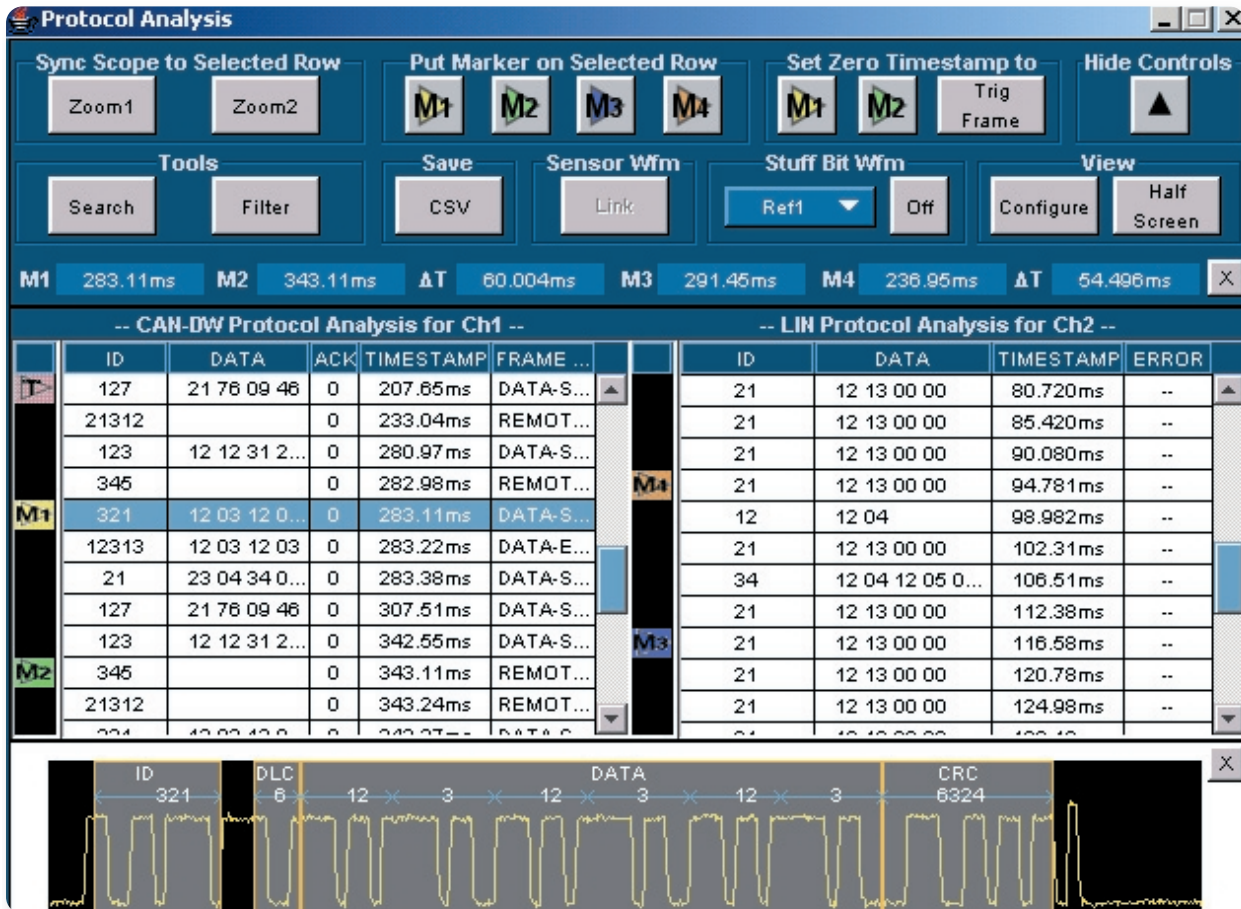


CANおよびLINの 車載ネットワーク・テストの簡素化

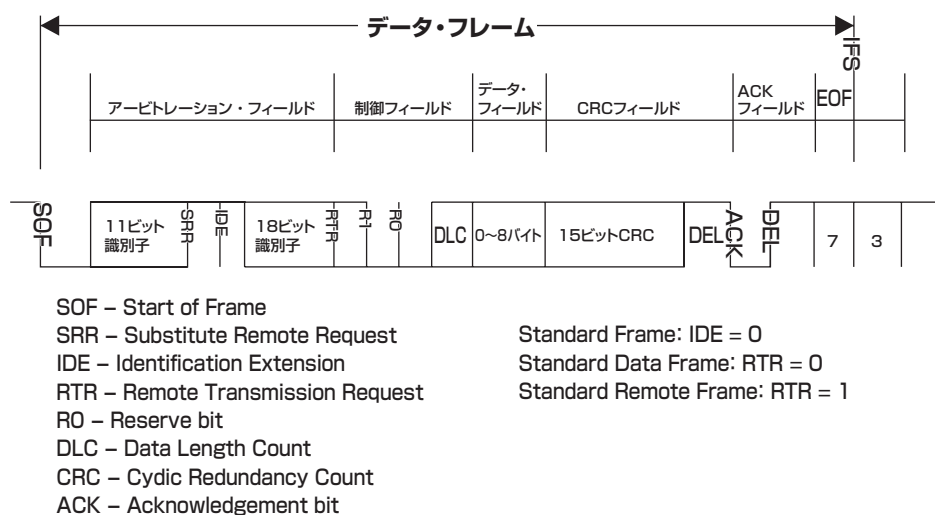


車載ネットワークは、高速および低速の情報を処理する多くのモジュールを統合します。このため、ネットワークのテストは非常に困難な作業になります。これは、ネットワークの一部の要素（ノードなど）が、安全性や排気ガスの規制を満たすために高速データを処理する必要があるためです。その他のネットワーク要素としては、ヘッドライトやスイッチなど、低速の接続があります。

自動車では、CAN（Controller Area Network）とLIN（Local Interconnect Network）という主要な2つのネットワーク技術を使用しています。異なったネットワークに2つの技術が共存しますので、デバッグやテストがより困難かつ時間のかかる作業になっています。

CANおよびLINの車載ネットワーク・テストの簡素化

▶ アプリケーション・ノート



▶ 図1

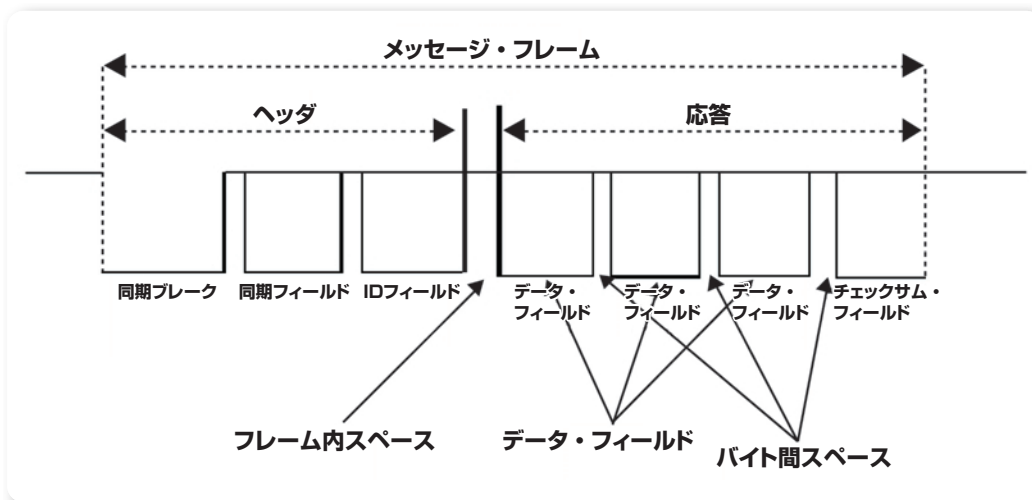
このアプリケーション・ノートでは、CANおよびLINプロトコルの基本について説明します。また、当社TDSVNM CAN/LIN タイミング&プロトコル解析ソフトウェアによる、車載ネットワークのデバッグとテストについても説明します。このソフトウェアには、次のような機能があります。

- オシレータ・トレランス／伝播遅延測定により、ネットワークの解析時間を短縮
- バスの占有率とデータ・レートの測定により、ネットワークの効率的な利用を実現
- CANのアイ・ダイアグラムを解析し、CANメッセージでのノイズに起因する問題を検出
- CANフレームの内容をもとにCANおよびLINメッセージを取り込み、プロトコル・デコード・フォーマットで表示
- CANおよびLINデータを同時に取り込み、プロトコル・デコード・フォーマットで表示してゲートウェイにおける遅延時間を検出

CANの基本

CANは、制御モジュールを接続するシリアルかつ非同期のマルチ・マスタ通信プロトコルです。CANは、1Kbps～1Mbpsの範囲のビット・レートをサポートします。通常、125Kbps未満のデータ・レートは低速CANと呼ばれます。125Kbps～1Mbpsのデータ・レートは高速CANと呼ばれます。CANノードは、送られてくるデータをサンプリングするための独自のクロック・ゼネレータを備えています。タイミング・パラメータであるビット時間の同期セグメント、伝播セグメント、フェーズ・セグメント1、フェーズ・セグメント2は、個々のCANノードごとに個別に設定でき、CANノードのオシレータのクロック・レートが異なる場合でも共通のビット・レートを得ることができます。

CANは、シグナリングに単線方式、2線方式、またはフォールト・トレランス方式を使用します。単線方式のCANのデータ・レートは33.3Kbpsと83.3Kbpsで、シグナリングはシングル・エンドです。2線方式のCANは、高速データ・レートのCANに使用され、シグナリングは差動式です。フォールト・トレランス方式のCANは、低速データ・レートのCAN用です。フォールト・トレランス方式のCANは、ワイヤがバッテリーまたはアースに短絡された場合でも機能します。



▶ 図2

ネットワーク内の個々のCANノードは、パケット形式で情報を送信します。各パケットには、オーバーヘッドとペイロードが含まれます。パケットは通信のタイプにより、データ・フレーム、リモート・フレーム、オーバーロード・フレーム、またはエラー・フレームと呼ばれます。

車載ネットワークでは、CANノードはリモート・フレームを送出することによりデータを要求します。ノードがデータの処理中であったり、優先順位の高い作業を実行中の場合、ノードはバスにオーバーロード・フレームを送出し、現在ビジー状態であることを知らせます。CANノードは、チェックサムによりエラーまたはデータが破壊されていることを検出すると、エラー・フレームを送出します。データ・フレームには、CANメッセージからのデータが含まれます。

CANには、CAN2.0AとCAN2.0Bという2つのプロトコル・フォーマットがあります。2つのバージョンの違いは、アドレス指定のためのビット数にあります。CAN2.0Aは11ビットのアドレス指定をサポートし、CAN2.0Bに対応しています。CAN2.0Bがサポートしているのは29ビットのアドレス指定で、これは拡張アドレス指定とも呼ばれます。CAN2.0BはCAN2.0Aと互換です。

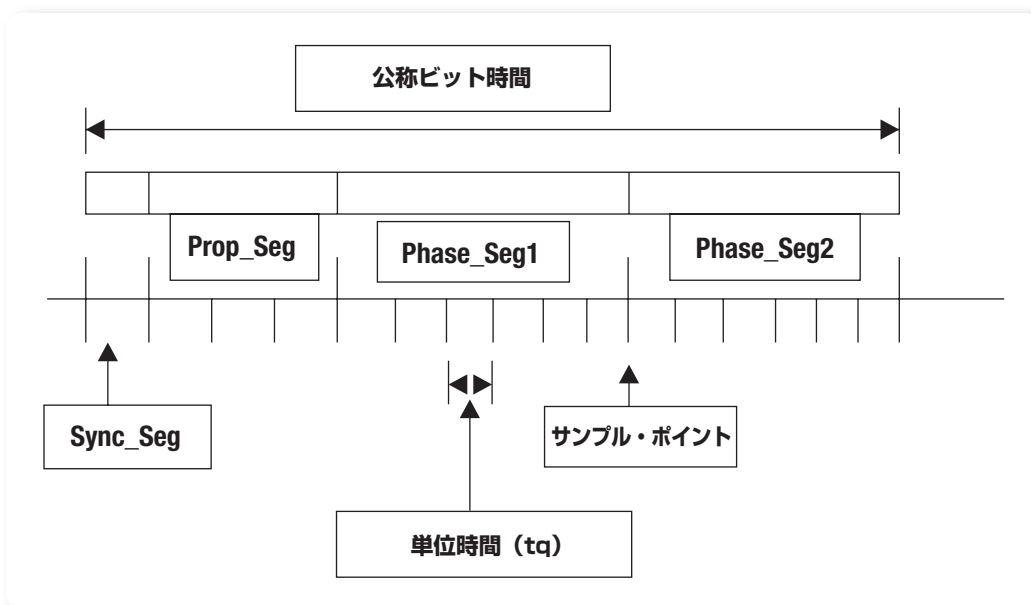
CAN2.0Bの一般的なデータ・フレームを図1に示します。

LINの基本

LINは、一般的なUARTインタフェースを使用した単線シリアル通信プロトコルです。LINは、マスタが1つ、スレーブが複数のネットワーク・アーキテクチャを採用しています。ドアの制御、ライトや窓の操作といった自動車のセンサやアクチュエータのネットワーク・アプリケーション用に開発されています。LINのマスタ・ノードは、CANのような、高レベルのネットワークに接続できます。

LINは、電磁波障害の防止およびクロックの同期化の要件で要求される、最大20Kbpsのデータ・レートに対応します。

スレーブのタスクは識別子を受信し、フィルタリングした時点でオンになり、応答メッセージの送信を開始します。応答は、2つ、4つ、または8つのデータ・バイトと1つのチェックサム・バイトからなります。ヘッダ部と応答部は、1つのメッセージ・フォーマットで構成されます。LINのメッセージ・フォーマットを図2に示します。



▶ 図3

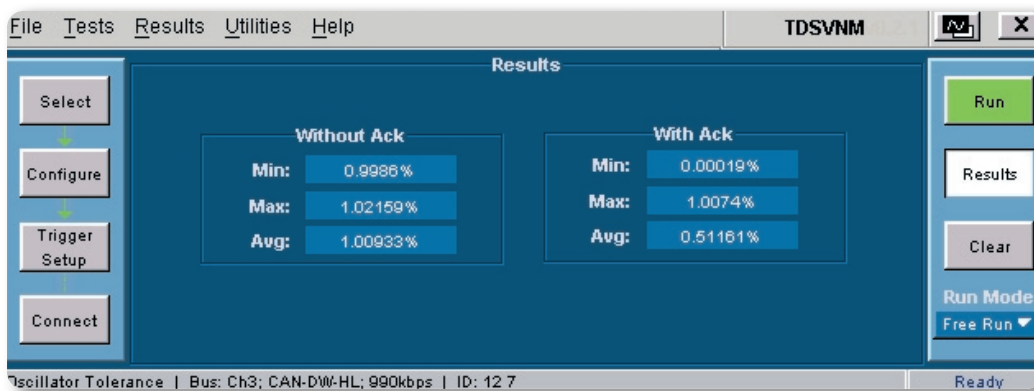
ビット・タイミング問題の解決に役立つ、オシレータのトレランスと伝播遅延の測定

CANプロトコルの機能、ビット・レート、ビット・サンプル・ポイント、ビット周期当りのサンプル数は、ユーザがプログラミングできます。その際、システム間におけるビット・タイミング・パラメータ、リファレンス・オシレータ・トレランス、およびさまざまな信号伝播遅延に注意を払う必要があります。

CANの仕様では、ビット時間は同期セグメント、伝播時間セグメント、フェーズ・バッファ・セグメント1、およびフェーズ・バッファ・セグメント2の4つのセグメントに分かれています。各セグメントは、プログラミング可能な単位時間で構成されます。単位時間（ t_q ）の長さは、ビット時間の基本的な単位時間であり、プログラマがビット・レートのプレ・スカラを使用して定義します。

図3は、ビット時間における単位時間の選択、および4つのセグメントへの単位時間の割り当て方法を示したものです。

同期セグメント（sync_seg）は、CANバス・レベルのエッジが発生する部分です。sync_segの外で発生するエッジ間の距離は、エッジのフェーズ・エラーと呼ばれます。伝播遅延セグメント（prop_seg）は、CANネットワーク内での物理的な遅延時間を補正するためのものです。2つのフェーズ・バッファ・セグメント（phase_seg1とphase_seg2）は、サンプル・ポイントを囲みます。再同期のジャンプ幅（SJW）は、エッジ間のエラー補正におけるフェーズ・バッファ・セグメントによって定義される限界値内でのサンプル・ポイントの移動量を決定します。



▶ 図4：オシレータのトレランス

ビット時間を調整することでビット・レートを達成することはできますが、CANネットワークを正しく機能させるためには、物理的な遅延時間とオシレータのトレランスの範囲を考慮に入れる必要があります。CANネットワークの各ノードは、そのノードのオシレータからビット・タイミングを導き出します。このビット時間は、オシレータのトレランスとともに変化します。実際のシステムでは、初期トレランス・オフセット、エージング、周囲温度の変化などが原因でオシレータのリファレンス周波数 f_{clk} が公称値からずれることがあります。これらのずれを総合した結果が総オシレータ・トレランスです。タイミング・レジスタをプログラミングする際には、この変動を計算に入れる必要があります。

Windowsベースのオシロスコープで動作するTDSVNM CAN/LIN タイミング&プロトコル解析ソフトウェアは、業界で初めてオシレータのトレランスの測定を可能にしました。CANノードのIDはユーザによって指定できます。TDSVNMの測定結果には、ACKビットが有の場合となしの場合のオシレータのトレランスが含まれます。現実には、CANノードはCANコントローラがACKビットを認識できるように、ACKビットを正確にサンプリングする必要があります。

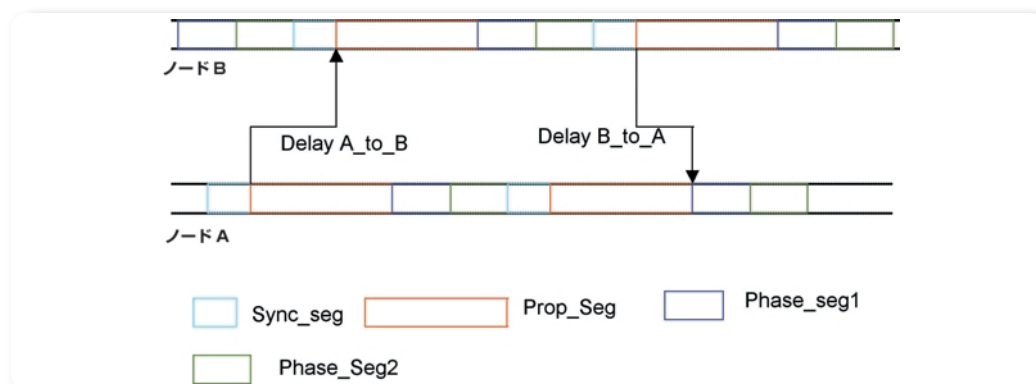
TDSVNMの測定結果により、総オシレータ・トレランスを知ることができます。ACKビットを通じて、受信側のCANノードが送信側のノードに及ぼす影響も知ることができます。送信ノードと受信ノードのオシレータ・トレランスを組み合わせることでCANコントローラのタイミング・レジスタをプログラミングでき、ネットワークでエラーが発生しないようにできます。

サンプル・ポイントを正確に設定するためには、オシレータのトレランスに加え、伝播遅延時間情報も必要になります。CANシステムの伝播遅延が重要な意味を持つ理由は、CANではネットワークのアクセスを巡って競合するノード間の非破壊的アービトラージだけでなく、フレーム内確認応答も想定しているためです。

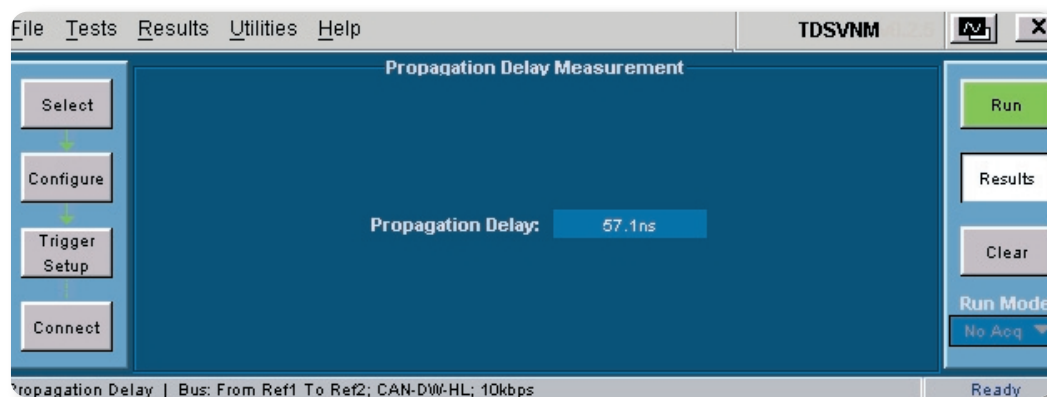
AとBという2つのCANノードがあるものと仮定し、この2つのノード間の一方方向の伝播遅延を $t_{prop}(A, B)$ と定義します。CANバスのビット・ストリームと同期したCANノードは、2つのノード間の信号伝播時間のため、トランスミッタのビット・ストリームとは位相がずれることになります。

CANおよびLINの車載ネットワーク・テストの簡素化

► アプリケーション・ノート



► 図5



► 図6：伝播遅延

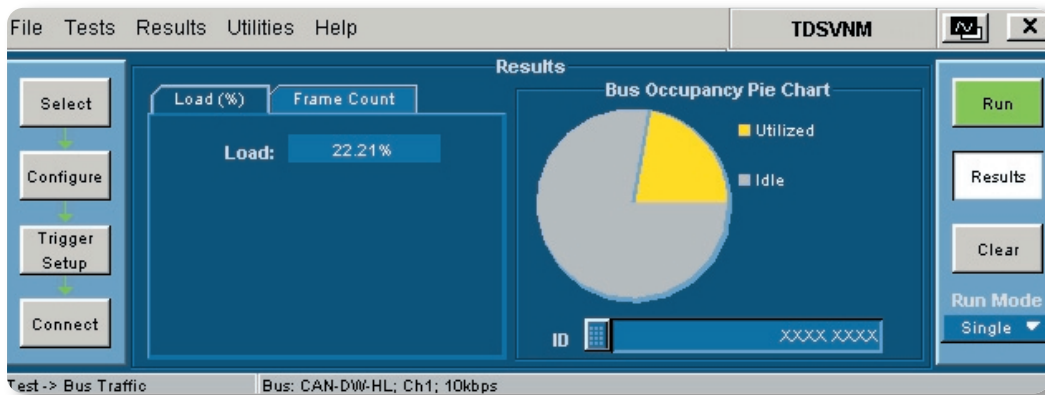
図5に示した例では、AとBのノードはともにCANバスのアービトレーションを実行するトランスミッタです。ノードAは、ノードBに比べてフレーム開始ビットを1ビット時間早く送出しています。このため、ノードBはリセッティブからドミナントに変化するエッジにあわせて、自分自身を同期化しています。ノードBは、このエッジの遅延（A_to_B）をそれが送信された後で同期化しているため、Bのビット・タイミング・セグメントはAからずれています。ノードBは、ドミナント・ビットを送信したときに特定の識別子ビットでのアービトレーションを獲得できるように、より高い優先順位を持つ識別子を送信します。ノードAは、リセッティブ・ビットを送信します。ノードBから送信されたドミナント・ビットは、遅延（B_to_A）の後にノードAに到着します。

オシレータのトレランスにより、ノードAの実際のサンプル・ポイント位置は、ノードAのフェーズの大きいセグメントの公称範囲内のどのポジションでもよいので、ノードBによって送信され

るビットは、phase_seg1開始前にノードAに到着する必要があります。この条件により、prop_segの長さは定義されます。

ノードBによって送信されたリセッティブからドミナントへのエッジがphase_seg2開始後にノードAに到着すると、ノードAがドミナント・ビットの代わりにリセッティブ・ビットをサンプリングしてしまう可能性があります。これはビット・エラーとなり、エラー・フラグによって現在のフレームが破壊されることになります。

この問題を解消するためには、CANコントローラのタイミング・レジスタをプログラミングする際に正確なデータを使用する必要があります。TDSVNMでは、伝播遅延を自動的に測定できます。TDSVNMによるオシレータ・トレランスと伝播遅延の自動測定機能を使用すれば、車載ネットワークから現実の世界のデータをサンプリングし、レジスタをプログラミングすることが可能になります。



▶ 図7：バス占有率の測定結果

バス占有率とデータ・レートを測定することで、 車載ネットワークの効率的な利用を実現

自動車業界では、車載ネットワークの効率的な運用のためには、バスの負荷を30%とすることを推奨しています。30%以上で使用すると、車両にオーバーロード・フレームを生成するノードや、優先順位の低い動作の実行を許可しないノードが発生することがあります。この結果、車載ネットワークに機能障害が発生します。

CANノードは、バスがアイドル状態のときにメッセージを送信します。ANDロジックで接続されているため、2つのノードが同時にメッセージを送信すると、優先順位の高いメッセージが低いメッセージより優先されます。優先順位の低いメッセージを送信しようとしているノードは、バスがアイドル状態になってから再度バスへのアクセスを試みます。優先順位の低いノードは、バスのオーバーロードによって、送信しようとしてもバスへのアクセスができないこともあります。この場合、優先順位の低いノードのレイテンシ・タイムは、望ましい値より長くなります。バス占有率とデバッグ問題の解析のためには、以下に示すような、バスがオーバーロードになる条件を知っておく必要があります。

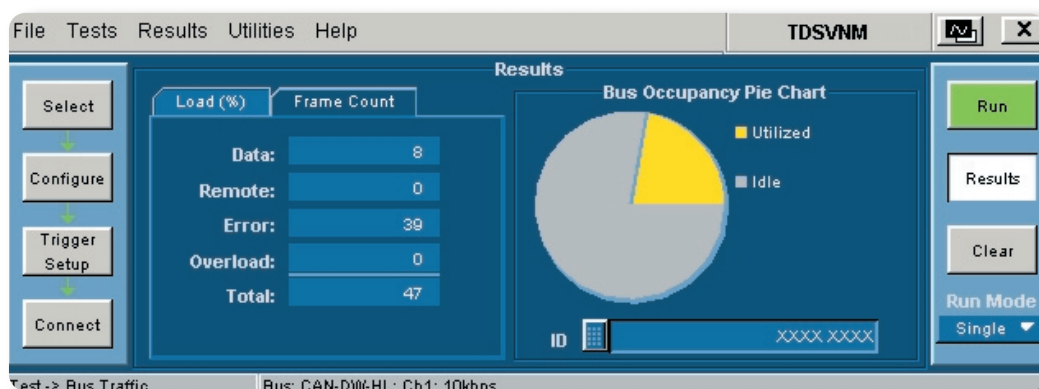
1. 特定のIDを持つメッセージ
2. エラー・フレーム
3. オーバロード・フレーム

TDSVNMには、特定のID、データの内容、エラー・フレーム、あるいはオーバーロード・フレームを検出したときにバスの占有率を測定する機能があります。この機能により、車両のさまざまな動作条件におけるネットワーク負荷のデバッグが可能になります。バス占有率の測定結果例を、図7に示します。

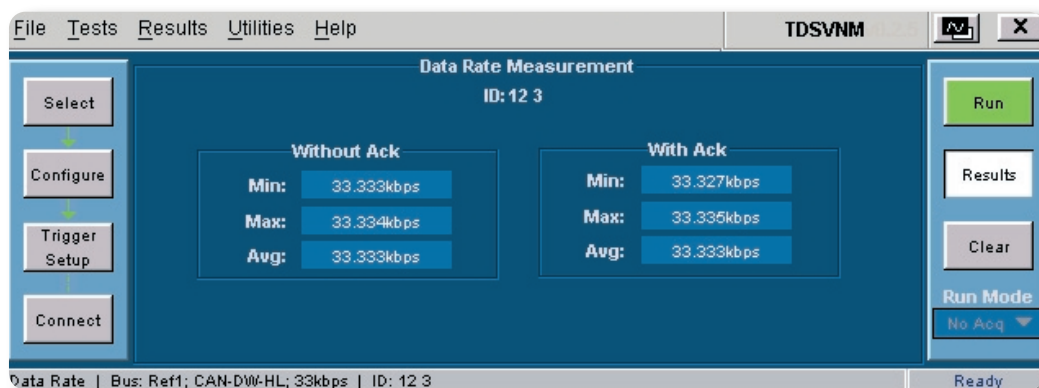
バスの占有率をさらに詳しく解析するための手段として、フレーム・カウントをパイ・チャートで表示することができます。フレーム・カウント・ビューには、データ、エラー、リモート・フレームおよびオーバーロード・フレームのカウント値が表示されます。この分布により、CANバスのオーバーロードの原因が分かる場合があります。データ・フレーム中では、特定IDのデータ・フレームのカウント値も見ることができます。これにより、優先順位の高いノードがバスを占有しているかどうかをテストすることができます。この測定結果から、より望ましいパフォーマンスが得られるようにCANスケジューラをプログラミングでき、また、CANバスをより効率的に使用できるよう、必要に応じてCANノードへの優先順位の割り当てを変更できます。CANトラフィックにおけるフレームの分布を図8に示します。

CANおよびLINの車載ネットワーク・テストの簡素化

► アプリケーション・ノート



► 図8：フレーム・タイプごとのバス占有率の分布



► 図9：データ・レートの測定結果

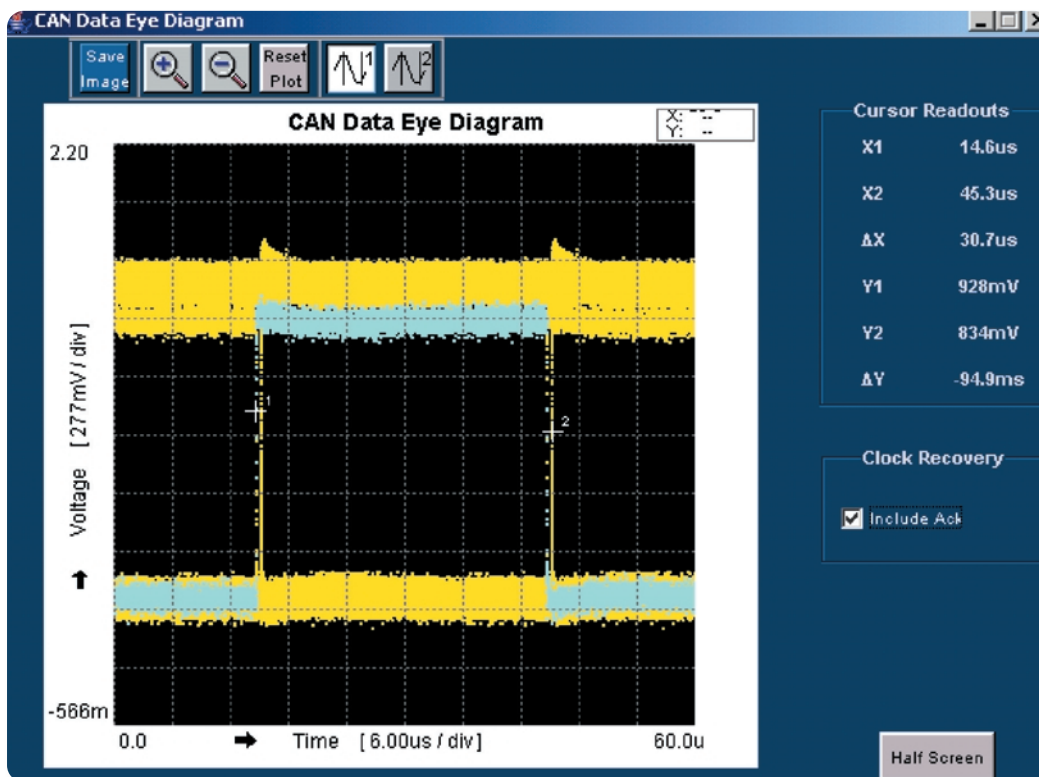
車載ネットワークには、多くのノードが存在します。すでにお分かりのように、個々のCANノードは、それぞれの異なるCANシステム・クロックで動作します。しかし、タイミング・レジスタのボー・レートのプレ・スケーラを使用すると、すべてのCANノードを固定のデータ・レートで動作させることができます。車載ネットワークに統合された場合、人為エラーやCANのシステム・クロックの変更などにより、データ・レートがCANバスのデータ・レートと一致しなくなることがあります。データ・レートが一致していない状態でノードがCANメッセージを送受信した場合、ノードはエラー・メッセージを生成し、ネットワークの効率を低下させます。

TDSVNMを使用することで、特定IDのCANメッセージの取り込みおよびデータ・レートの測定が可能になります。また、この測定結果をもとに、他のCANノードのデータ・レートと一致していないノードを速やかに検出できます。

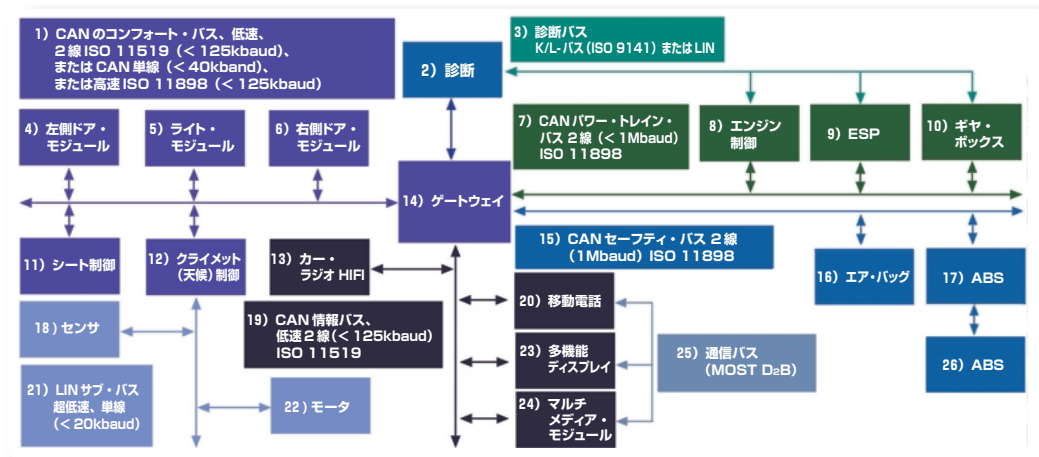
CANアイ・ダイアグラム解析によるCANメッセージのノイズ問題の検出

車載ネットワークは、電氣的なノイズが存在する環境で動作します。このことは、CAN信号が電氣的ノイズの影響を受け、振幅の変化、ジッタの増大、信号のスパイクやグリッチを生じる原因になっています。このような歪みのある信号は、車載ネットワークの誤動作の原因になります。

TDSVNMでは、トリガ条件としてIDを指定することにより、必要なCANメッセージを取り込むことができます。TDSVNMは、必要なCANメッセージを、しかるべきタイミングと振幅分解能で取り込むようにオシロスコープを自動的に設定するため、すべての信号情報を取り込むことができます。アイ・ダイアグラムは、信号振幅の変化や信号のジッタ変化を速やかに表示できます。



▶ 図10: ACKビットによるCANアイ・ダイアグラム



▶ 図11: 一般的な車載ネットワーク

図10は、振幅とジッタの測定を可能にするCANのアイ・ダイアグラムとカーソルを示したものです。アイ・ダイアグラムでは、ノードの送受信の問題を特定できます。CANのアイ・ダイアグラムの青いトレースは、ACKビットを表しています。

CANおよびLINメッセージのプロトコル・デコード

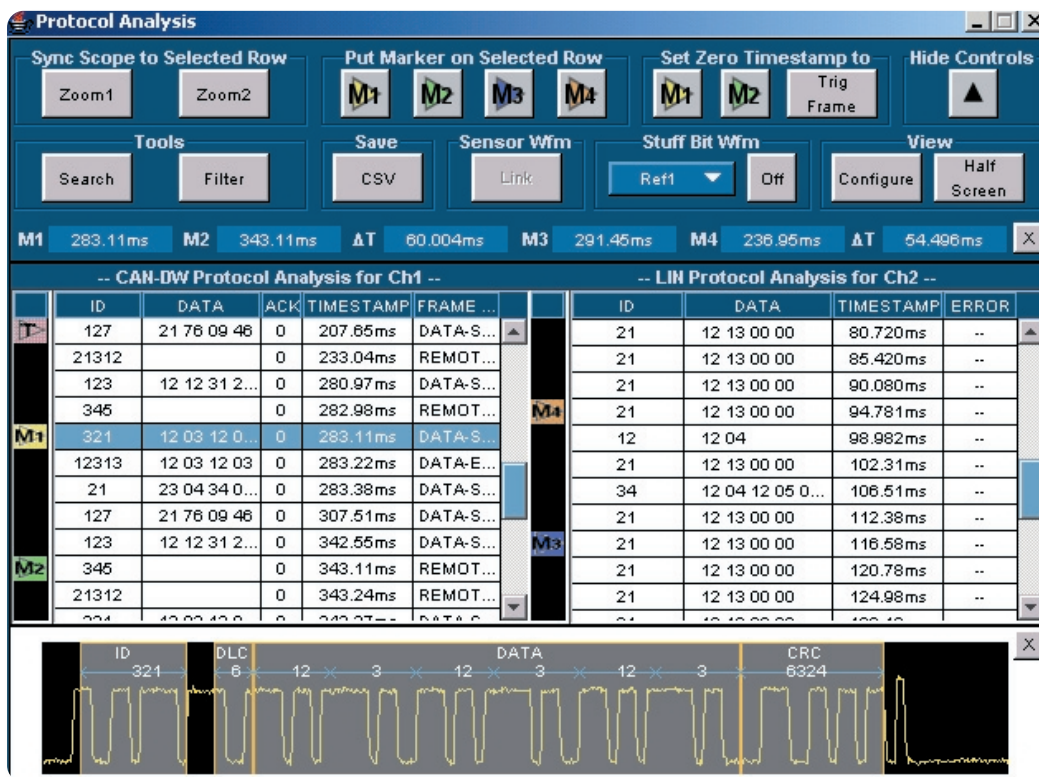
車載ネットワークで物理レイヤが完全に動作することを確認したら、ファームウェアとECU (エレクトロニック・コントロール・ユニット) を統合します。この作業では、OSIの物理レイヤの動作を、データ・リンク・レイヤ・フォーマットで見ることができます。一般的な車載ネットワークを図11に示します。

▶ アプリケーション・ノート



- 特定のCANフレームの内容でトリガをかけてバス・トラフィックを取り込み、データ・リンク・レイヤ・フォーマットで情報を表示
- CANメッセージ間のタイム・スタンプの作成
- ネットワークの異なるセグメント間の通信特性評価
- ネットワークの2つのセグメントにおけるプロトコルの動作を同時に表示。2つのセグメントの組み合わせとして、CAN-CANとCAN-LINの組み合わせが考えられます。

TDSVNMソフトウェアとATM1トリガ・モジュールを組み合わせることにより、特定の内容のCANやLINのトラフィックを取り込むことが可能になります。このツールでは、CAN2.0AまたはCAN2.0Bのフレームをモニタできます。また、「データ」、「オーバーロード」、「リモート」、「エラー」のフレーム・タイプにも柔軟に選択できます。フレームの内容をもとに、モニタする内容を指定して取り込みを開始できます。業界最先端のこのソフトウェアには、パッシブまたはアクティブなエラー条件をモニタする機能があります。一般的なトリガ設定のユーザ・インタフェースを図12に示します。



▶ 図13：CANおよびLINのプロトコル・デコード情報

アナログ波形データから、NRZのデータを解釈したり、CANメッセージの内容を理解することはきわめて困難です。TDSVNMは、波形をデコードし、データをヘキサまたはバイナリ・フォーマットで表示できるので、時間を節約し、エラーを減らすことができます。波形からプロトコルをデコードした結果を図13に示します。

TDSVNMには、異なる形式でデータを解析するための多様な解析ツールがあります。TDSVNMは標準で、トリガ条件に関するタイム・スタンプ、および必要なフレームの参照に便利なマーキング機能を持っています。任意の2つのメッセージに2つのマーカをセットすることにより、2つのメッセージ間の時間を知ることができます。同時に、2つの異なるバス間の通信レイテンシ・タイム、およびそのデータの送受信の正確さも確認できます。市販のオシロスコープには、このような機能はありません。

TDSVNM CAN/LINタイミング&プロトコル解析ソフトウェアは、業界最先端のトリガ機能、オシレータ・トレランスと伝播遅延の測定機能、CANメッセージとLINメッセージの同時デコード機能を持ち、お手持ちのテクトロニクスのおシロスコープを、洗練された車載ネットワーク管理ツールへと変身させます。TDSVNMでプロセス時間を短縮し、シームレスかつ確実な動作のネットワーク設計を実現してください。

参考文献

- Philips社のアプリケーション・ノート AN97046
- Bosch社のテクニカル・ペーパー
「The Configuration of the CAN Bit Timing」

Tektronix お問い合わせ先:

東南アジア諸国／オーストラリア／パキスタン (65) 6356 3900

オーストリア +41 52 675 3777

バルカン半島／イスラエル／アフリカ南部諸国およびISE諸国 +41 52
675 3777

ベルギー 07 81 60166

ブラジルおよび南米 55 (11) 3741-8360

カナダ 1 (800) 661-5625

中東ヨーロッパ／ウクライナおよびバルト海諸国 +41 52 675 3777

中央ヨーロッパおよびギリシャ +41 52 675 3777

デンマーク +45 80 88 1401

フィンランド +41 52 675 3777

フランスおよび北アフリカ +33 (0) 1 69 86 81 81

ドイツ +49 (221) 94 77 400

香港 (852) 2585-6688

インド (91) 80-22275577

イタリア +39 (02) 25086 1

日本 81 (3) 6714-3010

ルクセンブルグ +44 (0) 1344 392400

メキシコ、中米およびカリブ海諸国 52 (55) 56666-333

中東アジア／北アフリカ +41 52 675 3777

オランダ 090 02 021797

ノルウェー 800 16098

中華人民共和国 86 (10) 6235 1230

ポーランド +41 52 675 3777

ポルトガル 80 08 12370

大韓民国 82 (2) 528-5299

ロシアおよびCIS諸国 7 095 775 1064

南アフリカ +27 11 254 8360

スペイン (+34) 901 988 054

スウェーデン 020 08 80371

スイス +41 52 675 3777

台湾 886 (2) 2722-9622

イギリスおよびアイルランド +44 (0) 1344 392400

アメリカ 1 (800) 426-2200

その他の地域からのお問い合わせ 1 (503) 627-7111

Updated 15 June 2005

詳細について

当社は、最先端テクノロジーに携わるエンジニアのために、資料を用意しています。当社ホームページ(www.tektronix.co.jp)またはwww.tektronix.comをご参照ください。



Copyright © 2005, Tektronix. All rights reserved. Tektronix製品は、米国およびその他の国の取得済みおよび出願中の特許により保護されています。本書は過去に公開されたすべての文書に優先します。仕様および価格は予告なしに変更することがあります。TEKTRONIXおよびTEKはTektronix, Inc.の登録商標です。その他本書に記載されている商品名は、各社のサービスマーク、商標または登録商標です。

9/05 FLG/WOW

61Z-19063-0

12 www.tektronix.co.jp/tdsvnm

Tektronix
Enabling Innovation

日本テクトロニクス株式会社

東京都港区港南2-15-2 品川インターシティ B棟6階 〒108-6106
製品についてのご質問・ご相談は、お客様コールセンターまでお問い合わせください。

TEL 03-6714-3010 FAX 0120-046-011

電話受付時間／9:00～12:00・13:00～18:00 月曜～金曜（祝日は除く）

当社ホームページをご覧ください。 www.tektronix.co.jp
お客様コールセンター ccc.jp@tektronix.com