
Wireless LANs

IEEE 802.11 e 802.11e

FEUP/DEEC
Redes de Banda Larga
MIEEC – 2009/10
José Ruela

IEEE 802.11

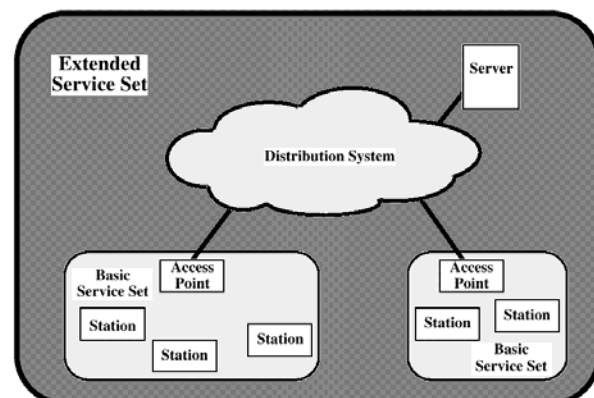
- IEEE 802.11 – *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications* – é uma família de *standards* relacionados que incluem funções das camadas Física e MAC
- Principais opções ao nível físico
 - 802.11a – *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)* na banda de 5 GHz, débitos binários até 54 Mbit/s
 - 802.11b – *Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)* na banda de 2.4 GHz, débitos binários até 11 Mbit/s
 - 802.11g – estende 802.11b com débitos binários até 54 Mbit/s
- Extensões da camada MAC
 - 802.11e – *Medium Access Control (MAC) QoS Enhancement*
 - 802.11i – *Medium Access Control (MAC) Enhanced Security*
 - 802.11n – *Enhancements for Higher Throughput*
 - 802.11s – *Mesh Networking*
 - 802.11p – *Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)*

Camada MAC

- Providencia funções de controlo de acesso ao meio – coordenação de acessos, endereçamento, protecção contra erros, segurança
- 802.11 define dois modos de configuração básicos
 - *Infrastructure* – as estações comunicam através dum ponto de acesso central (AP – *Access Point*), tipicamente ligado a uma rede cablada
 - *Ad-hoc* – as estações comunicam directamente entre si, sem recurso a um AP
- Grupos de estações coordenadas por funções MAC
 - *Basic Service Set* (BSS) no modo *infrastructure*
 - *Independent Basic Service Set* (IBSS) no modo *ad-hoc*
- A norma 802.11 original define duas funções de coordenação MAC
 - *Distributed Coordination Function* (DCF) – obrigatória
 - *Point Coordination Function* (PCF) – opcional

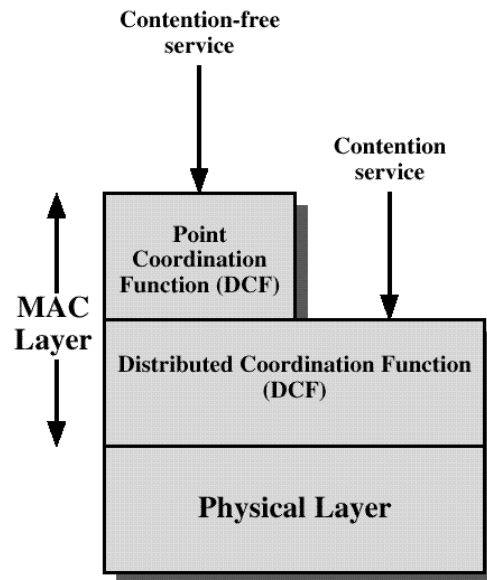
Basic Service Set e Extended Service Set

- BSS – *Basic Service Set* (célula)
 - Conjunto de estações que usam o mesmo protocolo MAC
 - As estações competem pelo meio de transmissão
 - Interligação
 - Célula isolada
 - Ligação através de *Access Point* (*bridging*)
- ESS – *Extended Service Set*
 - Ligação de 2 ou mais BSS
 - LLC vê uma única LAN lógica



Controlo de Acesso ao Meio

- DCF – *Distributed Coordination Function*
 - CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*)
 - Sem detecção de colisões (não viável)
 - Obrigatório
 - Usado nos modos *infrastructure* e *ad-hoc*
- PCF – *Point Coordination Function*
 - *Polling* centralizado
 - Acesso sem contenção
 - Usa serviços DCF
 - Opcional
 - Usado apenas no modo *infrastructure*



Distributed Coordination Function e CSMA/CA

- Em LANs sem fios (WLANs) não é possível usar o protocolo CSMA/CD
 - É difícil detectar colisões numa interface rádio, devido a diferenças significativas de potência dos sinais transmitidos e recebidos, perdendo-se assim as vantagens de abortar uma transmissão (possível quando a detecção de colisões é viável)
 - A monitorização do meio durante a transmissão aumentaria a complexidade (e portanto o custo) do sistema
 - Existe o problema do “terminal escondido” (*hidden terminal*)
- É necessário usar ACKs para lidar com colisões (como em CSMA), devendo retransmitir-se tramas não confirmadas
 - As retransmissões degradam seriamente o desempenho e portanto mecanismos que reduzam a probabilidade de colisões são essenciais em WLANs
- Estas razões levaram à adopção em WLANs de um protocolo de acesso do tipo *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* (CSMA/CA)
- Em IEEE 802.11, CSMA/CA é usado pela *Distributed Coordination Function* (DCF), que suporta transferência assíncrona de dados num modo *best-effort* como método básico de acesso
- Uma *Point Coordination Function* (PCF) opcional providencia acesso sem conflitos, por meio de *polling*

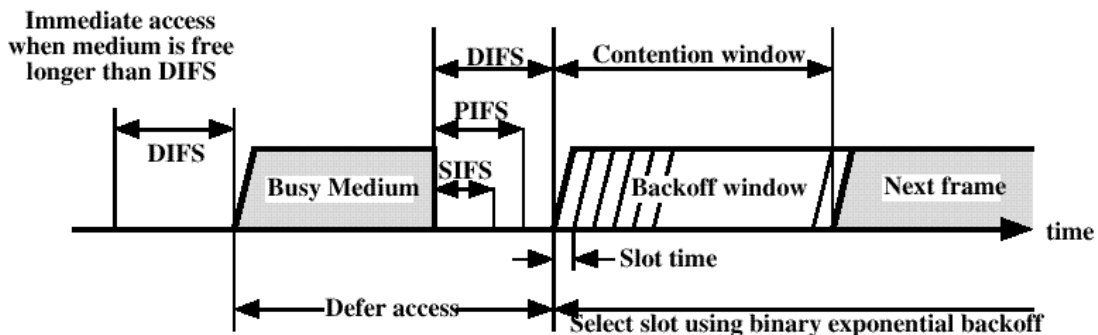
CSMA with Collision Avoidance (CSMA/CA)

- O protocolo CSMA/CA, usado pela *Distributed Coordination Function* nas redes IEEE 802.11, baseia-se na escuta do meio antes da transmissão e num mecanismo de deferência do tipo *binary exponential back-off*
- No caso de o meio estar livre, a estação espera durante um intervalo de tempo *Interframe Space* (IFS) e inicia a transmissão se o meio continuar livre
- Se o meio estiver ocupado (ou tiver ficado ocupado durante o intervalo de espera IFS)
 - A estação espera até que o meio fique livre
 - De seguida espera durante IFS e activa um *contention timer* que é iniciado com um valor escolhido aleatoriamente na gama $[1, CW]$, em que $CW = 2^k - 1$ é um valor de uma janela de contenção (é definido um valor mínimo de k para a primeira tentativa de transmissão de uma trama)
 - Quando o temporizador (*contention timer*) expirar, a estação envia a trama e espera uma confirmação (ACK)
 - Se uma outra transmissão se iniciar antes do *contention timer* expirar, este é inibido até ao fim dessa transmissão e de seguida reactivado
 - Se não for recebida qualquer confirmação, assume-se que a trama se perdeu e é feita uma nova tentativa, após se aumentar k de uma unidade (até se atingir um valor máximo)

CSMA/CA – Interframe Space

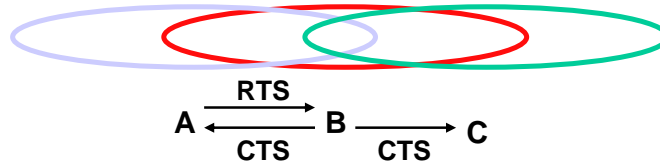
Interframe Space (IFS)

- SIFS (*Short IFS*) – usado por tramas de alta prioridade (e.g., ACK, CTS, respostas a *polling*, etc.)
- PIFS (*PCF IFS*) – usado pelo *master* para fazer *polling* (PCF)
- DIFS (*DCF IFS*) – usado em acessos assíncronos (contenção)



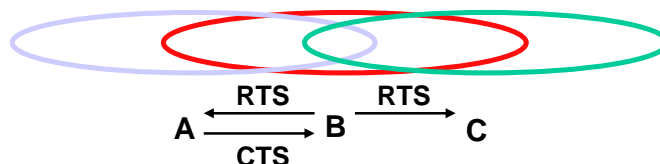
Terminal escondido

- O problema é ilustrado com três terminais
 - A e C não se encontram ao alcance um do outro, pelo que não se conseguem escutar mutuamente, mas estão ambos ao alcance de B
 - Caso A e C transmitam para B, ocorrerá uma colisão
 - O terminal A está “escondido” (em relação a C), se estiver ao alcance rádio do receptor (neste caso B) mas não de outro emissor (neste caso C), o mesmo se passando com C em relação a A
- O problema é parcialmente resolvido com recurso a tramas de controlo RTS (*Request to Send*) e CTS (*Clear to Send*), sendo este mecanismo opcional
 - O emissor (A) e o receptor (B) trocam tramas RTS e CTS antes de A transmitir a trama de dados (podem naturalmente ocorrer colisões durante este processo)
 - Ao escutar a trama CTS enviada por B, C não iniciará uma transmissão (a menos que já o tenha feito)



Terminal exposto

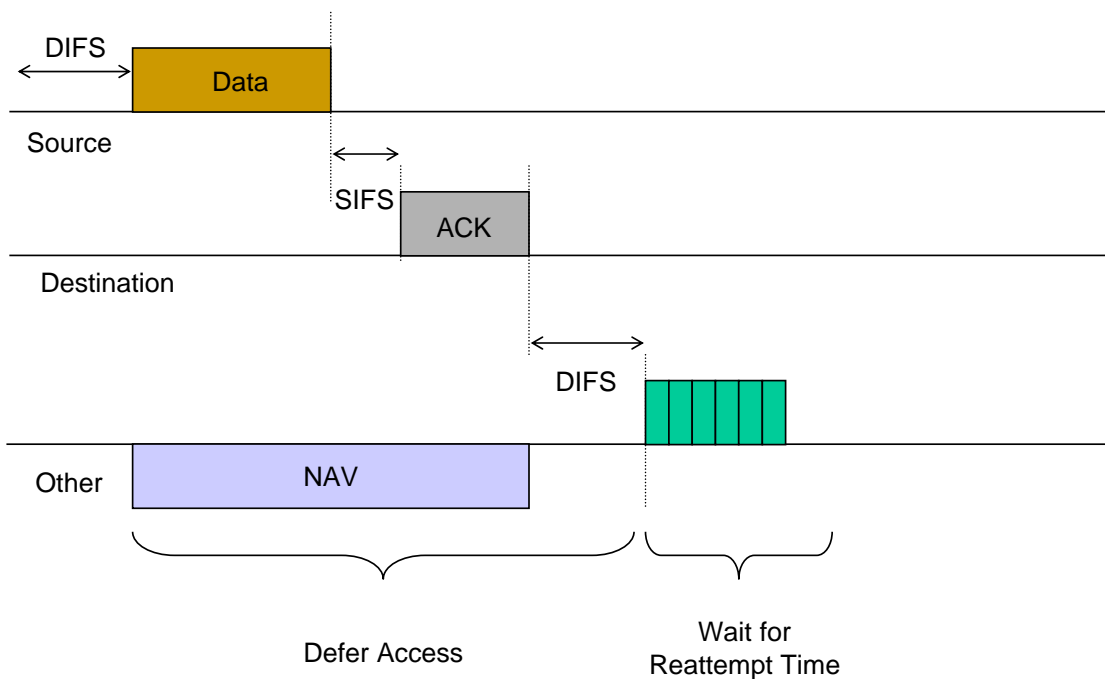
- Um terminal está “exposto” se estiver ao alcance rádio de outro emissor mas não do receptor que estiver a receber desse emissor
- Considerando os três terminais anteriores, C está “exposto” em relação a B, no caso de B estar a transmitir para A
 - C poderia transmitir para outro terminal (que estivesse ao seu alcance rádio) mas não o faz por ter escutado a transmissão de B
- O problema pode ser parcialmente resolvido com recurso a tramas RTS e CTS (se os nós estiverem sincronizados)
 - Neste caso C escuta a trama RTS, mas não a respectiva resposta CTS, concluindo assim que está “exposto” em relação a B



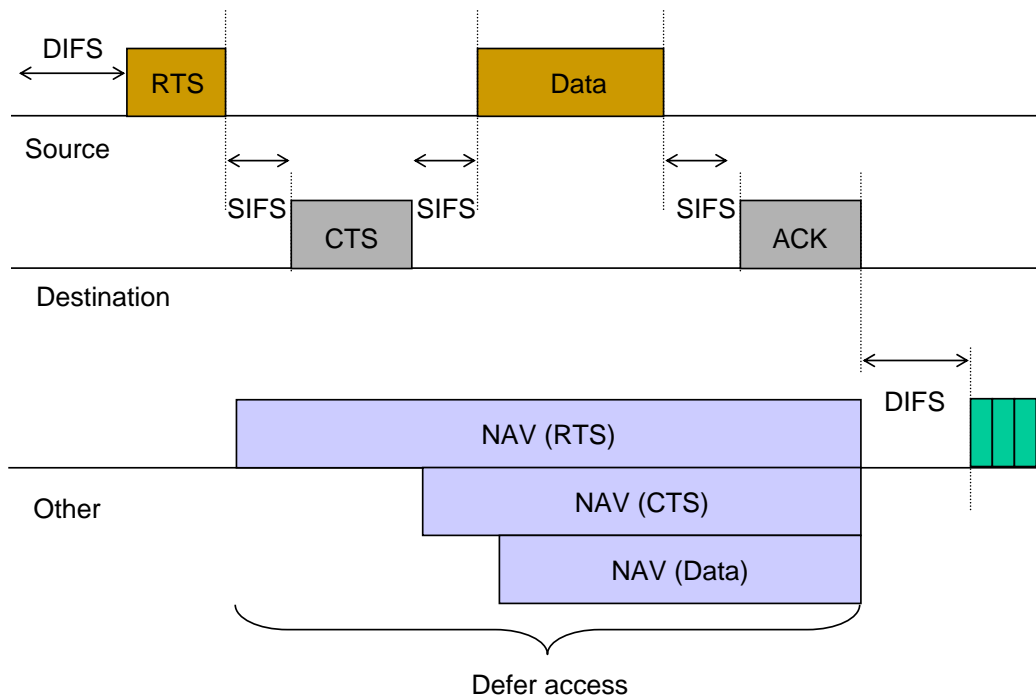
Monitorização em 802.11

- Monitorização física (*Physical Carrier Sensing*)
 - É o mecanismo básico usado pelo CSMA/CA
 - Este processo analisa todas as tramas detectadas
 - É monitorizado o nível relativo de potência das outras estações emissoras
- Monitorização virtual (*Virtual Carrier Sensing*) na camada MAC
 - A estação emissora informa as outras estações da duração da transmissão (em μ s) da trama de dados que pretende transmitir
 - A duração é transportada no campo *Duration* de tramas de controlo RTS (*Request to Send*) e CTS (*Clear to Send*), e também em tramas de dados
 - Com base nessa informação, as estações ajustam um *Network Allocation Vector* (NAV) para indicar em que momento o canal ficará livre após se completar a transmissão anunciada (e respectiva confirmação)
- O canal é considerado ocupado (*busy*) se esse for o estado determinado por qualquer dos processos de monitorização (física ou virtual)

Transmissão sem RTS / CTS



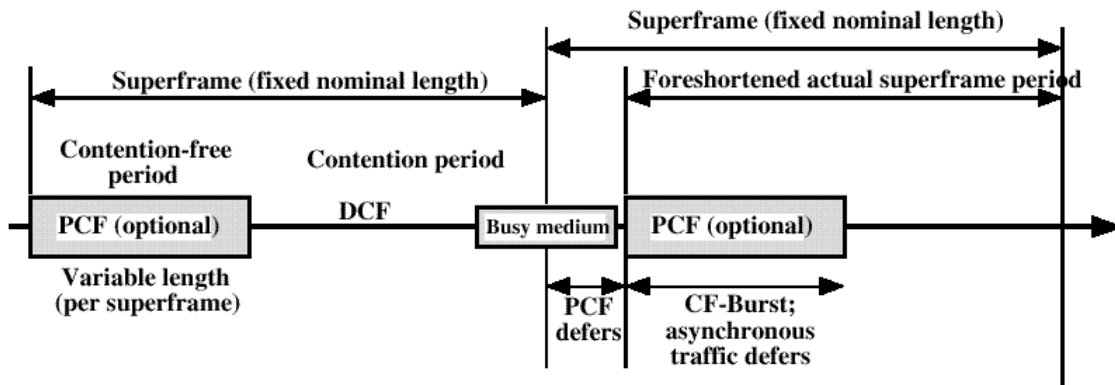
Transmissão com RTS / CTS



Point Coordination Function (PCF)

- PCF providencia um serviço de acesso sem contenção (livre de colisões), do tipo *polling* e com suporte de prioridades
 - O *polling* é centralizado, funcionando o AP como ponto de coordenação (PC – *Point Coordinator*)
 - O tempo no canal de acesso é dividido em intervalos periódicos (*beacon intervals*), compostos por períodos sem contenção e períodos com contenção – *contention-free period* (CFP) e *contention period* (CP)
 - Cada intervalo de repetição (super trama) começa com uma trama *beacon*
 - Durante um período CPF as estações não competem pelo meio, apenas transmitindo quando recebem *polling* do AP (serviço síncrono)
- PCF é opcional e apenas pode ser usado no modo *infrastructure*

Períodos com e sem contenção (CP e CFP)



Necessidade de QoS em IEEE 802.11

- Limitações genéricas devidas a ligações sem fios
 - As características da transmissão variam com o tempo e a localização das estações
 - O débito do canal físico pode variar para se adaptar às condições da ligação (IEEE 802.11 suporta multi-débito)
 - Taxas elevadas de erros, que podem afectar múltiplas tramas (*burst* de tramas afectadas)
 - Elevada latência e *jitter*
- Limitações específicas de DCF e PCF (a analisar)
- Necessidade de melhorar o suporte de QoS em IEEE 802.11
 - Mecanismos normalizados em IEEE 802.11e
 - Esquemas que exploram os mecanismos disponíveis em IEEE 802.11e

DCF – limitações

- DCF não suporta quaisquer garantias de QoS (serviço *best-effort*)
 - Não adequado para aplicações com requisitos de atraso majorado
- Todas as estações competem pelo canal com a mesma prioridade
 - Não há qualquer mecanismo para diferenciar aplicações de alta prioridade
 - Com carga elevada na rede, a taxa de colisões aumenta e o débito útil diminui
- Não está especificado qualquer mecanismo de controlo de admissão na camada MAC 802.11

PCF – limitações

- *Polling* centralizado tem um *overhead* intrínseco e desperdiça recursos
 - Todas as comunicações no mesmo BSS têm de realizar-se através do AP
- Baseado num algoritmo de escalonamento do tipo *round-robin* num único nível de prioridade
 - Não adequado para suportar requisitos de QoS de diferentes classe de tráfego
- Não dá garantias de atraso e *jitter* às estações na lista de *polling*
 - As tramas *beacon* podem sofrer atrasos – o AP tem de competir pelo canal e esperar que termine uma transmissão DCF
 - Não controla de forma apertada (não prevê) o instante em que uma estação autorizada por *polling* inicia a respectiva transmissão
 - O tempo de transmissão de uma estação depende do tamanho da trama
 - O débito instantâneo de uma estação pode variar devido às condições variáveis do canal

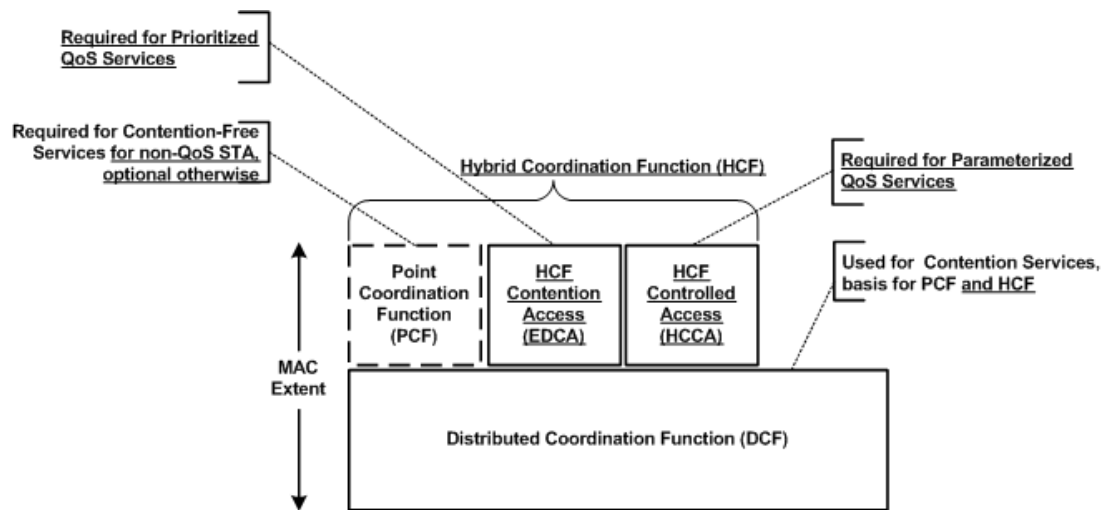
Estratégias de suporte a QoS em 802.11

- Possíveis estratégias de suporte a QoS em IEEE 802.11 poderiam classificar-se em três categorias, de acordo com várias propostas descritas na literatura
 - Diferenciação de serviços
 - Controlo de admissão e reserva de largura de banda
 - Adaptação da ligação (ao estado do canal)
- 802.11e baseia-se na primeira alternativa, mas não exclui as outras
 - O suporte de QoS introduzido em 802.11e baseia-se no conceito de diferenciação de serviços
 - Não está definido qualquer mecanismo de controlo de admissão, mas esquemas deste tipo podem tirar partido de 802.11e
 - A adaptação da ligação à variação dinâmica das condições do canal, com o objectivo de maximizar o débito, é possível com base na capacidade multi-débito do 802.11, mas não foram especificados para o efeito quaisquer mecanismos de adaptação de velocidade e de sinalização

IEEE 802.11e – suporte de QoS

- A diferenciação na camada MAC pode conseguir-se modificando os parâmetros que definem como uma estação ou classe de tráfego acede ao meio
 - Diferenciação a nível de estação
 - Diferenciação interna a uma estação (filas com múltiplas prioridades)
- 802.11e baseia-se em filas com múltiplas prioridades por estação e acrescenta funcionalidade a DCF e PCF, que operam sob controlo duma única função de coordenação híbrida (HCF – *Hybrid Coordination Function*)
 - HCF combina dois métodos que operam de forma concorrente
 - *Enhanced Distributed Channel Access* (EDCA) baseado em contenção
 - *HCF Controlled Channel Access* (HCCA) baseado em *polling*
 - Foi introduzido o conceito de oportunidade de transmissão (TXOP)
 - TXOP é definido por um tempo de início e uma duração máxima

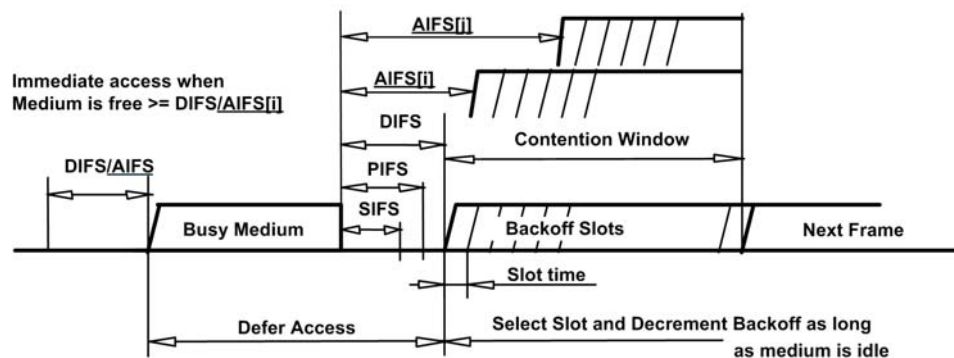
HCF – Hybrid Coordination Function



Enhanced Distributed Channel Access (EDCA)

- EDCA melhora o mecanismo básico DCF (contenção)
 - EDCA introduz 4 filas do tipo FIFO, designadas *Access Categories* (AC)
 - Cada pacote da camada superior, com um valor de prioridade atribuído, é mapeado na AC adequada
 - Cada AC comporta-se como um DCF independente, com os seus parâmetros de contenção
 - Janelas de contenção mínima e máxima
 - AIFS (*Arbitration inter-frame space*)
 - Limite de TXOP
 - EDCA apenas providencia garantias relativas entre as ACs
- Podem ser definidos mecanismos de Controlo de Admissão para operarem com (tirarem partido de) EDCA

EDCA – prioridades dos canais de acesso



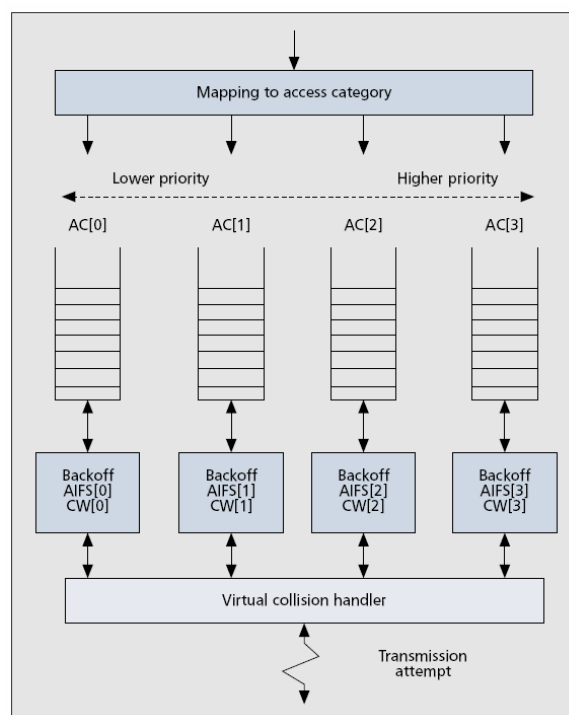
SIFS *Short Interframe Space*

PIFS *PCF Interframe Space*

DIFS *DCF interframe space*

AIFS *Arbitration Interframe Space* (usado por EDCA)

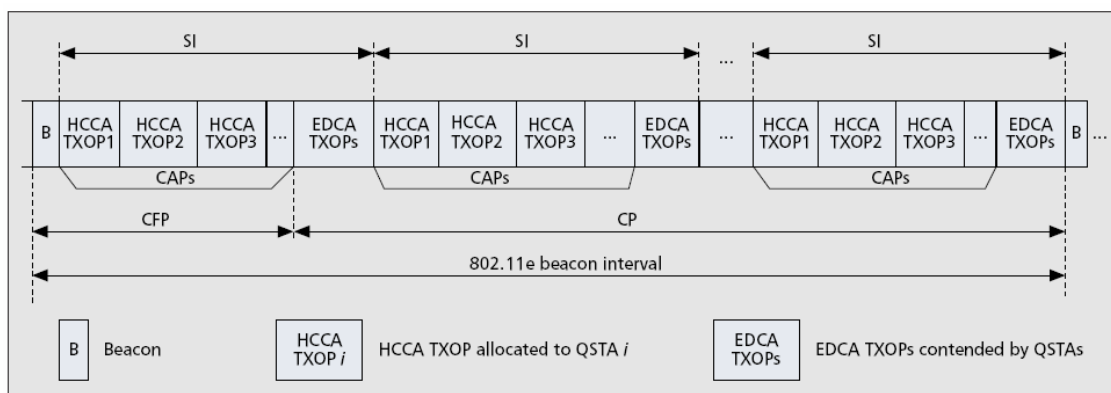
Categorias de acesso (AC)



HCF Controlled Channel Access (HCCA)

- HCCA melhora o mecanismo PCF (*polling*)
 - Usa um coordenador híbrido (HC – *Hybrid Coordinator*) sensível a QoS (*QoS-aware*), tipicamente localizado no QoS AP
 - HC atribui TXOPs a estações com QoS (QSTA – *QoS Station*)
 - HC pode realizar *polling* nos períodos de contenção (ao contrário de PCF)
 - Uma QSTA envia pedidos de reserva indicados num TSPEC, que pode incluir
 - Débito mínimo / médio / máximo
 - Atraso máximo (*delay bound*)
 - Intervalo de serviço (RSI – *Required Service Interval*) máximo / mínimo
 - Tamanho nominal / máximo de MSDU (*MAC Service Data Unit*)
 - Débito físico mínimo
 - HC tem em conta os requisitos específico de fluxos de QSTAs quando escalona a lista de *polling*
 - TXOPs são atribuídos a QSTAs e cada estação deve distribuir esse tempo pelos seus fluxos individuais
- Mecanismos de Controlo de Admissão podem igualmente ser definidos para operar com HCCA

Exemplo de escalonamento HCF



CFP – Contention-free period

CP – Contention period

CAP – Controlled access phase

SI (*service interval*)

- Intervalo de tempo entre ciclos consecutivos de *polling*
- O AP (HCF) selecciona o valor de SI, com base nos requisitos dos nós (expressos no TSPEC), de forma a satisfazer os requisitos mais exigentes
- O valor de SI seleccionado é um submúltiplo do intervalo entre *beacons*