

論文 自動車用ネットワーク技術の動向

Trend of Networking Technology for Automobile

後藤正博
Masahiro GOTO

秋山 進
Susumu AKIYAMA

Network for automobiles are now being introduced in three areas; (1)Body systems (2) Realtime control systems (3) Information systems. Among these areas, Body systems have the most introduction examples. For control systems, European chassis makers were the first to introduce network and network in automotive control systems are getting popular in other parts of the world. The next generation of the control system network will adopt "Time Triggered" technology for "x-by-wire" system. For information systems, network is evolving into high-speed network using optical fiber, which is necessary in the advent of Navigation systems and Digital audio systems.

Key words : Network Protocol, CAN, BEAN, TTP

1. はじめに

車両制御の複雑化，高機能化に伴い車両に搭載されるECUの数は増加の一途であり，その制御プログラムも増大している．このような中，自動車内のネットワークの導入が本格化してきている．自動車内のネットワークは三つのエリアに区分して考えられている．(1) ボデー系，(2) 制御系，(3) 情報系である．

欧州ではすでにボデー系，制御系に導入が進んでおり米国，日本においてもボデー系から始まり，制御系

へと展開されようとしている．情報系においてはナビゲーションシステムやデジタルオーディオの導入につれ，欧州では高速な光ファイバを用いたネットワークが導入されている．この自動車用ネットワーク技術のこれまでと今後の技術動向について述べる．

2. 自動車用ネットワークの歴史

Fig.1に自動車用に導入されたネットワークを年代別に整理したものを示す．

Media	Year Target system	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	
		Electrical	Body system						△GM: Cadillac																			
Information system																												
Realtime Control system																												
Optical	Body system																											
	Information system																											
	Realtime Control system																											

△:Point to point system ◎:Centralized control system ●:Distributed system

Fig.1 Chronological table of Networking for automobile

* 1999年8月18日 原稿受理

自動車用ネットワークは、1980年代初めより導入されており、複数のノードが接続され通信を行うものとしては1983年のトヨタセンチュリーに導入された光ファイバを用いたドア系が最初であろう。このシステムは集中制御を採用し、ボデーECUが各ドアのドアロック、パワーウィンド等を管理している。このような早期に光ファイバを用いたシステムが自動車に導入されたが以降に展開は見られなかった。

続いて1986年から1989年にかけてボデー系に通常の銅線を用いたシステムが導入された。集中制御型のシステムであり、1987年に日産自動車がドア周りシステムを、GMがライトコントロールを実用化している。

実用化動向はこのような状態であったが、この時期に現在において重要となっている自動車内LANの基本となるプロトコルが提案されている。このプロトコルは独Robert Bosch社が提案したCAN (Controller Area Network) である。

特徴は、

- (1) CSMA/CR (Carrier Sense Multiple Access with Collision Resolution) を用いたマルチマスタ構成
- (2) 最大1Mbpsの通信速度

であり、集中制御ではなくデータの共有化による分散制御を目指したプロトコルである。

この後、SAEにおいてJ1850が提案されている。

以降、日本においても様々な手法が提案され、実用化されている。ボデー系が主であり統一した方式にはなっていないが、トヨタ、日産、三菱、本田、マツダの各社が実用化している。海外では(特に欧州では)CANの採用が進んでおり、大規模なCANネットワークを車両搭載するものが発表されている。欧州においてはすでに制御系にまでCANが採用されておりこの分野での先進性が顕著である。米国においてはSAE J1850²⁾の採用によるデータ共有のシステムが普及しているが、SAEにおいてもCANの標準化がなされてきており、CANへのシフトが明確になってきている。今後の自動車用ネットワークの事実上の標準はCANが主流となることは各国ともに間違いのないところである。

制御系の新しいプロトコルとしてCANとは異なったアプローチを取るTTP (Time Triggered Protocol) が欧州から提案されておりX-by-wireシステムへの応用が開始されようとしている。

これらと別のアプローチで進行しているのが情報系

である。スイッチや表示機能の制御のためにコマンド系の情報機器間ネットワークが開始され、続いて表示データそのものの光ファイバを用いた転送が始まった。

さらにオーディオ系のデジタル化が進行してきたために音声データとコマンド系を統合したAVネットワークが搭載されてきている。大容量のデータを連続して送信する必要があるために光ファイバを用いたネットワークが採用され始めている。

今後、ITSの導入により車外との情報のやりとりを考慮して、この情報系のネットワークがもっとも大容量のネットワークを採用していくことになるであろう。次世代の情報系プロトコルとして、D2Bオプティカル、MOST、家電分野のIEEE1394、USBといった多様な候補が挙がっている⁶⁾。今後光通信の拡大が確実である。

3. デンソーにおける自動車用ネットワーク技術

デンソーにおいてもさまざまなネットワーク技術の開発を行ってきている。これまでにトヨタ自動車殿とともに実用化した技術を以下に述べる。

- (1) 1983年トヨタセンチュリー向けボデー系光通信方式

ボデー系に光ファイバを用いたマスタ-スレーブによるネットワークを構築している。センチュリー専用のボデー系(ドア系)のネットワークであり独自のプロトコルを採用した。詳細については文献1)を参照されたい。

- (2) 1991年ソアラ、クラウン向けEMV (Electro-Multi Vision) システム通信方式

CHIP (Centralized High level Information control Protocol) と呼ぶデンソーオリジナルなマスタ (CRT-ECU) -スレーブ方式の情報系ネットワークを構築し1991年ソアラ、クラウン向けに搭載した。現在のAVC-LANの前身で9600bps, NRZ (Non Return to Zero) コーディングでCRT-ECU (マスタ) とディスプレイ、TVチューナ、オーディオ、電話を接続し、専用のドライバICも製作した。詳細については文献1)を参照されたい。

- (3) 1992年クラウン4WD向け制御系通信方式

トヨタ制御系初の多ノードによるネットワークを、通信マネージャ、エンジン+ECT、ABS+4WD、エアサス、4WSの5 ECUで構成した。通信プロトコルはSAE J1850 [41.6kbps, PWM (Pulse Width

Modulation) など]方式に似たものを採用した。車速やエンジン回転数といった通信データやフェールセーフは独自に構築している。通信プロトコルIC, ドライバICを新規開発した。

(4) 1997年センチュリー向けパワートレーン制御系通信方式

SMART (Simple Mode Advanced Real time Token) と呼ぶオリジナル通信方式を採用した。クラウン4WDと違いトークン方式, 125kbps, NRZでエンジン右バンクECU, エンジン左バンクECU, TRC (トラクション) ECU間でエンジン回転数, 車速等の定期データ(パケット)を通信している。

通信プロトコルICを新規開発し, マイコンが通信データを通信プロトコルICに書き込めば, 後は通信プロトコルICが勝手にパケットを構成し, トークン(送信権)を取得してパケットを送受信する。通信ドライバICはクラウン4WDのものを利用した。現在も流動している。

(5) 1997年セルシオ向けボデー系通信方式

BEAN (Body Electronics Area Network) と呼ぶボデー系のオリジナルプロトコルである。1997年セルシオ以降の車両に採用され, 2000年セルシオではボデー系としては最大級の3系統のBEANバスをゲートウェイECUを介して接続するマルチバスアーキテクチャが搭載されている。CANやJ1850と同様なバスアクセス方式を採用しており通信トランシーバに大きな特長を持つ。

Fig.2にBEANによるボデー系ネットワーク構成例を示す。

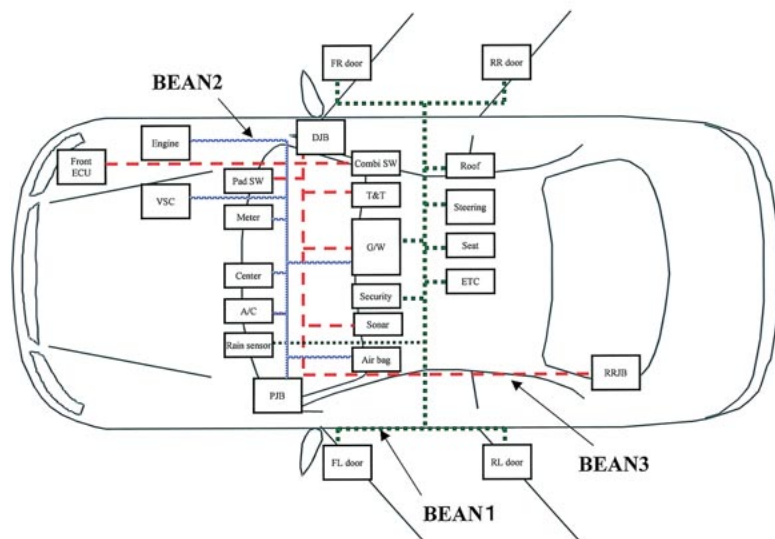


Fig.2 Body network system using BEAN

4. BEAN(Body Electronics Area Network)¹⁾

以下にBEANのプロトコルの概要を述べる。

4.1 背景

ボデー制御系の電子システムは多機能化, 複雑化の傾向が著しく, 例えば, パワーウィンド機能には, 挟み込み防止制御, ワイヤレスキーによる遠隔制御などの採用が始まっている。ドアロック機能では, 衝突時のアンロック制御, アラームやワイヤレスキーなど複数のシステム間での連携制御が増加している。Fig.2に大規模なボデー制御系システムの搭載例を示す。

このような構成においては従来のボデー系の主要データであるスイッチ情報に加え, 車速, 冷却水温, 外気温など, 通信頻度は少ないが数byteを占有するような制御情報が増加する。またFig.2のようなシステム規模になると, ボデー系にもダイアグノーシス機能が重要である。各ECUがそれぞれダイアグ専用I/F (ISO9141)を所有すれば, コストアップを招きやすい。そのためいずれかのECUが代表でI/Fを持ち, ボデー多重ゲートウェイするのが効率的である。これを実現するためには, ボデー系でも長いデータを扱う必要がある。

このような背景から, 取り扱うデータ量は増加の傾向にある。装備の変化が多く, 低コスト化の要望の強いこの分野では, 状況に応じて最適な方式を選択できることが望ましいと考え, より高機能かつ柔軟な通信プロトコルを開発した。

4.2 ボデー制御系ネットワークの要求要件

ボデー制御系ネットワークへの要求要件を以下のように整理した。

20以上のノード間で200種類のメッセージを通信できる。

単線通信線でラジオノイズ性能を配慮し最大の通信容量と応答性を持たせる。

各種ECUの事情に応じた設計ができる柔軟性がある。

低コストで実現できる通信インターフェースとする。

車載システムに影響を与えないノイズ輻射レベルとする。

エンジン非動作時の消費電力を低減するため, スリープ機能を持たせる。

車両電子システムとして今後必要な拡張性を持たせる。

まず、既に量産も始まっている、CANやJ1850等の標準化プロトコルの選択を試みたが、コストや小型化(搭載スペース)の制約が厳しいボデー制御系システムでは、より低コストな通信プロトコルが必要である。

4.3 BEANプロトコル仕様

ここでは、BEANの特徴となる物理層とデータリンク層を説明する。

4.3.1 物理層

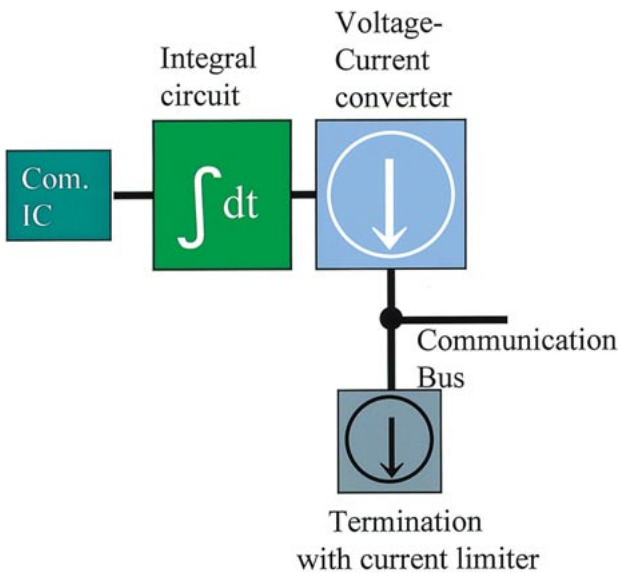
BEANにおける物理層の仕様は、自動車環境への適合性を考慮し、以下のように定めた。

- (1) シングルワイヤ(ノンシールド)構成
- (2) ノードの追加, 削除が容易であるCSMA/CR方式
- (3) 耐電磁輻射ノイズ性の確保

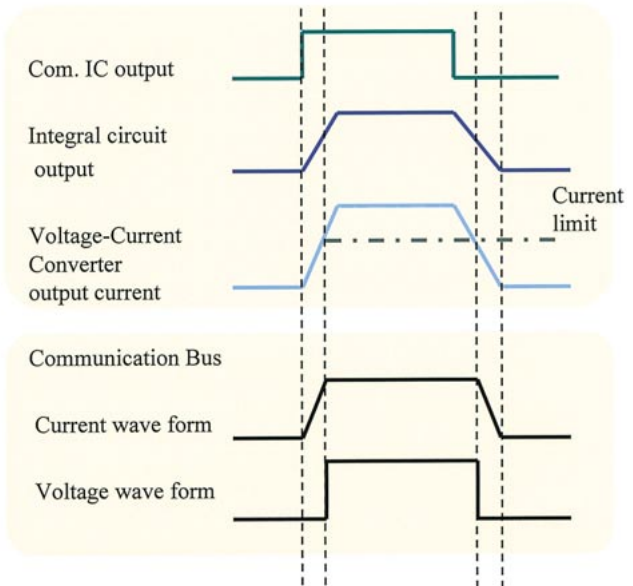
- (4) ノード間グラウンドオフセット変動による誤動作なし
- (5) 耐サージノイズ性の確保
- (6) セラミック発振子等の安価な素子が使用可能であるクロックトレランス(±2%)の確保
- (7) 最適な信号波形

以上の要件を満たしたバスインターフェイス(通信)回路をFig.3に示す。

本回路は、シングルワイヤの構成であるが、後述のドライバ/レシーバ回路の開発により電磁輻射ノイズ(Electromagnetic Radiation Noise)を低減することができた。



(a) Block diagram of BEAN transceiver



(b) Wave form of BEAN transceiver

Fig.3 Transceiver of BEAN

4.3.2 電流制御型ドライバ/レシーバ回路

Fig.3 (a) のドライバ/レシーバ回路は、通信媒体にノンシールドシングルワイヤ、通信速度を10kbps、符号化方式としてNRZに対応する構成である。

放射ノイズ量を低減するため、バス駆動用の電流量は徐々に変化させ、受信を安定させるために電圧波形は、急激に変化させることを狙って設計した。以下に回路の動作を解説する。

ドライバ部は、積分回路と電圧電流変換回路からなる。また、終端回路は定電流源として動作する。通信ICの出力が変化した時、積分回路は徐々に電圧を

変化する。積分回路の出力信号は電圧電流変換回路に接続されている。電圧電流変換回路は、積分回路の出力波形に応じて徐々に電流を変化させる。ドライバはこのように制御された電流出力をする。また波形をFig.3 (b) に示す。

終端回路は、カレントリミッタ回路として動作する定電流源回路を構成している。そのため、ドライバの出力電流が、終端回路のリミット値以上の電流を流し出すとバスの電圧はハイレベルとなり、リミット値以下ではローレベルとなる。

Fig.4に放射ノイズのレベルを示す。

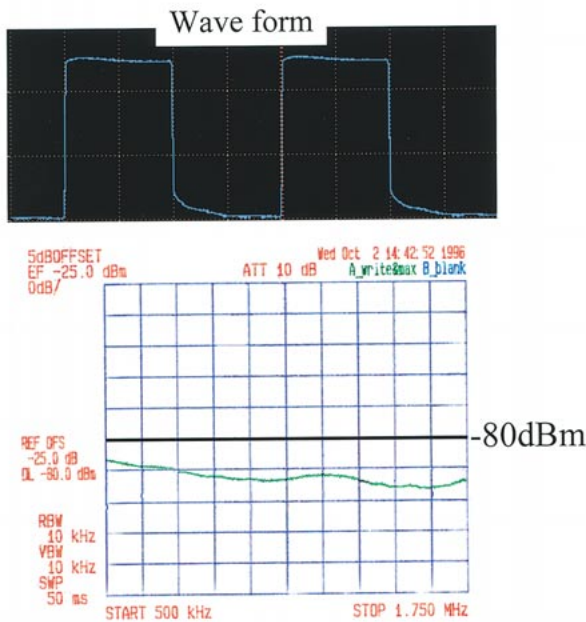


Fig.4 Radiation noise

4.3.3 データリンク層

データリンク層は、システムの性能を左右する重要な階層であり、通信ICのコストにも大きな影響を与える。本プロトコルのデータリンク層は、前章での要求項目と通信デバイスの規模を考慮して最適化を検討した。

4.3.3.1 データリンク層の最適化

(1) アクセス方式 / 拡張性

ボデー制御系車載ネットワークにおいて、通信データは車両のドライバー（運転手）の操作で送信開始されるものが大部分である。従って、周期性の乏しい信号に適したCSMA/CR方式が最も効率的である。

この方式の欠点である最も優先度の高いメッセージを除いてデータの遅延を保証できない点は、送信要求が同時に発生する確率が少ないボデー制御系では、あまり考慮する必要が無い。また、CSMA/CR方式は拡張性に優れ、ノードの追加、削除が容易な点もボデー制御系には有利な方式である。

Fig.5にCSMA/CRを用いた場合の非破壊優先順位調停の様子を示す。同時に2個以上のノードが送信を開始した場合はデータの衝突が起こるが、バス上の信号に優劣を設け、劣勢な信号を優勢な信号で上書きすることにより、劣勢な信号を送出したノードのみがその状態を検知し送信を中断する。この動作により優先度の高いデータがバス上に確実に送り出される。

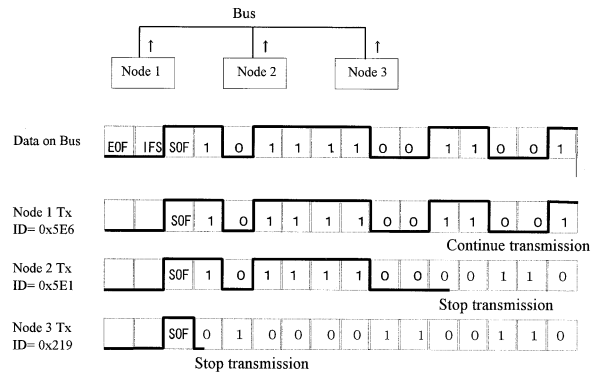


Fig.5 Bus arbitration of CSMA/CR

(2) フレーム長

各種用途（例、ボデー制御系のスイッチ信号、ダイアグ情報等）の信号を効率良く通信するためにはデータ領域を可変長にする必要があった。そこで、フレーム長は可変長を採用した。

(3) 通信の信頼性

多重通信では、外来ノイズによって通信エラーが発生する可能性がある。当プロトコルでは、CRC (Cyclic Redundancy Code) によるエラーチェックの他にも、フレームフォーマットの正しさのチェックなど合計9種類のエラーチェックを規定しておりデータの信頼性を確保している。また、エラー発生時には、3回の自動再送によってデータの欠落を防止するようにした。

4.3.3.2 データリンク層の概要

今回開発した、車載ネットワーク用のデータリンク層について、概要を説明する。主な諸元を以下に示す。

- アクセス方式： CSMA/CR
- 誤り検出： 8ビットCRC
- 応答方法： 2ビットACK
- ID / データ長： 3 ~ 13バイト

Fig.6に通信フレームフォーマットを示す。

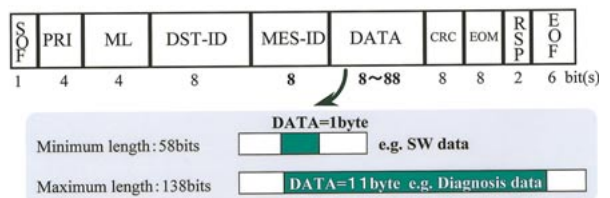


Fig.6 Frame format of BEAN

SOF (1ビット) は、フレームの開始を示す。PRI (4ビット) はプライオリティを示し、16段階の優先順位を設定できる。ML (4ビット) は、メッセージ

の長さを表し、ID + DATAのバイト数(3~13)を示す。DST-ID(8ビット)は、送信先を示すIDである。MES-ID(8ビット)は、メッセージの内容を示すための領域である。DATA(8-88ビット)は、データ領域を示し、1バイトから11バイトまでの可変長である。CRC(8ビット)は、エラーチェックコードの領域を示す。EOM(8ビット)は、メッセージの終了を示すとともに、レスポンス送信のための準備時間を確保する。RSP(2ビット)はレスポンス領域である。EOF(8ビット)はフレームの終了を示す。

SOFからCRCまでの間、同一レベルの信号が5ビット連続した場合に反転ビットを1ビット挿入するビットスタッフィングルールを採用する。

通信形態は、ポイントtoポイント通信の他、ブロードキャスト通信も可能とした。この通信方式はDST-IDで切り替える。DST-IDが、0xFEの場合は、ブロードキャスト通信であり、それ以外は受信先のIDを示すこととした。

データ領域は、11バイトまで可変とした。これは、他のプロトコルのメッセージをデータ領域にパッケージングして通信できることを狙った(3バイトヘッダと8バイトデータを包含可能)

4.3.4 ウェイクアップ/スリープ制御

ボデー制御系のECUは、キーオフ状態でも動作を要求されるものがある。そこで、バッテリー上がりを防止するため、ECUの動作が不要な時は低消費電力状態に移行する機能と伝送路の電位変化を検知してウェイクアップする機能を設けることにした。

5. CAN(Controllor Area Network)⁵⁾

次に最も代表的な自動車用LANプロトコルであるCANの概要を示す。CANの特徴を以下に述べる。ISO11898として規格化されており、欧州においては制御系への適用もなされている。

ただし、制御系(高速系)CANとボデー系(低速系)CANでは用途に応じて分化しており、例えばバスインタフェース(通信)回路は、低速系では2線式差動電圧型回路が、高速系では2線式平衡電流型回路が採用されている。

(1) CSMA/CRを用いた非破壊優先順位に基づく送信権の調停

すでに述べたBEANと同様の方式である(Fig.4参照)。

(2) マルチマスタ

バスが空いていればどのノードでも送信を開始する

ことができる。同時に2個以上のノードによる送信がおきた場合は上記優先順位調停による。送信の制御は各ノードが自由に行うことができ、集中制御方式のような通信制御装置は必要ない。

(3) メッセージID

Fig.7にCANで使用する通信パケットの構成を示す。システム全体でユニークなIDが通信パケットごとに与えられる。データリンク層のレベルでは各ノードにID(アドレス)は付与されない。

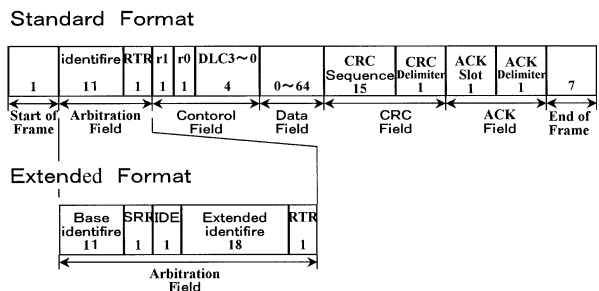


Fig.7 Frame format of CAN

(4) 広範囲のエラー検出とハンドリング

以下に示す5種類のエラーを検出し、エラーフレームと呼ばれる特殊な通信パケットを送信することによりシステム全体に通知する。

- ・ビットエラー
- ・アクノリッジエラー
- ・CRCエラー
- ・スタッフエラー
- ・フォームエラー

(5) 最高1Mbpsの通信速度

CANのアプリケーションは自動車用だけではなく、FAにもDevice Netとして採用されている。CANを下位プロトコルとして用い、上位プロトコルまで規定している。

その他、自動車用として実用化されているボデー、制御系プロトコルとの比較をTable 1に示す。

Table 1 Comparison between major protocols

Protocol	CAN	J1850-GM	BEAN
Max speed	~ 1Mbps	10.4kbps	10kbps
Media drive method	Differential voltage Single voltage	Single voltage	Single voltage
Coding method	NRZ	VPW	NRZ
Communication media	UTP,STP,Single wire	Single wire	Single wire
Access method	CSMA/CR	CSMA/CR	CSMA/CR
Data length	1-8 byte	1-8 byte	1-11 byte
Error detect	15bitCRC	8bitCRC	8bitCRC
Response	ACK	ACK	ACK,NAK
Addressing method	Broadcast	Destination ID Broadcast	Destination ID Broadcast

UTP:Un-shielded Twisted Pair
STP:Shielded Twisted Pair

6. その他のプロトコル

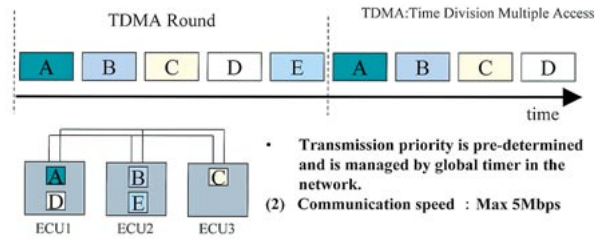
その他の代表的なプロトコルについて概要を示す。

6.1 TTP/C (Time Triggered Protocol)

CANとは全く異なったアクセス方式を持つX-by-wireへの適用を目指したプロトコル。システム内で統一したクロックを持っており、バスへのアクセスはTDMA (Time Division Multiple Access) 方式を採用している。フォールトトレラントを下位プロトコル (= ハードウェアレベル) で考慮したプロトコルとなっている。接続形態はバスであり、現在の通信速度は最大5Mbps。Fig.8に概要を示す。

6.2 D2B optical (Domestic Digital Bus)

情報系で現在のメルセデスベンツに採用されている。デジタルオーディオの転送データを拡張した光ファイバ通信プロトコルである。各フレームの最後尾に制御データ(ステータス)を付与できる。接続形態はリングで、通信速度は5.6Mbpsである。



Reliable data transmission by TDMA with the hardware fault tolerance function

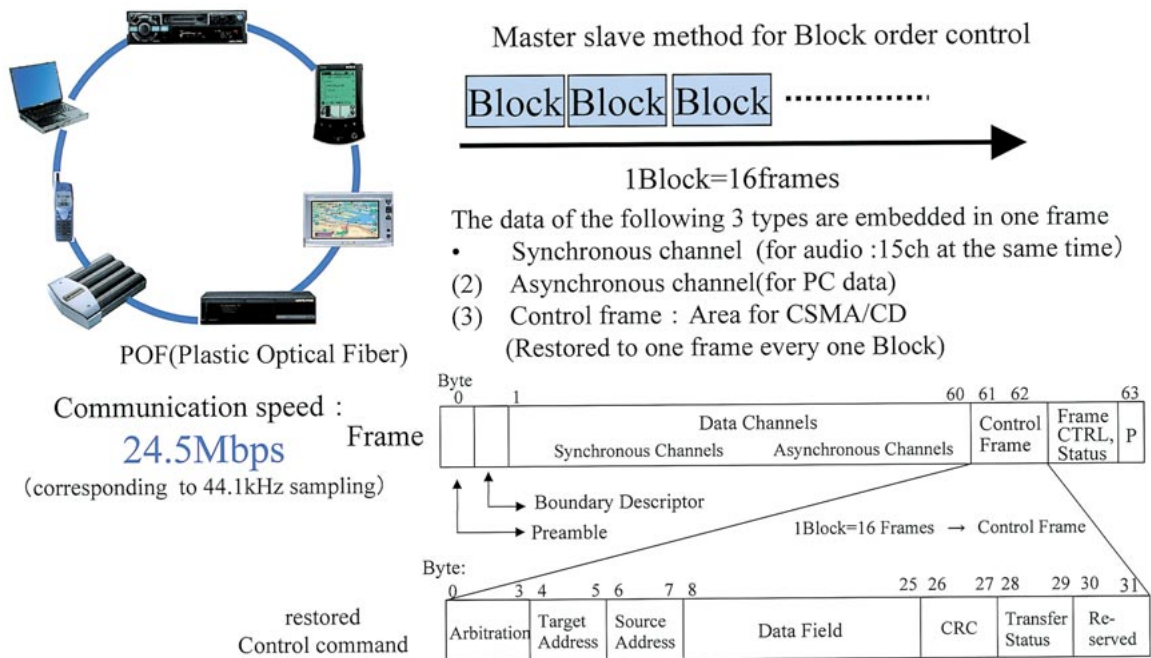
Fig.8 TTP/C(Time Triggered Protocol for SAE Class C Applications)

6.3 MOST(Media Oriented System Transport)

オーディオ、ナビゲーション、パーソナル端末などを統合化した接続を目指している。欧州を中心に次期型の情報系LANとしての採用が検討されている。搭載車両が市場に投入されるのは2001年以降となりそうである。

接続形態はリングで、通信速度は24.5Mbpsである。

Fig.9に概要を示す。



Integrated digital audio, PC data and control commands

Fig.9 MOST(Media Oriented System Transport)

6.4 LIN (Local Interconnect Network)

インテリジェントセンサ、アクチュエータへの適用を考慮したプロトコル。通常のマイクロコンピュータが持っているUART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) をベースとしたマスタ-スレー

ブ型のバスアクセス方式を採用。物理層のドライバにはISO9141のトランシーバを拡張したものを採用している。通信速度は最大20kbpsである。モータ系の制御バスとして実用化が進められようとしている。

7. 今後の動向

制御系においてはCANの導入が更に進むと考えられる。ただし、制御系では通信データの遅延時間がより厳しく定義されるが、CSMA/CRでは遅延時間の規定ができない。そのためCANにおいても上位プロトコルによりTTPと同様なTDMAによるアクセスが可能なプロトコルが検討されており、リアルタイム制御への対応がより容易になってくると考えられる。(TT-CAN: Time Triggered communication option on CAN, 現在ISOにてドラフトを審議中)

TTPの導入は、高信頼性をハードウェアレベルで実現する要求が強い部分から始まり、マイコンへの組み込みが可能になれば進行する可能性が高くなる。既にARM (Advanced RISC Machine) コアを持つマイクロプロセッサに組み込む計画が示されている。

クラス分けとしてはこれまでのボデー系、情報系、制御系に加えて、

- ・インテリジェントセンサ、アクチュエータ系
- ・エアバッグ用ファイヤリングパス、センサバス

が必要になってくる。これらのカテゴリでは現在検討段階から実用化段階に移ろうとしている。

情報系においては、AMICやIDB-Forumにより次世代のマルチメディア系プロトコルの標準化が検討されており、次世代MOST, IEEE1394等が候補に挙がっている。この通信メディアとしては光ファイバが最有力であり自動車搭載に向けて、光ファイバ及びコネクタの耐環境性、組み付け性の向上、電気-光変換デバイスの耐環境性、長寿命化が取り組まれている。光ファイバ通信はITSの導入につれ、車外との通信量が増加することが確実であり自動車への搭載が増加することが見込まれる。

8. おわりに

自動車用ネットワーク技術の動向について述べてきた。ボデー系、制御系については各車両メーカーごとに異なった運用がされるものの、下位レベルのプロトコルはCANの採用が増加するであろう。情報系についても標準化に向かっている。自動車の機能向上、多機能化につれてネットワークの導入が更に進むと考えられる。

<参考文献>

- 1) 田部, 秋山, 平林「車載ネットワークの現状と将来」内燃機関, Vol.28, No.351 1989.1
- 2) SAE Surface Vehicle Standard, CLASS B DATA COMMUNICATION NETWORK INTERFACE, J1850, 1988. 11
- 3) H.Honda et al, BEAN (Body Electronics Area Network), SAE970297, 1997.2
- 4) U.KIENCKE et al, AUTOMOTIVE SERIAL CONTROLLER AREA NETWORK, SAE860391, 1986.2
- 5) ROBERT BOSCH GMBH, CAN specification Ver 2.0B, 1991
- 6) 田野倉, 「光が開くクルマ市場」, 『日経エレクトロニクス』, 1999.4.19, No. 741, p107



<著者>



後藤 正博
(ごとう まさひろ)

技術開発センタ 特定開発室S
自動車用ネットワークシステム関連の技術開発に従事。



秋山 進
(あきやま すずむ)

技術開発センタ 特定開発室S
自動車用ネットワークシステム関連の技術開発に従事。