectral vão permitir responder ao crescimento de tráfego de dados previsto. O fato de suportar diversas larguras de banda tem especial importância numa altura em que a banda larga móvel tem tido um crescimento exponencial.

1. 3G

A tecnologia 3G já oferece excelente largura de banda móvel através do HSPA (*High Speed Packet Access*). A sua baixa latência e as características eficientes do seu QoS permitem prover toda a gama de serviços baseados em IP como VoIP, jogos interativos com baixa latência, dentre outros [2].

1. *LTE caminhos paralelos de evolução*

Na busca por novos níveis de experiência para o usuário, ambos LTE e 3G estão evoluindo paralelamente, como ilustrado na Fig. 2. O HSPA+ Rel.7, que já é comercial, dobra as taxas de pico e a capacidade de dados em comparação com o HSPA, e mais que duplica a capacidade de voz em comparação com o WCDMA. O HSPA+ Rel.8 expande o HSPA+ para 10 MHz de espectro através de multiportadoras, aprimorando a experiência de banda larga. Multiportadoras dobram a taxa de dados para todos os usuários na célula [2], [11].

A comercialização e a adoção maciça do Rel.8 aconteceram em 2010. A padronização do Rel.9 está quase concluída no 3GPP. Além disso, o processo de padronização do Rel.10 já foi iniciado [4].

O LTE, por outro lado, será primariamente impulsionado pela disponibilidade de um novo espectro e mais largo ou um espectro TDD. Ele será implantado como uma sobreposição para aumentar a capacidade de dados das redes 3G e suas evoluções.

Fig. 2 – O caminho evolutivo das redes móveis. Fonte: Teleco, 2012

1. *Desempenho*

A Fig. 3 mostra um exemplo de uma parte da arquitetura da rede LTE, na qual o *eNodeB* recebe uma solicitação de informação (*Uplink*) requerida pelo móvel, e repassa para ser processada no EPC (*Evolved Packet Core*), que retorna para a *eNodeB*, o qual repassa novamente ao usuário (*Downlink*) a informação solicitada.

Fig. 3 – Exemplo de arquitetura de rede LTE. Fonte: Ericsson 2012

O LTE oferece vários benefícios para os consumidores e operadoras. Um dos requisitos do LTE é fornecer taxas de pico *Down link* de pelo menos 100Mbit/s e *Up link* 50Mbit/s [5],[6]. A tecnologia permite velocidades acima de 200Mbit/s e a Ericsson já demonstrou taxas acima de 150Mbit/s. Além disso, a latência deverá ser inferior a 10ms. Efetivamente, isso significa que o LTE – mais do que qualquer outra tecnologia – já atende aos principais requisitos de 4G.

1. *Técnica de Multiplexação OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)*

A tecnologia OFDM teve seu princípio na década de 60, na qual a ideia era transmitir várias frequências multiplexadas com certa sobreposição de canais, de forma que cada canal seja ortogonal aos outros, porém sua utilização só passou a ser viável no final dos anos 90, após diversos avanços nos campos de microprocessadores e processamento de sinais. Sua implementação se tornou viável devido à evolução do processamento digital de sinais e ao fato dos canais de radio móvel serem caracterizados pela recepção de sinais por multipercursos [7],[8].

Esta tecnologia é tida como base para as comunicações móveis vindouras, pois, é uma técnica de transmissão digital baseada no conceito de modulação com múltiplas portadoras e que permite alcançar altas taxas de transmissão. No OFDM são utilizadas várias subportadoras espaçadas de $1/T$ em que T é o período do símbolo OFDM. OFDM mostra ser uma solução bastante efetiva no combate aos efeitos negativos causados pelo desvanecimento de multipercurso, que é uma característica dos canais de comunicações móveis. Por outro lado, os sistemas OFDM são sensíveis a problemas de sincronização na frequência da portadora em relação aos sistemas com portadora única [8]. OFDM é um caso especial de transmissão de múltiplas portadoras. Para esse caso uma única sequência de dados é transmitida a uma taxa menor em várias subportadoras. Uma das principais razões do OFDM ser utilizado é aumentar a robustez contra a seletividade em frequência. Significa que, enquanto um canal tiver sua componente máxima no domínio da

frequência, todas as componentes de frequência das outras portadoras serão zero. Com o uso desta técnica é possível obter uma economia de banda, como é visto na Fig. 5.

Fig. 4 – Técnica de Multiplexação OFDM. [8]

É perceptível na Fig. 4 que as tecnologias que utilizam uma única portadora apresentam uma perda de banda devido a real necessidade de ter banda de guarda para que não aja interferência cocanal. Enquanto que as tecnologias que utilizam o OFDM em suas transmissões, têm uma inserção de intervalo de guarda 20khz, usado para combater os atrasos causados pelo canal, mas mesmo com esse intervalo de guarda o OFDM adquire uma economia de banda, alta taxa de transmissão e um canal mais robusto contra interferência e ISI (Interferência intersimbólica). Pois, no mundo “virtual” (tecnológico) de hoje sente-se a real necessidade de se conseguir uma eficiência espectral porque várias frequências da rede estão sobrecarregadas.

1. *Interferência Intersimbólica com e sem intervalo de Guarda*

A Fig. 5 ilustra a transmissão de uma sequência de símbolos OFDM, um atrás do outro, sem banda de guarda.

Fig. 5 – Símbolos transmitidos sem banda de guarda. [8]

A Fig. 6 ilustra um canal não ideal, quando se tem vários sinais chegando aos receptores defasados e atrasados devido aos multipercursos, estes símbolos começam a interferir um no outro consequentemente, a recepção se torna prejudicada com o aparecimento de interferência intersimbólica (ISI).

Fig. 6 – Símbolos com interferência intersimbólica ISI. [8]

A Fig. 7 ilustra uma solução para o problema apresentado, na qual se faz necessária a colocação de intervalo de guarda entre as transmissões dos símbolos, onde estes intervalos de guarda tenham tamanho de pelo menos o maior atraso encontrado no canal.

Fig. 7 – Símbolos com colocação do período de guarda. [8]

Entende-se que, caso o tempo de retardos seja maior do que o período de guarda ocorrerá interferência intersimbólica, porém, se for inserido um período de guarda grande, maior que o espalhamento dos retardos, consequentemente não haverá interferência intersimbólica (ISI). A Fig. 8 ilustra bem esse processo.

Fig. 8 – Símbolos livres de interferência intersimbólica ISI. [8]

1. *Largura de Banda no Domínio da Frequência*

Hoje, na evolução da telefonia móvel, encontram-se algumas tecnologias que antecederam o LTE, na qual essas tecnologias utilizam em sua largura de banda uma portadora única, isto significa que todos os dados são transmitidos de uma só vez (juntos). Porém, caso esta

portadora venha ter ruído no seu canal, os dados podem não ser enviados, ou transmitidos, pelo fato de que chegariam com baixo nível de sinal, podendo ser perdido ou decodificado de forma errada no demodulador do receptor.

Na tecnologia LTE a mesma largura de banda que foi utilizada pelas outras tecnologias com portadora única, a técnica OFDM, introduziu conceito de trabalhar com múltiplas portadoras ou subportadoras sincronizadas, na qual o diferencial é, se o canal possui ruído, não afetará a transmissão dos dados enviados, pois esta largura de banda trabalha com subportadoras, isto significa que o ruído estará encaixado em algumas subportadoras, na qual estas subportadoras serão perdidas, mas a informação transmitida chegará ao receptor, contudo, os dados que foram corrompidos nas subportadoras serão recuperados por meio da técnica de correção seletiva de erros.

A Fig. 9 ilustra a diferença entre as tecnologias com portadora única e portadora com subportadoras ou múltiplas portadoras.

Fig. 9 – Portadora Única - Subportadoras. [8]

1. *Flexibilidade Espectral*

Em uma rede carregada como a rede de telefonia móvel no Brasil o objetivo é conseguir uma alta eficiência espectral.

Uma das grandes vantagens do LTE é possibilitar a flexibilidade de alocação de espectro, pois as subportadoras podem operar com bandas em 1.4; 5; 10; 15 e 20MHz. Como ilustra a Fig.10 [8].

Fig. 10 – Flexibilidade Espectral das Subportadoras.

O LTE foi especificado para operar nos modos FDD (*Frequency Division Duplex*) e TDD (*Time Division Duplex*) podendo operar nas frequências 450 MHz a 2.6GHz.

Na técnica de duplexação FDD, usa-se uma frequência de transmissão (*Downlink*) entre estação base (eNodeB) para estação móvel, e outra frequência (*Uplink*) entre a estação móvel para estação base.

Um dispositivo denominado duplexador permite o uso de uma mesma antena para os módulos de recepção e transmissão da estação móvel.

A separação de frequência de transmissão e recepção geralmente é fixa em todo sistema. Sendo suficientemente alta para permitir pouco acoplamento entre os módulos receptores e transmissores de um terminal de assinante.

Entretanto na técnica de duplexação TDD, a transmissão de dados só ocorre em momentos permitidos e pré-determinados, através do *Time Slots*. Usa-se apenas uma frequência para comunicação entre a estação base (eNodeB) e a estação móvel, porém, com tempos diferentes para *Uplink* e *Downlink* da mesma frequência.

O TDD, ao permitir que transmissor e receptor ocupem a mesma frequência, não requer cuidados na separação de frequências. Sendo os equipamentos mais simples e baratos.

No TDD existe um tempo de latência na comutação entre transmissão e recepção, pois a comunicação não é verdadeiramente *Full-Duplex*. Esta latência torna o sistema TDD sensível aos atrasos de propagação particulares de cada estação.

Devido ao rígido esquema de temporização necessário no TDD e a sensibilidade aos atrasos de propagação, o TDD é restrito a telefones sem fio e ou sistemas de pequeno alcance.

1. Sistema MIMO

Como consequência de todo este crescimento e mudanças, novas exigências são requeridas, tanto por parte dos usuários dos sistemas como pelos próprios serviços e aplicações, já vistos. Então, exigem-se taxas de transmissão cada vez mais elevadas juntamente com uma necessidade de uma melhoria na QoS do sistema. Contudo, aumentar as taxas de transmissão e melhorar a QoS constitui um enorme desafio.

A largura de banda tornou-se um recurso extremamente escasso e, por isso, caro. Recorrer ao aumento desta como solução não é praticável nem econômico. Conseguir superar tal desafio recorrendo a um aumento da largura de banda ou aumento da potência de transmissão do sistema não é, atualmente, uma solução viável, uma vez que existem regulamentações para a potência máxima que se pode irradiar, com o objetivo de não prejudicar a saúde humana, bem como o custo associado.

É necessário considerar os fatores inerentes ao ambiente de propagação, como o desvanecimento de multipercurso, atraso temporal e dispersão Doppler, de modo a conseguir contorná-los, de certa forma, ou reduzir ao máximo os seus efeitos. Por outro lado, o aumento da potência de transmissão poderá, potencialmente, provocar interferência em sistemas de comunicação vizinhos, reduzindo, desta forma, o potencial de reutilização de frequências.

Um caso particular dos sistemas de antenas inteligentes é a utilização de múltiplas antenas para transmissão e múltiplas antenas para recepção, designados sistemas MIMO (*Multiple-Input and Multiple-Output*). Nesse sistema é possível explorar totalmente o domínio espacial, introduzindo o conceito de Multiplexação Espacial. Através dessa consegue-se aumentar a capacidade de um sistema de comunicações, com a criação de vários canais de transmissão paralelos sob a mesma banda de transmissão. Deste modo, os sistemas MIMO conseguem combater os vários desafios inerentes a um ambiente de propagação hostil.

Na Fig. 11 são ilustradas as várias configurações de antenas possíveis em um sistema de comunicação sem fios: sistema SISO, sistema SIMO, sistema MISO e sistema MIMO [9],[10].

Fig. 11 – Configurações de antenas: SISO – uma antena transmissora e uma antena receptora; SIMO-uma antena transmissora e várias antenas receptoras; MISO – várias antenas transmissoras e uma receptora; MIMO-várias antenas transmissoras e receptoras.

Tipicamente, os esquemas de transmissão utilizados em sistemas MIMO podem ser divididos em duas categorias: esquemas de maximização da eficiência espectral e esquemas de maximização de diversidade. O primeiro tipo tem como objetivo maximizar a taxa de transmissão de dados conseguida em um dado sistema MIMO, resultando daí um aumento da capacidade, ou seja, tais esquemas permitem oferecer um ganho de capacidade ao sistema. O segundo tipo foca na proteção do sistema contra possíveis erros causados pelo fenômeno do desvanecimento associado ao canal rádio, ruído e

interferência. Com isto consegue-se, como já referido anteriormente, um ganho de diversidade.

A tecnologia MIMO introduz diversos ganhos, ajudando na otimização do desempenho de um sistema de comunicação sem fio (ganho de formatação de feixe, ganho de agregado, ganho de diversidade espacial, ganho de multiplexação espacial e a redução de interferência).

- Ganho de Formatação de Feixe: consiste na formatação do diagrama de radiação das antenas, tal que privilegia alguns canais de propagação previamente selecionados.
- Ganho de Agregado: corresponde ao aumento médio na SNR no lado do receptor, que resulta da combinação coerente entre os sinais recebidos nas várias antenas.
- Ganho de Diversidade Espacial: reduz os efeitos do desvanecimento através do envio de múltiplas cópias do mesmo sinal no tempo, frequência ou espaço.
- Ganho de Multiplexação Espacial: resume-se em uma melhor eficiência espectral, ou seja, na elevação da capacidade do sistema, sem recorrer ao aumento da largura de banda ou potência transmitida.

Nos sistemas MIMO, compostos por várias antenas para transmissão e recepção, o número de percursos entre emissor e receptor é igual ao produto entre o número de antenas emissoras pelo número de antenas receptoras, tal como ilustrado na Fig. 12, mais uma vez, ignorando os efeitos causados pelo desvanecimento multipercurso.

Fig. 12 – Configuração Multipercurso MIMO

Segundo o teorema de Shannon [9], a maior limitação imposta pelo ruído em um canal de comunicações não é na qualidade da comunicação em si, mas sim na quantidade máxima de informação que pode ser transmitida com fiabilidade (capacidade de um canal em bps/Hz). A capacidade de um canal de comunicações é fortemente condicionada pelo ambiente de propagação ao qual o canal está associado, assim como também depende do sistema de emissão e do sistema de recepção. Nesse sentido, no caso de um sistema de comunicações sem fios a capacidade do canal dependerá do número de antenas utilizadas para emissão e do número de antenas utilizadas para recepção.

1. Modulação

A transmissão de sinais a grandes distâncias é fundamental nas telecomunicações. Radiodifusão, televisão, telefonia, comunicações por satélite e comunicações óticas são exemplos de soluções encontradas para difundir um sinal de informação. A modulação corresponde a um processo de conversão de sinais para fins de transmissão, sendo definido como um sistema que recebe duas entradas (informação e portadora) e fornece um sinal de saída que será utilizado no transporte da informação.

A tecnologia LTE utiliza várias técnicas de modulação, conforme ilustra a Fig. 13 e comentadas adiante.

Fig. 13 – Variações das técnicas de modulação com a distância.

Entre outros aspectos, a modulação tem como objetivo contribuir para uma melhor qualidade da comunicação através de:

- Deslocamento do espectro do sinal a transmitir para uma banda de frequências mais apropriada ou disponível;
- Produzir um sinal modulado com um espectro mais estreito (ou mais largo) que o sinal original (eficiência espectral);
- Tornar o sistema de transmissão mais robusto relativamente a algum tipo de ruído e/ou interferência; adaptar a sensibilidade do receptor às características do canal.

1. *Modulação 64QAM*

A modulação de amplitude em quadratura QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) é utilizada para sistemas que necessitam de alta taxa de transferência de informação, permitindo maior carga útil trafegada.

A QAM pode ser: 4QAM, 16QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM, 256QAM, 512QAM, 1024QAM, 2048QAM, 4096QAM ou mais densas. Todavia o artigo busca focar nas modulações utilizadas pela multiplexação OFDM e conseqüentemente relacionadas à tecnologia LTE.

Quando se fala de modulação na amplitude em quadratura, implicam em modificar, simultaneamente, duas características da onda da portadora: amplitude e fase, obtendo altas taxas de velocidade e dados. Nas modulações digitais, os bits do sinal de informação são codificados através de símbolos. O conjunto de símbolos gerado por uma modulação é chamado de constelação, sendo que cada tipo de modulação gera uma constelação de símbolos diferentes. A modulação é responsável por mapear cada possível seqüência de bits de um comprimento preestabelecido em um símbolo determinado.

1. *Modulação 16QAM*

No caso da 16QAM, a modulação é similar à 64QAM, contudo a constelação apresenta 16 símbolos, sendo 4 em cada quadrante do diagrama, o que significa que cada símbolo representa 4 bits. Podendo notar que nesse modo tem-se uma taxa de transmissão menor do que no modo 64 QAM, uma vez que cada símbolo transporta um número menor de bits. No entanto, no modo 16 QAM, a distância métrica (distância euclidiana entre dois pontos) entre os símbolos é maior face ao modo 64QAM. Isto permite que o modo 16QAM disponha de uma melhor QoS, pois a maior distância entre os símbolos dificulta erros de interpretação no receptor quando este detecta um símbolo. Ressaltando que essa modulação é implementada em um segundo momento ou necessidade do sistema, levando em consideração os níveis de SNR (Relação Sinal Ruído) do canal.

1. *Modulação QPSK*

O PSK (*Phase Shift Keying*) é uma forma de modulação em que a informação do sinal digital é embutida nos parâmetros de fase da portadora [12].

A modulação QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) utiliza parâmetros de fase e quadratura da onda portadora para modular o sinal de informação. É uma técnica de modulação derivada do PSK.

A modulação PSK, por exemplo, utiliza 1 bit por símbolo. Na 64QAM tem-se 6 bits por símbolo. Isso implica que a modulação QPSK é uma técnica derivada do PSK, porém, nesse caso, são utilizados parâmetros de fase e quadratura da onda portadora, existindo mais tipos possíveis de símbolos na constelação, permitindo transmitir mais bits, face ao PSK. Relacionado aos 64 e 16QAM, possui, notoriamente, menos bits por símbolo, no entanto detém mais espaço entre os símbolos, possibilitando ser implementado em regiões do meio que agregam condições que reduzem, significativamente, a relação sinal ruído (SNR), garantido um nível satisfatório de QoS para o usuário.

O LTE emprega uma modulação adaptativa, ou seja, se o canal estiver com baixo ruído é utilizado o 64QAM nas portadoras. Se o canal começar a ficar ruidoso, pode ser escolhido outro tipo de constelação mais robusta (com menos pontos na constelação e, portanto, menos susceptível ao ruído) com uma pequena queda na qualidade do sinal (muitas vezes imperceptível), mas com garantia de recepção.

1. *Latência*

Período de espera ou demora em que se chegue a um resultado esperado. Resposta ao estímulo [13].

O indicador de latência nas redes de telecomunicações contabiliza o tempo gasto na transmissão dos pacotes [IP](#), desde a origem até ao destino, ou seja, desde a unidade de medidas até ao servidor alvo, no teste e vice-versa. Por regra, teoricamente, quanto maior for o valor da latência, menor será a qualidade do serviço prestado [14].

No LTE foi especificada uma latência no Plano-C com um tempo de transmissão menor que 100ms de um estado acampado para um estado ativo. A Latência é ultra baixa, quando se tem um atraso menor que 10ms de conexão do EU (equipamento do usuário) para o servidor. Com a diminuição das camadas na arquitetura dessa nova tecnologia, é perceptível a redução no tempo de estabelecimento da chamada para valores entre 50 e 100ms.

VII. Conclusão

Os usuários de comunicações móveis estão se tornando cada vez mais exigentes, acelerando o desenvolvimento dos sistemas no sentido do fornecimento de novos serviços e de ritmos de transmissão cada vez mais elevados. De uma forma paralela, o interesse pelo protocolo IP também cresceu, levando à mutação da visão tradicional de redes móveis, e modificando a noção de qualidade de serviço que se associava a estas redes. No mundo da Internet, a QoS pode ser um mecanismo de competitividade, permitindo distinguir os serviços oferecidos por fornecedores diferentes. A QoS associada a redes de dados, é um ponto fundamental na atual migração de gerações de redes móveis. De fato, com a chegada dos sistemas de LTE, o interesse por novas aplicações (de dados), por novos serviços a disponibilizar nestas plataformas móveis, irá aumentar, pois a mudança para ambientes de transporte IP permite a criação de uma plataforma aberta, proporcionando flexibilidade e redução dos custos na criação de novos serviços e na evolução da rede.

REFERÊNCIAS

- [1] LTE/LTE-Advanced Cellular Communication Networks, Guest Editors: Cyril Leung, Raymond Kwan, Seppo Hamalainen, and Wenbo Wang, Julho 2012.
- [2] Jocksam G. Matos, Jonas P. M. Junior, José A. M. S. Junior e Ananias Neto “Avaliação da Qualidade de Vídeo e VoIP em Sistema LTE com diferentes Algoritmos de Escalonamento utilizando Métricas de QoS.”
- [3] *Qualidade de Serviço em redes móveis: presente e futuro*. Lina Maria Pestana Leão de Brito. Rui L. Aguiar. Universidade da Madeira, Julho 2012.
- [4] Marcia, M. Savoine. "Análise da Eficiência Espectral considerando a Duplexação e o perfil de tráfego para bandas licenciadas". Dissertação de Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicações.
- [5] www.ericsson.com.br , acesso em Julho 2012.
- [6] www.teleco.com.br, White Paper “Long Term Evolution (LTE): an introduction”elaborado pela Ericsson, acesso em Julho 2012.
- [7] Televisão Digital: Marcelo Sampaio de Alencar - 1ª Edição, São Paulo – 2007, Editora Érica Ltda.
- [8] Mendes, M. G. (2009). “Utilização da estimativa do canal (Sounding) na alocação de recursos de rádio no enlace reverso (Uplink) de redes Long Term Evolution – LTE”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica
- [9] Jorge Tiago Pereira Mogas da Silva. "Receptor MIMO em FPGA baseado no esquema de Alamouti". Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Dissertação de Mestrado.
- [10] www.teleco.com.br, “Introdução ao LTE – Long Term Evolution”apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Telecomunicações da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.
- [11] 4G Mobile Broadband Evolution: Release 10, Release 11 and a Beyond HSPA+, SAE/LTE and a LTE-Advanced, October 2012.
- [12] http://www.gta.ufrj.br/grad/04_2/Modulacao/ , Modulação, acesso em Setembro 2012.
- [13] <http://www.dicionarioinformal.com.br/lat%C3%Aancia/>, Latência, acesso em Setembro 2012.
- [14] <http://wikicom.mc.gov.br/index.php/Lat%C3%Aancia> , Latência, acesso em Setembro 2012.