

Tecnologias Domóticas: Uma Panorâmica

Pedro Fernandes, Nelson Rocha, Bernardo Cunha

Resumo – Este artigo pretende dar uma visão panorâmica das tecnologias domóticas, em especial, as mais disseminadas na Europa.

Abstract – This paper gives an overview of home automation technologies, specially, those disseminated in Europe.

I. INTRODUÇÃO

A domótica é uma tecnologia recente (último quartel do século XX) que, se ainda não está completamente consolidada, tornar-se-á em breve, seguramente, uma referência obrigatória no que respeita à construção das casas do futuro.

A utilização da domótica pode apresentar inúmeras vantagens, ao nível da segurança, da gestão de energia, do conforto, e ainda ao nível do apoio de pessoas que apresentam problemas de mobilidade, tais como idosos ou deficientes.

Actualmente, existem disponíveis numerosas soluções comerciais. Podem ser utilizados sistemas inicialmente desenvolvidos nos Estados Unidos, como o X-10, o CEBus (*Consumer Electronics Bus*), o SMART HOUSE e o LonWorks, ou sistemas inicialmente desenvolvidos na Europa, como o BatiBUS, o EIB (*European Installation Bus*) e o EHS (*European Home Systems*), ou ainda sistemas como o HBS (*Home Bus System*) e o TRON, desenvolvidos no Japão.

Este artigo pretende dar uma visão panorâmica das tecnologias domóticas, em especial, as mais divulgadas na Europa. Se o grau de profundidade e de desenvolvimento é bastante variável, de tecnologia para tecnologia, tal facto prende-se tão somente com o volume e qualidade da informação encontrada e não com qualquer outro tipo de critério. A mesma falta de informação é também a causa determinante da não inclusão de sistemas como o HBS e o TRON.

II. SISTEMA X-10

Entre 1976 e 1978, a empresa Pico Electronics, sediada em Glenrothes (Escócia) tentou desenvolver um sistema de automação doméstica que utilizasse a rede eléctrica como meio de comunicação e que permitisse controlar remotamente os aparelhos e luzes de uma qualquer habitação.

Com vista a obter o apoio financeiro necessário para o desenvolvimento e distribuição dos seus produtos, a Pico Electronics associou-se à BSR em 1978, o que resultou na criação da X-10 Ltd. [1], que desenvolveu o sistema X-10, tal como hoje o conhecemos.

A. Controladores e Módulos

A linha de automação doméstica criada pela companhia X-10 Ltd. baseia-se em dois componentes básicos: controladores e módulos receptores. A comunicação entre estes dispositivos é feita pela rede eléctrica - os primeiros enviam sinais (comandos) que são depois recebidos pelos segundos.

Os módulos receptores são simples adaptadores que se ligam entre o dispositivo a controlar (por exemplo, um aparelho electrodoméstico ou uma lâmpada) e a rede eléctrica.

Existem duas classes básicas de módulos receptores: os módulos de lâmpadas e os módulos de aplicativos. Os primeiros permitem ligar/desligar e efectuar o *dim/bright* (diminuição/aumento do nível de intensidade luminosa) das lâmpadas incandescentes. Os segundos usam um relé para ligar/desligar qualquer dispositivo que a eles se encontre conectado, pelo que permitem controlar motores, lâmpadas fluorescentes, etc.

Os controladores enviam comandos pela rede eléctrica para os módulos a fim de controlar os dispositivos que lhes estão ligados. Em geral, qualquer controlador pode ser usado para controlar qualquer módulo. Além disso, os mesmos módulos podem ser controlados por mais do que um controlador.

Posteriormente à criação de controladores e módulos que comunicavam exclusivamente através da rede eléctrica, foram desenvolvidos outros, cuja infra-estrutura de comunicação se baseia em radiofrequência ou infravermelhos, que permitem implementar funções que não são adequados a uma comunicação via rede eléctrica.

O sistema X-10 possui um conjunto básico de funções (*ON, OFF, DIM, BRIGHT, All Lights OFF, All Lights ON, All OFF*) que podem ser executados pelos módulos de lâmpadas e de aplicativos (os módulos de aplicativos apenas podem executar três das funções existentes no conjunto).

B. Endereçamento dos módulos e desencadeamento de funções X-10

A selecção de um módulo é feita recorrendo ao seu endereço. Os endereços X-10 são constituídos por duas partes: código de casa (*House Code*) com 4 *bits* e código de unidade (*Unit Code*), também com 4 *bits*. A primeira corresponde a um determinado circuito de comando e tem 16 posições possíveis (de A a P), enquanto que a segunda corresponde a uma zona de um determinado circuito de comando e tem também 16 posições possíveis (de 1 a 16) [2]. Assim, cada letra pode ter 16 zonas (endereços), por exemplo de A1 a A16. Tem-se, então, no total $16 \times 16 = 256$ endereços possíveis.

Em geral, numa determinada casa, é atribuído o mesmo código de casa aos controladores e aos módulos, sendo o código de unidade utilizado para seleccionar cada um desses módulos em particular. O código de casa é usado para separar módulos que podem estar instalados em casas ou apartamentos adjacentes, mas que partilham a mesma rede eléctrica. Os códigos de casa e de unidade são atribuídos aos módulos e aos controladores mediante o uso de selectores rotativos.

Para seleccionar o módulo e para que seja, por ele, executada uma função específica, deve-se enviar dois pacotes que correspondem a dois tipos de comandos: comandos de endereços e comandos de funções. Os primeiros identificam os módulos que se pretendem controlar e os segundos as funções a desencadear pelo módulo. Quando o controlador envia um comando de endereço, os módulos com esse endereço passam a estar receptivos ao comando de função que está para chegar. Deste modo, assim que o recebem, executam a ordem.

C. Comunicação no X-10

O protocolo de comunicação X-10 consiste no envio de sinais binários pela rede eléctrica, usando uma portadora em amplitude (*Amplitude Shift Keying - ASK*) a 120 KHz. As transmissões X-10 são sincronizadas com a transição pelo zero da frequência da linha de potência AC (50 Hz), uma vez que o ponto de passagem por zero possui menos ruído e está sujeito a menor interferência por parte de outros dispositivos ligados à rede eléctrica [3].

A presença de uma modulação em amplitude de 120 KHz durante um 1 ms, na passagem por zero da onda sinusoidal (Figura 1), é usada para representar os símbolos binários que são transmitidos: o 1 e o 0. O primeiro é representado pela presença da modulação em amplitude de 120 KHz, enquanto que o segundo é representado pela sua ausência. Os receptores são sincronizados para receber a portadora 120 KHz, a cada passagem por zero da onda de 50 Hz.

Devido às necessidades de potência por parte do equipamento comercial, são geralmente utilizados sistemas de distribuição de energia de três fases, pelo que cada onda AC corresponde a cada uma das fases do sistema de distribuição de energia. Assim, se o

transmissor estiver numa fase e o receptor numa das outras duas, as mensagens não são recebidas por falta de sincronismo entre aqueles, no que diz respeito às passagens por zero. Para resolver este problema, a modulação em amplitude de 120 KHz é transmitida três vezes, para coincidir com as três passagens por zero das três fases do sistema de distribuição de energia.

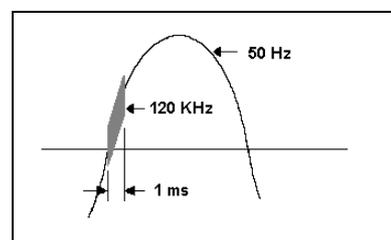


Figura 1 - Modulação em amplitude de 120 KHz na passagem por zero da linha de potência AC de 50 Hz. Qualquer passagem por zero pode ser utilizada, tanto no sentido positivo como no sentido negativo.

D. Mensagens X-10

Cada mensagem X-10 é constituída por 13 *bits* distribuídos por três campos: 4 correspondentes ao campo código de início (*start code*), 4 ao campo código de casa (*house code*) e 5 ao campo código de unidade (*unit code*) ou ao campo código de função (*function code*). A transmissão completa da mensagem X-10 inclui 11 ciclos de potência: os dois primeiros representam o código de início, os quatro seguintes o código de casa e os cinco últimos o código de unidade ou o código de função.

A Figura 2 mostra o formato da mensagem.

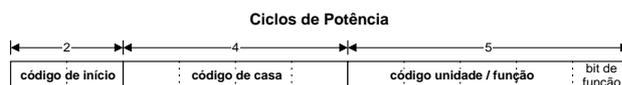


Figura 2 - Relação entre a mensagem e os ciclos AC.

O campo código de início, constituído por 4 *bits*, é usado para alertar os receptores de que está a chegar uma nova mensagem. Cada *bit* deste campo é transmitido num meio ciclo AC, constituindo uma excepção à transmissão padrão dos símbolos (um ciclo por *bit*).

O campo código de casa possui o código da casa mencionado anteriormente que varia de A a P. Por fim, o último campo da mensagem corresponde ao campo código de unidade ou ao campo código de função. A distinção entre estes dois campos é efectuada através do último *bit*, designado por *bit* de função (*function bit*). Se este estiver a 0, os 4 *bits* precedentes correspondem ao campo código de unidade e contêm o endereço do módulo X-10 a controlar. Se estiver a 1, os 4 *bits* precedentes correspondem ao campo código de função e contêm a função a ser executada pelo módulo X-10.

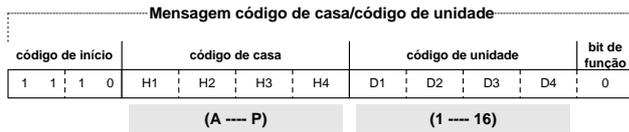


Figura 3 - Formato da mensagem código de casa/código de unidade.

Existem assim dois tipos de mensagens X-10, correspondentes às combinações código de casa/código de unidade (Figura 3) e código de casa/código de função (Figura 4).

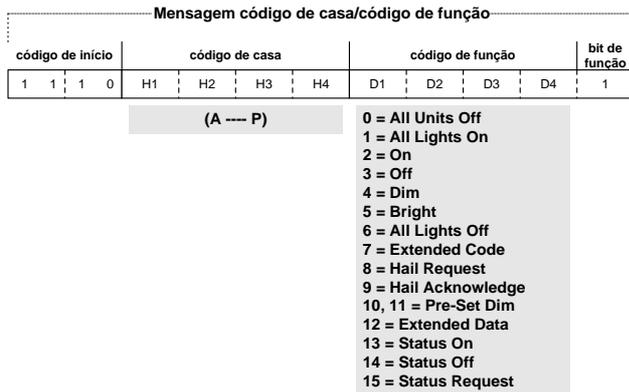


Figura 4 - Formato da mensagem código de casa/código de função.

Ao receber uma mensagem código de casa/código de unidade, o módulo X-10 fica apto a poder executar uma função que lhe será enviada para o mesmo código de casa. Esta função é transmitida na mensagem código de casa/código de função.

É possível endereçar vários módulos, enviando uma mensagem código de casa/código de unidade correspondente a cada um dos módulos, tornando-os aptos a receber uma mensagem código de casa/código de função e a executar a respectiva função.

E. Pacotes X-10

A mensagem X-10 é sempre transmitida duas vezes num pacote de 26 bits, sem intervalo de ciclos entre as mensagens. Ao transmitir a mensagem duas vezes, garante-se redundância na transmissão permitindo assim aos dispositivos receptores a possibilidade de comparar as duas mensagens do pacote. Entre a transmissão de cada pacote X-10 há um intervalo de três ciclos de potência (Figura 5).

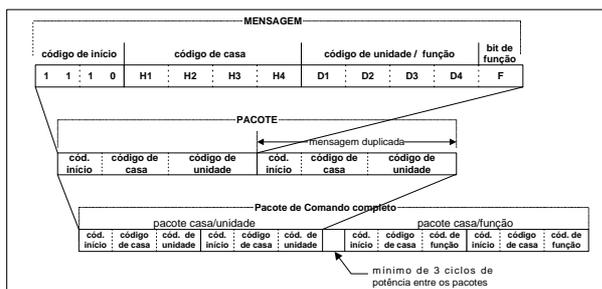


Figura 5 - Formato do pacote X-10 e do conjunto completo de pacotes X-10 (para comandos como ON, OFF, etc, que necessitam apenas da transmissão de apenas dois pacotes).

Os receptores necessitam de um mínimo de três ciclos de potência a seguir à recepção de um pacote, para poderem receber o pacote seguinte. Os comandos *BRIGHT* e *DIM* constituem uma excepção, já que na sua transmissão não existem intervalos entre os pacotes X-10.

III. SISTEMA EIB

O sistema EIB (*European Installation Bus*) é um sistema aberto e de alta fiabilidade, desenvolvido pela EIBA (*European Installation Bus Association*). Trata-se de um sistema operativo distribuído, baseado no modelo de referência OSI (*Open Systems Interconnection Reference Model*), para controlo de redes, optimizado para o controlo de casas e edifícios [4, 5].

A tecnologia EIB baseia-se numa única linha de comando de expansão radial que possibilita não apenas a transmissão de todas as funções sem qualquer restrição, mas também a redução do número de cabos, dos riscos de incêndio, sem aumentar os custos de instalação [6].

A. Topologia de rede

O sistema EIB é um sistema distribuído ponto a ponto (cada dispositivo comunica directamente com os restantes, o que se traduz por uma resposta mais rápida) que pode conter até 65536 dispositivos.

A topologia lógica, tal como é indicada na Figura 6, permite 256 dispositivos em cada linha. Um conjunto de 15 linhas mais uma linha principal (*main line*) constitui uma área. O agrupamento de 15 áreas juntas com uma linha de *backbone* forma um domínio.

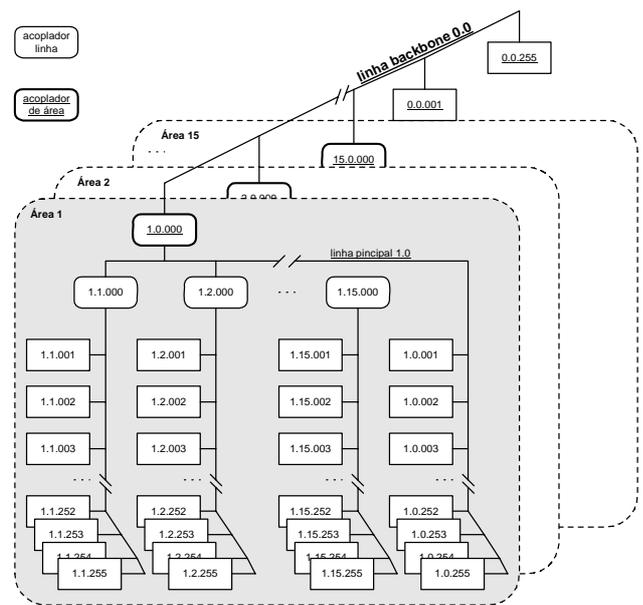


Figura 6 - Topologia lógica do EIB.

Num meio de transmissão aberto, os domínios são separados logicamente por um *SystemID* de 16 bits. Sem contar com os endereços reservados para os acopladores de linhas podem ser ligados a uma rede EIB $(255 \times 16) \times 15 + 255 = 61455$ dispositivos terminais [5].

Os acopladores permitem ligar segmentos e podem actuar como: repetidores, pontes, encaminhadores, filtros (para optimização do tráfego), etc.

A divisão em linhas e áreas evita a sobrecarga do sistema quando uma delas se encontra com muita densidade de tráfego.

B. Meios de Transmissão

O sistema EIB pode ter como suporte os seguintes meios de transmissão:

- EIB.TP – par entrelaçado (9600 bit/s);
- EIB.PL – rede eléctrica (1200/2400 bit/s);
- EIB.RF – radiofrequência (em 1998);
- EIB.net – (10 Mbit/s em Ethernet);
- EIB.IR – infravermelhos (em 1999);
- EIB.MMS – permite adicionar serviços multimédia dedicados.

C. Instabus EIB

O *Instabus* EIB é um canal de dados descentralizado, produzido pela Siemens [6] que serve de base ao sistema HES (*Home Electronic System*). Permite a comunicação directa entre todos os participantes, dirigindo todas as funções através de um único *bus*, isto é, sem necessidade de recorrer a qualquer unidade central. É ele também que possibilita a alimentação dos mesmos participantes.

Servindo-se apenas de dois fios, o *Instabus* EIB permite ainda interligar todos os componentes da instalação.

Os participantes do *bus* são todos os componentes *Instabus* EIB dotados de acoplador de *bus* (componente inteligente de cada participante), equipados com um microprocessador que possui uma EEPROM (*Electric Erasable Programmable Read-only Memory*) parametrizável.

Eis alguns desses participantes: botões de pressão, detectores de movimento, sensores interiores/exteriores, comandos de infravermelhos, saídas binárias, entradas binárias, etc.

D. Funcionamento do sistema EIB

O sistema é controlado por eventos. A sua espinha dorsal percorre todo o edifício ou habitação.

Os sensores e actuadores ligam-se à linha de *bus*. Uma vez ligados todos os dispositivos, podem trocar informação, a qual é transmitida em série, de acordo com certas regras (protocolo de *bus*). Para isso é necessário que a informação obtida pelos sensores seja armazenada em pacotes ou telegramas. São estes pacotes que serão enviados, através do *bus*, a um ou mais actuadores. Por exemplo, um sensor de luz pode não estar somente

programado para comunicar com certas lâmpadas, mas também para comunicar com as persianas das janelas, enviando-lhes mensagens para abrirem ou fecharem, de acordo com a luz do dia.

Para que tudo isto funcione, os sensores e actuadores possuem um endereço físico. Deve então proceder-se a uma programação das configurações para decidir quais sensores comunicam com quais actuadores. Isto permite a criação de uma única função ou uma comunicação em grupo (criação de uma cena).

E. Protocolo de Comunicação

O protocolo de comunicação EIB está estruturado de acordo com as sete camadas do modelo OSI (Figura 7). Isto também se reflecte na estrutura da trama EIB, representada na Figura 8.

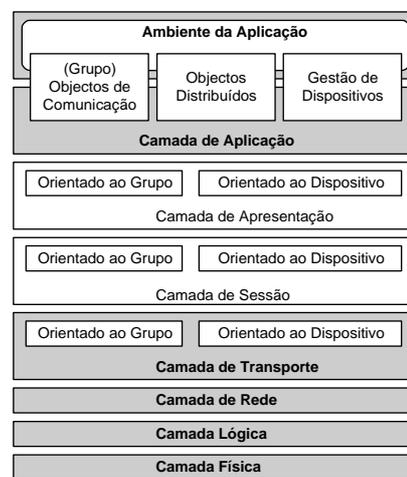


Figura 7 - Protocolo de Comunicação EIB.

Octeto 0	1	2	3	4	5	6	7	8	...	N-1	N<=22
Controlo	Endereço Origem	Endereço Destino	DAF: NPCI: comprimento		TP CI	AP CI	dados /AP CI	dados		Octeto de Check	

Figura 8 - Trama EIB.

As camadas física e lógica dependem das características do meio de transmissão físico. Para controlar o acesso ao meio de comunicação, o EIB utiliza a técnica CSMA/OCA (*Carrier Sense Multiple Access with Optimised Collision Avoidance*). Este mecanismo está optimizado para cada meio de transmissão particular.

O campo DAF (*Destination Address Flag*), da trama EIB, permite distinguir entre telegramas orientados ao grupo ou orientados a um dispositivo em particular. Através do NPCI (*Network Protocol Control Information*) a camada de rede controla o contador de saltos (*hop counter*).

A camada de transporte trata das relações lógicas da comunicação, que podem ser:

- Um para vários – não orientado à conexão (*group multicast*);
- Um para todos – não orientado à conexão (*broadcast*);

- Um para um – não orientado à conexão;
- Um para um – orientado à conexão.

Esta camada efectua o mapeamento entre endereços e uma representação interna abstracta, a *Communication-Reference-ID* (CR-ID).

Todos os serviços são mapeados transparentemente ao longo das camadas de Sessão e Apresentação, as quais são reservadas. A camada de Aplicação implementa a API para a gestão cliente/servidor das redes EIB. A camada de Aplicação de Grupo (*Group Application Layer*) trata da atribuição de um CR-ID de grupo a uma instância local de uma variável partilhada (ou Objecto de Comunicação de Grupo), para a recepção (um para um) e para envio (um para um). Por conveniência, os Objectos de Comunicação de Grupo (*Group Communication Objects*) e os Objectos Distribuídos (*Distributed Objects*) são encapsulados pela camada EIB do utilizador (*EIB User Layer*) que trata certos detalhes da camada de Aplicação isolando-os da aplicação. Esta camada actua também (por omissão) como uma aplicação servidor de gestão [5].

As tramas EIB, denominadas *EIB Protocol Data Unit*, ou também por “telegramas”, podem ter um tamanho variável e transportar, cada uma, até 14 *bytes* de dados (mais recentemente pode ir até 256 *bytes*).

F. Endereçamento

O EIB suporta os seguintes espaços de endereçamento:

- Endereçamento de grupo de difusão selectiva de 16 *bits*;
- Endereçamento físico de 16 *bits* para identificar os dispositivos individuais.

O sistema EIB funciona com diversos tipos de dispositivos. De facto, cada um dos dispositivos pode utilizar, individualmente, diferentes variáveis (Objectos de Comunicação de Grupo), agrupadas independentemente umas das outras, em variáveis de rede partilhadas. Uma variável partilhada pode ser lida/escrita em ambos os sentidos, o que permite que cada dispositivo possa enviar tramas de difusão selectiva, mesmo que estas não tenham sido solicitadas.

Através da utilização de um mecanismo de endereçamento da forma *<device>.<object>.<property>*, os objectos de interface (*Interface Objects*), empregados no sistema EIB, permitem a gestão dos dispositivos e dos recursos de rede. A possibilidade da sua adaptação para difusão selectiva, ou seja, *<group>.<object>.<property>* só agora começou a ser considerada.

O espaço de endereçamento de 16 *bits*, criado pelo EIB, significa que cada rede pode ter até 32k de variáveis partilhadas (ou endereços de grupo) e endereçar 64k dispositivos.

De acordo com a implementação, cada dispositivo pode suportar individualmente até 256 variáveis partilhadas e 256 objectos de interface.

IV. SISTEMA LONWORKS

LonWorks, ou simplesmente LON (*Local Operating Network*), é uma tecnologia produzida pela Echelon Corporation e introduzida no início dos anos 90 [7, 8]. Trata-se de uma tecnologia que tem como principais objectivos a criação e a implementação de redes de controlo interoperacionais, facultando as ferramentas necessárias à construção de nós inteligentes, subsistemas e sistemas, bem como a sua instalação e manutenção [9].

Trata-se de uma tecnologia e não de um produto final, uma vez que é exclusivamente vendida à indústria e não aos utilizadores finais, sendo uma solução completa para redes de controlo distribuído.

A alta fiabilidade demonstrada, assim como a possibilidade da sua ligação à Internet, aliadas à facilidade de obtenção de todo o material *hardware* e *software* necessário ao suporte do seu desenvolvimento, instalação e gestão, levaram a que a tecnologia LonWorks tivesse sido rapidamente aceite no mercado da automação doméstica, mau grado o seu preço elevado para o público em geral.

Em Outubro de 1999, a Echelon tornou extensiva a qualquer tipo de processador a implementação de um protocolo (o protocolo LonTalk), convertido posteriormente em norma oficial pela ANSI (*American National Standards Institute*), com a designação de ANSI/EIA 709.1-A-1999.

Todo o sistema LonWorks é controlado pelo grupo LonMark *Interoperability Association*, o qual garante a compatibilidade e certificação de todos os produtos utilizados (*Plug and Play*), ainda que provenientes de diferentes fornecedores.

A. Meios de Transmissão

A plataforma LonWorks pode ser instalada tendo como suporte uma grande variedade de meios de transmissão:

- Rede eléctrica;
- Par entrelaçado;
- Radiofrequência;
- Infravermelhos;
- Cabo coaxial;
- Fibra óptica.

A comunicação estabelece-se a taxas de transmissão que vão de 1 Kb/s a 1.25 Mb/s, adaptadas ao meio de comunicação. Os diferentes tipos de meios de transmissão usados na rede são ligados por meio de encaminhadores.

B. Nós

As redes LonWorks são constituídas por dispositivos de controlo inteligentes, os nós, que se servem de um protocolo comum (o referido protocolo LonTalk), para comunicar entre si. A “inteligência” dos referidos nós é providenciada pelos Neuron Chips, os quais permitem a implementação do protocolo LonTalk e a execução de todas as funções de controlo.

Os nós (sensores inteligentes - de temperatura, de pressão, etc. -, actuadores, interfaces para o operador - PCs, *displays*, etc.) possuem uma interface física que permite a sua ligação ao meio de transmissão e incluem processamento local e recursos de rede, podendo ser ligados a dispositivos locais (I/O).

Estes últimos possibilitam que cada nó processe os dados de entrada, recebidos dos sensores, e os dados de saída para os actuadores.

Os recursos computacionais permitem que cada nó processe os dados, enquanto os recursos de rede possibilitam a sua interacção com outros nós existentes na rede. Nesta, os nós são programados para enviar mensagens a outros nós, de acordo com os eventos (mudanças de estado) detectados. Os endereços dos destinatários das mensagens de notificação são codificados numa tabela interna do Neuron Chip, através de uma ferramenta de configuração (LonMaker). Os dados enviados são formatados em variáveis de rede, denominadas SNVTs (*Standard Network Variable Types*).

Uma rede LonWorks define um domínio com 32385 dispositivos podendo, em redes de grandes dimensões, ser usados múltiplos domínios. Cada um destes pode ainda subdividir-se em 256 grupos ou sub-domínios, o que permite aliviar o tráfego da rede.

C. Neuron Chip

O Neuron Chip é um dispositivo VLSI (*Very Large-Scale Integration*) sofisticado, fabricado e distribuído pela Motorola e pela Toshiba, que implementa o protocolo LonTalk [9]. Especialmente concebido para a tecnologia LonWorks, permite controlar todos os dispositivos utilizados naquela tecnologia, tais como ventoinhas, motores, interruptores, etc. É o dispositivo preferencial do protocolo LonTalk porque foi criado especificamente para o efeito. No entanto, aquele protocolo também pode ser implementado numa arquitectura de processador genérica.

O Neuron Chip possui:

- Três processadores de 8 *bits* – dois deles especialmente vocacionados para a execução do protocolo LonTalk, cabendo ao terceiro as aplicações do nó. Esta separação permite salvaguardar qualquer impacto negativo da aplicação na rede e vice-versa;
- Memórias EEPROM, RAM e ROM, variáveis de acordo com o modelo do Neuron Chip (todas as versões incluem, pelo menos, 0.5 K de EEPROM e 1 K de RAM);
- Um transdutor para conexão ao meio físico de comunicação;
- *Hardware* e *software* para construir dispositivos de controlo;
- Onze pinos de I/O;
- *Firmware* LonWorks, incluindo o protocolo LonTalk, um sistema operativo de tempo real, *device drivers*, etc.

No caso de insuficiência do *Neuron Chip* (aplicações demasiado complexas), poder-se-á utilizar um

processador externo (Figura 9), desde que o *firmware* do Neuron Chip seja alterado com o *LonBuilder Microprocessor Interface Program* [7].

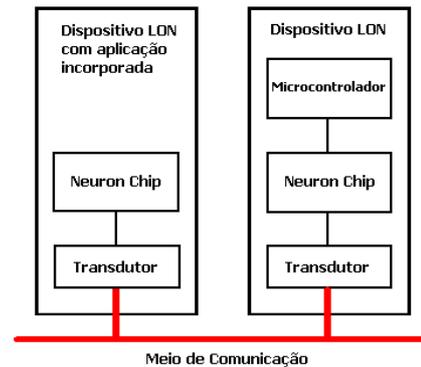


Figura 9 - Duas formas de implementação: uma só com o Neuron Chip e outra com um processador externo (microcontrolador).

D. Protocolo LonTalk

LonTalk é o nome dado ao protocolo de comunicação que permite a comunicação entre os vários dispositivos existentes na rede LonWorks. Trata-se de um protocolo completo com funções referentes às sete camadas do modelo de referência OSI (*Open Systems Interconnection Reference Model*), usando uma mistura de *hardware* e *firmware* num circuito integrado (Neuron Chip), o que evita a possibilidade de modificação acidental e/ou intencional.

Este protocolo garante a fiabilidade das comunicações para as aplicações de controlo.

O protocolo LonTalk inclui as seguintes funcionalidades:

- Acesso ao meio de suporte físico. Uma parte integral do protocolo LonTalk é a sua própria técnica de acesso ao meio de comunicação, designada por *Predictive P-persistent CSMA, with Optional Priority and Collision Selection*, que supera as técnicas de CSMA/CD tradicionais (Ethernet);
- Confirmação da transacção;
- Comunicação ponto-a-ponto;
- Outros serviços mais avançados, tais como: autenticação do remetente (através de um uso selectivo de autenticação podem ser estabelecidos *firewalls* de segurança nos pontos mais apropriados para a aplicação), prioridade das transmissões, detecção de mensagem duplicada, impedimento da ocorrência de colisões, reentradas automáticas, mistura de várias taxas de transmissão, suporte cliente-servidor, identificação e normalização dos tipos de dados, detecção e correcção de erros, etc.

O LonTalk incorpora um conjunto completo de facilidades de gestão de rede (instalação, configuração, manutenção). As funções de gestão de rede incluem o endereçamento dos nós, especificação do endereço de grupo de difusão selectiva, configuração dos encaminhadores, modificação do serviço de comunicação,

monitorização do tráfego de dados, diagnóstico da rede e dos nós, etc.

E. Transmissão

A informação transmitida é descrita em termos de tramas, denominadas MPDUs (MAC - *Media Access Control - Protocol Data Units*) cujo formato pode ser visualizado na Figura 10.



Figura 10 - Trama MPDU.

Assim, os campos *Bit de Sincronismo* e *Byte de Sincronismo* constituem um preâmbulo que permite que todos os outros nós efectuem a sincronização dos seus relógios de recepção. O campo L2Hdr ou *Layer 2 Header* é usado pela camada MAC do protocolo.

Por sua vez, o campo NPDU (*Network Protocol Data Unit*) é reservado para dados. A trama termina com o campo CRC (*Cyclic Redundancy Check*) de 16 bits, usado para detecção e correcção. O pacote NPDU divide-se ainda nos seguintes campos (Figura 11): Versão, Formato, Comprimento, Endereço, PDU (*Protocol Data Unit*).

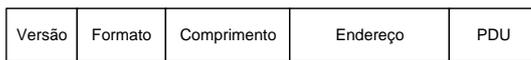


Figura 11 - Pacote NPDU.

O campo Versão define a versão do protocolo; o campo Formato descreve o formato do campo Endereço e do campo de dados (PDU).

Dependendo do formato do endereço, o campo Endereço pode conter mais ou menos o seguinte:

- Endereço do Nó Origem;
- Endereço do Nó Destino;
- Endereço da Sub-rede Origem;
- Endereço da Sub-rede Destino;
- Neuron ID.

O campo PDU contém os dados actuais transmitidos de um dispositivo para outro.

F. Variáveis de rede

A ligação lógica entre os sensores e os actuadores é feita por variáveis de rede. É através de uma ferramenta de configuração (LonMaker) que se ligam as variáveis compatíveis dos diferentes dispositivos LonWorks.

O grupo LonMark definiu uma lista normalizada de variáveis, denominada SNVT (*Standard Network Variable Types*), um dos quais é *SNVT_occupancy*, para definir variáveis do mesmo tipo. Este atributo desempenha um papel fundamental na interoperacionalidade dos dispositivos. O SNVT permite, assim, efectuar a associação das variáveis de entrada e de saída.

Existe também uma lista normalizada de variáveis de configuração, denominada SCPTs (*Standard Configuration Parameter Types*) e uma lista de perfis para os dispositivos comuns, chamada FPs (*Functional Profiles*) [10].

V. SISTEMA CEBUS

O CEBus (*Consumer Electronic Bus*) é um protocolo de comunicação, ponto-a-ponto, de mensagens de controlo relativamente curtas sobre os meios de comunicação disponíveis numa casa [11]. Este protocolo para automação doméstica é uma norma dos Estados Unidos (EIA - *Electronics Industries Association*) e que surgiu em 1984 [12].

Após várias mudanças e revisões técnicas, chegou-se ao EIA-600, a norma actual CEBus, cuja promoção cabe directamente à CIC (*CEBus Industry Council*) a qual garante igualmente a certificação, promoção e a compatibilidade de todos os dispositivos CEBus.

A. Protocolo CEBus

O protocolo CEBus tem como referência o modelo OSI, embora não inclua as camadas de Apresentação, Sessão e Transporte (Figura 12). A norma EIA-600 especifica o formato da mensagem, a entrega desta e as regras de resposta das camadas Aplicação, Rede, Lógica e Física. Tipicamente, os utilizadores compram os componentes de *software* do protocolo, modificando a parte variável deste, consoante a aplicação desejada [11].

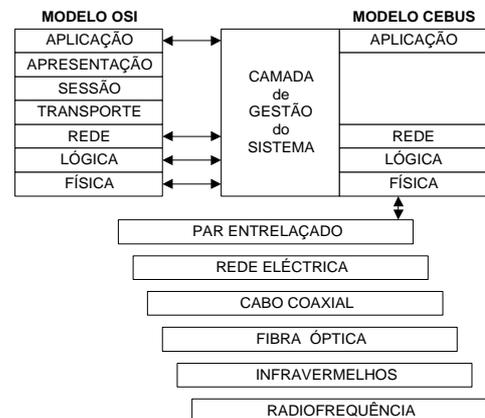


Figura 12 - O protocolo CEBus usa quatro das sete camadas do modelo de referência OSI com seis tipos de meios de comunicação físicos.

B. Arquitectura de rede

A norma CEBus define uma rede de comunicações que suporta os seguintes meios de comunicação:

- Rede de energia eléctrica;
- Par entrelaçado;
- Cabo coaxial;
- Infravermelhos;

- Radiofrequência;
- Fibra óptica.

Todos os meios físicos de comunicação suportam o canal de controlo CEBus e têm o mesmo ritmo de transmissão (cerca de 8000 bps). Também podem suportar canais de dados com larguras de banda adequadas para vídeo e áudio, dependendo do meio de comunicação físico. Os comandos e as informações do estado são transmitidos no canal de controlo na forma de mensagens, compostas por pacotes de bytes. A maior parte da especificação do CEBus é dedicada à especificação do canal de controlo [12].

O formato das mensagens CEBus de controlo é independente do meio de comunicação usado. Cada mensagem contém o endereço destino, sem nenhuma referência aos meios de comunicação onde o emissor e o receptor estão colocados. Logo, o CEBus forma uma rede lógica uniforme.

As mensagens CEBus são pacotes que possuem um preâmbulo, um byte de controlo, um endereço fonte, um endereço destino, uma mensagem CAL (*Common Application Language*) e um byte de checksum (Figura 13) Um pacote típico CEBus inclui uma mensagem CAL de 32 bytes e 9 bytes de controlo e endereçamento [11].

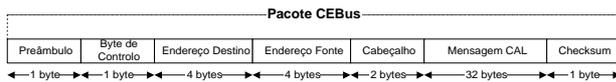


Figura 13 - Pacote CEBus.

O preâmbulo é um campo de 8 bits que testa se o meio de transmissão se encontra disponível.

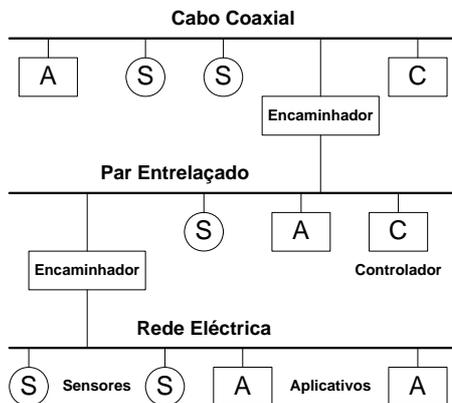


Figura 14 – Exemplo da topologia CEBus.

C. Dispositivos e topologia CEBus

O CEBus suporta uma topologia flexível [12]. Um dispositivo pode ser colocado em qualquer lugar onde seja necessário e poderá ligar-se a qualquer meio de comunicação, para o qual terá uma interface CEBus apropriada. As mensagens podem ser enviadas entre os diferentes meios de comunicação, através do uso de um dispositivo electrónico denominado encaminhador. Na Figura 14 pode visualizar-se uma rede CEBus típica, com

três meios de comunicação interligados por encaminhadores. Os sensores e actuadores são colocados nesta rede, no local que for mais conveniente. O controlador (*cluster controller*), ilustrado na Figura 14, é responsável pela organização de uma aplicação que pode ser, por exemplo, a iluminação ou a gestão de energia. Todos os pontos de ligação dos dispositivos em cada um dos meios de comunicação são tratados logicamente tal como se estivessem num *bus*. Esta tecnologia emprega o protocolo CSMA/CDCR (*Carrier-Sensing Multiple Access with Collision Detection and Collision Resolution*), o que permite que qualquer dispositivo existente na rede possa aceder ao meio de comunicação a qualquer momento. Contudo, um dispositivo que pretenda enviar um pacote de dados deve, primeiro, verificar se a linha de *bus* se encontra, nesse momento, desimpedida. Neste caso, o pacote será enviado, tal como sucede no protocolo IEEE 802.3 das redes locais de transmissão de dados [13].

Todos os dispositivos lêem o endereço de destino contido na mensagem. Só o dispositivo que possuir um endereço igual ao que vem na mensagem é que lê o conteúdo desta e actua em conformidade com ele.

D. Endereçamento

Além de se poderem enviar mensagens individuais, todos os dispositivos ou grupos restritos de dispositivos podem ser alcançados por uma única mensagem contendo um endereço de difusão único. Todos os dispositivos CEBus devem responder ao endereço de difusão. Um dispositivo pode fazer parte de um ou mais grupos, o que permite que uma única mensagem seja enviada para um determinado grupo, por exemplo, para o grupo dos alarmes. Cabe ao fabricante determinar se o dispositivo criado suporta, ou não, endereçamento de grupo e, no caso afirmativo, quantos grupos podem ser suportados. Todos os membros do grupo recebem as mensagens que lhes são endereçadas.

A tecnologia CEBus não usa um controlador central para gerir a entrega das mensagens de controlo. Este é distribuído entre os dispositivos e os encaminhadores que fazem a ligação dos diferentes meios de comunicação [12].

E. Linguagem de comunicação

O CEBus especifica também uma linguagem de comunicação comum, denominada CAL (*Common Application Language*), que permite aos dispositivos comunicarem entre si e executarem certas tarefas, usando regras comuns de sintaxe e de vocabulário [13].

Cada dispositivo é definido como um “contexto” na CAL. Cada um desses “contextos” encontra-se dividido em “objectos”, que representam funções. Os receptores,

associados àqueles “contextos”, permitem não só interpretar as mensagens recebidas mas também executar as funções que lhes são cometidas. Tome-se como exemplo o caso de uma lâmpada cujo “contexto” possui o objecto “nível de luminosidade” e ao qual está associada a variável “valor actual de luminosidade”, controlada por um interruptor. Assim, quando este último é activado, verifica-se uma alteração do valor da variável (“valor actual de luminosidade”). Então, o objecto envia uma mensagem CAL pelo *bus* CEBus que, por sua vez, muda o estado da lâmpada.

A CAL define uma série de “contextos” para representar as várias categorias existentes numa casa, tais como: a iluminação, a segurança, as comunicações, o ambiente, etc.

F. Tecnologia CEBus para a rede eléctrica

Tendo em vista minimizar a interferência, os dispositivos CEBus utilizam uma técnica de espalhamento de espectro para colocar informação na rede eléctrica. Esta técnica consiste em fazer variar a portadora dos 100 Khz aos 400 khz, correspondendo ao dígito 1 a modulação em amplitude de 100 μ s e ao dígito 0 a modulação em amplitude de 200 μ s. Assim, a taxa de transmissão é variável (aproximadamente 7000 bps), dependendo do número de caracteres “1” e “0” [11].

VI. SISTEMA BATIBUS

Inicialmente projectado para interligar sensores inteligentes, actuadores e unidades terminais de controlo, num edifício, o sistema BatiBUS foi criado em 1988, em França, por Merlin Gerin, AIRELEC, EDF e LANDIS & GYR.

Em 1989, as referidas companhias decidiram criar o BCI (*BatiBUS Club International*) com o intuito de desenvolver produtos que comunicassem sobre BatiBUS [8]. Dotaram-no também de um conjunto completo de ferramentas de apoio.

O BCI escolheu o LCIE (*Laboratoire Central des Industries Electriques*) para a certificação dos produtos, a qual permite garantir a conformidade à norma de referência do protocolo BatiBUS e a interoperacionalidade de produtos diferentes sobre BatiBUS.

A. Meio físico e topologia de rede

A infra-estrutura de comunicação é constituída por um canal único que permite a intercomunicação entre todos os módulos (CPUs, sensores e actuadores) do sistema de controlo de aquecimento, ar condicionado, iluminação, etc.

O suporte físico do BatiBUS é um simples par entrelaçado, isolado ou não, dependendo do tipo de ambiente electromagnético, que alimenta os sensores que lhe estão acoplados. Um único cabo BatiBUS é suficiente

para controlar todas as operações no mesmo edifício e permite alimentar dispositivos que não consumam mais de 3 mA.

O BatiBUS pode usar qualquer topologia de rede: *bus*, estrela, *token-ring*, combinações destas, etc. A sua arquitectura flexível torna o sistema fácil de aumentar.

B. Protocolo

O BatiBUS usa um protocolo aberto, baseado em CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*), descrito nas normas francesas NFC 46620 e secções seguintes, nas normas europeias (CENELEC) e mundiais (ISO/IEC JTC 1 SC25), operando de uma forma distribuída sem um ponto de controlo central.

Todos os módulos podem comunicar desde que a linha se encontre disponível. São identificados por endereços BatiBUS, os quais são definidos na altura da instalação, com a ajuda de selectores rotativos, interruptores ou teclados com *displays*. Para sistemas mais complexos, o controlo pode ser programado a partir de um módulo de comando central.

Sempre que se torne necessário modificar o posicionamento dos módulos ou das funções usadas, basta mudar o endereço ou ligar um componente adicional ao *bus*.

C. Transmissão

Os dispositivos comunicam entre si a uma taxa de transmissão de 4800 bps.

A informação transmitida na *bus* é descrita em termos de tramas, possuindo cada uma delas, tal como se vê na Figura 15, os seguintes campos:

- Tipo da mensagem;
- Tipo do destino/emissor;
- Endereço destino/emissor;
- Dados;
- Check.

Tipo da Mensagem	Tipo do destino/emissor	Endereço destino/emissor	dados	check
------------------	-------------------------	--------------------------	-------	-------

Figura 15 – Trama BatiBUS.

O campo Tipo da Mensagem descreve o conteúdo da trama, indicando se ela contém, por exemplo, uma medida de temperatura, o estado de entrada binária, o comando de uma saída binária, etc; o segundo campo indica quais os tipos de dispositivos que transmitem/recebem a trama (sensor de temperatura, interruptores, etc); o terceiro campo indica os endereços físicos dos dispositivos que transmitem/recebem a trama; o campo de dados contém os dados da trama (permite a transmissão de um máximo de 25 bytes por trama). Finalmente o campo *Check* permite evitar os erros de comunicação.

VII. SISTEMA SMART HOUSE

O Sistema SMART HOUSE foi criado nos Estados Unidos, na segunda metade dos anos oitenta, pela SMART HOUSE L. P., para *National Association of Home Builders* (NAHB) [14].

Comporta cinco subsistemas: controlo/comunicações, telecomunicações, energia eléctrica, rede coaxial e energia natural.

Destes, o núcleo é sem dúvida o subsistema de controlo/comunicações, que transmite sinais de controlo a 50 Kb/s. Inclui um controlador (*System Controller*), uma fonte de energia de 12V DC, cablagem específica, sensores e actuadores. Possui, além disso, circuitos integrados que formatam mensagens, efectuam a conversão entre protocolos série, implementam o endereçamento dos nós e proporcionam uma interface de controlo. Finalmente, são definidos três tipos de aplicações, subdivididas em três classes: simples, normal e complexa [15].

As aplicações das três classes ligam-se ao sistema através de conectores que possuem três linhas de estado e uma linha de controlo. As duas últimas classes requerem um circuito integrado que implementa as camadas física e lógica do protocolo. As aplicações complexas exigem o uso adicional de um microprocessador.

A. Meios de transmissão

O elevado custo das instalações, decorrente da enorme variedade de cabos empregados, que exigem muitas vezes o recurso a técnicos especializados, levou a SMART HOUSE à criação de um tipo de cablagem único e de fácil aplicação, constituído por três grupos de cabos [14]:

- Cabo de Derivação (*Branch Cabling*): cabo de potência convencional e cabo digital de dados (quatro pares de fios entrelaçados);
- Cabo de Aplicações (*Applications Cable*): cabo digital de dados e cabo de potência DC para os sensores;
- Cabo de Comunicações (*Communications Cable*): cabo coaxial para vídeo e cabo telefónico.

Grande parte das mensagens é transmitida por sensores, aplicativos, tomadas e pelo controlador do sistema, num cabo de seis condutores.

O subsistema de telecomunicações usa quatro pares entrelaçados e permite a acomodação de aplicativos telefónicos, digitais e analógicos, descodificadores de multifrequência, modems e dispositivos de voz. Em conjunto com o subsistema de controlo/comunicações, o sistema de telecomunicações permite que se efectue o acesso por telefone às funções de segurança da casa e que se efectue o controlo remoto dos dispositivos.

B. Comunicação e topologia

Os cabos digitais de sinalização são utilizados para o controlo de dispositivos, estado e mensagens de dados. O

sistema utiliza uma topologia em estrela, no centro da qual se encontra o controlador de sistema (Figura 16) [17].

Ao seu lado, situa-se o Centro de Carga que contém os *circuit breakers*. A esta localização dá-se o nome de Centro de Serviço pois possui uma UPS (*Uninterruptible Power Supply*), que fornece 12V DC e permite manter activos os sistemas de segurança, alarme e memória dos dispositivos electrónicos SMART HOUSE (no caso, por exemplo, de falha temporária da corrente); o *telephone gateway*, que permite o acesso às funções de segurança da casa e efectuar o controlo remoto; o *head-end*, para o sistema do cabo coaxial, etc.

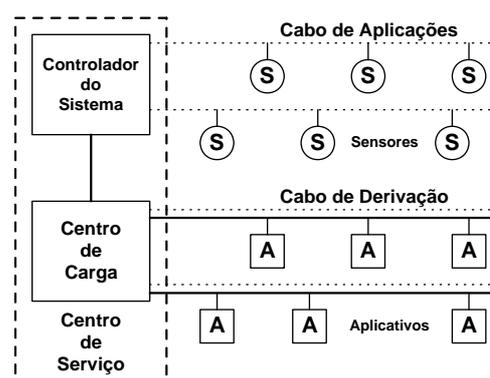


Figura 16 – Topologia da rede SMART HOUSE.

O controlador de sistema é um módulo electrónico que tem como função a gestão e o controlo da comunicação até 30 ramos de rede (cada um destes pode ter até 30 nós ou pontos de ligação). É também responsável pela implementação de todos os protocolos, executando eventos programados e sequências temporizadas, gestão de bases de dados, encaminhamento e coordenação de outras funções [15].

No sistema SMART HOUSE, sempre que os interruptores são activados, é enviado um sinal de 12V DC, que será detectado pelo controlador do sistema. Este, por sua vez, envia a potência AC para as tomadas adequadas (segundo tabelas pré-programadas), as quais a aplicarão, desde que lhes esteja ligado um dispositivo.

O subsistema de controlo/comunicações implementa um par de canais série assíncronos, a 9600 bps, via RS232. Um desses canais serve de interface entre aquele subsistema e o subsistema de telecomunicações. O outro permite aos técnicos de serviço o acesso ao sistema.

VIII. SISTEMA EHS

Criado e desenvolvido na Europa em 1987 [8], no âmbito dos programas EUREKA e ESPRIT, o EHS (*European Home Systems*) surgiu como resposta à necessidade, então sentida, da interligação entre os diferentes equipamentos eléctricos e electrónicos utilizados na construção de casas inteligentes.

Trata-se de um sistema aberto, com gestão distribuída e funções de controlo para todos os meios de transmissão disponíveis. É, além disso, um sistema de rede completo

que suporta todas as funções domóticas de uma forma modular, facilmente extensível e automaticamente configurável.

Tendo em vista a sua promoção foi criada, em 1990 a EHSA (*European Home System Association*), que integra firmas pertencentes a diferentes ramos de actividade, tais como: construção civil, indústrias de instalação e fornecimento de sistemas de telecomunicações, arquitectos, etc.

A. Tecnologia

Como já foi referido, o EHS pode utilizar vários meios de transmissão: par entrelaçado, cabo coaxial, rede eléctrica, radiofrequência, etc.

Os diferentes dispositivos comunicam entre si a uma taxa de transmissão variável, dependendo do meio físico utilizado.

A função MAC (*Medium Access Control*), do protocolo EHS, transmite pacotes de informação que possuem os seguintes campos, como a Figura 17 documenta:

- Endereço (contém o endereço do dispositivo ao qual a mensagem é destinada);
- Dados (contém os dados a transmitir entre os dispositivos);
- CRC (*Cyclic Redundancy Check*), para detecção e correcção de erros.



Figura 17 - Pacote EHS.

A especificidade do meio físico de transmissão não afecta a fiabilidade da comunicação, graças às camadas mais baixas do protocolo. Este decide o momento em que cada dispositivo pode iniciar a transmissão (utilizando a técnica do CSMA – *Carrier Sense Multiple Access*).

Todas as mensagens deverão ser confirmadas através de mensagens de confirmação (ACK). Se estas não forem recebidas, proceder-se-á à retransmissão das primeiras.

As técnicas de detecção de erros a empregar dependem do meio de comunicação utilizado. Assim no caso da rede eléctrica, por exemplo, é usada a seguinte técnica: emprego de códigos redundantes para detectar e corrigir erros tanto ao nível do *byte* como ao nível da mensagem.

B. Endereçamento e gestão de rede

São vários os níveis de endereçamento utilizados, a saber: lógico, rede e aplicação.

A configuração usa códigos únicos de endereçamento, permitindo a cada secção de rede utilizar até 256 terminais endereçáveis (sensores e actuadores). As secções de rede

podem ser interligadas através de encaminhadores, o que permite o aumento da sua capacidade até 10^{12} endereços.

Numa rede EHS os endereços são atribuídos dinamicamente [8]. Assim que o sistema arranca, uma unidade de sistema (*System Unit*) é responsável por atribuir os endereços a cada um dos dispositivos existentes no *bus* e estabelecer a comunicação entre eles. Cada unidade colocada na rede negocia automaticamente o seu endereço de rede, identificando-se a si própria na mesma rede e procurando outras unidades em si interessadas. É assim possível gerir, de forma transparente, a existência de topologias complicadas, detectando automaticamente os encaminhadores, etc.

As unidades de sistema usadas na gestão e integração da rede são: *Device Co-ordinator*, *Medium Controller* e *Router*. Cada unidade pode conter uma ou mais sub-unidades, ou seja, colecções de objectos representando elementos básicos das aplicações. São exemplos de sub-unidades as *Feature Controllers*, as *Simple Devices* e as *Complex Devices* (dispositivos que gerem um sensor ou um actuador específicos).

REFERÊNCIAS

- [1] Rye, Dave, "X-10 Ltd. Group History and Overview" in Home Toys Article, Junho, 1997.
- [2] "Tecnologia X-10: Inteligência Distribuída em Módulos" in Ingenium, Novembro, 1996.
- [3] Dutta-Roy, Amitava, "Networks for Homes" in IEEE Spectrum, Dezembro, 1999.
- [4] "EIB Information Kit", Maio, 2000, www.eiba.com.
- [5] Goossens, Marc, "The EIB System for Home & Building Electronics", EIBA S.C., Brussels, Belgium, Fevereiro 1998.
- [6] "Instabus EIB, Comando e Gestão Técnica de Edifícios", SIEMENS.
- [7] Wacks, Kenneth, "Introduction to the LonTalk Communications Protocol" in HTI News Article, Outubro, 1997.
- [8] Allen, Bob e Brian Dillon, "Environmental Control and Field Bus Systems", Dublin, 1997.
- [9] Lockareff, Mark, "Lonworks - An Introduction" in Home Toys Article, 1996-2000.
- [10] Wright, Maury, "Home Invasion: Commercial Networks Move In" in EDN Access, Agosto, 1999.
- [11] Webb, Warren, "Consumer Bus Defends Home Turf" in EDN Access, Agosto, 1999.
- [12] Wacks, Kenneth, "Introduction to the CEBus Communications Protocol", HTI News Article, 1997.
- [13] Dutta-Roy, Amitava, "Networks for Homes" in IEEE Spectrum, Dezembro, 1999.
- [14] Wacks, Kenneth, "Introduction to the Smart House System", in HTI News Article, Dezembro, 1997.
- [15] Strassberg, Dan, "Home Automation Buses: Protocols Really Hit Home" in EDN Access, Abril, 1995.