

Capítulo

1

Tecnologias de Redes de Comunicação para Sistemas Automotivos

Max Mauro Dias Santos

Abstract

With the great availability and the low cost of the current technology from data communication networks, its use to interconnect sensors, controllers and actuators comes gaining great acceptance in diverse application domains as aircraft, automobile, industrial among others. The communications networks are the basic infrastructure of a distributed computer system where the applications are distributed in the form of tasks that communicate through a bus. The automotive industry is one of the great ones benefited in the use of communication network technologies in them distributed applications. As main advantages have reduction of development costs and production, reduction weight and internal space, traffic management, entertainment, diagnosis and maintenance and a great amount of functions offers in level of comfort and security to the final user. Several technologies of communication networks are available in the market currently and in function of automotive application level the requirements of communication the networks can be classified. There are properties networks where the supplying is one or a group of suppliers that have a total domain of technology and the networks. Otherwise the open standard has the functionality technique widely available and standardized. The standardization of automotive networks technologies is conducted by organizations as SAE (Society of Automotive Engineers) and ISO (International Organization for Standardization). Some technologies available are: LIN (Local Interconnect Network), CAN (Controller Area Network), VAN (Vehicle Area Network), TTP (Time-Trigger Protocol), FlexRay, ByteFlight, MOST (Media Oriented Systems Transport), Bluetooth, J1939 between others.

Resumo

Com a grande disponibilidade e o baixo custo da atual tecnologia de redes de comunicação de dados, a sua empregabilidade para interconectar sensores, controladores e atuadores vêm ganhando grande aceitação em diversos domínios de aplicação como aviação, automotivos, industrial entre outros. As redes de comunicação são a infraestrutura básica de um sistema de computação distribuído em que as aplicações são distribuídas na forma de tarefas que se comunicam através de um meio de comunicação. A indústria automotiva é uma das grandes beneficiadas na utilização de tecnologias de redes de comunicação em suas aplicações distribuídas. Como principais vantagens têm-se a redução de custos de desenvolvimento e produção, redução peso e volume nos produtos finais, gerenciamento de tráfego e frota, entretenimento, facilidade em diagnóstico e manutenção e uma vasta oferta de funções em nível de conforto e segurança ao usuário final. Diversas tecnologias de redes de comunicação estão disponíveis no mercado atualmente e em função do nível de aplicação automotiva podem ser classificadas de acordo com os requisitos de comunicação solicitados pelas aplicações distribuídas. Existem as redes proprietárias em que o um fornecedor ou grupo de fornecedores detém o domínio total da tecnologia e as redes de padrão aberto em que a funcionalidade técnica estão amplamente disponíveis e padronizadas. A padronização de tecnologias de redes automotivas é regida por órgãos como o SAE (Society of Automotive Engineers) e ISO (International Organization for Standardization). Algumas das principais tecnologias de redes disponíveis no mercado são: LIN (Local Interconnect Network), CAN (Controller Area Network), VAN (Vehicle Area Network), TTP (Time-Trigger Protocol), FlexRay, ByteFlight, MOST (Media Oriented Systems Transport), Bluetooth, J1939 entre outras.

1.1. Introdução

A inserção de novos requisitos funcionais em sistemas automotivos é motivada pelos paradigmas da computação distribuída, de tempo real e tolerância a falhas, que direcionam pela busca incessante para a redução dos custos, tempo de produção, melhoria de qualidade em seus produtos. O foco principal visa garantir ao usuário final uma melhor utilização do automóvel ao nível de conforto e segurança.

Tradicionalmente, a indústria automotiva contemplava funções adicionais em sistemas automotivos baseado em sistemas mecânicos, os quais impunham uma restrição física limitando ao nível de custos e tempo de produção. Além disto, o interesse em adicionar funções avançadas como gerenciamento de frota, controle de tráfego, conforto, segurança, sistemas *x-by-wire*, manutenção, eram limitados pela inexistência de componentes de hardware capazes de suportá-las.

Atualmente, os sistemas automotivos incorporam funções perceptíveis ao usuário final, tais como sistemas de ar-condicionado automático, navegação inteligente, sistemas integrados de multimídia, controle de frota e funções que facilitam o diagnóstico e manutenção.

A Figura 1.1 apresenta um sistema automotivo controlado por algumas funções eletrônicas modernas às quais necessitam de alguns requisitos de comunicação bem definidos quando implementados na forma de sistema de computação distribuída com tecnologias de redes de comunicação.



Figure 1.1. Sistema automotivo controlado por funções modernas

Uma arquitetura de computação distribuída assemelha-se a um quebra-cabeça (puzzle), composta por computadores que executam tarefas e estas transmitem mensagens sob um barramento de comunicação. A sincronização das tarefas e mensagens garante a funcionalidade desejada de uma aplicação específica. A Figura 1.2. apresenta um exemplo de um escalonamento integrado de tarefas e mensagens em um sistema de computação distribuída composta por três computadores contendo quatro tarefas e duas mensagens trafegando sob o barramento de comunicação.

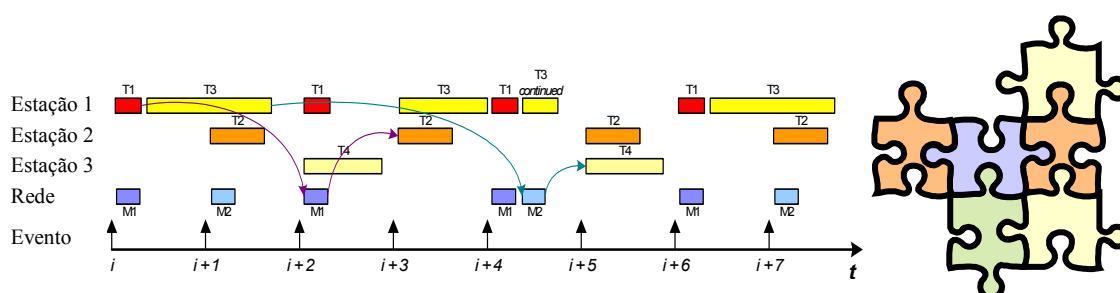


Figure 1.2. Projeto integrado de computação e comunicação

O crescente aumento de desempenho e redução de custos dos dispositivos microprocessadores e redes de comunicação motivaram a substituição de elementos puramente mecânicos que limitavam a inserção de funções avançadas por elementos eletro-mecânicos e eletrônicos. Além disso, teve-se a flexibilidade para que a indústria automotiva possa incorporar novas funções avançadas ao nível eletrônico e de software. Isto se torna extremamente atrativo ao fato da redução de custos e tempo de produção e flexibilidade na diversidade de funções e produtos com o mínimo de modificações em uma linha de produção.

Para satisfazer os requisitos de funções adicionais em sistemas automotivos, torna-se crescente a utilização por dispositivos microprocessados, redes de comunicação e paradigmas de desenvolvimentos de software, mostrando assim como a área de computação tornaram-se importante e até mesmo fator diferencial diferenciando no desenvolvimento de novos produtos em sistemas automotivos através da inserção de novas funções.

Com a grande disponibilidade e o baixo custo da atual tecnologia de redes de comunicação de dados, a sua empregabilidade para interconectar sensores, controladores e atuadores vêm ganhando grande aceitação em diversos domínios de aplicação como aeronaves, automotivos, industrial entre outras. As redes de comunicação são a infraestrutura básica de um sistema de computação distribuído em que as aplicações são distribuídas e beneficiaria desta tecnologia disponibilizada em diversos domínios de aplicações do mundo moderno.

A indústria automotiva é uma das grandes beneficiadas na utilização de tecnologias de redes de comunicação em suas aplicações distribuídas. Como principais vantagens têm-se a redução de custos de desenvolvimento e produção, redução peso e volume nos produtos finais, gerenciamento de tráfego e frota, entretenimento, facilidade em diagnóstico e manutenção e uma vasta oferta de funções em nível de conforto e segurança ao usuário final. Diversas tecnologias de redes de comunicação estão disponíveis no mercado atualmente e em função do nível de aplicação automotiva podem ser classificadas de acordo com os requisitos de comunicação solicitado pelas aplicações distribuídas.

Existem as redes proprietárias em que o um fornecedor ou grupo de fornecedores detém o domínio total da tecnologia e as redes de padrão aberto em que a funcionalidade técnica estão amplamente disponíveis e padronizados. A padronização de tecnologias de redes automotivas é regida por órgãos como o SAE (*Society of Automotive Engineers*) e ISO (*International Organization for Standardization*). Algumas das principais tecnologias de redes disponíveis no mercado são: LIN (*Local Interconnect Network*), CAN (*Controller Area Network*), VAN (*Vehicle Area Network*), TTP (*Time-Trigger Protocol*), FlexRay, ByteFlight, MOST (*Media Oriented Systems Transport*), Bluetooth, J1939 entre outras.

A SAE (*Society of Automotive Engineer*) é um órgão responsável pela padronização dessas tecnologias de rede automotivas, juntamente com a ISO (*International Organization*). Existem as redes proprietárias em que um fornecedor ou grupo de fornecedores detém o domínio total da tecnologia, e as redes de padrão aberto em que as funcionalidades técnicas estão amplamente disponível e padronizadas. Pode-se verificar disponíveis no mercado tecnologias de redes padronizadas como: LIN (*Local Interconnect Network*), CAN (*Controller Area Network*), VAN (*Vehicle Area Network*), TTP (*Time-Trigger Protocol*), FlexRay, ByteFlight, Bluetooth, J1939 entre outras. Uma apresentação inicial das principais tecnologias de redes automotives pode ser vista na Figura 1.3.



Figure 1.3. Principais tecnologias de redes automotivas

As redes de comunicação oferecem a capacidade e interconectar dispositivos de campo como sensores, atuadores e controladores a um custo baixo, utilizando uma quantidade reduzida de cabeamento e facilidade para configuração, diagnóstico e manutenção se comparadas com as conexões do tipo ponto-a-ponto..

Funções automotivas baseado em tecnologias *x-by-wire* são uma tendência de mercado, e endetnte-se por “x” qualquer função que possa ser implementada na forma de uma arquitetura eletrônica distribuída. Como exemplo destas funções pode-se citar os sistemas *steer-by-wire*, *thorttle-by-wire*, *brake-by-wire* entre outros.

Estas funções modernas necessitam de requisitos de comunicação como tempo real, tolerância a falha entre outros, e de forma ilustrativa algumas tecnologias de redes são candidatas a suportar estas funções no futuro como: TT-CAN, TT/C, ByteFlight e FlexRay. A Figura 1.4 apresenta um exemplo de um sistema *steer-by-wire* genérico.

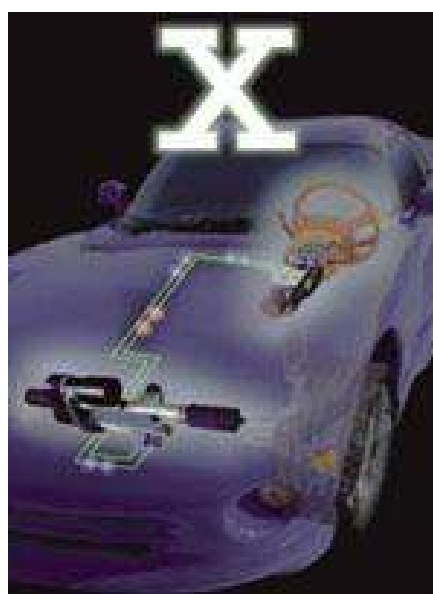


Figura 1.4. Um sistema automotivo *steer-by-wire*

1.2. Sistemas Eletrônicos Automotivos

Um sistema eletrônico automotivo consiste em um sistema computacional de vários subsistemas computacionais distribuídos onde a unidade de processamento sendo denotada por ECU (*Electronic Control Unit*) e interligadas através de uma rede de comunicação de dados. Em específico, uma ECU é um sistema computacional composto por unidades de processamento, unidades de entrada/saída, memória e fonte de alimentação.

A Figura 1.5 apresenta de forma descritiva uma ECU para um sistema automotivo com seus principais componentes e sua disposição nas aplicações em um sistema automotivo.

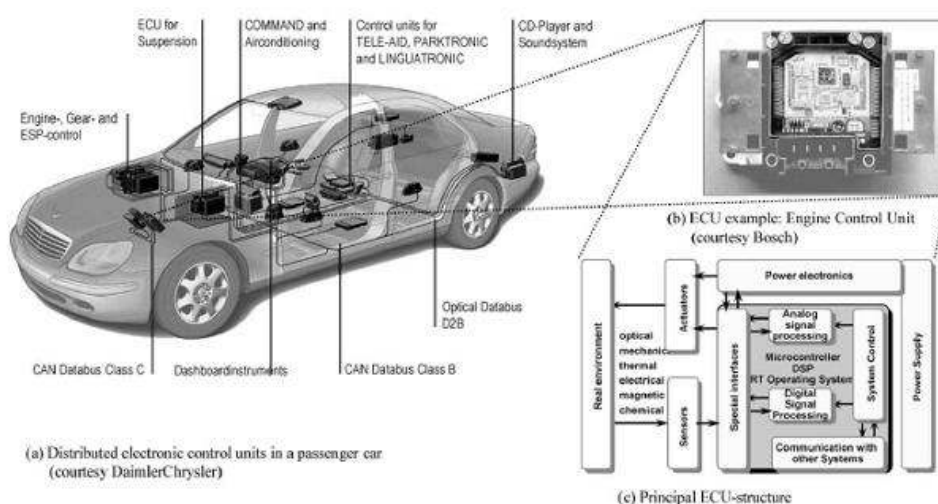


Figura 1.5. Uso de ECU's em um sistema automotivo

A inserção de novas funções automotivas motiva a utilização de ECUs interconectadas apresentando uma arquitetura de computação distribuída aumentando assim o grau de complexidade para o sistema ao nível de controle e gerenciamento global.

Considera-se então que os sistemas automotivos apresentam uma crescente evolução de inovações tecnológicas motivadas pelo uso de sistemas eletrônicos. Alguns requisitos funcionais devem ser vistos para se ter uma melhor noção a respeito de sistemas automotivos. Esses requisitos indicam as funcionalidades presentes nos automóveis.

O estado atual dos sistemas eletrônicos contidos nos sistemas automotivos consiste em quatro partes principais que são o *Body Electronics*, *System Electronics*, *Redes de Comunicação* e *Sensores Inteligentes*.

Body Electronics – São funções relacionadas ao controle e gerenciamento ao nível de conforto do usuário durante a utilização do automóvel tais como vidro elétrico, ar-condicionado, painel de instrumentos, retrovisor, etc.

Systems Electronics – São funções de controle e gerenciamento das informações que estão diretamente relacionadas ao movimento dinâmico do automóvel tais como freio ABS, acelerador, powertrain, estabilidade eletrônica, etc.

Redes de comunicação – São entidades que tem como principal função interconectar as ECU's para transmitir mensagens entre as tarefas distribuídas. Existem diversos padrões em função dos requisitos funcionais das aplicações automotivas. Alguns exemplos de tecnologias de redes automotivas são: A-BUS, LIN, TTP/A, CAN, VAN, TT-CAN, TTP/C, ByteFlight, FlexRay, MOST, D2B, etc.

Sensores inteligentes - Se motivam em função do alto volume de fabricação automotiva, o que está levando a indústria de sensores a desenvolver novas soluções a baixo custo para muitos problemas de medição sob um automóvel. A vantagem em utilizar os sensores inteligentes é a habilidade integrada em processamento de grandezas como temperatura, nível de fluido, pressão, etc. e comunicação com outras entidades eletrônicas. Com isto será permitido algum pré-processamento do sinal medido e simplificar problemas originados pela interconexão de interfaces.

1.3 Requisitos de Comunicação

Os requisitos de comunicação no âmbito de sistemas eletrônicos automotivos se dividem em dois tipos: os requisitos gerais e técnicos. Dentro dos requisitos gerais, três tópicos importantes serão abordados: custos, tecnologias e tempo de mercado.

Custo - A indústria automotiva apresenta como uma das principais características a redução de custos. Como milhões de carros são produzidos por ano, estima-se que futuramente a parte eletrônica de um carro irá corresponder entre 30 a 35% do valor total do carro. Entretanto, a presença de um componente eletrônico e novos paradigmas de software pode reduzir substancialmente os custos na produção em massa, o que ocasionará uma redução muito significativa no valor do produto final para os usuários.

Tecnologia - Para que isto ocorra, é preciso ter o uso de algumas tecnologias que serão responsáveis pela interconexão dessas ECU's, e que também sejam compatíveis com todos os requisitos necessários para o bom funcionamento e segurança de toda parte eletrônica automotiva. Essas tecnologias foram descritas acima, e são conhecidas como redes automotivas. Elas devem suportar todos os requisitos dos subsistemas automotivos modernos.

Mercado – O tempo de mercado para um novo produto é o terceiro ponto principal dentro dos requisitos gerais. Conseguir manter um produto em um mercado competitivo entre as montadoras durante um tempo bem considerável contribui para a redução de custos ao nível de projeto para um novo modelo.

Dentro dos requisitos técnicos são determinados cinco paradigmas de tecnologias de comunicação para poder atender às exigências técnicas das funções de um sistema de computação distribuída automotivas que são tolerância a falhas, previsibilidade, largura de banda, flexibilidade e segurança.

Tolerância a falha - Quando o sistema não se comporta de acordo com o especificado, diz-se que ocorreu uma falha. Sendo assim, sistemas tolerantes a falhas são criados para

serem tolerantes a qualquer tipo de falhas consistentes ou inconsistentes, defeitos de circuitos elétricos, erros de transmissões, etc. Eles são projetados inicialmente usando o conceito de redundância.

Previsibilidade – Para que um sistema de comunicação ser previsível, este deverá fornecer garantias em termos de tempo de respostas bem definidos na transmissão de mensagens, sob diferentes condições de carga.

Largura de Banda - No domínio automotivo é mais desejável obter uma tecnologia de rede comunicação que seja mais barata, e que possua uma faixa de largura de banda menor, devido às exigências que são colocados nos requisitos de custo.

Flexibilidade - Com o intuito de se conseguir gerenciar toda a complexidade dos subsistemas automotivos, as tecnologias de redes automotivas devem ter a capacidade de se adaptar as indiferenças dos requisitos de comunicação.

Segurança - Dentro do contexto automotivo, deve-se assegurar que nenhum acesso desautorizado ao sistema seja possível. Um exemplo disto seria o controle total do subsistema de diagnóstico.

1.4 Subsistemas Típicos

Um sistema automotivo consiste em um conjunto de entidades que se relacionam entre si para um objetivo bem definido ao usuário final. Nomeadamente as entidades são definidas como subsistemas e estes podem ser classificados quanto a funcionalidade que exercem como: sistemas de segurança ativa, segurança passiva, *powertrain*, conforto, carroceria e *x-by-wire*.

Sistemas de Segurança Ativa – Os sistemas de segurança ativa consistem em garantir a segurança do veículo quanto seu comportamento dinâmico e incluem algumas funções de auxílio a direção tais como:

Antilock Braking System (ABS): este sistema ajuda ao controlador de direção a não derrapar durante uma frenagem, além de impedir que as rodas travem.

Controle Dinâmico do Veículo (VDC): divide-se em dois: Controle de Estabilidade Dinâmica (DSC) – serve para melhorar a dinâmica de direção do veículo. Programa de Estabilidade Eletrônica (ESP) – é um adicional do ABS, e serve para ajudar ao controlador de direção em situações de derrapagens. A Figura 1.6 apresenta um exemplo comparativo de sistema VDC.

Adaptive Cruise Control (ACC): O Controle de cruzeiro adaptativo, geralmente denominado por piloto automático, visa garantir uma velocidade constante em função a velocidade de referência estabelecida pelo motorista e ajuste desta em função às interferências externas. A Figura 1.7 apresenta um exemplo comparativo de sistema ACC.

Controle de Amortecedor Eletrônico (EDC): serve para ajustar os choques que são absorvidos com a estrada em várias circunstâncias de direção. A Figura 1.8 apresenta um exemplo comparativo de um automóvel sem e com freio ABS.

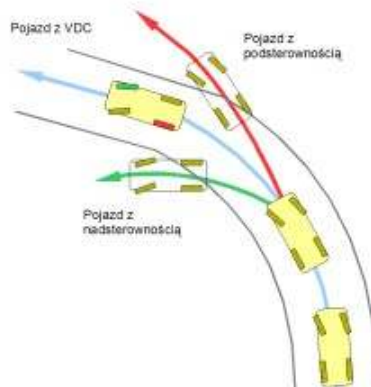


Figura 1.6. Exemplo de sistema de controle VDC

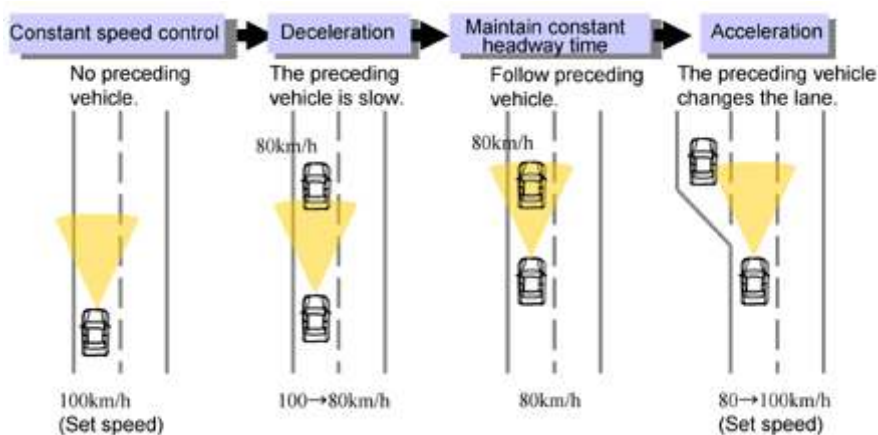


Figura 1.7. Exemplo de sistema de controle ACC

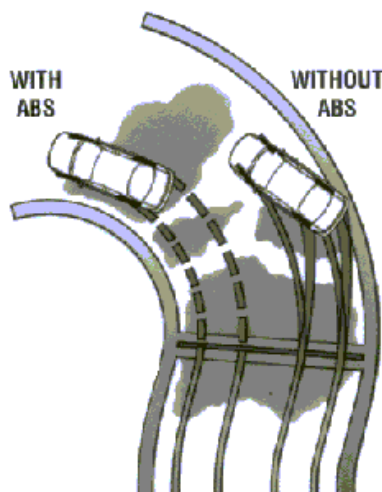


Figura 1.8. Exemplo de sistema de freio ABS

Sistemas de Segurança Passiva - Os sistemas de segurança passiva servem para controlar as funções relacionadas à segurança dos passageiros no sistema automotivo. Estes sistemas têm como principal objetivo minimizar os ferimentos nas pessoas que podem ser ocasionados durante acidentes evitando-se assim a perda de vidas humanas.

Na Figura 1.9 tem-se um exemplo da utilização de airbag e cintos de segurança em um ambiente de testes.



Figura 1.9. Exemplo de um sistema de *airbag* e cinto de segurança

Powertrain – É o conjunto motriz do automóvel composto pelo motor e sistemas de transmissão. Relacionado diretamente à dinâmica do automóvel podendo ser eletronicamente controlador com objetivos bem definidos de otimização no desempenho total do veículo.

Carroceria – É uma estrutura que envolve algum determinado veículo e que geralmente define a sua forma. Geralmente é constituída pelo motor, habitáculo dos passageiros e porta-malas. Existem vários tipos de carrocerias, sendo que algumas são montadas separadas do chassi do automóvel, outras fazem parte da estrutura do carro (estilo de construção conhecido como monobloco, caso da maioria dos veículos atuais).

Conforto - Constitui-se pelas funções básicas de conforto ao usuário como ar condicionado, controle de temperatura, travas elétricas, vidros elétricos, entre outros. Além destes tem-se ainda as funções de entretenimento que tem crescido rapidamente em termos de tamanho de *software* devido as diversas aplicações multimídias existentes. Cada vez mais os automóveis estão investindo em aplicações deste tipo, e alguns exemplos demonstrados são: sistemas de áudio e vídeo *players*, microfones, vídeo games, acesso a internet, sistemas de navegação GPS, entre outros. Através da Figura 1.10 exemplo de sistema do tipo multimídia e entretenimento são possível ver o exemplo de um GPS.



Figura 1.10. Exemplo de sistema do tipo multimídia e entretenimento

Sistemas X-by-Wire – Um sistema *x-by-wire* é qualquer função automotiva que originalmente implementada por dispositivos mecânicos/hidráulicos possam ser substituídas por implementações eletrônicas. Especificamente o “x” refere-se a qualquer função realizada por um enlace de comunicação entre unidades de processamento, e possam ter as mesmas funcionalidades relativo à sua implementação original. A Figura 1.11 apresenta um exemplo de uma arquitetura *drive-by-wire*.

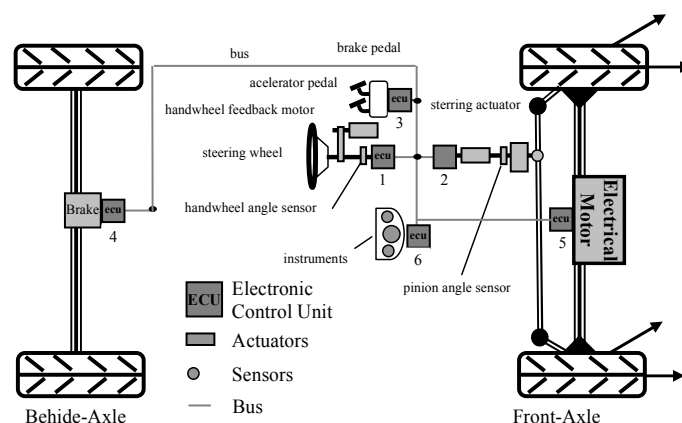


Figura 1.11. Arquitetura de um sistema automotivo *drive-by-wire*

1.5. Classificação das Redes de Comunicação Automotivas

As redes automotivas são entidades físicas que tem por objetivos transmitir e receber sinais e/ou mensagens gerados pelas tarefas que executam em unidades computacionais denotados por ECU. As ECUs programam funções que controlam ou gerenciam o sistema automotivo de forma global às quais se pode ter: freio ABS, powertrain, vidro elétrico, ar-condicionado, controle de assento, som e vídeo multimídia, embreagem, aceleração, entre outros.

As tecnologias de redes automotivas definidas pelas SAE descrevem uma classificação de redes de comunicação em função dos requisitos das aplicações automotivas. A SAE classifica as Classes A, B e C e para as aplicações de entretenimento estenderemos ao conceito de Classe de Entretenimento.

Classe A - São redes de comunicação com baixa largura de banda utilizada em funções de conforto como vidro-elétrico, retrovisor, controle de bancos, lâmpadas, etc. Alguns exemplos de rede automotivas do tipo classe A são: A-BUS, LIN e TTP/A. Veja o exemplo de uma rede do tipo classe A na Figura 1.12.

Classe B - São redes utilizadas para aplicações que são importantes, mas não essenciais para a operação do automóvel, como display de informação de velocidade, controle de nível de combustível, powertrain (comunicação de tarefas), etc. Alguns exemplos de rede automotiva do tipo classe B são: VAN, J1850, J1939 e CAN. Veja o exemplo de uma rede do tipo classe B na Figura 1.12.

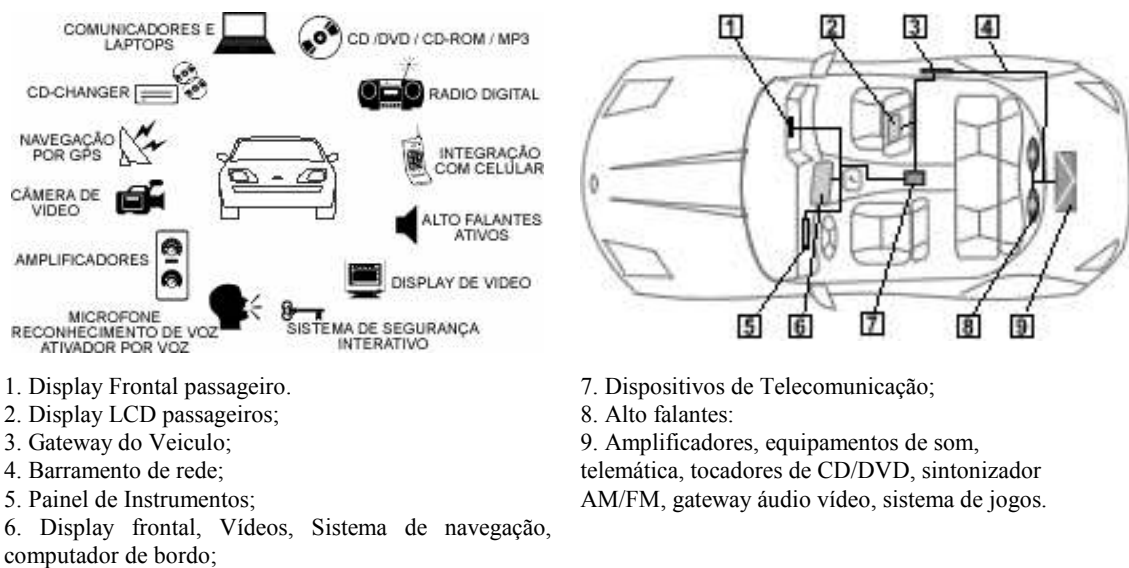


Figura 1.14. a) Aplicações de entretenimento; b) Arquitetura distribuída

1.6 Arquiteturas Comerciais

As montadoras oferecem produtos veiculares com uma vasta gama de funções proprietárias ou não, e em função disto podem estruturar suas arquiteturas distribuídas de forma mais eficiente possível, objetivando reduzir custos de produção, diagnóstico, manutenção e melhoria constante na qualidade dos serviços oferecidos.

Diversas pospostas de arquitetura de computação distribuídas para sistemas automotivos nos veículos estão disponíveis em literaturas, entretanto apresenta-se uma proposição da Fujitsu, em que consiste num backbone principal e três sub-redes agrupadas de acordo com as classes de funções que pertencem. Na Figura 1.15 apresenta-se esta arquitetura proposta com a flexibilidade em utilizar tecnologias de redes como LIN, CAN, FlexRay, MOST e IDB1394.

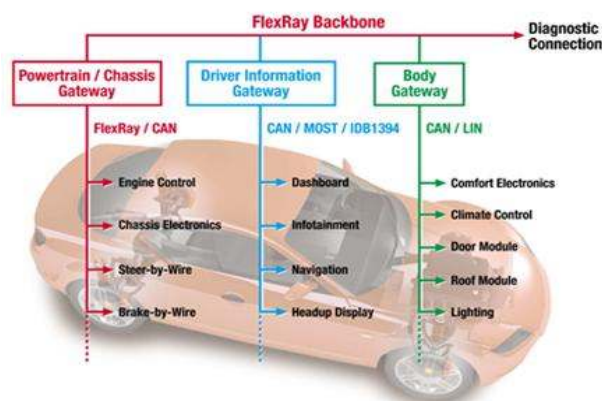


Figura 1.15. Exemplo de uma arquitetura automotiva genérica (Fujitsu)

De forma ilustrativa e informativa serão apresentadas algumas arquiteturas de computação distribuídas para sistemas automotivos no âmbito comercial, respeitando-se

que a origem destas são de inteira propriedade das empresas e que neste trabalhos apenas apresenta-se com comentários superficiais.

As principais arquiteturas comerciais de sistemas automotivos contemporâneos apresentados a seguir são para os modelos: FIAT STILO, Volvo S80, Volvo XC90, BMW 7 Série, VW Passat, VW Phaeton, Audi A8, Citroen C5.

FIAT STILO - A arquitetura FIAT STILO é composta por 22 ECU's que estão divididas em três grupos que são: *powertrain* e *chassis*, *body electronics*, e conforto. Utiliza-se o barramento CAN (C-CAN) a elevada velocidade (500 Kbps – barramento vermelho) para o *powertrain* e *chassis*, e *body eletrônica* e um barramento CAN (B-CAN) de baixa velocidade (50 Kbps – barramento azul) para o grupo *body electronics*. Já para o grupo de conforto é utilizada a rede A-bus com taxa de transmissão de 4.800 Bits/s (barramento verde). O *gateway* é a ECU denominado por NBC (*Node Body Computer*) apresentado na Figura 1.16 tem como função de interconectar subsistemas que utilizam de redes distintas.

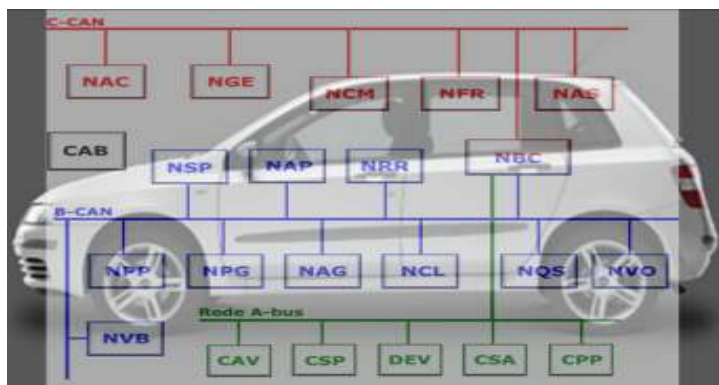


Figura 1.16. Arquitetura em rede do modelo FIAT STILO

Volvo S80 e Volvo XC90 - As arquiteturas de sistemas automotivos do modelo Volvo S80 e XC90 são apresentadas respectivamente nas Figuras 1.17 e 1.18.

No modelo S80 a arquitetura geral é composta de 18 ECU's que estão divididas em dois grupos: *powertrain/chassis*, e *body electronics*. Utiliza-se a tecnologia de rede CAN para ambos os barramentos sendo uma 500 Kbps (barramento vermelho) para o grupo *powertrain/chassis* e outro a 125 Kbps (barramento verde) para o grupo *body electronics*. O *gateway* para inerconexão dos barramentos é representado pela ECU CEM (*Central Electronic Module*).

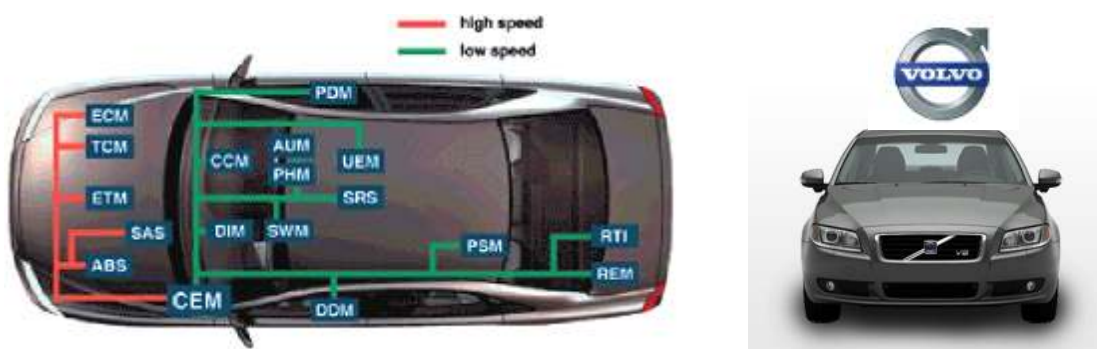


Figura 1.17. Arquitetura de rede do modelo Volvo S80

A arquitetura do modelo Volvo XC90 é composta por 40 ECU's que estão divididas em três grupos: *powertrain/chassis*, entretenimento, e *body electronics*. O barramento CAN de alta velocidade a 500 Kbps (barramento vermelho) é utilizado para o grupo *powertrain/chassis*. Outro barramento CAN de baixa velocidade a 125 Kbps (barramento verde) para o grupo *body electronics*. E finalmente para o grupo de entretenimento (barramento azul) é utilizada a rede MOST e também é utilizada a rede LIN para conectar os nodos escravos no sistema. O *gateway* padrão para automóveis Volvo é denotado pela ECU CEM (*Central Electronic Module*).

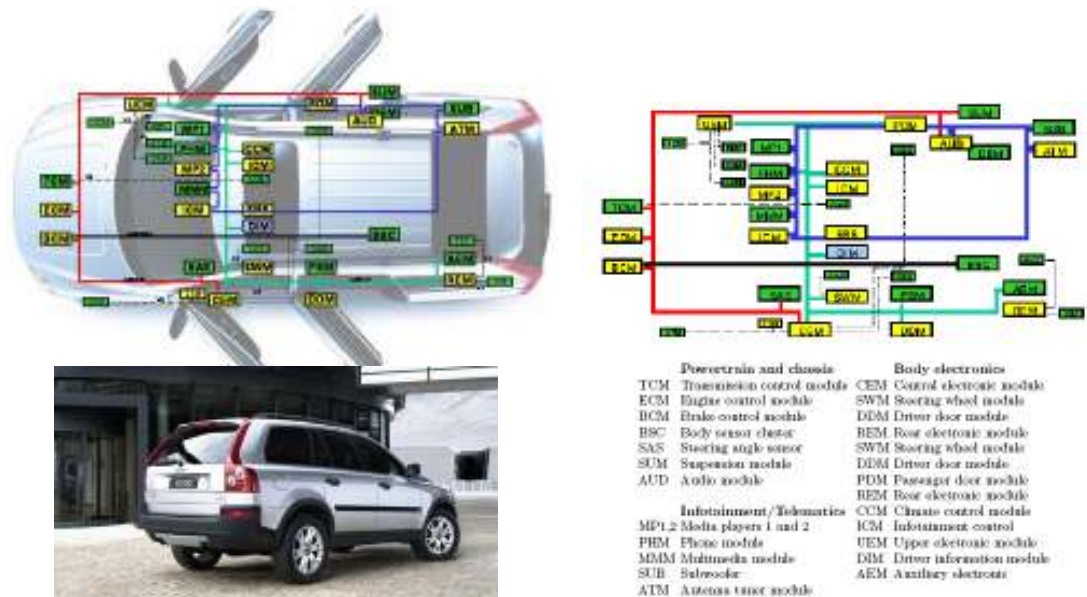


Figura 1.18. Arquitetura de rede do modelo Volvo XC90

BMW 7 - A arquitetura do BMW 7 é composta por 65 ECU's que estão divididas em quatro grupos que são: *powertrain/chassis*, entretenimento, *body electronics*, e segurança passiva. O barramento MOST é utilizado no grupo de entretenimento e possui a velocidade de 22 Mbps, já para o grupo de *body electronics* é utilizado um barramento CAN de baixa velocidade a 100 Kbps. O grupo de *powertrain/chassis* utiliza o barramento CAN de alta velocidade a 500 Kbps, enquanto que o grupo de segurança passiva utiliza o barramento *Byteflight* com uma largura de banda de 10 Mbps. Esta arquitetura pode ser vista através da Figura 1.19.

Verifica-se na figura que existem diferentes combinações de arquiteturas de redes, como estrela, anel e barramento, de acordo com os requisitos que as funções demandam. Um *gateway* interligando todas as tecnologias de redes dá condições para que os diversos subsistemas possam interagir da melhor forma possível. Uma característica interessantes desta arquitetura é a capacidade de apresentar todas as classes de redes existentes num só automóvel e que a rede *ByteFlight* é uma tecnologia de rede automotiva desenvolvida, de propriedade e utilizada apenas pela BMW.

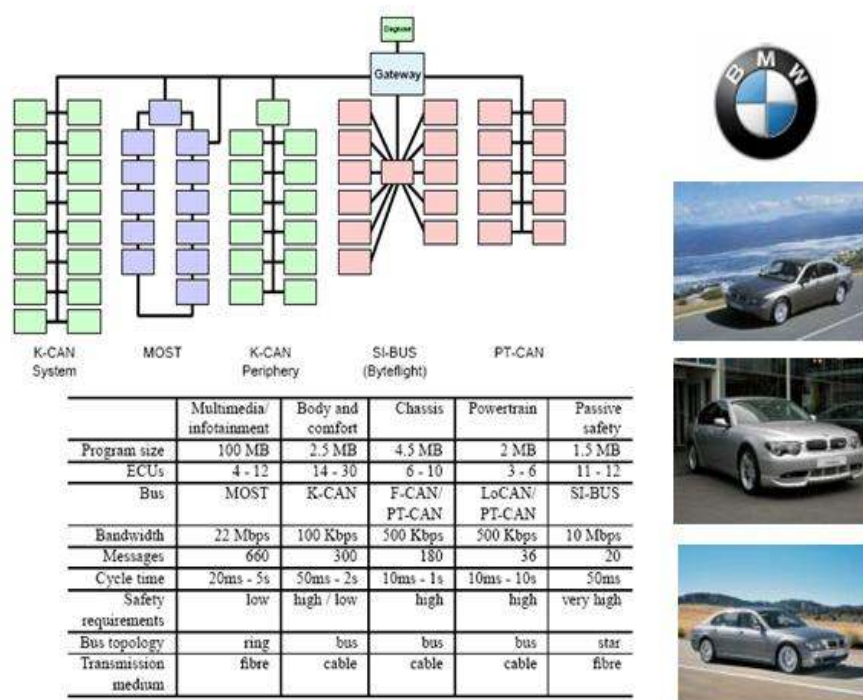


Figura 1.19. Arquitetura e descritivo das redes do modelo BMW 7

VW Passat e VW Phaeton - A arquitetura do modelo VW Passat é composta por 51 ECU's que estão divididas em três grupos que são: *powertrain/chassis*, entretenimento, e *body electronics*. A rede CAN é amplamente utilizada nesta arquitetura, sendo o barramento CAN de alta velocidade para a parte de CAN Antrieb, para o grupo *powertrain e chassis*. Para o grupo de grupo *body electronics* (CAN Komfort) tem-se um barramento CAN com interconexão de sub-redes LIN. E finalmente tem-se uma rede CAN para o grupo de entretenimento (CAN Infotainment). A representação desta arquitetura pode ser vista na Figura 1.20, notando-se ainda que um *gateway* seja utilizado como integrador das redes CAN e para um barramento de diagnose.

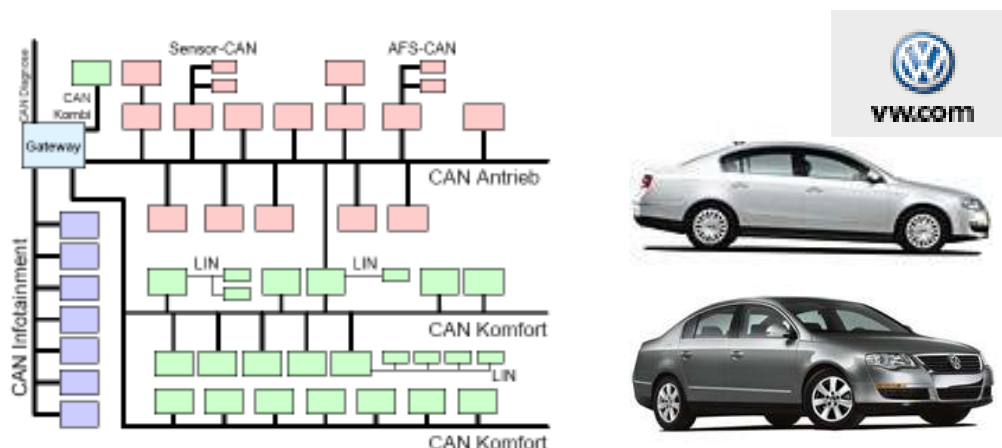


Figura 1.20. Arquitetura de rede automotiva para modelo VW Passat

A arquitetura do modelo VW Phaeton é composta por 47 ECU's que estão divididas em três grupos que são: *powertrain/chassis*, entretenimento, e *body electronics*. A rede CAN é utilizada para os três grupos sendo a de alta velocidade para

o grupo de *powertrain* e *chassis* (500 Kbps), e de a baixa velocidade para os grupos de *body electronics* e entretenimento (125 Kbps). A arquitetura do VW Phaeton pode ser vista através da Figura 1.21.

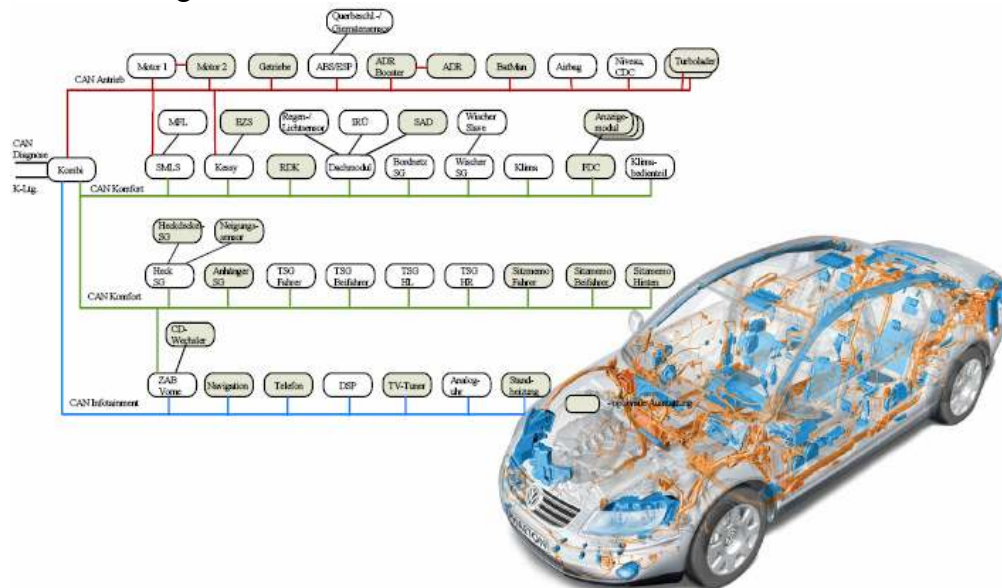


Figura 1.21. Arquitetura de rede automotiva para modelo VW Phaeton

Audi A8 - A arquitetura Audi A8 é composta por 43 ECU's que estão divididas em três grupos que são: *powertrain/chassis*, entretenimento, e *body electronics*. A rede CAN também é muito utilizada nesta arquitetura. Tanto o barramento CAN de alta velocidade (para o grupo de *powertrain* e *chassis*) a 500 Kbps, como o barramento CAN de baixa velocidade (para o grupo de *body electronics*) a 100 Kbps. Emprega-se ainda a rede MOST para o grupo de entretenimento, com uma largura de banda de 21 Mbps. Esta arquitetura pode ser vista através da Figura 1.22.

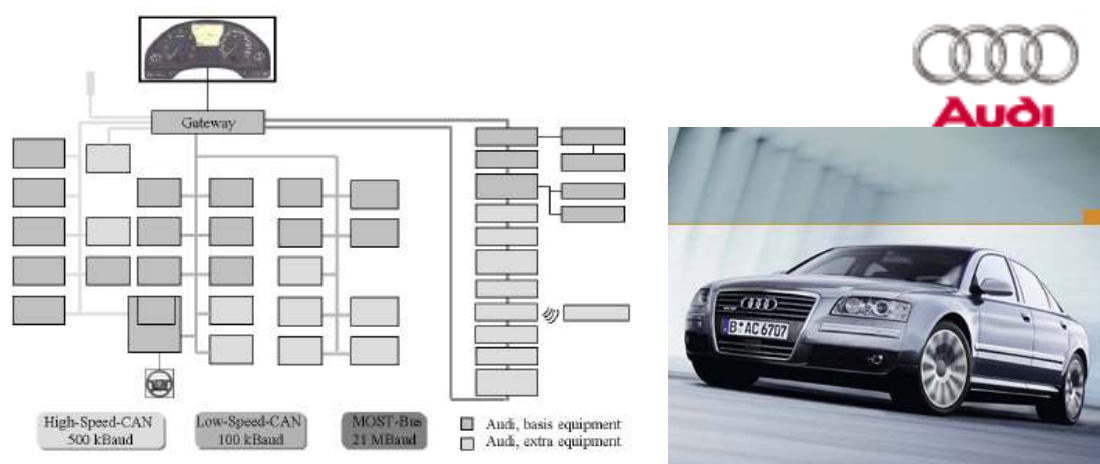


Figura 1.22. Arquitetura de rede automotiva para o modelo Audi A8

Citroen C5 - A arquitetura Citroen C5 é composta por 20 ECU's que estão divididas em quatro grupos: *powertrain/chassis*, entretenimento, *body electronics*, e segurança crítica. A rede CAN é utilizada nesta arquitetura no grupo *powertrain/chassis*. Já os

grupos entretenimento, *body electronic* e segurança crítica utilizam o barramento VAN (Vehicle Area Network). A Figura 1.23 apresenta de forma ilustrativa a arquitetura do modelo Citroen C5.

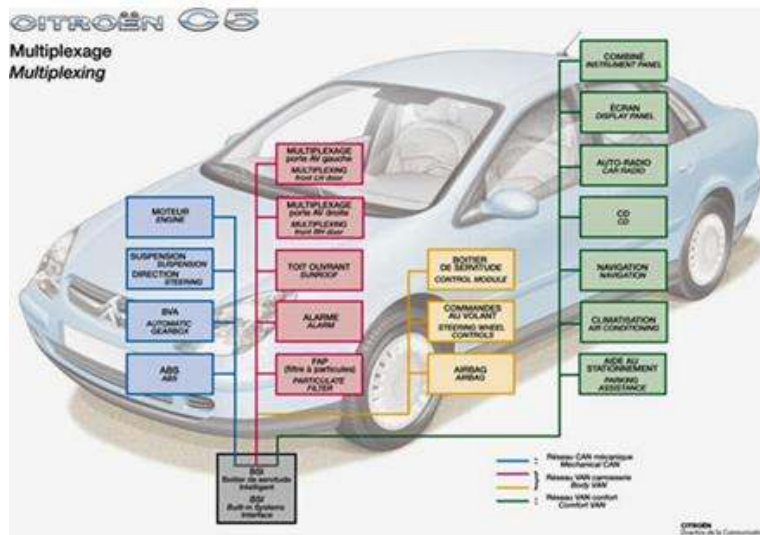


Figura 1.23. Arquitetura de rede automotiva para o modelo Citroen C5

1.7 Redes Automotivas Classe A

As tecnologias de redes automotivas são classificadas pela SAE em redes Classe A, B e C, e uma extensão a esta classificação denota-se por Classe de Entretenimento aquelas que satisfazem os requisitos de aplicações de entretenimento. Para as redes Classe A têm-se como exemplos a A-bus, LIN e TTP/A, e a seguir iremos apresentar algumas destas tecnologias de redes.

1.7.1 Rede LIN (Local Interconnect Network)

A rede LIN (*Local Interconnect Network*) é uma sub-rede de comunicação que foi projetada por um Consórcio LIN com a primeira especificação sendo publicada em 1999. Os membros do consórcio inicial eram compostos por cinco montadoras de automóveis europeias tais como a Audi, BMW, Daimler-Chrysler, Volkswagen, Volvo Corporation, uma fornecedora de tecnologia de semicondutores – Motorola, e a empresa Volcano Communications Technologies (VCT) – produtora de ferramentas de desenvolvimento (software). A Figura 1.24 apresenta a estrutura do Consórcio LIN.

A rede LIN foi inicialmente criada para encontrar uma solução de comunicação de dados a baixo custo, entre sensores e atuadores nas aplicações automotivas. Isso por causa dos preços elevados que as outras tecnologias de redes automotivas dispõem.

Uma descrição cronológica da rede LIN faz-se da seguinte forma: em outubro de 1998 teve início a criação do consórcio com a primeira especificação sendo apresentada em 1999. A LIN foi padronizada de forma aberta em 2000 (LIN 1.1), em 2002 (LIN 1.3) e em 2003 (LIN 2.0) sendo introduzida pela primeira vez em um automóvel no ano de 2001. Atualmente a rede LIN é forte candidata a substituir as tecnologias de rede que operam em domínios de conforto.



Figura 1.24. Estrutura inicial do Consórcio LIN

A criação da rede LIN e a sua especificação é bem ilustrada através da Figura 1.25 onde as empresas pertencentes ao Consórcio LIN definiam a especificação do protocolo, descrição da linguagem e especificação da *Application Programming Interface* (API).

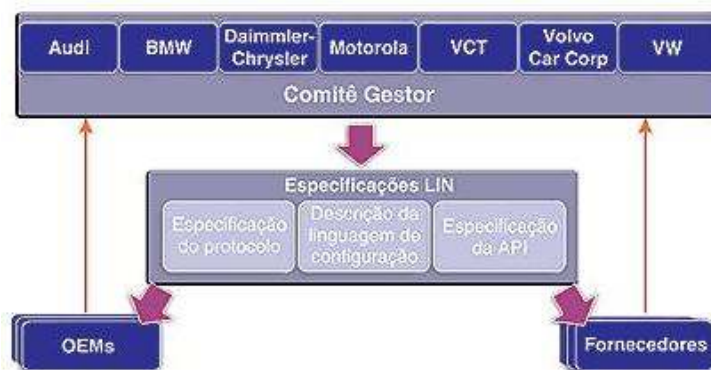


Figura 1.25. Estrutura organizacional das funções do Consórcio LIN

Ela teve sua especificação finalizada em 2 de fevereiro de 2000, e seu lançamento oficial ocorreu em março de 2000, em um congresso da *Society of Automotive Engineers* (SAE). Mesmo com o término de sua especificação, esta continua em aberto ainda para possíveis modificações.

De acordo com a especificação e padronização definida pela SAE, a LIN é uma sub-rede do tipo classe A na qual possui uma comunicação com baixa largura de banda utilizada em aplicações não críticas no corpo eletrônico de automóveis, como por exemplo: controle de lâmpadas, de faróis, de assento, de portas, de janelas, de teto conversível, de ar-condicionado, entre outros.

A rede LIN é um protocolo de comunicação serial que utiliza um único fio de barramento para transmissão e recepção de dados, baseada no padrão *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* (UART) para a comunicação de dados, e possui uma velocidade máxima de transmissão de 20 Kbps. Um exemplo de utilização da rede LIN em automóveis é visto na Figura 1.26 para controle de assento e de retrovisores.

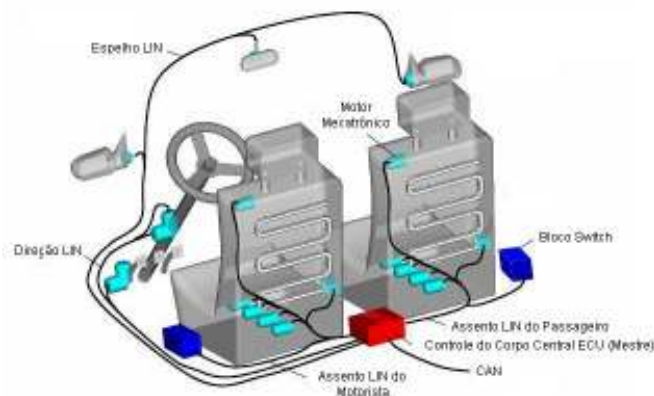


Figura 1.26. Controle de assento com barramento LIN

1.8 Redes Automotivas Classe B

As tecnologias de redes automotivas Classe B oferecem mecanismos de comunicação para redes utilizadas para aplicações que são importantes, mas não essenciais para a operação do automóvel, como display de informação de velocidade e nível de combustível. As Classes A e B são aplicadas no corpo eletrônico de um automóvel. Alguns exemplos de rede automotiva do tipo classe B é CAN (*Controller Organization for Standardization*) e a VAN (*Vehicle Area Network*). Veja o exemplo de uma rede do tipo classe B na Figura 9 Uma arquitetura de rede automotiva Classe B.

1.8.1. Rede CAN (Controller Area Network)

A rede CAN (*Controller Area Network*) foi originalmente projetada para ser utilizada em veículos automotivos para resolver os problemas de cabeamento que aumentavam com o crescimento do uso de componentes baseados em microprocessadores e funções agregadas. A rede CAN foi padronizada pela SAE (*Society of Automotive Engineers*) e pela ISO (*International Organization for Standardization*).

O protocolo CAN constitui-se num conjunto de especificações ao nível de camada física, como o *Medium Access Control* (MAC) e *Logic Link Control* (LLC) do modelo de referência *Open Systems Interconnection* (OSI). Sendo então necessária à implementação de camadas superiores com serviços adicionais para outros domínios de aplicação.

O grande interesse pelo padrão CAN tanto por parte da engenharia de automação industrial como por parte da engenharia automotiva, foi devido ao fato de possuir diversas características marcantes, tais como: baixo custo; multi-mestre; taxa de transmissão de 5 Kbps a 1 Mbps; *broadcast*; capacidade *multicast*; reduzido tempo de atraso; considerável imunidade a ruído; capacidade de detectar e sinalizar erros; flexibilidade de configuração; retransmissão automática de mensagens “em espera” logo que o barramento esteja livre; atribuição de prioridade às mensagens; distinção entre erros temporários e erros permanentes dos nodos e protocolo padrão ISO.

Sendo assim, a indústria de automação industrial notou que os benefícios que a rede CAN poderia oferecer de serviços básicos era o que as aplicações industriais necessitavam, contanto que camadas adicionais fossem inseridas com serviços

específicos. Com o objetivo de padronização dos sistemas de *Fieldbus* (barramento de campo) para automação industrial, a IEC e CENELEC definiram um conjunto de padrões para diferentes tecnologias de *Fieldbus*. Um exemplo é a norma EN 50325 e IS 62026-X que compreendem em diferentes soluções *Fieldbus* baseada na tecnologia CAN. Dentre estas pode-se citar os padrões tais como DeviceNet, SDS e CANOpen, adequadas para o suporte de aplicações na forma de controle via redes (NCS) de pequena escala em automação industrial.

As variantes da rede CAN para automação industrial possuem um considerável *overhead* relativo às camadas superiores, o que dificulta o cálculo de tempo de transmissão de mensagens, o que não é relevante para as aplicações industriais de propósito gerais. Através da Figura 1.27 estrutura em camadas do protocolo CAN, é possível visualizar a estrutura básica do protocolo CAN com as seguintes camadas se comparadas com o modelo RM-OSI.

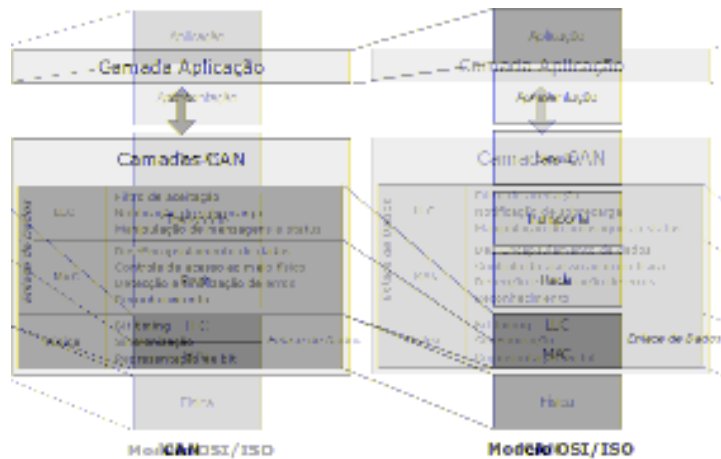


Figura 1.27. Estrutura em camadas do protocolo CAN

A BOSCH lançou uma versão inicial e não comercializada do protocolo CAN que foi o CAN 1.0, sendo comercializada posteriormente a partir do CAN 2.0. A versão 2.0 é completamente compatível com a versão 1.0 e ainda possui duas variantes, o CAN 2.0A *standard* e o 2.0B *extended*. Esses dois padrões podem ser vistos através da Figura 1.28 onde se apresenta o formato de *frames* CAN. Tanto na versão 1.0 como na versão 2.0A o campo identificador possui 11 bits de comprimento, já na versão 2.0B pode ter tanto 11 bits quanto 29 bits no campo de identificação.

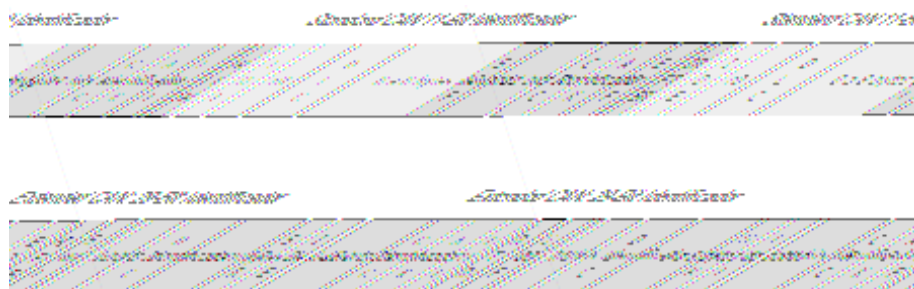


Figura 1.28. Formato dos padrões de frames CAN

Abaixo é apresentada a descrição dos campos de um *frame* CAN:

SOF (1 *bit*) *Start of Frame*: caracteriza o início de uma mensagem, e é utilizado para sincronizar os nodos sob o barramento para uma transmissão.

Identificador (11 *bits* CAN 1.0 e 2.0A e 29 *bits* CAN 2.0B): define a identificação e a prioridade de uma mensagem. O menor valor binário possui a maior prioridade de transmissão.

RTR (1 *bit*) *Remote Transmission Request*: indica uma requisição de transmissão remota.

SRR (1 *bit*) *Substitute Remote Request*: indica uma requisição remota substituta, na qual é transmitido no *frame extend* na posição do bit RTR do *frame standard*.

IDE (1 *bit*) *Identifier Extension*: corresponde a uma extensão do identificador. Se nenhum bit está sendo transmitido como valor lógico 0 (dominante), significa que não existem mais bits identificadores a serem enviados.

R0 (1 *bit*): *Bit* reservado para utilização de variantes do CAN.

DLC (4 *bits*) *Data Length Code*: corresponde ao código de controle de dados. Contém o número de *bytes* de dados a serem transmitidos.

Dados (64 *bits*): contém os dados da mensagem da aplicação.

CRC (16 *bits*) *Cyclic Redundancy Check*: contém a técnica de detecção e correção de erros CRC.

ACK (2 *bits*) *Acknowledge*: o nodo que recebe uma mensagem correta subscreve este bit recessivo na mensagem original com um bit dominante, indicando que recebeu uma mensagem sem erros.

EOF (7 *bits*) *End Of Frame*: identifica o fim de um *frame* CAN e desabilita o *bit stuffing*, indicando um erro de *stuffing* quando dominante. Quando cinco bits de mesmo valor lógico ocorrem durante uma operação normal, um bit de nível lógico oposto é *stuffed* dentro do campo de dados.

IFS (7 *bits*) *Inter Frame Space*: contém a quantidade de tempo requerido pelo controlador CAN para mover um *frame* corretamente recebido para a posição própria em uma área de armazenamento de mensagens.

Os sinais do barramento podem ter dois estados diferentes: bit recessivo e bit dominante (que sempre sobrescreve o *bit* recessivo). O mecanismo de resolução da colisão funciona como segue: quando o barramento torna-se ocioso, cada estação com mensagem pendente iniciará sua transmissão. Durante a transmissão do campo identificador, se uma estação transmitindo um bit recessivo ler um bit dominante, isto significa que ocorreu uma colisão com uma mensagem de maior prioridade, e conseqüentemente esta estação aborta a transmissão da mensagem. A mensagem de maior prioridade será transmitida e irá prosseguir sem perceber qualquer colisão, e assim será transmitida com sucesso. A mensagem de maior prioridade é a que tiver o maior valor de bits dominantes no campo identificador. Isto equivale a execução de uma operação lógica AND entre os bits do campo identificador enviados pelas estações concorrentes. Logo, cada fluxo de mensagem deverá ser unicamente identificado. A estação que perder a fase de arbitragem terá uma nova oportunidade de transmissão de

sua mensagem no próximo ciclo. A Figura 1.29 apresenta de forma ilustrativa o processo de arbitragem de um barramento CAN.

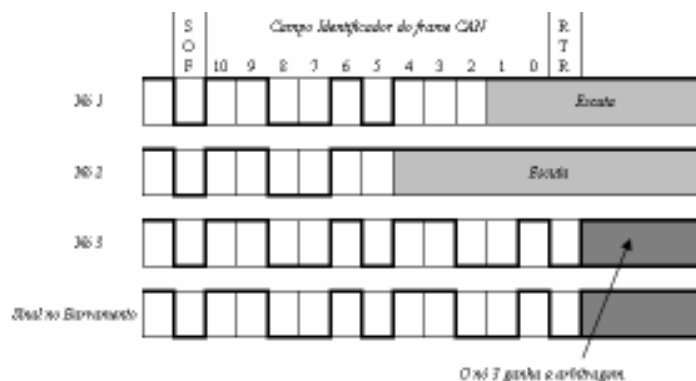


Figura 1.29. Processo de arbitragem no barramento CAN

1.9 Redes Automotivas Classe C

As tecnologias de redes automotivas Classe C oferecem mecanismos de comunicação como tolerância a falhas com transmissão de mensagens previsível e baixo *jitter*, capazes de suportar os requisitos de comunicação das funções de segurança crítica ou baseado na tecnologia *x-by-wire*. Têm-se então como exemplos as redes: TTP/C, TTCAN, ByteFlight e FlexRay.

1.9.1. Rede TTP/C (Time-Triggered Protocol for Class C)

O TTP/C (*Time-Triggered Protocol for Class C*) é parte da arquitetura TTA (*Time-Triggered Architecture*) desenvolvida na TU Wien o qual fornece soluções *time-triggered*. É uma tecnologia de rede baseado no protocolo de acesso ao meio TDMA (*Time Division Medium Access*) direcionado para aplicações de segurança crítica tais como funções *x-by-wire* e aviação.

Caracteriza-se como uma tecnologia de rede altamente tolerante a falhas com a implementação de mecanismos como difusão atômica utilizando o serviço de *membership*, sincronização de relógio e *bus guardian*. Uma propriedade importante do TTP/C garante que para um simples ponto de falha não leva a interrupção total da comunicação.

A transmissão de mensagens no TTP/C são realizadas através de ciclo TDMA com um número fixo de *slots* alocados, e todo ciclo TDMA são de mesma duração sendo alocado para cada nodo um *slot*. Os frames contêm 240 bytes de dados e 4 bytes de overhead que permitem uma elevada taxa de utilização.

Diversos frames que originam do mesmo nodo podem ser transmitido em um mesmo *slot*. É também possível transmitir mensagens de diferente nodos no mesmo enlace usando um mecanismo multiplexação. Entretanto, deve-se certificar de que dois nodos nunca transmitem no mesmo enlace e ao mesmo tempo. O escalonamento para o ciclo TDMA é estaticamente é definido e configurado a todos os nodos na inicialização do sistema, descrevendo a ordem e o comprimento dos *slots*, e não de seus índices. A Figura 1.30 apresenta um exemplo para um cluster TTP/C e uma estrutura do nodo

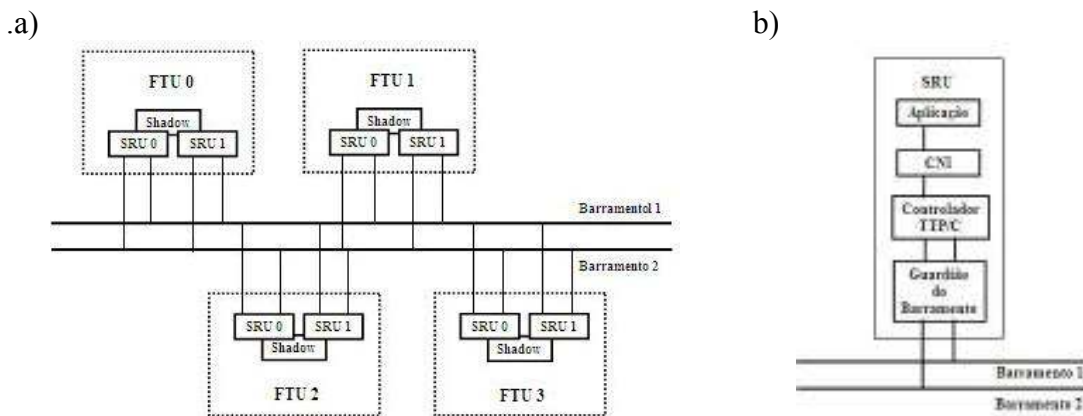


Figure 1.30. a) Cluster TTP/C; b) Estrutura de um nó TTP/C

O barramento TTP/C consiste de dois canais de comunicação redundantes que interconectam vários nós de um *cluster*. Para prover esta redundância os nós são replicados (duplicados) e agrupados, formando assim um conjunto de *Fault Tolerant Units* (FTU). Sendo assim, um nó consiste de uma pequena unidade replicada denominado *Smallest Replaceable Unit* (SRU) em um sistema distribuído. Todas as SRUs que estão contidas em uma FTU fornecem a mesma funcionalidade e possuem acesso a ambos os barramentos. Dependendo da classe de configuração, uma FTU consiste de duas ou mais SRUs.

Existe ainda um outro nó da SRU que é denominado *shadows* (sombras), que são componentes redundantes em *standby*, e realizam os mesmos processos de recepção do mesmo conjunto de entradas de mensagens, mas não possuem permissão de enviar essas mensagens ao barramento. Em caso de um desses dois nós da SRU falharem, um nó *shadows* toma a posse do barramento substituindo então a SRU defeituosa. O uso dos nós *shadows* aumentam a confiabilidade a disponibilidade do sistema ao qual foram inseridos.

Os *frames* são transmitidos a velocidades de 5-25 Mbps dependendo do meio físico de comunicação. A pesquisa está direcionada a tentar alcançar velocidades de 1 Gbps usando uma arquitetura Ethernet baseado da estrela. A Figura 1.31 apresenta o escalonamento de mensagens no TTP/C.

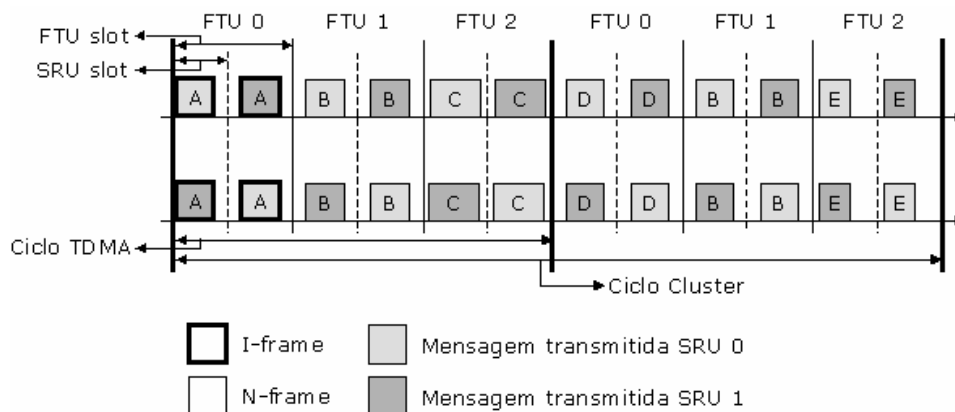


Figure 1.31. Escalonamento de mensagens no TTP/C

Embora seja uma boa tecnologia no sentido funcional para tolerância a falhas em aplicações de segurança crítica, o TTP/C não será a escolha para as aplicações automotivas do tipo *x-by-wire* por se tratar de uma rede muito inflexível. Além disso, a sua incapacidade em suportar o convívio os tráfegos *event-trigger* e *time-trigger*, e elevado custos distanciando o interesse da indústria automotiva.

1.9.2. Rede TT-CAN (Time-Triggered CAN)

O protocolo TT-CAN (Time-Triggered CAN) foi desenvolvido em 1999 com objetivo em suportar aplicações *x-by-wire* o qual consiste em uma camada superior time-triggered do protocolo CAN e caracteriza-se como um TDMA híbrido do CSMA/CR permitindo o convívio do tráfego *time-triggered* e *event-triggered*.

O TT-CAN não fornece o mesmo nível de tolerância a falhas como oferecidos pelo TTP/C, FlexRay e ByteFlight. Entretanto caracteriza-se como um protocolo TDMA centralizado no sentido de que existe um nodo computacional dedicado denominado por *Time-Master* que é responsável pelo escalonamento e sincronização de relógio do sistema.

O *Time-Master* inicia o escalonamento através de uma mensagem de sincronização aos nodos denominada por *Reference Message* (RM), sendo estas mensagens enviadas em ciclos básicos (*Basic Cycles – BC*) que contém uma quantidade de janelas de tempo com comprimento fixo. Estas janelas podem ter quatro tipos diferentes de mensagens: *reference message* (mensagem de referência), *exclusive* (exclusiva), *arbitration windows* (janelas de arbitragem) e *free windows* (janelas livre). Em janelas exclusivas uma mensagem pré-definida é enviada e em janelas de arbitragem o mecanismo de arbitragem CAN padrão é utilizado para diversas mensagens CAN que competem para serem enviadas. As janelas livres são reservadas para uma expansão futura do protocolo TT-CAN. A Figura 1.32 apresenta uma matriz de escalonamento para redes TT-CAN.

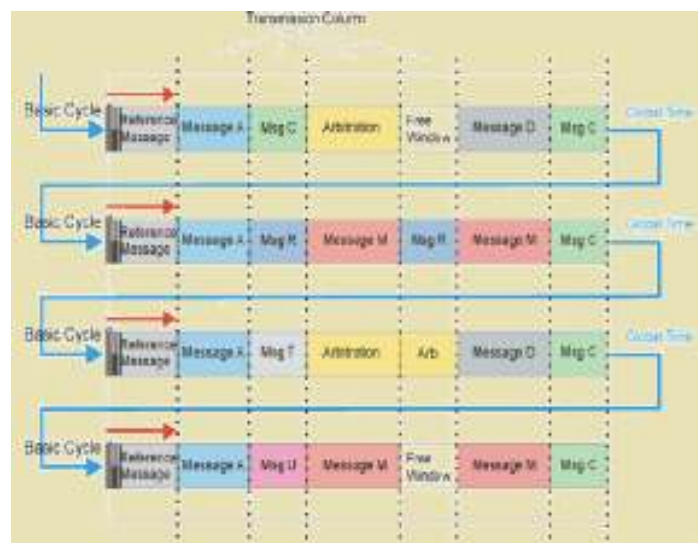


Figure 1.32. Uma matriz para mensagens no TT-CAN

Um máximo de 64 BCs diferentes pode ser permitido, dando forma a o que é chamado de matriz do sistema. Entretanto, embora a mesma seqüência de janelas do tempo dentro dos termos do comprimento é repetida para todo o BC, o tipo da janela do tempo e os índices podem ser diferentes para BCs diferentes. Para permitir este, cada nó tem que saber qual BC é atual, e conseqüentemente programam para se usar nos termos da janela do tempo.

1.9.3. Rede ByteFlight

O protocolo Byteflight foi projetado para satisfazer as aplicações de segurança de crítica (ativa ou passiva) em substituição à tecnologia de rede CAN onde os requisitos de alta largura de banda e previsão temporal são necessários. Desenvolvido em conjunto pela BMW, ELMOs, Infineon, Motorola e Tycon EC e introduzido pela BMW em 1996.

Exemplos de sistemas de segurança passiva são as funções de *airbag* e *seat belt pretensioners* que possuem requisitos de tempo de resposta e reduzido *jitter*. Tem a flexibilidade de suportar o tráfego *event-triggered* em alta largura de banda se comparada com o CAN e o tráfego *time-triggered* para aplicações críticas.

Atualmente o Byteflight é utilizado no domínio automotivo em automóveis da BMW e no domínio da aviação, sendo um protocolo candidato para sistemas *x-by-wire*, embora o candidato mais provável seja a tecnologia FlexRay.

Byteflight é uma rede FTDMA tipicamente baseado na topologia estrela (embora as topologias em barramento e cluster sejam também possíveis), podendo garantir um atraso previsível para uma quantidade limitada de mensagens em tempo real de alta prioridade.

Além disto, é possível enviar mensagens que não tenham requisitos de tempo real com baixa prioridade em uma forma priorizada através do mecanismo de *mini-slotting*. A sincronização de relógio é fornecida por um nodo mestre (qualquer nodo Byteflight pode ser configurado como um nodo mestre), realizando pulsos de disparo sincronizados na ordem de 100 ns. Outra característica do Byteflight é a possibilidade de mascarar modos de falta como *babbling idiot* utilizando acopladores estrela (*star coupler*).

As mensagens são escalonadas de forma cíclica utilizando a técnica de *mini-slotting*, a qual se caracteriza por todos os nodos no sistema manter um contador de *slot*. Um nodo especializado é denominado por *sync master*. Qualquer nodo pode ser um *sync master* podendo ter redundância para tolerância a falhas. O *sync master* é o inicializador do ciclo de comunicação periodicamente pelo envio de um pulso de sincronização (*sync pulse*). O comprimento/período de um ciclo de sincronização é fixado em 250µs. A Figura 1.33 apresenta uma estrutura do protocolo FTDMA.

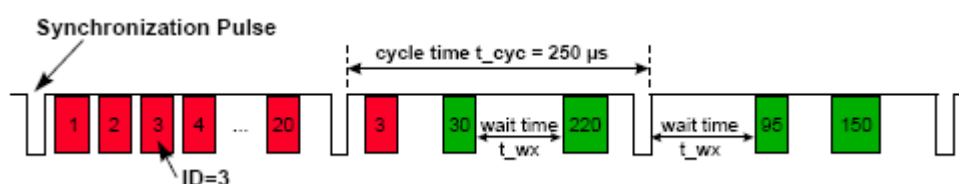


Figure 1.33. Flexible Time Division Multiple Access – FTDMA

1.9.4. Rede FlexRay

Em 1998, a BMW e Daimler-Chrysler analisaram as tecnologias de redes automotivas da atualidade (por exemplo, CAN, TTP, MOST e Byteflight) e encontraram que nenhuma daquelas tecnologias cumpria as necessidades de sistemas automotivos da para a próxima geração, especialmente se considerado a inserção da tecnologia *x-by-wire* em sistemas automotivos.

Como uma resposta a isto, um Consórcio FlexRay foi formado com o objetivo para desenvolver uma tecnologia de rede nova denominada por FlexRay. Esta nova tecnologia de rede deveria então ser a solução para a introdução de sistemas do *x-by-wire* como Consórcio FlexRay: <http://www.flexray.com/>.

Atualmente, todos os fabricantes de automóveis juntaram-se ao Consórcio FlexRay e em meados de 2004 a especificação do protocolo foi totalmente disponibilizada em público. FlexRay é uma extensão *time-triggered* do Byteflight, fornecendo comunicação tolerante a falhas em alta velocidade combinando o TDMA *time-triggered* e o FTDMA *event-triggered*.

Como camada física, as soluções elétricas e óticas estão disponíveis na forma de canais simples e dual, formando uma topologia em barramento passivo ou uma topologia estrela ativa.

Usando canais de comunicação simples entre os nodos de computação reduzem a quantidade de fiação necessária e consequentemente o custo nas implementações automotivas. Por outro lado o canal dual é mais caro, entretanto tem a capacidade de tolerar falhas em canais no caso de um mesmo dado ser enviado em ambos os canais. Isto é desejável em uma aplicação *x-by-wire* onde um elevado nível de tolerância a falhas é requerido.

A utilização de canal dual dá condições para que o mesmo *slot* possa ser usado por dois nodos diferentes, aumentando a flexibilidade do sistema automotivo e fornecendo uma largura de banda duplicada no caso de diferentes mensagens serem enviadas sob dois canais no mesmo *slot*, ou redundância se um canal falhar.

Note que para uma rede com canal dual é possível ter nodos conectados com um simples canal ou canal dual. As mensagens são enviadas em *frames* contendo de 0-254 bytes de carga útil de dados e 5 bytes de overhead.

Os *frames* podem ser estaticamente escalonados de acordo com o atraso de comunicação limitado e enviados dentro do segmento estático de um ciclo de comunicação e também pode ser dinamicamente escalonados dentro do segmento dinâmico do ciclo de comunicação. Não existe interferência entre o segmento estático e dinâmico.

O segmento estático contém *slots* estáticos que são utilizados para a transmissão de *frames* escalonados estaticamente. Múltiplos *slots* podem ser alocados para um nodo em um mesmo ciclo de comunicação com a permissão de acordo ao nível de aplicação entre ciclos. O segmento estático é protegido por um *bus-guardian*, prevenindo falhas do tipo *babbling idiots*.

O segmento dinâmico contém *mini-slots* onde os *frames* escalonados dinamicamente são enviados. O escalonamento é realizado da mesma forma que a tecnologia *ByteFlight*, o qual permite a alocação de largura de banda dinamicamente. Para este caso não existe o *bus-guardian* para proteger o segmento dinâmico contra faltas do tipo *babbling idiots*. A Figura 1.34 apresenta o ciclo de comunicação do FlexRay.

Uma rede FlexRay pode chegar a 10 Mbps em taxa de transmissão e será de fato a tecnologia de rede do futuro para aplicações automotivas de segurança crítica tais como x-by-wire e powertrain.

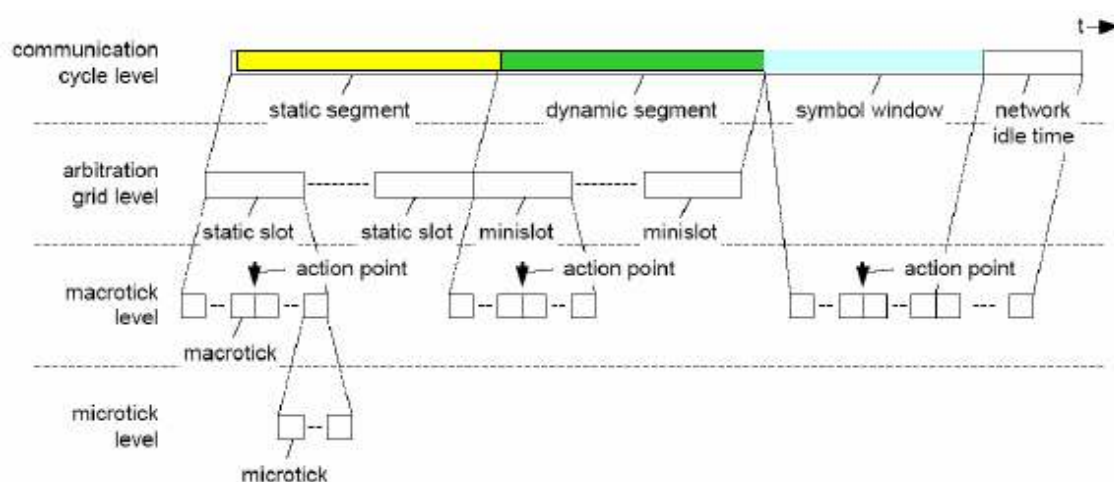


Figure 1.34. Hierarquia temporal no ciclo de comunicação FlexRay

1.10 Redes Automotivas de Entretenimento

Aplicações de entretenimento englobam áudio, vídeo, telemetria, processamento de dados, sistemas navegação entre outros. Os sistemas de comunicação que suportam aplicações de entretenimento automotivo possuem alguns requisitos básicos, como confiabilidade na transmissão de dados, alta largura de banda, pequeno atraso, possibilidade de comunicação entre dispositivos dentro/fora do veículo, interfaces *plug and play*, entre outros de acordo com a demanda da aplicação de entretenimento.

Como exemplo de aplicações de entretenimento automotivo tem-se equipamentos como, tocadores de CD, DVD, MP3, rádio, amplificadores, alto falantes, microfones, conversores de áudio digital para áudio analógico e vice-versa, sistemas de reconhecimento de voz, sistemas de informação, *displays* de cristal líquido, sistemas de navegação, entre outros.

Podem-se apresentar como principais tecnologias de redes que suportam aplicações de entretenimento as redes: D2B, IDB-1394 (FireWire®) e MOST. Observando as características de cada tecnologia, na Figura 1.35 fica evidente que nos requisitos de velocidade, a IDB-1394 é superior as outras tecnologias, com taxas de comunicação de até 400 Mbps em aplicações automotivas que utilizam a IDB-1394. Em seguida, MOST, com 24.8 Mbps possuindo também uma largura de banda suficiente para o tráfego necessário à aplicações como transmissão de áudio e vídeo que requerem

alta largura de banda. Em último, D2B apresenta taxas de 11.2 Mbps que em comparação com as outras tecnologias, não atinge um nível tão eficiente.

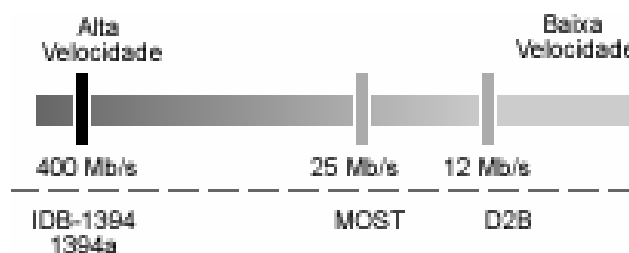


Figure 1.35. Análise comparativa de velocidades de transmissão

A viabilidade na implantação de qualquer tecnologia envolve a questão do custo, pois este é de grande interesse para todas as partes envolvidas principalmente para o usuário consumidor. Tomando como base de comparação, as especificações de cada tecnologia observa-se que dentre as tecnologias que se destina a comunicação multimídia as que oferecem o melhor custo são MOST e D2B, com Fibra Ótica Plástica na topologia em anel, ficando IDB-1394, como a tecnologia de maior custo de implantação.

A necessidade para a utilização de uma tecnologia de rede para comunicação em ambiente automotivo é a de se ter características como alta velocidade, reduzido atraso, adaptabilidade e escalabilidade. E estas características, foram encontradas em todas as tecnologias apresentadas.

1.10.1. Rede D2B (Domestic Digital Bus)

D2B (*Domestic Digital Bus*) é uma tecnologia de rede de arquitetura aberta utilizada para comunicação de dados multimídia, conectando áudio, vídeo, periféricos de entretenimento, dispositivos de telecomunicação entre outros. Possui alta taxa de transferência de dados síncrona ou assíncrona, com velocidade de comunicação em até 11.2 Mbps. Adapta-se ao ambiente na inicialização, garantindo assim, que novos dispositivos podem ser adicionados a qualquer momento na rede sem mudança na estrutura, além de ser compatível com tecnologias anteriores. A tecnologia é mantida pela C&C Eletrônica e é utilizada em veículos da Mercedes Bens e Jaguar.

D2B utiliza cabeamento de fibra ótica e cabo par trançado de cobre (SMARTwireX), sendo os melhores resultados obtidos com fibra ótica, tipicamente é utilizado em uma topologia em anel com fibra ótica. Seu uso permite que se tenha uma redução de componentes externos e conectores, consequentemente ganhando em redução de peso e fios. O Suporte a semicondutores é limitado a atualmente a um fornecedor.

1.10.2. Rede IDB-1394

IDB-1394 é uma versão de alta velocidade baseada em IEEE1394 conhecida como FireWire®. É uma tecnologia de rede automotiva de arquitetura aberta que faz parte de um consórcio de empresas composto pela Delphi, Mitsubishi Electric, DaimlerChrysler, TI e Mindready, é mantida pelo IDB Fórum e pela 1394 Trade Association. A tecnologia é utilizada atualmente pela Renault na Europa.

Planejada para aplicações multimídias de alta velocidade, onde se necessita de grande tráfego de informações dentro do veículo, IDB-1394 fornece suporte a velocidades de até 400 Mbps. A tecnologia mantém capacidade de utilizar futuros dispositivos a serem adicionados a rede permitindo a conexão e interoperabilidade com dispositivos 1394 atuais e futuros. Utiliza na camada física, a fibra ótica plástica, com interfaces com um mínimo de duas portas para fibra ótica, aumentando assim a capacidade de expansão. O número máximo de dispositivos suportados é limitado a 63 nodos. Permite o uso de dispositivos com o padrão *plug and play* através do CCP (*Customer Convenience Port*).

IDB-1394 provê economia em escala (baixo custo) e dupla origem (baixo risco). A tecnologia e a desvantagem do custo de implementação e o alto overhead de software.

1.10.3. MOST (Media Oriented Systems Transport)

A tecnologia de rede MOST (*Media Oriented Systems Transport*) é mantida pela MOST Cooperation, uma associação de algumas empresas, como a BMW, Daimler Chrysler, Harman/Becker e Oasis Silicon Systems que tiveram seus trabalhos iniciados em 1997. É utilizada atualmente em uma série de modelos da BMW

MOST é uma tecnologia de comunicação eficiente e de baixo custo que utiliza na camada física a fibra ótica plástica (POF), é implementada em uma topologia em anel com suporte a transferência de dados em até 24.8 Mbps.

É uma rede *plug and play* altamente confiável e escalável que suporta a inserção de novos dispositivos, e utiliza conectores simples. MOST suporta transferências de dados síncronas e assíncronas, podendo haver múltiplos mestres e até 64 nodos. A tecnologia garante integridade dos dados e oferece suporte a áudio em tempo real e vídeo comprimido. MOST oferece suporte a *time-triggered* e *event-triggered*. Futuramente, MOST será disponibilizados com velocidades de até 150 Mbps.

1.11. Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentadas as principais tecnologias de redes automotivas existentes no mercado. Inicialmente apresentaram-se os principais subsistemas automotivos e seus requisitos de comunicação e em seguida uma classificação das tecnologias de redes automotivas definida pela SAE (*Society of Automotive Engineers*). Algumas arquiteturas de computação distribuída aplicado a sistemas automotivos comerciais são ilustradas em forma ilustrativa da aplicação de tecnologias de redes automotivas.

A partir da classificação das redes automotivas apresentaram-se as principais características de tecnologias existentes atualmente no mercado tais como: LIN (*Local Interconnect Network*), CAN (*Controller Area Network*), VAN (*Vehicle Area Network*), TTP/C (*Time-Trigger Protocol*), FlexRay, ByteFlight, D2B, IDB-1394 e MOST (*Media Oriented Systems Transport*).

Este trabalho objetivou a apresentar de forma mais compreensiva as principais tecnologias de redes automotivas, ficando então para trabalhos futuros uma extensão de outras tecnologias de redes como J1850, J1939, VAN, Bluetooth entre outras.

1.12. Referências

- AUTOSAR. Homepage of Automotive Open System Architecture (AUTOSAR). <http://www.autosar.org/>.
- Axelsson J., Froberg J., Hansson H. A., Norstrom C., Sandström K., and Villing B. (2003). Correlating Business Needs and Network Architectures in Automotive Applications – a Comparative Case Study. In *Proceedings of FET'03*, pages 219.228, Aveiro, Portugal. IFAC.
- Berwanger J., Peller M., and Griessbach R. (2000). ByteFlight – A New High-Performance Data Bus System for Safety-Related Applications. *BMW AG*.
- Bluetooth Special Interest Group (SIG) (2004). Bluetooth Core Specification. Version 2.0 + EDR.
- ByteFlight Specification. ByteFlight Homepage. http://www.byte_ight.com/.
- CAN Kingdom. <http://www.can-cia.org/cankingdom/>.
- Car2Car Communication Consortium. <http://www.car-2-car.org/>.
- Casparsson L., Rajnak A., Tindell K., and Malmberg P. (1998). Volcano - a revolution in on-board communication. *Volvo Technology Report 98-12-10*.
- CiA. Time-Triggered CAN. <http://www.can-cia.de/can/ttcan/>.
- Ciocan C. (1990). The Domestic Digital Bus System (D2B) – A Maximum of Control Convenience in Audio Video. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 36(3):619.622.
- FlexRay Consortium. <http://www.flexray.com/>.
- FlexRay Consortium (2004). FlexRay Communications System - Protocol Specification. Version 2.0.
- IDB-1394. IDB Forum Homepage. <http://www.idbforum.org/>.
- ISO 11519-2. (1994). Road Vehicles - Low-speed serial data communication - Part 2: Low-speed controller area network (CAN). *International Standards Organisation (ISO)*, ISO Standard-11519-2.
- ISO 11898. (1993). Road Vehicles - Interchange of Digital Information - Controller Area Network (CAN) for High-Speed Communication. *International Standards Organisation (ISO)*, ISO Standard-11898.
- ISO 11898-1 (2003). Road Vehicles - Controller Area Network (CAN) - Part 1: Data link layer and physical signalling. *International Standards Organisation (ISO)*, ISO Standard- 11898-1.
- ISO 11898-4. (2000). Road Vehicles - Controller Area Network (CAN) - Part 4: Time-Triggered Communication. *International Standards Organisation (ISO)*, ISO Standard-11898- 4.

- Kopetz H. and Grunsteidl G. (1994). TTP-A Protocol for Fault-Tolerant Real-Time Systems. *IEEE Computer*, 27(1):14.23.
- Leohold J. (2004). Communication Requirements for Automotive Systems. In *Keynote at the 5th Workshop on Factory Communication Systems (WFCS 2004)*, Wien, Austria.
- LIN Consortium. LIN - Local Interconnect Network. <http://www.lin-subbus.org/>.
- Lupini C. (2003). A. Multiplex bus progression 2003. *SAE Technical Paper Series*, 2003-01-0111.
- MOST Cooperation. MOST - Media Oriented Systems Transport. <http://www.mostcooperation.com/>.
- Navet N., Song Y., Simonot-Lion F., and Wilwert C. (2005). Trends in Automotive Communication Systems. *Proceedings of the IEEE*, 93(6).
- Robert Bosch GmbH. BOSCH's Controller Area Network. <http://www.can.bosch.com/>.
- SAE J1850 Standard. (1994). The Society of Automotive Engineers (SAE) Vehicle Network for Multiplexing and Data Communications Standards Committee. *Class B Data Communications Network Interface*.
- SAE J1939 Standard. (2004). The Society of Automotive Engineers (SAE) Truck and Bus Control and Communications Subcommittee. *SAE J1939 Standards Collection*, <http://www.sae.org/products/j1939.htm>.
- The Hansen Report. (2001). X-by-Wire Communications Protocol: Possible FlexRay and TTP Merger. *The Hansen Report on Automotive Electronics*, 14(4).
- TTA-Group. The Cross-Industry Consortium for Time-Triggered Systems. <http://www.ttagroup.org/>.
- TTTech. Time-Triggered Technology. <http://www.tttech.com/>.