

[conteúdo parcialmente presente no relatório n.º 2.]

Porquê ZigBee™?

No seguimento do levantamento de tecnologias disponíveis efectuado na fase anterior, concluiu-se ser o protocolo ZigBee aquele que mais se adequava aos objectivos deste projecto.

No sentido de satisfazer as necessidades crescente da “sociedade de informação”, o mercado das comunicações tem sofrido nos últimos anos uma evolução muito elevada. De facto, no contexto das redes sem fios (wireless) existem múltiplas alternativas, cada uma dela orientada a aplicações distintas.

O Zigbee, sendo uma tecnologia recente, teve a sua primeira versão apresentada ao público em 27 de Julho de 2005 (embora tenha efectivamente surgido em Dezembro de 2004) e a entidade que se apresenta responsável por este protocolo intitula-se ZigBee™ Alliance. A ZigBee™ Alliance é uma aliança constituída por mais de 200 empresas, oriundas de mais de 20 países distintos, na qual se integram também especialistas da área de telecomunicações e semicondutores, incluindo membros do IEEE.

Até à data não se encontrava no mercado nenhuma norma de redes sem fios globalmente aceite no âmbito de sensores e dispositivos de controlo. Contrapondo-se aos elevados débitos oferecidos por outras tecnologias (como Bluetooth ou o WiFi), o ZigBee pretende associar a transmissão de dados sem fios a um reduzido consumo energético e com elevada fiabilidade. Assim, um objectivo desta norma é também uma tentativa de uniformizar o desenvolvimento de aplicações e dispositivos nesta área, abandonando-se sistemas proprietários distintos para dar lugar a um *standard*, que, ao ser compatível, proporciona evidentes vantagens de interoperabilidade.

Com uma vasta área de aplicação, desde o controlo industrial à automação de residências (*domótica*), o protocolo ZigBee possui então determinadas características que o tornam absolutamente distinto dos restantes, sustentando os motivos que levaram à sua criação:

- reduzido consumo de potência – *low power*;

- pilha protocolar de implementação simplificada (código de tamanho menor de um quarto da do Bluetooth, por exemplo), conduzindo a interfaces de baixo custo – *low cost*;
- possibilidade de suportar uma elevada densidade de nós por rede (num máximo de 65535 dispositivos por cada ZigBee Coordinator, valor manifestamente superior aos 8 do Bluetooth ou 30 do Wi-Fi);
- admite diferentes topologias da rede: estrela (*star*), malha (*mesh*) ou árvore (*cluster tree*), permitindo o estabelecimento de redes de nós “ad-hoc”.
- possuindo um tempo de ligação à rede menor que os outros protocolos e apresenta maior rapidez na passagem do modo standby a activo, o ZigBee apresenta também uma latência baixa – *low latency*;
- dois estados de operação: *active*, aquando do envio ou recepção de dados, e *sleep* (contrastando, por exemplo, com o Bluetooth, que apresenta inúmeros modos e estados de latência e potência) – a aplicação não terá de se preocupar em seleccionar o modo mais adequado;
- dois modos de operação da rede: *beaconing* e *non-beaconing*.
- suporte para duas classes de dispositivos físicos (definidos na norma IEEE 802.15.4), podendo ambos coexistir numa mesma rede: *Full Function Device* (FFD) e *Reduced Function Device* (RFD);
- aos dois tipos de dispositivos físicos correspondem três tipos de dispositivos lógicos: *Coordinator*, *Router* e *Endpoint*;
- elevada fiabilidade;
- elevada segurança, com recurso a *128-bit encryption*.

“*To enable reliable, cost-effective, low-power, wirelessly networked, monitoring and control products based on an open global standard*” é a missão da ZigBee Alliance, segundo a própria.

Pequena perspectiva histórica sobre o ZigBee

Anteriormente à adopção da nomenclatura ZigBee e da constituição da ZigBee™ Alliance, a responsável por esta tecnologia era a empresa Philips, sendo nessa época designado por protocolo Home RF Lite.

Apesar de actualmente admitir distintas topologias, foi através da topologia em malha que se lhe associou o nome. Uma malha ZigBee apresenta múltiplos percursos possíveis entre cada dispositivo, o que permite eliminar um possível ponto de falha, através do “zig” e “zag” da informação pela rede.

As abelhas de mel, para além de viverem “em colmeia”, voam em zigzague e dessa forma lhe é possível informar os restantes elementos da sua comunidade da distância, direcção e localização dos alimentos descobertos. Assim, o nome deste protocolo surge da analogia da estrutura e modo de funcionamento da rede de comunicações para com modo de vida das abelhas.

Detalhes técnicos

O ZigBee opera em três bandas de rádio conhecidas como ISM (Industrial, Scientific and Medical), as quais estão isentas de licenciamento. Globalmente, corresponde à banda de 2.4Ghz e ainda às bandas de 915Mhz (Estados Unidos) e 868 Mhz (Europa). Consoante a banda, varia a taxa de transmissão possível: em 2.4Ghz podem ser obtidas taxas de transmissão de 250Kbps, com 16 canais disponíveis; a 915Mhz, está disponível uma taxa de transmissão de 40Kbps e 10 canais de comunicação; no caso de 868Mhz, possibilita 1 canal e uma taxa de transmissão de 20Kbps.

Em termos de modulação, é utilizado O-QPSK (*Offset quadrature phase-shift keying*) para a banda dos 2.4Ghz e BPSK (*binary phase shift keying*) para os 915 ou 868Mhz.

Topologia da rede

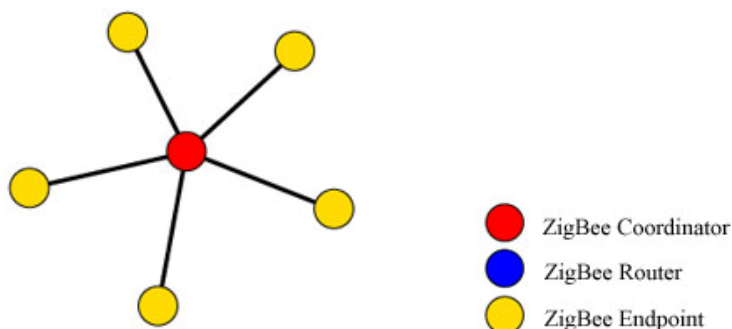
Embora já anteriormente referidas de forma breve, importa detalhar cada uma das topologias de rede admitidas pelo ZigBee.

Uma vez que este standard perspectiva a rede de uma forma *ad hoc*, não existe uma topologia predeterminada nem um controlo obrigatoriamente “centralizado”. Note-se no entanto, e apesar desta característica dinâmica de configuração da rede, que em qualquer uma das topologias o Zigbee Coordinator é o dispositivo responsável por iniciar a rede.

Em seguida apresenta-se uma representação gráfica e sucinta abordagem do conceito inerente a cada topologia, podendo cada uma delas coexistir dentro de uma mesma rede:

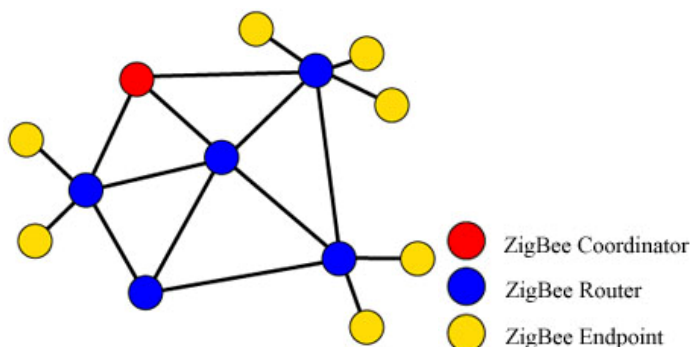
Estrela (Star)

É ao ZigBee Coordinator que cabe todo o controlo da rede, assumindo este um papel central e de comunicação directa com todos os dispositivos Endpoint – é portanto o Coordinator que inicia e mantém os dispositivos na rede. Toda a informação em circulação na rede passa pelo nó Coordinator.



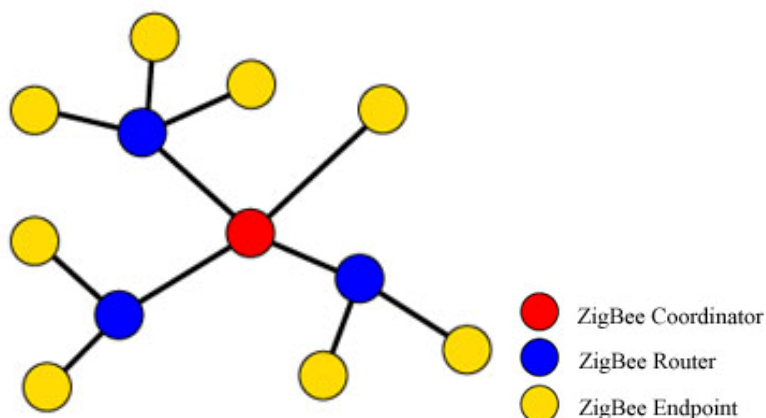
Malha (Mesh)

Numa topologia em malha os dispositivos do tipo FFD (Coordinator/Routers) são livres de comunicar com outro dispositivo FFD. Isto permite, quando necessária, a expansão física da rede (maior alcance). O Coordinator regista toda a entrada e saída de dispositivos, mas não assume um papel tão preponderante em termos de fluxo de informação como na configuração anterior.



Árvore (Cluster Tree)

Apresentando semelhanças à rede em malha, também são usados dispositivos Router. No entanto, nesta topologia efectua-se a distribuição de dados e mensagens de controlo numa estrutura hierárquica, onde o Coordinator assume o papel de nó “nuclear” da rede.



Modos de operação da rede

No modo *beaconing*, os nós ZigBee Routers transmitem periodicamente sinalização (*beacons*) a confirmar a sua presença aos outros nós da mesma rede, sendo que os restantes nós só necessitam de estar activos no momento da sinalização. Tal permite mantê-los no modo *sleep* entre sinalizações, com evidente vantagem em termos de consumo energético (diminuem o seu duty cycle e, conseqüentemente, prolongam a autonomia da bateria a que possam estar ligados). O intervalo entre *beacons* pode variar entre os 15.36 ms e os 251.65s, para uma taxa de transmissão de 250kbit/s. No entanto, há que ter em conta que a operação com duty cycle reduzido (associada a intervalos prolongados entre *beacons*) requer uma temporização de elevada precisão, o que pode colidir com o interesse em produzir um dispositivo de baixo custo.

No modo *non-beaconing* sucede que a maioria dos dispositivos mantém os seus receptores permanentemente activos, sendo o consumo energético mais significativo (podendo tornar necessárias fontes de alimentação mais robustas).

Características dos diferentes tipos de dispositivos lógicos

Em termos de dispositivos físicos, os quais estão associados à norma IEEE 802.15.4, encontramos os FFD e os RFD conforme já referido anteriormente neste relatório (e detalhado no anterior).

Sobre estes, o protocolo ZigBee efectua ainda a distinção entre três tipos dispositivos lógicos que concretizam a rede de comunicação:

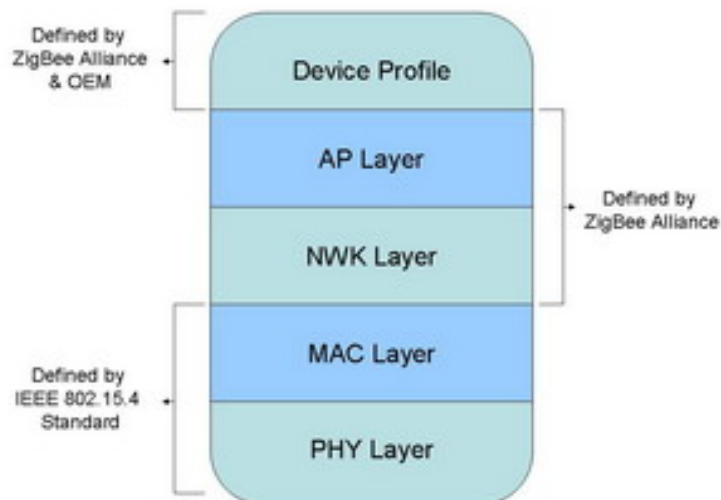
Dispositivo	Tipo de dispositivo físico associado (IEEE)	Função
Coordinator	FFD	Forma a rede, atribui endereços, suporta binding table. Existe apenas um por rede.
Router	FFD	Permite que mais nós se juntem à rede, ao aumentar o seu alcance físico. Pode também efectuar funções de controlo ou monitorização. A sua existência é opcional.
Endpoint	RFD ou FFD	Efectua acção de controlo ou monitorização através de dispositivo que lhe esteja associado (sensor, controlador, actuador...).

A arquitectura protocolar ZigBee / IEEE 802.15.4

A arquitectura do protocolo ZigBee é composta por camadas, sendo que a camada executa serviços específicos ao dispor da camada superior: a entidade de dados fornece dados para o serviço de transmissão e a entidade de gestão fornece informação para todos os outros serviços. Cada entidade de serviço expõe uma interface para a camada superior através do ponto de acesso ao serviço (SAP) e cada SAP suporta um número de primitivas de serviço para activar a funcionalidade que se pretende solicitar.

Embora se baseie no modelo OSI (Open Systems Interconnection) de sete camadas, a arquitectura protocolar ZigBee apenas define, no entanto, as camadas de interesse para atingir as funcionalidades desejadas.

De uma forma simplificada, as diferentes camadas podem ser esquematizadas da seguinte forma:



As duas camadas mais baixas, a camada física (PHY) e camada de controlo de acesso ao meio (MAC), estão definidas pela norma IEEE 802.15.4. Construído sobre esta, é no protocolo ZigBee que se definem as camadas de rede imediatamente superiores. Ou seja, as camadas de rede (NWK) e o framework para a camada de aplicação (APL). Aqui se incluem a subcamada de suporte aplicacional (APS), o Objecto de Dispositivo ZigBee (ZigBee Device Object – ZDO) e os Objectos de Aplicação (Application Objects).

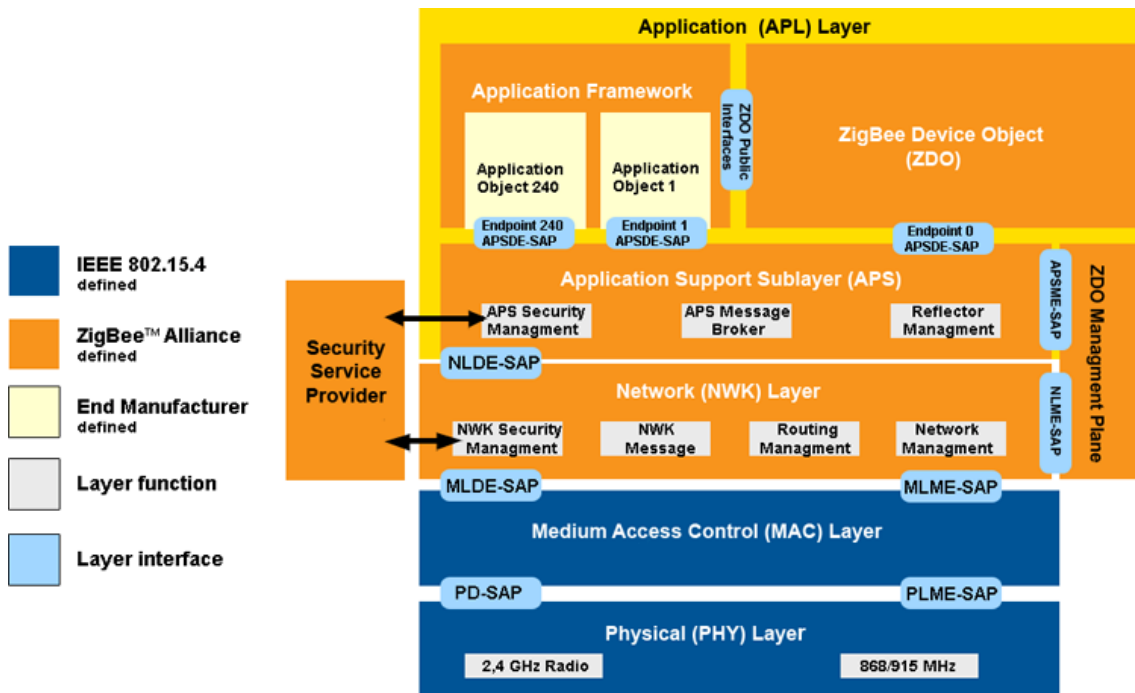
A camada PHY é a responsável por permitir a transmissão e recepção de mensagens através de um canal físico RF (com as características já anteriormente explicitadas). Das suas funções fazem parte a activação e desactivação do transceiver, detecção da energia (ED – Receiver Energy Detection), indicação da qualidade da ligação (LQI – Link Quality Indication), selecção do canal e transmissão / recepção de pacotes através do meio físico.

À camada MAC cabe fundamentalmente o papel de controlar o acesso aos canais RF, utilizando mecanismos de prevenção de colisão CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access – Collision Avoidance), para o qual efectua comunicações com a camada inferior – camada PHY. Além disso, especifica o tipo de dispositivos permitidos na rede, a estrutura de tramas admissível e também está a seu cargo a sincronização e transmissão de tramas beacon, permitindo a fiabilidade de operação.

A camada NWK é, hierarquicamente, a primeira camada que é definida pela norma ZigBee, e apresentam-se da sua responsabilidade o início ou fim da ligação de um dispositivo à rede, a descoberta de novos dispositivos na vizinhança (e o armazenamento de informação relativa aos mesmos), a atribuição de endereços (apenas em dispositivos Coordinator). É ainda nesta camada que estão presentes os mecanismos de descoberta de rotas e encaminhamento de informação assim como de configuração de novos dispositivos.

Quanto à camada de aplicação (APL), contém a sub-camada Application Support Sublayer (APS), o ZigBee Device Object (ZDO) e a Application Framework (AF). Esta camada pretende assegurar uma correcta gestão e suporte para as diversas aplicações.

Para uma análise mais profunda e em detalhe, observe-se a seguinte representação gráfica:



Tipos definidos de tramas:

Tramas de comando MAC (MAC command) – para controlo dos nós clientes.

Tramas de dados – são usadas para todo o tipo de transferência de dados, Suportam 104 bytes e estão numeradas. A existência de uma sequência de frame-check permite assegurar uma transmissão fiável e sem erros.

Tramas de acknowledgment (ACK) – utilizadas para confirmar a recepção bem sucedida de um pacote. Os dispositivos utilizam o quiet time entre tramas para efectuar o acknowledgment.

Tramas de beacon – utilizadas pelos dispositivos Coordinator e Router para efectuar a transmissão de beacons.

Informação mais detalhada sobre o protocolo ZigBee disponível em:

<http://www.fe.up.pt/~ee02055/RelatorioTEC15.pdf>

[Relatório Final do Projecto]