

Formato do Quadro 802.15.4

No padrão 802.15.4, a estrutura geral da PDU do nível MAC (MPDU) foi projetada para ser flexível o bastante para acomodar as necessidades de diferentes aplicações e topologias de rede e, ao mesmo tempo, permitir a definição de um protocolo de nível MAC relativamente simples.

O formato genérico de um quadro MAC (MPDU) e o seu encapsulamento na camada física são mostrados, respectivamente, nas Figuras 12 e 13. Como se vê, o MPDU é composto por um cabeçalho (*MHR – MAC Header*), por uma Unidade de Serviço de Dados (*MSDU – MAC Service Data Unit*) também referenciada de *MAC Payload*, e por um rodapé (*MFR – MAC Footer*).

Octets: 2	1	0/2	0/2/8	0/2	0/2/8	0/5/6/10/14	variable	2
Frame Control	Sequence Number	Destination PAN Identifier	Destination Address	Source PAN Identifier	Source Address	Auxiliary Security Header	Frame Payload	FCS
Addressing fields								
MHR							MAC Payload	MFR

Figura 12 – Formato Genérico de uma MAC PDU

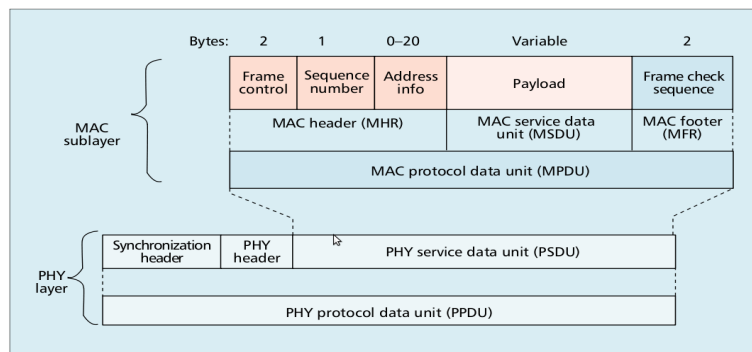


Figura 13 – Encapsulamento de uma MAC PDU na Camada Física

O cabeçalho contém informações sobre o tipo de quadro (a norma define quatro diferentes tipos de quadro, todos eles baseados no formato genérico), o número de sequência (que varia de acordo com o tipo de pacote enviado), as identificações de endereços (da rede PAN destinatária e remetente, e o endereço do dispositivo destinatário e remetente) e um campo que informa as opções de segurança utilizadas no quadro. O *payload* contém os dados provindos da camada acima e o rodapé (MFR) contém a sequência de verificação de erros do quadro.

O primeiro campo do cabeçalho é o campo de controle de quadro (*Frame Control*). Este campo indica o tipo de quadro MAC sendo transmitido, define o formato do campo de endereço, e controla o reconhecimento (*acknowledgment*) de quadros. Em suma, o campo de controle determina como é o restante do frame e o que ele contém.

O tamanho do campo de endereço pode variar entre 0 e 20 bytes. Por exemplo, um quadro de dados pode conter a informação de endereço fonte e de destino, enquanto que um quadro de *acknowledgment* não contém qualquer informação de endereço. Por outro lado, um quadro *beacon* pode conter apenas informação de endereço de origem. Além disso, endereços curtos ou endereços

IEEE de 64 bits podem ser usados. Esta flexibilidade exibida pelo formato do quadro MAC ajuda a aumentar a eficiência do protocolo, mantendo os pacotes curtos.

O cabeçalho MAC também trata das opções auxiliares de segurança usadas na transmissão do quadro. Para tanto é utilizado o padrão de criptografia avançado (AES), que descreve rotinas de segurança utilizando chaves com comprimento de 128, 192 ou 256 bits.

O campo de *payload* possui tamanho variável; entretanto, observa-se que o tamanho total de quadro MAC não pode exceder 127 bytes de comprimento. Os dados contidos no campo de *payload* são dependentes do tipo de quadro.

Outros campos do quadro MAC são o número de seqüência e a seqüência de verificação de quadro (*FCS - Frame Sequence Check*). Numa rede 802.15.4 uma transação só é considerada um sucesso quando o quadro de reconhecimento (*ack*) contém o mesmo número de seqüência do quadro recebido previamente. O FCS ajuda a verificar a integridade do quadro MAC. O FCS é implementado como uma verificação de redundância cíclica (*CRC - Cyclic Redundancy Check*) de 16-bit padronizado pelo do ITU-T.

Campo: *Frame Control*

O campo de controle do cabeçalho MAC possui o seguinte conteúdo:

Bits: 0-2	3	4	5	6	7-9	10-11	12-13	14-15
Frame Type	Security Enabled	Frame Pending	AR	PAN ID Compression	Reserved	Dest. Addressing Mode	Frame Version	Source Addressing Mode

Figura 14 – Formato do Campo *Frame Control*

Frame Type

Apresenta os seguintes valores (a faixa entre 100 a 111 é considerada “*Reserved*”).:

000 – *Beacon* 001 – *Data* 010 – *Ack* 011 – *Command*

Security Enabled

Deve ter valor 1 se está protegido pelo MAC. Neste caso, o campo *Auxiliary Security Header* deve estar presente. Se 0, não há proteção no nível MAC.

Frame Pending

Deve ter o valor 1 se o dispositivo que está enviando o quadro tem mais dados para o receptor e zero caso contrário. Este campo só deve ser usado em quadros *beacon* ou em quadros transmitidos durante o CAP numa rede *beacon-enabled*, ou então a qualquer momento por dispositivos operando numa rede *nonbeacon-enabled*. Em todas as outras situações ele deve ter o valor 0 na transmissão e ignorado na recepção.

Acknowledgment Request (AR)

Especifica se um *acknowledgment* é requerido do receptor na recepção de um quadro de dados ou de comando. Se igual a 1 o receptor deve enviar o *ack*, mas somente se as condições estabelecidas para envio forem cumpridas (ex: o número de seqüência incluído nos dados recebidos ou no comando MAC deve ser copiado para o campo de número de seqüência do quadro reconhecido).

Isso garante ao originador da transação saber que ele recebeu o a *acknowledgment* apropriado).

PAN ID Compression

Se igual a 1 e os endereços de origem e destino estão incluídos no quadro, indica que deve ser assumido que o campo *Source PAN Identifier* omitido do cabeçalho deve ser considerado igual ao campo *Destination PAN Identifier*.

Destination Addressing Mode e Source Addressing Mode

Podem assumir os seguintes valores (Figura 15):

Addressing mode value $b_1 b_0$	Description
00	PAN identifier and address fields are not present.
01	Reserved.
10	Address field contains a short address (16 bit).
11	Address field contains an extended address (64 bit).

Figura 15 – Valores possíveis de Destination Addressing Mode e Source Addressing Mode

Frame Version

Especifica o número da versão do *frame*. O valor 0 indica compatibilidade com o padrão IEEE Std 802.15.4-2003.

Campo: Sequence Number

Especifica a sequência de identificação do quadro. Para quadros *beacon*, especifica um BSN. Para quadros do tipo *data*, *acknowledgment* ou *command*, o número de sequência DSN é usado para fazer o casamento (“match”) de um quadro de *acknowledgment* com um quadro de dados ou um quadro de comando.

Campo: Destination PAN Identifier

Quando presente, especifica o identificador único da PAN do receptor do quadro. Um valor de 0xFFFF representa o identificador de *broadcast* de PAN, que deve ser aceito como um identificador de PAN válido por todos os dispositivos correntemente ouvindo naquele canal.

Campo: Destination Address

Quando presente, define o endereço do receptor. Um valor de 0xFFFF representa o endereço curto de *broadcast*, que deve ser aceito como um endereço válido por todos os dispositivos correntemente ouvindo naquele canal.

Campo: Source PAN Identifier

Quando presente, especifica o identificador único da PAN do dispositivo transmissor do quadro. Este campo deve ser incluído no quadro apenas se o campo *Source Addressing Mode* é diferente de zero. O identificador da PAN de um dispositivo é inicialmente determinado durante o processo de associação do dispositivo à PAN mas pode mudar em decorrência de uma resolução de um conflito de identificadores de PAN.

Campo: Source Address

Quando presente, especifica o endereço do dispositivo transmissor do quadro.

Campo: Auxiliary Security Header

Especifica informação requerida para o processamento de segurança. O campo deve estar presente

somente se o bit “*Security Enabled*” do campo de controle do cabeçalho estiver ligado.

Campo: *Frame Payload*

Contém informação específica do tipo de quadro. Se o bit “*Security Enabled*” cabeçalho estiver ligado o *payload* pode estar protegido por criptografia.

Campo: *FSC Frame*

Contém o resultado da aplicação do CRC de 16 bits do ITU-T sobre o cabeçalho e o *payload*.

Tipos de Quadro MAC

Como mencionado, o nível MAC define quatro tipos diferentes de quadros (*frames*). São eles:

- *Beacon frame*: usado pelo coordenador para transmitir *beacons*;
- *Data frame*: usado em todas as transferências de dados;
- *Acknowledgment frame*: usado para confirmar o sucesso na recepção de um quadro;
- *Command frame*: usado para controlar as transferências entre entidades MAC parceiras.

Apenas os quadros de dados e os quadros *beacon* contém informações enviadas pelas camadas superiores; os quadros de reconhecimento e quadros de comandos MAC são quadros originados no próprio MAC e são usados para comunicação *peer-to-peer* (subcamadas MAC parceiras).

O Quadro de Sinalização (*Beacon Frame*)

Quadros *beacon* se originam de dentro da camada MAC, a partir do nó coordenador, numa rede *beacon-enabled*. O *beacon* é sempre transmitido no início do *slot 0* do superframe, sem fazer o uso de *CSMA*.

A Figura 16 a ilustra o formato do quadro *beacon*.

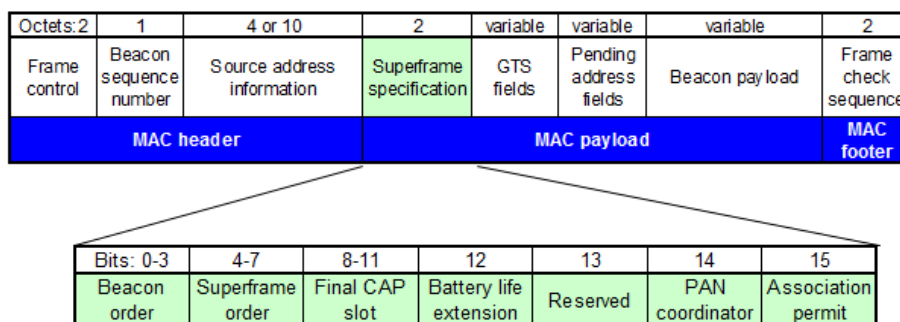


Figura 16 – Formato do Quadro Beacon

O quadro *beacon* carrega várias informações importantes sobre a rede. Ele especifica, dentre outras coisas: a estrutura do superframe, a identificação do coordenador da PAN, informações sobre os campos GTS, quem tem dados pendentes no coordenador e se o coordenador está aceitando novos dispositivos, por exemplo.

Campo: *Superframe Specification*

Este campo, mostrado na Figura 16, define os principais parâmetros relacionados ao formato (tamanho) da estrutura do superframe: (i) *Beacon Order (BO)*, que especifica o intervalo de

transmissão entre *beacons*; (ii) *Superframe Order (SO)*, que define o tamanho da parte ativa do superframe (isto é, estado de *receiver* habilitado), (iii) *Final CAP Slot*, que define qual é o slot final usado no CAP. A duração do CAP deve ser maior ou igual ao valor especificado pelo parâmetro *aMinCAPLength*.

Além desses três campos, são ainda definidos três outros campos importantes. Um deles é o *BatteryLifeExtension*, que está relacionado à conservação da bateria. Se esse campo é assinalado como TRUE, todas as transações *contention-based* tem que começar dentro de um tempo igual a *macBattLifeExtPeriods* períodos de *backoff* (valor *default* 6) após o *inter-frame space* (IFS) do quadro de *beacon*. O IFS é um tempo necessário para a camada MAC processar o pacote recebido da camada física. Todo frame deve ser seguido de um período de IFS, cujo tamanho depende do tamanho do quadro transmitido.

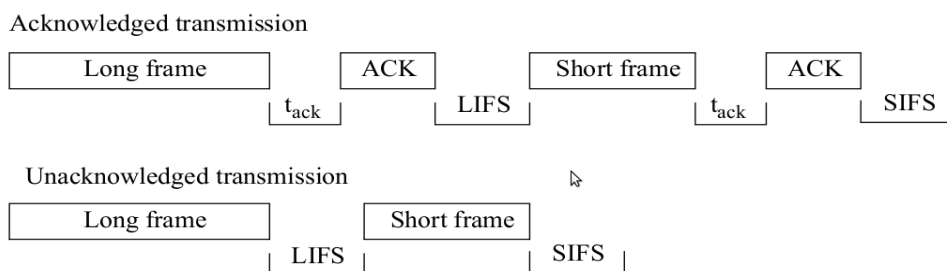


Figura 17 – IFS – Inter-Frame Space

O campo *PAN Coordinator* informa quem está transmitindo o *beacon*: se o coordenador da PAN (valor igual a 1) ou não (valor igual a 0). Por último, o campo *Association Permit* define se o coordenador da PAN está atualmente aceitando novos pedidos de associação. É igual a 1 se o parâmetro *macAssociationPermit* é colocado em TRUE, significando que novas associações estão sendo aceitas.

Campo: *GTS*

O *GTS* é um campo de tamanho variável dentro do superframe e possui o seguinte formato:

Octets: 1	0/1	variable
GTS Specification	GTS Directions	GTS List

Figura 18 – Formato do Campo GTS

GTS Specification

O campo *GTS Specification* é formatado como na Figura 19. O campo *GTS Descriptor Count* define o número de *GTS Descriptors* existentes na *GTS List*. Se esse valor é igual a zero, os campos *GTS Directions* e *GTS List* do quadro *beacon* não existem. O campo *GTS Permit* indica se o coordenador da PAN está aceitando pedidos de GTS. É igual a 1 se o parâmetro *macGTSPermit* é TRUE; do contrário deve ser igual a 0.

Bits: 0–2	3–6	7
GTS Descriptor Count	Reserved	GTS Permit

Figura 19 – Formato do Campo GTS Specification

GTS Directions

É formatado como mostrado na Figura 20. *GTS Directions Mask* é uma máscara que diz a direção de cada GTS no superframe, conforme definido pela *GTS List*. Cada bit da máscara deve ser colocado em 1 se o GTS é “*receiver-only*” ou em 0 se ele é “*transmit-only*”. A direção do GTS é definida relativamente à direção da transmissão do quadro de dados pelo dispositivo.

Bits: 0–6	7
GTS Directions Mask	Reserved

Figura 20 – Formato do Campo GTS Directions

GTS List

Cada *GTS Descriptor* da *GTS List* possui as informações listadas na Figura 21. Como visto, o número de descritores da *GTS List* é especificada no campo *GTS Specification*, e é limitado a 7. *Device Short Address* contém o endereço curto do dispositivo para o qual o GTS está associado, *GTS Starting Slot* define o *slot* de início deste GTS dentro do superframe e *GTS Length* contém o número de *slots* contíguos do superframe daquele GTS.

Bits: 0–15	16–19	20–23
Device Short Address	GTS Starting Slot	GTS Length

Figura 21 – Formato do Campo GTS List

Campo: Pending Address

O campo *Pending Address* possui o formato geral apresentado na Figura 22(a) e contém uma especificação básica sobre os endereços pendentes, além da lista destes endereços. O campo *Pending Address Specification* informa basicamente o número de endereços curtos e estendidos contidos no campo *Address List*. A Figura 22(b) mostra um detalhamento do campo *Pending Address Specification*.

Octets: 1	variable
Pending Address Specification	Address List

Figura 22(a) - Formato do campo Pending Address

Bits: 0–2	3	4-6	7
Number of Short Addresses Pending	Reserved	Number of Extended Addresses Pending	Reserved

Figura 22(b) – Formato do campo Pending Address Specification

O campo *Address List*, cujo tamanho é determinado pelos valores especificados no campo *Pending Address Specification*, contém os endereços dos dispositivos que possuem correntemente mensagens pendentes com o coordenador. A lista de endereços não deve conter o endereço *broadcast* curto. O número máximo de endereços pendentes é limitado a sete e pode compreender tanto endereços curtos como estendidos. Os endereços curtos devem aparecer primeiro na lista.

Campo: Beacon Payload

É uma sequência opcional de bytes de tamanho limitado a *aMaxBeaconPayloadLength*, especificada pela camada acima para ser transmitida no quadro *beacon*. O conjunto de bytes a ser transmitido no *payload* é copiado de *macBeaconPayload*.