

Estudo e Desenvolvimento da Subcamada MAC da Rede de Área Local sem fios IEEE802.11

Paula Couto, Rui Valadas, A. M. de Oliveira Duarte

Resumo - A rápida evolução do equipamento informático portátil e as novas necessidades de comunicação por ele impostas são a força impulsionadora da investigação na área das redes locais sem fios. Este tipo de redes distingue-se das demais ao nível das camadas física e MAC (Medium Access Control). Este artigo aborda aspectos de ambas as camadas, apresentando as tecnologias de transmissão utilizadas e discutindo o tipo de protocolo de acesso ao meio a utilizar neste tipo de redes. Apresenta ainda o método de acesso básico da norma IEEE802.11 e finaliza com a descrição da implementação desse protocolo. Este trabalho decorreu no âmbito do projecto Europeu ESPRIT.6892 - POWER (Portable Workstation for Education in Europe).

Abstract - The fast evolution of mobile computing equipment and the consequent raising mobility requirements has been the major drive of research in Wireless Local Area Networks. WLANs distinguishes from cabled networks at physical layer and MAC layer. This paper focus aspects of both layers: it presents transmissions technologies and discusses the requirements of a MAC (Medium Access Control) protocol to be used in this networks. IEEE802.11 protocol is described and its development and implementation is presented. This works has been carried on under scope of the european project ESPRIT.6892 - POWER (Portable Workstation for Education in Europe).

I. INTRODUÇÃO

A unidade básica de uma rede de área local sem fios é a célula. A célula corresponde à área geográfica onde se movimentam livremente um conjunto de estações, portáteis ou móveis. As redes sem fios, como ilustrado na figura 1, podem ser constituídas por uma única célula isolada ou por várias células ligadas através de um suporte físico de interligação (estrutura cablar ou ligação sem fios por feixe dirigido). As primeiras denominam-se redes Ad-Hoc e as segundas redes com infraestrutura.

Nas redes de área local sem fios as comunicações processam-se em espaço livre. Duas tecnologias de transmissão podem ser utilizadas: infravermelhos ou rádio frequência. A opção por uma ou outra tecnologia depende, sobretudo, do ambiente de propagação e da aplicação. Independentemente da tecnologia de transmissão utilizada a rede deverá satisfazer os seguintes requisitos: i) assegurar transmissões robustas e seguras

mesmo em ambientes ruidosos; ii) apresentar fácil instalação e operação livre de licenciamento; iii) interligar equipamento caracterizado por consumos de potência reduzidos; iv) permitir a sobreposição de redes, possibilitando a existência de mais do que uma rede na mesma área geográfica a operar no mesmo canal de transmissão; v) permitir a utilização do mesmo equipamento em diferentes países; vi) e garantir protecção de investimento contra evoluções futuras.

A forma como cada estação coloca no canal a informação, ou acede a este, tem que obedecer a determinadas regras às quais se dá o nome de protocolo de acesso ao meio. Um protocolo de acesso ao meio fornece um mecanismo que permite a todas as estações de uma rede, partilhando o mesmo canal de transmissão, aceder a este sem interferir ou causando o mínimo de interferência com as restantes estações. Este mecanismo deverá fazer uma utilização eficiente do canal de transmissão garantindo o mínimo de atraso na transmissão das mensagens.

O cumprimento de alguns dos requisitos enumerados acima e a coexistência dos dois tipos de rede, cablada e sem fios, coloca o problema da compatibilidade e motiva a especificação de normas para as novas redes. No início da década de 90 surgiram os primeiros trabalhos desenvolvidos com vista ao estabelecimento de normas para redes sem fios. Na Europa o organismo responsável pelas actividades de normalização, o ETSI (*European Telecommunications Standard Institute*), através do seu subcomité técnico RES 10, especifica normas para redes

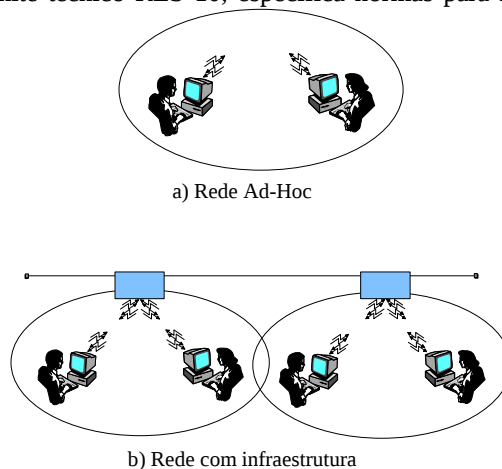


Figura 1 - Tipos de redes sem fios

de área local de elevado desempenho (HIPERLAN, *High Performance Radio Local Area Networks*). Foram já atribuídas duas bandas, 5.12-5.30 GHz e 17.1-17.3 GHz, para o desenvolvimento da HIPERLAN cujo objectivo é atingir velocidades mínimas de 20 Mbps/s com alcance de 50m em ligações ponto-a-ponto [1]. Nos Estados Unidos o organismo IEEE (*Institute of Electric and Electronics Engineers*) desempenha um papel relevante no estabelecimento de normas no domínio das redes de comunicação de área local através do comité IEEE802. Em 1990 foi criado um grupo autónomo para levar a cabo a especificação de normas para redes sem fios, denominado IEEE802.11 [2]. A norma IEEE802.11 cobre todos os aspectos da camada física e subcamada MAC e é a única que integra três camadas físicas diferentes, duas utilizando tecnologia de rádio frequência, DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) e FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*), e uma utilizando tecnologia de infravermelhos. As taxas de transmissão variam de 1 a 2 Mbps para as três implementações.

II. TECNOLOGIAS DE TRANSMISSÃO EM ESPAÇO LIVRE

Duas tecnologias de transmissão podem ser utilizadas em espaço livre: rádio frequência e infravermelhos. Estas tecnologias apresentam características diferentes. Vários factores condicionam a opção por uma ou por outra, dos quais se salientam: a facilidade e o custo de implementação, a exigência ou não de licenciamento, o suporte de múltiplas redes na mesma área geográfica utilizando o mesmo canal de transmissão, o alcance atingido e, sobretudo, as características do canal de transmissão. Os factores de degradação dominantes no canal de transmissão são o ruído introduzido no canal (interferência electromagnética, em sistemas de radio frequência, e ruído óptico, em sistemas de infravermelhos) e a dispersão multipercurso. A dispersão multipercurso pode provocar interferência entre símbolos e esvanecimento.

A. Rádio frequência

Em redes locais as comunicações utilizando radio frequência processam-se na faixa das microondas, fazendo uso fundamentalmente de técnicas de transmissão com espalhamento espectral (*Spread Spectrum*) nas bandas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*). Estas bandas, livres de licenciamento, originalmente regulamentadas nos Estados Unidos pelo FCC (*Federal Communications Commission*), foram abertas em 1985 às comunicações locais. Contudo, a sua utilização restringe-se a sinais com espalhamento espectral de baixa potência (<1W), permitindo alcances de cerca de 1 km em ambientes exteriores e 50 a 100 metros em ambientes interiores (dependendo do número de obstáculos que tem que penetrar) [3]. Nestas bandas podem utilizar-se duas

técnicas de transmissão com espalhamento espectral: FHSS (*Frequency-Hopping Spread Spectrum*) e DSSS (*Direct-Sequence Spread Spectrum*). É ainda possível a utilização de uma técnica híbrida embora, comparativamente às duas anteriores, esta apresente uma eficiência muito baixa em ambientes com elevados níveis de interferência [4].

Num sistema FHSS a banda disponível é dividida num conjunto de canais de igual largura de banda. Nestes sistemas tanto o emissor como o receptor têm que estar sincronizados permanecendo num canal por um determinado período de tempo (*chip*), após o qual transitam ou saltam (*hop*) para outro canal. A razão entre a velocidade com que mudam de canal (*chipping rate*) e a velocidade de transmissão diferencia dois tipos de sistemas FHSS: *fast-FHSS* e *slow-FHSS*. Os sistemas *fast-FHSS* são menos susceptíveis a interferência porque a velocidade de comutação de canal é superior à velocidade de transmissão. Assim, a transmissão de cada *bit* reparte-se por vários canais, em oposição aos sistemas *slow-FHSS*, nos quais em cada *chip* é transmitido pelo menos um pacote. Para velocidades de transmissão elevadas os sistemas *fast-FHSS* apresentam custos e consumos de potência muito elevados [3], o que condiciona a sua utilização em redes de área local.

Num sistema DSSS o sinal é primeiro modulado por uma sequência binária pseudo-aleatória e o sinal resultante é utilizado para modular uma portadora de radio frequência. Os requisitos de sincronização entre o emissor e o receptor são superiores nesta técnica. A técnica DSSS é, tal como as técnicas anteriores, também utilizada como meio de combate à dispersão multipercurso, embora exija maiores larguras de banda [5].

Comparando as duas técnicas, *slow-FHSS* e DSSS, apesar dos custos de implementação de ambas serem relativamente baixos, os da técnica DSSS são inferiores, porque os transceptores dos sistemas *slow-FHSS* requerem filtros fortemente selectivos e circuitos detectores de frequência de grande estabilidade. Por outro lado os sistemas *slow-FHSS* permitem atingir maiores velocidades de transmissão do que os sistemas DSSS, para a mesma largura de banda disponível [3]. Nos sistemas *slow-FHSS* a velocidade de transmissão não depende da disposição geográfica das estações e, para uma largura de banda disponível W , no pior dos casos, é $W/4$ [3]. Nos sistemas DSSS a velocidade não excede $W/10$ devido às restrições impostas pelo FCC ao factor de espalhamento. Nas bandas ISM os sistemas *slow-FHSS* são também menos susceptíveis a interferência provocada por sistemas a operar na mesma banda, resultado da flexibilidade com que é gerida a largura de banda (maior número de canais na largura de banda disponível). Finalmente, em relação à coexistência de múltiplas redes na mesma área geográfica, nos sistemas DSSS isso só é possível se o sistema utilizar apenas uma fracção (subcanal) da largura de banda total disponível, podendo sobrepor-se algumas redes, na mesma área geográfica, desde que cada uma delas utilize um canal distinto. Em

sistemas *slow-FHSS* a sobreposição de várias redes é possível. Eventualmente os canais podem sobrepor-se, mas é possível definir conjuntos de padrões de saltos em que qualquer subconjunto de um dado conjunto interfere quanto muito uma única frequência com qualquer outro retirado do mesmo conjunto [3].

A radiação rádio frequência, independentemente da técnica de modulação utilizada, é bastante sensível a interferência electromagnética, o que a torna pouco aconselhável para utilização, por exemplo, em ambientes fabris e hospitalares onde os níveis de radiação electromagnética podem comprometer drasticamente a fiabilidade das comunicações.

B. Infravermelhos

Uma alternativa à utilização da tecnologia de rádio frequência é a tecnologia de infravermelhos. A aplicação desta tecnologia a redes de área local sem fios foi inicialmente sugerida por Gfeller [6] e é uma tecnologia particularmente vocacionada para utilização em ambientes interiores. Quando comparadas com redes de rádio frequência as redes de infravermelhos são regra geral mais fáceis de implementar, apresentam menor custo, não requerem licenciamento e garantem uma maior confidencialidade, já que muitos materiais são opacos à radiação infravermelha. Isto garante, por exemplo, que se possam ter redes distintas em salas contíguas sem que qualquer uma delas interfira com as restantes. Numa mesma sala é também possível a existência de várias células, mas como a utilização de diferentes canais é de difícil implementação, vulgarmente utiliza-se um único canal, embora potenciando a ocorrência de interferência.

A implementação de uma rede de infravermelhos pode ser dificultada pelas limitações impostas pelos componentes optoelectrónicos, pelas normas de segurança que são muito restritivas em relação à potência radiada e, sobretudo, pelas características do canal de transmissão. No emissor reduzida eficiência de conversão optoelectrónica e reduzida largura de banda dos LEDs manifesta-se no alcance e na velocidade de transmissão. No receptor a área de detecção dos fotodetectores determina em parte a sua sensibilidade. Maiores áreas possibilitam a recolha de mais potência óptica, mas implicam maiores capacidades que limitam também a largura de banda. A potência no receptor depende também da sua posição e orientação em virtude da elevada gama óptica do canal.

A questão da segurança é um factor importante a ter em consideração no projecto dos emissores ópticos. O olho humano é sensível à radiação infravermelha, podendo a sua incidência causar danos na retina. O grau de danificação depende de vários factores, entre os quais [7]: o comprimento de onda da radiação, a duração do impulso, a dimensão da imagem, a irradiância, a exposição e a distância à fonte emissora.

As limitações introduzidas pelo canal de transmissão resultam, essencialmente, do ruído ambiente produzido

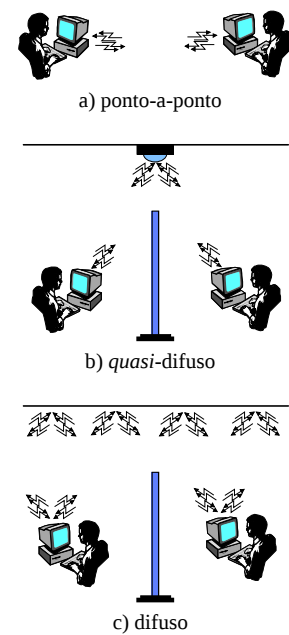


Figura 2 - Modos de propagação

por luz natural (solar) e luz artificial (lâmpadas fluorescentes e incandescentes) e das suas características de propagação. O ruído ambiente é um dos factores que mais limita o desempenho do canal de transmissão. Tanto a luz natural como a artificial produzem ruído quântico e a iluminação artificial, em especial a produzida por lâmpadas fluorescentes, introduzem no canal harmónicos da frequência da rede de alimentação. Pode minimizar-se estes efeitos utilizando códigos de linha combinados com filtragem passa-alto ou filtros ópticos que filtram o sinal antes deste atingir o fotodetector. Técnicas mais recentes propõem a utilização de velocidades de transmissão adaptativas [8] ou a utilização de receptores sectorizados [9].

O desempenho de um sistema de infravermelhos é também condicionado pelas características de propagação do canal de transmissão. A propagação do sinal caracteriza-se principalmente pelas perdas de propagação e pela dispersão multipercurso. A dispersão multipercurso é produzida pelas múltiplas reflexões do sinal óptico nos obstáculos do canal de transmissão, tais como paredes, mobiliário ou mesmo pessoas, e aumenta com a dimensão da sala e com a velocidade de transmissão [10] [11]. A dispersão multipercurso pode ser minimizada utilizando equalização adaptativa e seleccionando técnicas de modulação adequadas.

A distribuição espacial de potência na célula depende da dimensão desta, do diagrama de radiação do emissor (pode ser optimizado utilizando no emissor combinações de LEDs com diferentes diagramas de radiação [10]), e do modo de propagação. Existem três modos básicos de propagação do sinal num canal de infravermelhos: ponto-a-ponto, *quasi-difuso* [12] e difuso [6], como ilustrado na figura 2.

O modo de propagação ponto-a-ponto requer que as estações emissora e receptora se encontrem em linha de vista e alinhadas uma pela outra. Este modo de propagação conduz a sistemas bastante rígidos em termos de tolerância a movimentos das estações (rotações por exemplo), face à limitação imposta pela largura do feixe e é extremamente sensível a obstrução provocada por obstáculos que se introduzam a meio caminho entre duas estações que estejam a comunicar.

No modo *quasi*-difuso utiliza-se uma superfície reflectora ou um satélite do qual as estações fazem uso para comunicarem entre si. Assim, embora não tenham que estar em linha de vista para poderem comunicar, as estações têm sempre que estar em linha de vista com a superfície reflectora ou com o satélite. A função da superfície reflectora ou do satélite é reflectir o sinal da estação emissora por toda a área da célula, disponibilizando o sinal para todas as estações. A superfície reflectora limita-se a reflectir o sinal, devendo ter um bom coeficiente de reflexão e de difusão, ao passo que o satélite amplifica o sinal antes de o reflectir. Por esta razão o uso de satélite permite reduzir a quantidade de potência transmitida pelas estações e conduz a implementações mais eficientes, embora de custo mais elevado.

No modo difuso as estações podem ser livremente orientadas, já que este modo de propagação se baseia em sucessivas reflexões do sinal emitido nas paredes e em possíveis obstáculos. Tanta flexibilidade tem porém o seu custo, que se manifesta nas elevadas quantidades de potência que uma estação terá que emitir. Esta deverá ser tal que por sucessivas reflexões atinja toda a área de cobertura da célula, podendo assim ser recebida por qualquer estação, independentemente da sua posição e orientação na célula. Um dos problemas que pode revelar-se mais notório neste modo de propagação, para velocidades de transmissão superiores a 10 Mbps, é o fenómeno da dispersão multipercurso, implicando maior

complexidade dos receptores com penalização no custo total do sistema.

III. ACESSO AO MEIO

Como ilustrado no diagrama da figura 3, tendo em consideração a natureza do algoritmo de acesso, distinguem-se três grandes classes de protocolos de acesso ao meio: sem contenda, de acesso aleatório e de acesso híbrido.

Os protocolos de acesso ao meio sem contenda são aqueles em que uma vez atribuído o canal para uma dada transmissão existe a garantia de que esta se processe sem que ocorram interferências provocadas por outras transmissões. Nesta classe de protocolos distinguimos ainda duas subclasses tendo em consideração a forma como é atribuído o canal de transmissão: estática ou dinamicamente. Exemplos de protocolos em que a atribuição do meio é realizada de forma estática são os protocolos baseados em multiplexagem temporal (TDMA, *Time Division Multiple Access*), multiplexagem no domínio da frequência (FDMA, *Frequency Division Multiple Access*) ou em técnicas de multiplexagem de códigos de transmissão (CDMA, *Code Division Multiple Access*). Exemplos de protocolos com atribuição dinâmica do meio são aqueles que utilizam esquemas de interrogação ou de passagem de testemunho.

Nos protocolos de acesso aleatório, ao contrário dos anteriores, não existe garantia de que as transmissões se efectuem sem interferência já que as estações podem transmitir simultaneamente. O protocolo poderá resolver os conflitos resultantes de transmissões simultâneas de forma estática como, por exemplo, acontece nos protocolos ALOHA ou CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*), ou de forma dinâmica como acontece no protocolo CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*).

Finalmente, os protocolos híbridos integram mecanismos

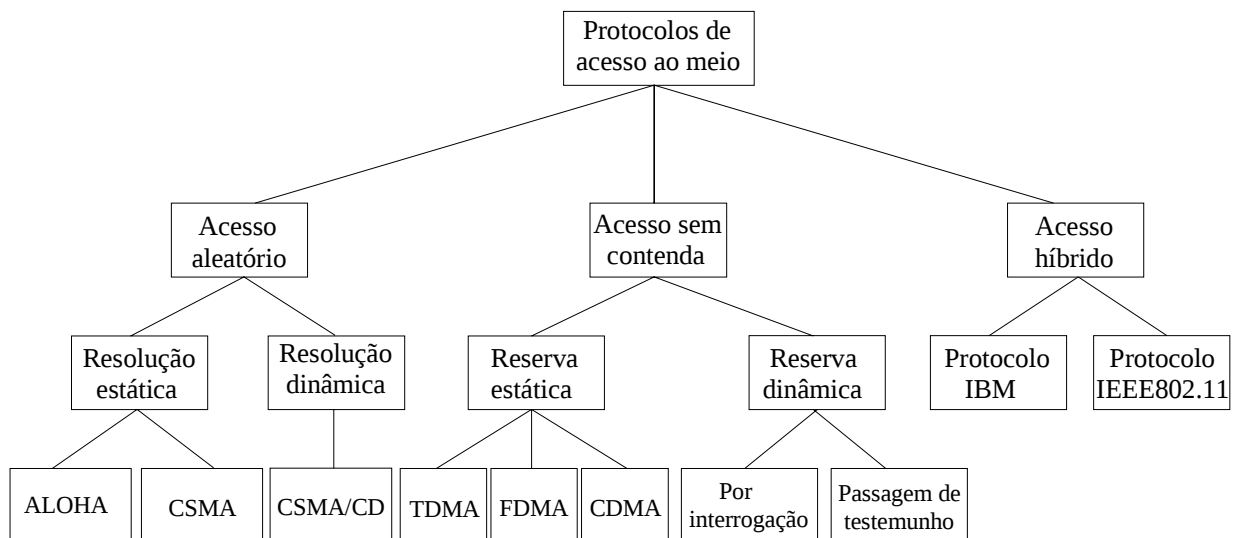


Figura 3 - Classificação dos protocolos de acesso ao meio

de acesso aleatório e não aleatório. Isto é, existem períodos de tempo em que o acesso ao meio se processa sem contenda e outros em que se processa com contenda. Exemplos deste tipo de protocolos são os protocolos da IBM proposto ao grupo IEEE802.11 [13] e o próprio protocolo IEEE802.11 [14].

Numa rede de área local sem fios as características do canal de transmissão podem variar dinamicamente no tempo e no espaço. Esta propriedade manifesta-se em fenómenos como o efeito de estação escondida ou o efeito de próximo-afastado (*near-far effect*). O efeito de estação escondida, frequente em redes sem fios, ocorre quando uma estação não tem capacidade para escutar outras estações pertencentes à mesma célula. Este efeito pode ser causado por esvanecimento ou por obstrução física do canal de transmissão. O efeito de próximo-afastado resulta do facto da potência recebida pela estação receptora ser função da sua distância à estação emissora. Este efeito pode comprometer a equidade do acesso ao meio.

A existência de zonas de sobreposição de células adjacentes é também uma das características das redes de área local sem fios. A zona de sobreposição corresponde a uma zona em que uma estação aí localizada se pode fazer ouvir numa ou mais células adjacentes. Trata-se pois de uma zona de interferência, que quando possível deverá ser minimizada já que, dependendo do protocolo de acesso, poderá conduzir a uma redução da capacidade da rede.

Um protocolo destinado a ser utilizado em redes de área local sem fios deverá considerar os efeitos referidos e satisfazer os seguintes requisitos, alguns dos quais comuns também a redes com estrutura cablar:

- Fazer uma utilização eficiente do canal de transmissão;
- Garantir a equidade no acesso ao meio;
- Permitir a variabilidade do número de estações em cada célula;
- Suportar a sobreposição de células adjacentes, garantindo segurança e privacidade em cada célula;
- Suportar mecanismos de conservação de potência;
- Suportar tráfego síncrono e assíncrono;
- Suportar tráfego com diferentes prioridades.

Nem todos os protocolos apresentados na figura 3 cumprem os requisitos enumerados, o que compromete a sua aplicabilidade em redes sem fios. O protocolo FDMA revela-se pouco flexível e ineficiente para utilização em tráfego de dados e o protocolo CDMA embora possa ser utilizado conduz a implementações complexas e, em geral, com ganhos insuficientes para que possam ser utilizados em redes sem fios de rádio nas bandas licenciadas [3]. Além disso, o método CDMA é afectado pelo efeito de próximo-afastado se não se implementarem mecanismos de controlo da potência transmitida [15].

Protocolos com atribuição por interrogação podem também ser pouco eficientes devido ao *overhead* introduzido pelas mensagens de controlo. Os protocolos por passagem de testemunho também não são adequados para utilização em redes sem fios devido a situações como a perda de testemunho, consequência das características de esvanecimento e ruído do canal de transmissão, ou a quebra do anel lógico, consequência acrescida da mobilidade das estações. Numa rede deste tipo o desempenho seria gravemente penalizado pelas necessidades frequentes de geração de novo testemunho e restabelecimento do anel lógico.

Os protocolos do tipo CSMA e TDMA são os que melhor se podem adaptar às características das redes sem fios e à diversidade de padrões de tráfego que este tipo de rede deverá suportar [3]. Um protocolo do tipo CSMA é mais adequado para transmissões de dados do tipo rajada (transmissões assíncronas), mas a sua eficiência é baixa quando utilizado tráfego síncrono. O suporte de tráfego de diferentes prioridades é difícil, assim como o suporte de mecanismos de conservação de potência. Um protocolo do tipo TDMA, por seu lado, é mais adequado para transmissões síncronas e facilmente suporta mecanismos de prioridades e de conservação de potência. No entanto não pode ser completamente determinístico devido ao efeito de esvanecimento, à mobilidade das estações e à estrutura multicelular da rede.

Conclui-se assim que só a integração dos dois métodos num protocolo híbrido permite suportar de forma eficiente o transporte simultâneo de tráfego assíncrono e síncrono. A ideia de um protocolo híbrido remonta já ao início da década de oitenta, para aplicação a sistemas de comunicação de rádio [16]. É interessante verificar que esta ideia foi retomada para aplicação a redes de área local sem fios, como está bem patente nos dois principais protocolos submetidos ao grupo de normalização IEEE802.11 durante a fase de desenvolvimento e especificação da norma ([13] e [17]). Ambos os protocolos baseiam-se na divisão do eixo temporal em intervalos ou tramas, a qual se divide ainda em períodos de acesso sem contenda e períodos de acesso com contenda. No protocolo proposto em [17] a trama divide-se em dois períodos. No período sem contenda o acesso é baseado num mecanismo de interrogação e no período com contenda no protocolo CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*). Este protocolo viria a ser aprovado como constituindo a base conceptual da actual proposta da norma IEEE802.11 [14].

IV. PROTOCOLO IEEE802.11

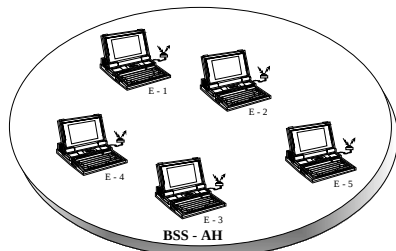


Figura 5 - Rede Ad-Hoc

A norma IEEE802.11 define e especifica a arquitectura da rede, a camada física e a subcamada MAC. Neste artigo apenas apresentaremos a arquitectura da rede e o método de acesso ao meio mandatário. Descrições das restantes funcionalidades da subcamada MAC poderão ser encontradas em [14].

A. Arquitectura de rede IEEE802.11

A célula, segundo a terminologia IEEE802.11, é denominada área básica de serviço (BSA, *Basic Service Area*). Ao conjunto das estações que partilham uma mesma BSA dá-se o nome de conjunto básico de serviço (BSS, *Basic Service Set*). Um BSS é identificado pelo respectivo BSS-Id.

A dimensão de uma BSA depende do ambiente de propagação e também das características dos transceptores. Poder-se-á aumentar a área de cobertura da rede associando várias BSAs interligadas através de um sistema de distribuição, (DS, *Distribution System*), utilizando entidades denominadas pontos de acesso (AP, *Access Point*).

À associação de diversas BSAs através de um DS dá-se o nome de área de serviço estendida (ESA, *Extended Service Area*). Ao conjunto das estações que são abarcadas por uma dada ESA dá-se o nome de conjunto de serviço estendido (ESS, *Extended Service Set*). Um ESS é identificado pelo respectivo ESS-Id.

A arquitectura IEEE802.11 é suficientemente flexível para permitir a ligação de redes de área local cabladas ao DS utilizando um dispositivo denominado *Portal*, P.

A figura 4 ilustra todos os elementos da arquitectura de uma rede IEEE802.11.

As redes IEEE802.11 podem ser Ad-Hoc ou com infraestrutura.

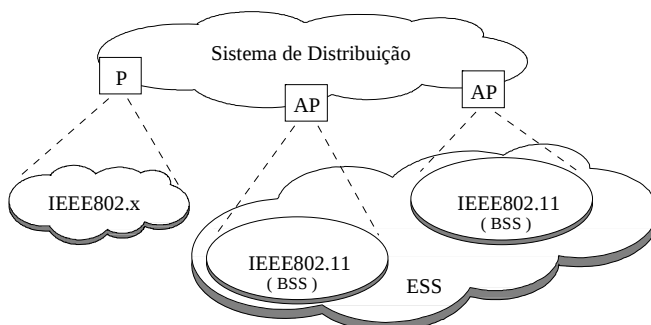


Figura 4 - Arquitectura da rede IEEE802.11

Uma rede Ad-Hoc, como ilustrado na figura 5, é uma rede composta por uma única BSS e não necessita de qualquer infra-estrutura para a suportar, nomeadamente um DS. Limitadas a uma única célula, estas redes caracterizam-se por uma instalação rápida e independente de qualquer infra-estrutura eventualmente já existente. Apresentam todavia limitações que se traduzem-se no tipo de serviços que podem fornecer, assim como na área de cobertura, já que não podem ser expandidas geograficamente pelo simples facto de não terem a si associadas a entidade que permite essa funcionalidade, o AP.

Numa rede com infra-estrutura a cada BSS está associado um AP. Uma rede destas poderá ser constituída por vários BSSs integrados numa única rede IEEE802.11, através de um DS. O DS pode apresentar uma estrutura cablar, como por exemplo uma rede Ethernet. Poderá ainda ligar-se a uma rede cablada através de um portal, como ilustrado na figura 6.

As redes IEEE802.11 caracterizam-se pela livre mobilidade das estações pelas diferentes BSAs que constituem a rede. Isto implica que as estações transitam entre diferentes BSSs de forma transparente e sem nunca perderem a conectividade. O fornecimento dos serviços que assegurem a transição das estações, nomeadamente que promovam a sua desassociação a um BSS e reassociação a outro BSS é uma das funções do AP.

B. Protocolo de acesso ao meio IEEE802.11

O protocolo de acesso ao meio, segundo a terminologia IEEE802.11, é denominado Função de Coordenação (CF, *Coordination Function*). O protocolo prevê a coexistência de duas CFs: uma distribuída (DCF, *Distributed Coordination Function*) e outra centralizada (PCF, *Point Coordination Function*). A implementação da primeira é obrigatória e faz uso do método de acesso CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*), também denominado método de acesso básico do protocolo IEEE802.11. A implementação da PCF é

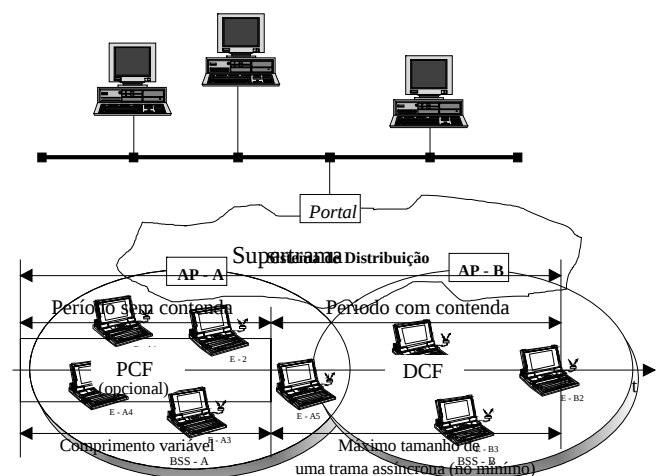


Figura 6 - Arquitectura de uma rede com infraestrutura

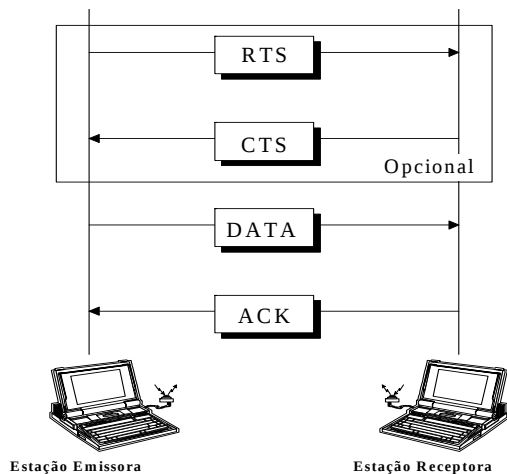


Figura 8 - Transacção de um MPDU

opcional e, em termos arquitecturais, reside sobre a DCF. A PCF utiliza um controlador, função desempenhada normalmente pelo AP associado à BSS. A sua implementação exige contudo a não sobreposição de BSSs adjacentes que estejam a implementar a PCF no mesmo canal de transmissão, na medida em que não é possível ao protocolo resolver situações de contenda no acesso ao meio quando se verifica essa condição.

A existência de duas funções de coordenação permite o suporte de dois tipos de serviços: serviços síncronos e serviços assíncronos. Os serviços síncronos e assíncronos são integrados através de uma Supertrama, como ilustrado na figura 7. A Supertrama divide-se em dois subintervalos: um em que não existe contenda no acesso ao meio, durante o qual impera o método de acesso centralizado, e o outro em que existe contenda e durante o qual impera o método de acesso básico. Existe uma referência temporal que demarca o início de cada Supertrama. Essa referência pode ser alterada se o meio se encontrar ocupado com alguma transmissão remanescente da Supertrama precedente. Numa situação destas o começo da Supertrama será atrasado, tendo início logo que o meio fique livre.

O controlador da PCF está localizado no AP e cabe a este a gestão da Supertrama e o controlo do acesso ao meio no período reservado a tráfego sem contenda.

No método de acesso básico a responsabilidade de determinar quando é que uma dada estação poderá aceder ao meio é partilhada por todas as estações. No protocolo CSMA/CA a detecção de actividade, reportada pela camada física através do sinal CS (*Carrier Sense*), é complementada com um mecanismo de detecção de actividade virtual. Cada estação mantém uma estrutura, denominada NAV (*Network Allocation Vector*) que funciona como um temporizador indicando em cada instante o tempo remanescente de uma dada transacção. A forma como esta estrutura é actualizada e mantida baseia-se na informação de duração que é transportada por tramas especiais que são trocadas pelas estações emissora e receptora antes da transmissão da trama de dados. Numa transacção de dados entre duas estações, ilustrada na

figura 8, durante o período com contenda, estão envolvidas quatro tramas diferentes: RTS (*Request To Send*), CTS (*Clear To Send*), DATA (Dados) e ACK (*Acknowledgement*). Ao conjunto das quatro tramas dá-se o nome de MPDU (*MAC Protocol Data Unit*).

A troca das tramas RTS e CTS entre duas estações permite reservar o meio para que estas possam comunicar minimizando a ocorrência de colisões durante a transmissão da trama de dados. Ambas as tramas, RTS e CTS, contêm a duração da transacção do MPDU, com vista a minimizar os efeitos de estações escondidas. Assim, como ilustrado na figura 9, mesmo que uma estação não escute a trama RTS poderá ainda actualizar o seu NAV se escutar a trama CTS.

A troca de tramas RTS e CTS, embora reduzindo a probabilidade de ocorrência de colisão durante a transmissão da trama de dados, contribui para o aumento do *overhead* na rede. As estações podem ser configuradas para incluírem ou não as tramas RTS e CTS nos MPDUs. A inclusão ou não destas tramas no MPDU depende de diversos factores entre os quais o número de estações da rede e a probabilidade com que estas podem ficar escondidas, a velocidade de transmissão e o tráfego médio da rede.

Quando uma estação pretende transmitir só o poderá fazer após contabilizar um intervalo de tempo mínimo, o intervalo-entre-tramas (IFS, *InterFrame Space*), durante o qual o meio não registou actividade. O IEEE802.11 prevê três valores para o intervalo-entre-tramas: SIFS (*Short InterFrame Space*), PIFS (*Point coordination function InterFrame Space*) e DIFS (*Distributed coordination function InterFrame Space*). Estes valores permitem priorizar o acesso ao meio, definindo-se três tipos de prioridades distintos: (i) o SIFS é o menor valor que o intervalo-entre-tramas toma e é utilizado em respostas imediatas (tramas CTS e ACK) e na função de coordenação do acesso ao meio centralizada; (ii) o PIFS é utilizado pelo AP também durante o período da Supertrama reservado para acesso ao meio sem contenda; (iii) o DIFS é o maior valor que o intervalo-entre-tramas pode tomar e é utilizado pelo método de acesso básico para transmitir tramas assincronamente no período da Supertrama reservado a tráfego com contenda.

A tentativa de transmissão duma trama de dados pode

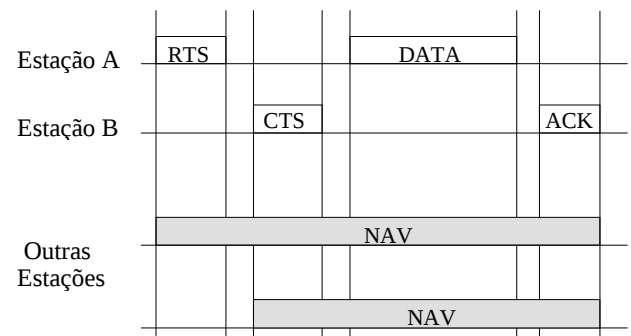


Figura 9 - Actualização da estrutura NAV, com RTS/CTS

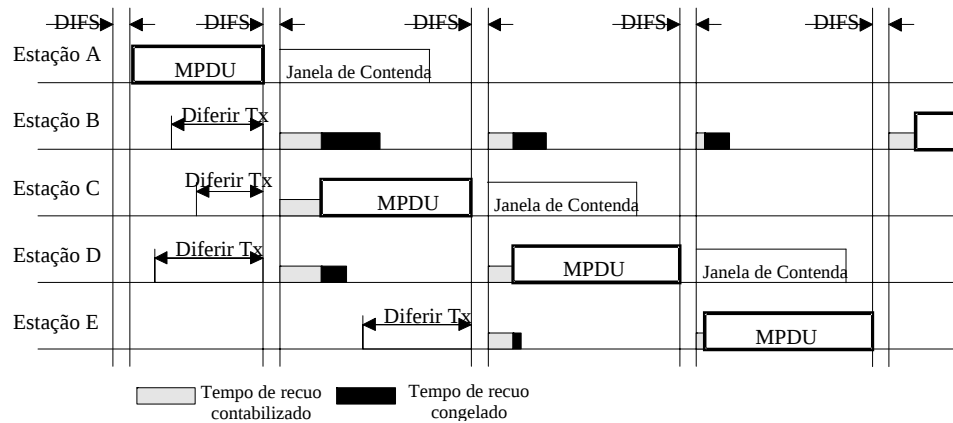


Figura 10 - Algoritmo de recuo

sair malograda se o meio se encontrar ocupado no instante em que a estação pretende iniciar a transacção ou se ocorrer uma colisão durante a transacção do MPDU. Ambas as situações implicam retransmissões posteriores e são resolvidas executando, previamente, um algoritmo denominado de recuo. Este algoritmo, ilustrado na figura 10, consiste basicamente no seguinte: a estação gera um valor aleatório que corresponderá ao intervalo de tempo que terá que esperar antes de aceder ao meio. A contagem desse intervalo de tempo processa-se enquanto o meio está livre. Se o meio ficar ocupado durante a contagem esta é desactivada temporariamente. A sua reactivação ocorrerá apenas quando o meio ficar novamente livre, por um período superior a DIFS. O tempo de recuo remanescente diminui à medida que o processo evolui. Isto significa que em principio as estações que estejam a executar o algoritmo de recuo à mais tempo terão maior probabilidade de aceder ao meio do que as que estejam à menos. O processo continua até que se esgote o tempo de recuo e a estação possa tentar novamente aceder ao meio.

V. IMPLEMENTAÇÃO DO PROTOCOLO IEEE802.11

Esta secção descreve a implementação de algumas funcionalidades da subcamada MAC, nomeadamente o método de acesso básico e a função de sincronismo. Uma descrição mais detalhada poderá ser encontrada em [18].

A implementação pode ser dividida em duas componentes distintas, mas complementares: componente *hardware* e componente *software*. A componente *hardware*, cujo diagrama de blocos é apresentado na figura 11, é constituída por três elementos principais: o controlador MAC, a *interface* MAC-PHY e a *interface* LLC-MAC [19].

O controlador MAC é responsável pelo controlo e gestão de todas as restantes entidades físicas da subcamada MAC e pela execução do *software*. A sua implementação é baseada no processador RISC ARM60. A *interface* MAC-PHY é o elemento de ligação entre a subcamada MAC e a camada física. Os principais componentes desta *interface* são as duas memórias de armazenamento temporário das

tramas transmitidas para a camada física e recebidas desta. A interface LLC-MAC é o elemento de ligação entre as subcamadas LLC e MAC. Tal como no caso da interface MAC-PHY, o principal elemento desta interface é uma memória de armazenamento temporário. Uma parte dessa memória é utilizada para armazenar as tramas provenientes da subcamada LLC e outra parte é utilizada para armazenar as tramas destinadas a essa subcamada.

A componente *hardware* constitui o suporte físico da componente *software*. Esta componente foi dividida em duas classes, de acordo com as suas funcionalidades. Uma das classes denominou-se *software* de implementação do protocolo de acesso ao meio. A outra classe denominou-se *software* de ligação, já que corresponde ao *software* que estabelece a ligação entre o *hardware* e o *software* do protocolo. Este *software* inclui as rotinas de serviço a interrupções e as de transferência de dados de e para as FIFOs.

A figura 12 ilustra as fases de desenvolvimento do *software* para implementação do método de acesso básico

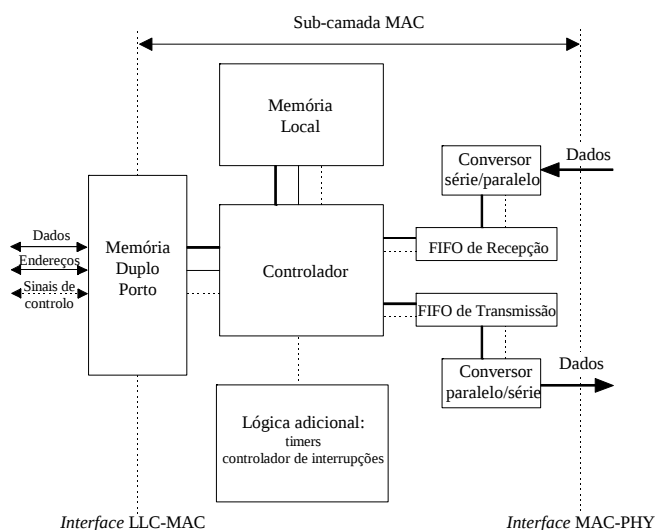


Figura 11 - Diagrama de blocos da componente hardware

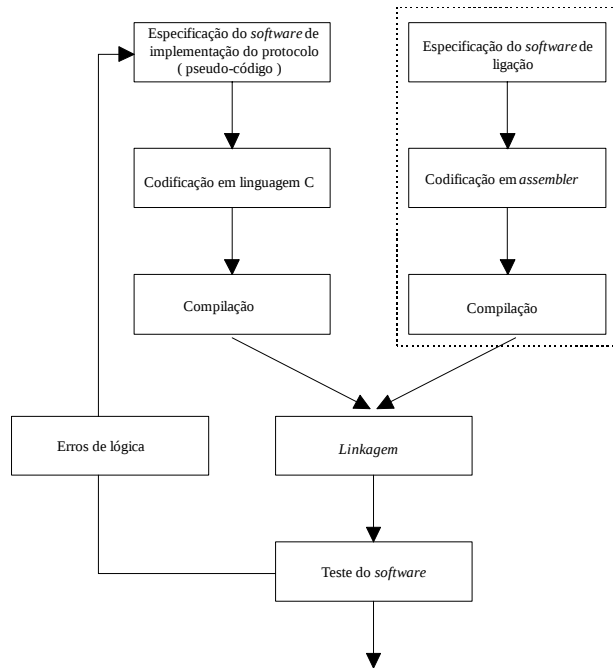


Figura 12 - Fases de desenvolvimento do software para implementação da subcamada MAC

IEEE802.11. Particular atenção será dada à fase de especificação na secção seguinte.

A. Especificação do software de implementação do protocolo

Nesta secção é descrita a especificação do *software* de um sistema concreto: a subcamada MAC de uma rede sem fios. O objectivo da especificação é a construção de um modelo que sirva de base à implementação do sistema. Existem algumas linguagens vocacionadas para a especificação formal de sistemas. Ao contrário de uma linguagem de programação uma linguagem de

especificação formal não se destina a correr directamente num computador, mas constitui um suporte conciso e não ambíguo para derivar a implementação de um sistema. Uma das linguagens de especificação mais conhecida é a linguagem SDL (*Specification and Description Language*). A linguagem SDL, desenvolvida e normalizada pelo CCITT [20], cobre diferentes níveis de abstracção, partindo de uma visão global até atingir um nível de detalhe que pode ser directamente traduzido para a implementação do sistema. Hoje em dia é utilizada principalmente no campo das telecomunicações, incluindo comunicações de dados, embora tenha uma área de aplicação mais vasta.

A especificação da subcamada MAC decorreu em duas etapas: na primeira construíram-se os diagramas de transição de estados, utilizando a sintaxe da linguagem gráfica SDL; na segunda traduziram-se os diagramas para uma linguagem formal estruturada (pseudo-código), com uma sintaxe próxima da linguagem Pascal, fazendo uso das suas definições para estruturas de dados e dos conceitos de instruções de controlo e selecção.

Os diagramas de transição de estados representam o comportamento dinâmico do controlador MAC, detalhando os passos relevantes que devem ser executados por este de acordo com cada estímulo possível. Foram identificados três processos: processo de recepção, processo de transmissão e processo de gestão. Os processos de transmissão e gestão aglutinaram-se num único dado serem processos que podem correr paralelamente, sem que isso dê origem a conflitos. À união dos dois processos chamámos processo principal. O processo principal tem teoricamente um tempo de vida infinito (só termina quando a estação é desligada) e está continuamente a correr. O processo de recepção, pelo contrário, tem um tempo de vida limitado. Além disso é autónomo e prioritário em relação ao processo principal pelo que poderá interrompê-lo em qualquer momento.

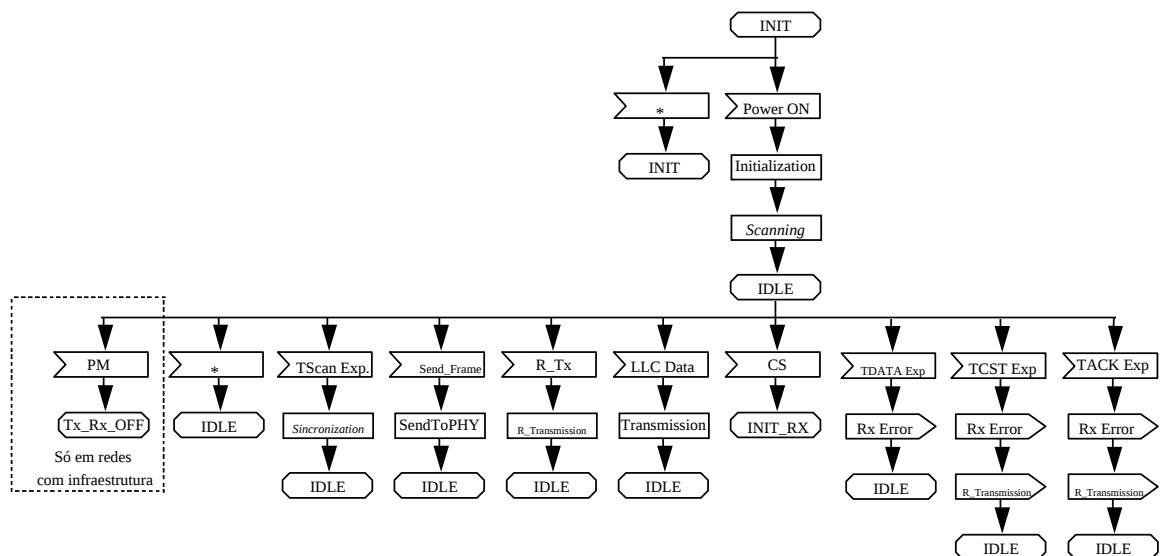


Figura 13 - Processo Principal

Quando isso acontece o controlador deixa de estar dedicado ao processo principal e executa o processo de recepção. O controlo é devolvido ao processo principal logo que o processo de recepção finalize.

A.1. Processo principal

O diagrama de transição de estados do processo principal é apresentado na figura 13. Neste processo existem dois estados: o estado INIT, o estado IDLE. E, deste processo pode transitar-se para o estado INIT_RX, pertencente ao processo recepção, e para o estado Tx_Rx_OFF no caso de se implementar a função de conservação do consumo de potência [18].

- estado INIT corresponde a um estado embrionário no qual a estação se encontra antes de ser ligada. O estímulo que provoca a transição deste estado é o fornecimento de energia. Ao sair do estado INIT a estação inicializa os seus parâmetros globais de funcionamento e executa o algoritmo de pesquisa (*scanning*) para se associar a uma determinada BSS. Finalizado o período de pesquisa a estação entra no estado IDLE. Neste estado a estação aguarda a ocorrência de uma das seguintes condições:
- sinalização de detecção de portadora pela camada física;
- sinalização de que estão disponíveis dados da subcamada LLC (LLC Data);
- sinalização de que existe uma retransmissão pendente (R_Tx);
- expiração de um dos temporizadores associados ao tempo de espera de resposta a uma determinada trama transmitida pela estação (TDATA, TCTS, TACK);
- sinalização de que existe uma trama para transmitir para a camada física (Send_Frame);
- sinalização de que deve iniciar o processo de sincronização temporal (TSCAN Exp);
- sinalização de que deve transitar para um modo de conservação de potência (PM);

Qualquer uma das situações anteriores implica uma acção por parte do processo. Em [18] é feita uma descrição detalhada do processamento para cada situação.

A.2. Processo de Recepção

O processo de Recepção é lançado, a partir do processo principal, sempre que se verifique actividade no meio. Este processo é prioritário em relação ao principal, o que significa que sempre que a camada física sinaliza a subcamada MAC, com um CS, o processo de Recepção é lançado e o processo principal é suspenso temporariamente. Quando termina a execução do processo Recepção o processo principal retoma a execução no local onde tinha sido interrompido.

A figura 14 ilustra o diagrama de transição de estados do processo Recepção. Este processo é lançado a partir do estado INIT_RX. Nesse estado a estação apenas foi sinalizada com um CS, mas ainda não iniciou a acção de recepção de dados, propriamente dita. Logo que a camada física disponibilize dados inicia-se a recepção. Atendendo ao tipo da trama recebida é executado o procedimento respectivo que consiste na validação da trama, no seu processamento e, eventualmente, na preparação da trama resposta. Em [18] é também feita uma descrição detalhada do processamento para cada situação.

VI. CONCLUSÃO

Neste artigo abordámos aspectos relacionados com as redes de área local sem fios, nomeadamente apresentámos as tecnologias de transmissão utilizadas e enumerámos as suas principais características; apresentámos os protocolos de acesso ao meio para redes de área local e concluímos da necessidade de utilização de um protocolo híbrido em redes sem fios. Descrevemos o método de acesso básico do protocolo IEEE802.11 e finalizámos com a descrição da implementação desse método de acesso.

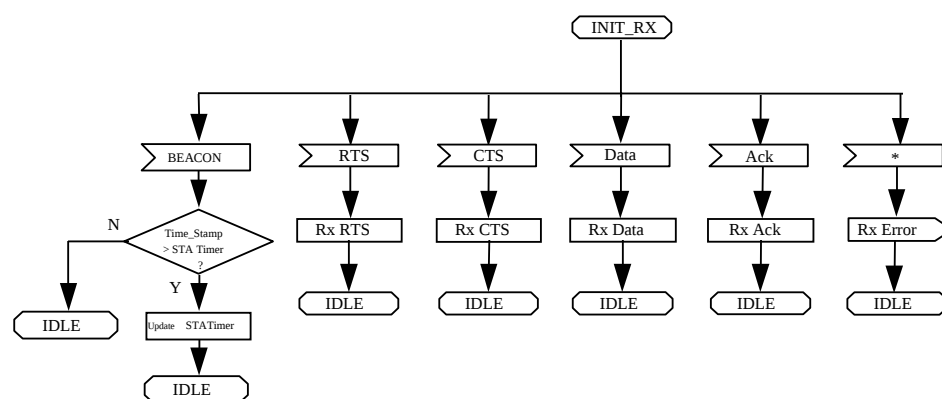


Figura 14 - Processo de recepção

REFERÊNCIAS

- [1] Pahlavan, K.; Probert, T.; Chase, M.: *Trends in Local Wireless Networks*, IEEE Communications Magazine, vol. 33, no. 3, Março 1995, pp. 88-95.
- [2] Hayes, V.: *Standardization Efforts for Wireless LANs*, IEEE Network Magazine, Novembro 1991, pp. 19-20.
- [3] Bantz, D.; Bauchot, F.: *Wireless LAN Design Alternatives*, IEEE Network, Março/Abril 1994, pp. 43-53.
- [4] Dixon, R.: *Spread Spectrum Systems with Commercial Applications*, John Wiley & Sons, 3ª edição, 1994.
- [5] Mitzlaff, J.: *Radio Propagation and Anti-multipath Techniques in the WIN Environment*, IEEE Network Magazine, Novembro 91, pp. 21-26.
- [6] Gfeller, F.; Bapst, U.: *Wireless In-House Data Communication via Diffuse Infrared Radiation*, Proceedings of the IEEE, Vol. 67, nº11, Novembro 1979, pp. 1474-1486.
- [7] Lomba, C.; Valadas, R.; Duarte, A.: *Safety Issues of the Baseband IR PHY*, doc. no. IEEE P802.11-94/174, Submission to Working Group IEEE802.11, Agosto 1994.
- [8] Gfeller, F.; Bernasconi, P.; Hirt, W.; Elisii, C.; Weiss, B.: *Dinamic Cell Planning for Wireless Infrared In-House Data Transmission*, Proceedings of the 1994 International Zurich Seminar on Digital Communications, 8-10 Março 1994.
- [9] Valadas, R.; Duarte, A.: *Sectorized Receivers for Indoor Wireless Optical Communication Systems*, Proceedings of the Fifth IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC'94, The Hague, The Netherlands, Setembro 1994.
- [10] Lomba, C.; Valadas, R.; Duarte, A.: *Propagation Losses and Impulse Response of the Indoor Optical Channel: A Simulation Package*, 1994 International Zurich Seminar on Digital Communications: Mobile Communications Advanced Systems and Components, Março 1994.
- [11] Hayes, V.: *Standardization Efforts for Wireless LANs*, IEEE Network Magazine, Novembro 1991, pp. 19-20.
- [12] Valadas, R.; Moreira, A.; Duarte, A.: *Hybrid (Wireless Infrared/Coaxial) Ethernet Local Area Networks*, IEEE Conference on Wireless LAN Implementation, Setembro 1992.
- [13] Bauchot, F.: *Wireless LAN Medium Access Control Protocol: 2nd update*, doc. no. IEEE P802.11-93/62, Submission to Working Group IEEE802.11, Maio 1993.
- [14] Project IEEE802.11: *Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications*, doc. no. P802.11/D2, Draft Standard IEEE802.11, Agosto 1995.
- [15] Rappaport, T.: *Wireless Communications: Principles and Practice*, Prentice Hall PTR, 1ª edição, 1996.
- [16] Tobagi, F.: *Multiaccess Protocols in Packet Communications Systems*, IEEE Transactions on Communications, vol. COM - 28, no. 4, Abril 1988, pp. 468-488.
- [17] Diepstraten, W.; Belanger, P.; Ennis, G.: *DFWMAC, Distributed Foundation Wireless Medium Access Control*, doc. no. IEEE P802.11-93/190, Submission to Working Group IEEE802.11, Novembro 1993.
- [18] Couto, P.: *Redes de Área Local sem Fios: Estudo e desenvolvimento da Subcamada MAC IEEE802.11*, Universidade de Aveiro, Abril de 1996.
- [19] Fontes, E.; Cabral, P.: *Especificação da camada MAC, Projecto Power*, Pluricom, Relatório interno, Janeiro 1994.
- [20] CCITT recommendation Z.100: *Specification and Description Language SDL*, Blue Book, Vol. X.1 - X.5, 1988.