

## 論文

## リアルタイム性を保証したフィールドバスの高速通信方式の実現

金田 泰昌<sup>\*1)</sup> 入月 康晴<sup>\*1)</sup> 横田 裕史<sup>\*2)</sup>

## Implementation of High Speed Real-time Communication at Field Bus

Yasuaki Kaneda<sup>\*1)</sup>, Yasuharu Irizuki<sup>\*1)</sup>, Hiroshi Yokota<sup>\*2)</sup>

Recently, in control systems such as factory automation, automobiles, and robots, etc, controllers are networked by using field buses. This is to give systems high functionality and capability. There are many benefits to using a field bus; controllers can communicate mutually, system functions can be expanded, high dependability communication can be realized, and also cable harness can be reduced. In this research, to ensure real-time communication at a field bus, we have adopted a time triggered (TT) method to a field bus and constructed a communication model using the TT method. In addition, we have modified the TT method such that a transmission window is efficiently and dynamically assigned to the band used by the field bus. As a result, it has real-time capability, while also realizing high speed communication.

キーワード：フィールドバス，CANバス，リアルタイム性，高速通信

Keywords：Field bus, CAN bus, Real-time, High speed communication

## 1. はじめに

近年，生産設備，自動車内，ロボット等に代表される制御システムにおいて，高機能化・高性能化のためにフィールドバスによるコントローラのネットワーク化が加速している。フィールドバスを用いることで，機器の相互接続が可能になり機能が拡張されることはもちろんのこと，従来までのアナログ通信に比べ信頼性の高い通信が可能となったり，またバス線を共有することでハーネスの削減が可能となったりと，非常に多くのメリットがある。しかし，バスに接続する機器（ノード）の増加，ネットワークの複雑化に伴い，所定の時間内における送信完了の保証（通信のリアルタイム性の保証）が困難になってきている。

そこで，本研究では，タイムトリガ（TT）と呼ばれる方式に着目する。TT方式<sup>(1)</sup>とは，各ノードに予め送信できるタイミングを割り振ることで送信のスケジュールを作成し，その割り振られたタイミングに基づいてデータの送信を行う手法である。フィールドバスにおいて，このTT方式を採用した通信モデルを確立することで，フィールドバスのリアルタイム性を保証することができる。ただし，TT方式は，自身の送信タイミングのときに必ず送信データがあるとは限らない。すなわち，各ノードは決められたタイミングのみの送信となるため，送信データが少ない場合はバスの帯域に無駄が生じてしまう可能性がある。そこで，バスの帯域を有効に利用するために，自身の送信タイミングが来た際に送信データが存在しない場合は，再スケジュール

リングを行うことで，リアルタイム性を保証しつつ，バスの帯域を有効活用し，転送レートを向上させている。

2章ではフィールドバスの概要を示し，フィールドバスの1つでありかつ，本研究の具体的な対象であるCANバスについて説明する。そして3章ではTT方式および，提案手法であるバスの帯域を有効活用するための再スケジュールリング方式について説明する。その有効性を検証するために4章で実験結果を示し，5章で本論文をまとめる。

## 2. フィールドバス

2.1 概要 フィールドバスとは，工場内での計測・制御機器間，自動車内のECU間，ロボット内のセンサ・アクチュエータ間といったように，フィールドで使用される機器のコントローラ間の通信に特化したネットワークのことである<sup>(2)</sup>。図1に従来までのアナログ接続と，フィールドバス接続の接続図をそれぞれ示す。フィールドバスはデジタル通信を採用しており，従来までのアナログ信号が主体の

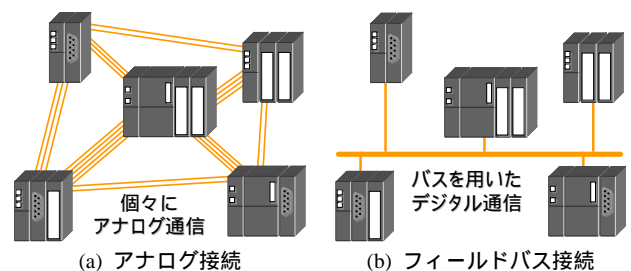


図1. コントローラ間の接続図

\*1) 情報技術グループ

\*2) 東京都産業労働局

表 1. 主要なフィールドバスの比較

|          | CAN/Device Net                | PROFIBUS                           | CC-Link                         |
|----------|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| 起源<br>発祥 | 独自動車メーカ<br>米制御機器メーカ           | 欧制御機器メーカ                           | 三菱電機                            |
| 普及<br>地域 | 欧米日                           | 欧米日                                | 日本, アジア                         |
| 実績       | 500 万ノード                      | 900 万ノード                           | 157 万ノード                        |
| 特徴       | 通信量少<br>低コスト                  | 高速大容量                              | 高速<br>PLC との接続容易                |
| 方式       | CSMA/NBA                      | マスタ・スレーブ<br>+ トークン                 | ブロードキャストポ<br>ーリング               |
| 速度       | 50 k ~ 1 Mbps                 | 9.6 k ~ 12 Mbps                    | 156 k ~ 10 Mbps                 |
| 距離       | 1000 m (50 k) ~<br>40 m (1 M) | 1000 m (187.5 k) ~<br>100 m (12 M) | 1.2km (156 k) ~<br>100 m (10 M) |

配線と比べ、時分割・多重化が可能となる。そのため、システムの高性能化・高信頼化を実現することが可能となる。また、従来までは 1 対 1 で接続していたのに対し、フィールドバスを用いることで配線を共通化することが可能となるため、コスト面でも大きなメリットをもたらしている。

フィールドバスはその成り立ち、用途、地域等の特性により、様々なものが存在する。主要なフィールドバスの一覧を表 1 に示す。本研究では、コスト面や IC の入手性を考慮して、次節で説明する CAN バスを対象とする。

2.2 CAN バスの特徴 CAN の仕様は現在 CAN2.0B が主流となっている。その特徴<sup>(3)</sup>は次の通りである。

- ・ バス型のネットワークポロジ
- ・ バス値は、ドミナント(0)/ レセシブ (1) の 2 値
- ・ メッセージ ID によるメッセージの識別と優先度指定
- ・ マルチマスタと CSMA/NBA 方式
- ・ ブロードキャストによる送信
- ・ 遠隔データの要求が可能
- ・ エラーの検出・通知・リカバリーが可能

表 2. CAN をベースとした規格の例

| 規格名          | 通信速度[bps]   | 物理層の主な仕様                          |
|--------------|---|-----------------------------------|
| ISO 11898    | 125 k ~ 1 M   | ループバス, 2 線式,<br>ツイストペア            |
| ISO 11519    | ~ 125 k   | オープンバス, 2 線式,<br>ツイストペア           |
| SAE J1939-11 | 250 k   | 2 線式, ツイストペア+シールド                 |
| SAE J1939-12 | 250 k   | 2 線式, ツイストペア+シールド,<br>電源供給(12 V)  |
| SAE J2284    | 500 k   | 2 線式, ツイストペア                      |
| SAE J2411    | 33.3 k, 83.3 k  | 1 線式                              |
| NMEA -2000   | 62.5 k, 125 k,<br>250 k, 500 k, 1 M                     | 2 線式, ツイストペア+シールド,<br>電源供給        |
| Device Net   | 125 k, 250 k,<br>500 k                                  | 2 線式, ツイストペア+シールド,<br>電源供給(24 V)  |
| CANopen      | 10 k, 20 k, 50 k,<br>125 k, 250 k, 500<br>k, 800 k, 1 M | 2 線式, ツイストペア+シールド,<br>電源供給(オプション) |

その他の特徴として、CAN2.0B では ISO/OSI 基本参照モデルのうち、データリンク層および、トランスポート層と物理層の一部を対象としたプロトコルになっている。そのため、例えば物理層では、信号が実際にどのように送信されるのか、ビットタイミング、ビットのコード化・同期化の手順については定義している。しかし、信号レベルや通信速度、サンプルポイント値、ドライバやバスの電気的特性、コネクタの形態などは定義されていない。そこで、CAN2.0B 仕様がカバーしていない部分については、標準化団体や各業界団体において、CAN をベースとした規格が新たに策定され、運用されている。CAN をベースとした代表的な規格の一覧を表 2 に示す。

本研究では、ISO11898 準拠の CAN トランシーバを用いて、TT 方式および再スケジューリング機能を追加した TT 方式を実装したので以下に報告する。

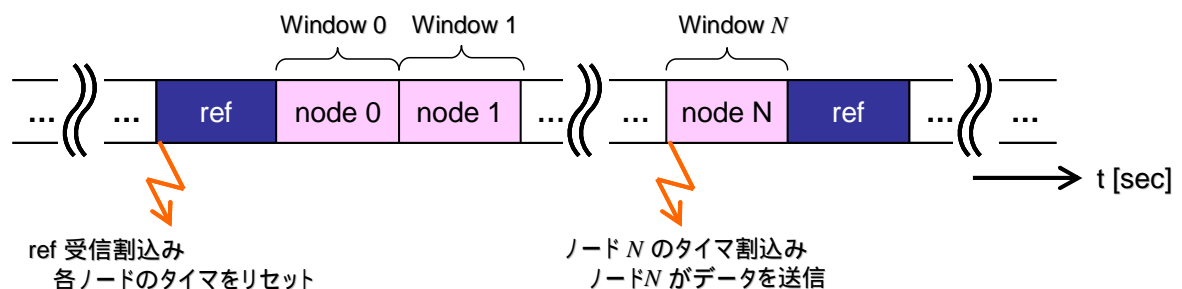


図 2. タイムトリガ方式の基本概念

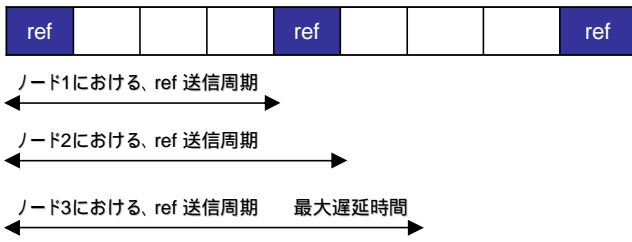


図3. refデータの送信の仕組み(ノードが3つの場合)

### 3. リアルタイム性を保証した転送レート向上技術

3.1 既存方式の原理 図2に,既存方式であるタイムトリガ(TT)方式の基本概念を示す。ウィンドウと呼ばれる領域を予め時分割しておき,各ウィンドウに各ノードを割り当てる。これにより,各ノードが衝突せず確実にデータの送信を行うことができ,データの送信周期が確定的となる。

TT方式の実現方法を以下に示す。リファレンスとなるデータ(図中のrefデータに相当)の受信割込みを各ノードが検出すると,各ノードは自身のウィンドウまでの時間をタイムアウト時間としてタイマをセットする。そしてタイマのタイムアウトに応じてデータを送信することで,予め設定されたタイムスケジュールで送信することが出来る。

2.2節で示したように,CANバスはマルチマスタであるため,全ノードがrefデータを送信することが出来る。ただし,refデータを同一タイミングで送信してしまうと,データの衝突が生じ,送信タイミングが不確定になってしまう。そのため,図3のように各ノードのref送信周期をずらすことで,refデータの衝突を回避する。この例において,万が一ノード1がrefデータを送れなかったとしても,最大の遅延時間はノード3のref送信周期との差分のみとなる。

3.2 提案手法の原理 3.1節で示したように,TT方式は送信タイミングが確定していることがリアルタイム性の保証につながっている一方で,送信データが存在しない場合はバスの帯域に無駄が生じる。そこで,自身の送信タイミングの際に送信データが存在しない場合は,送信権を他のノードに譲るよう,再スケジューリングする。

基本概念を図4に示す。送信データが無い場合は次のノード

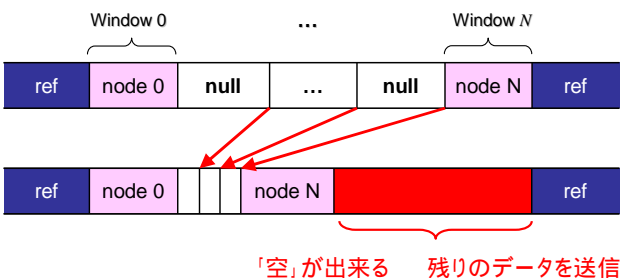


図4. 再スケジューリングの基本概念

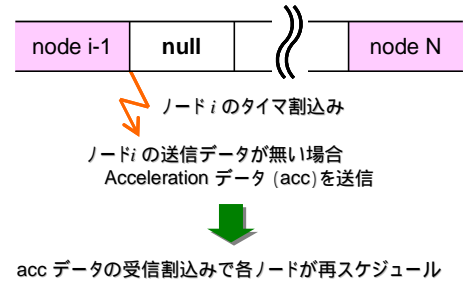


図5. 再スケジューリングの実現方法

ノードに送信権を渡す。その結果,帯域に余裕が生じる。この帯域を用いて送信することで,より多くのデータを送信することが可能となる。つまり,リアルタイム性を保証した状態で,より多くのデータを送信することが可能となる。ただし,この手法を用いることで,タイムスケジュールの後半に配置されたノードは,送信時間が初期の送信時間より早くなる。一方で,前半に配置されたノードは再スケジューリングの影響を受けないため,例えば機械制御のように送信周期を必ず一定にする必要がある場合,その様なノードはタイムスケジュールの前半に配置する必要がある。

図5に具体的な実現方法を示す。今ノード*i*の送信データが無いと仮定する。このとき,ノード*i*は送信データが無いことを意味するデータ(Acceleration: acc)を送信する。他のノードは,accデータの受信割込みを検知すると,acc受信時からの送信時間を再計算する。*k*番目のノードをnode(*k*)

$$\begin{aligned} & \text{node}(k) \text{の新送信時間} \\ &= \text{node}(k) \text{の初期送信時間} - \text{node}(i+1) \text{の送信時間}, \quad (1) \\ & \quad k = i+1, \dots, N \end{aligned}$$

と表すと,送信時間の再計算式は式(1)として表される。

提案手法のアーキテクチャを図6に示す。スケジューラは以下の3つタイマを有し,各タイミングを管理している。

- ・ refデータの送信タイミングを通知するタイマ
- ・ 自身の送信タイミングを通知するタイマ
- ・ 余った帯域(余帯域)の存在を通知するタイマ

各タイマの通知に従い,スケジューラはrefデータを送信したり,アプリケーションから送信バッファに格納されたデータを送信したり,また余った帯域を用いて送信バッファのデータを送信したりする。

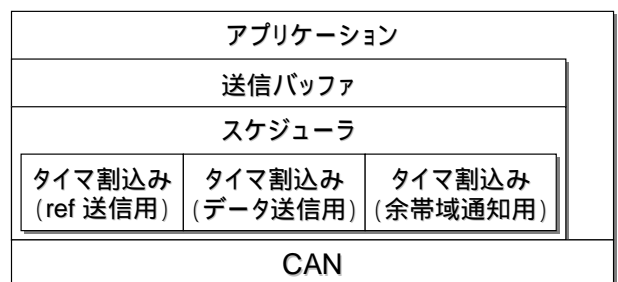


図6. 提案手法のアーキテクチャ

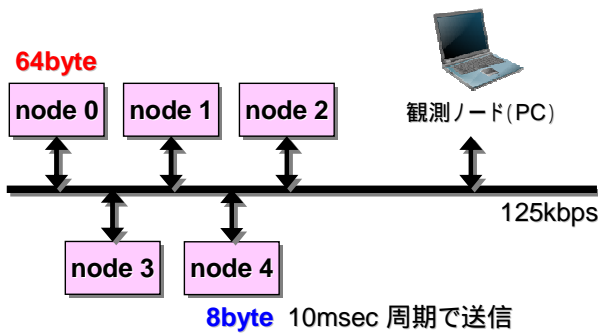


図 7. 実験環境

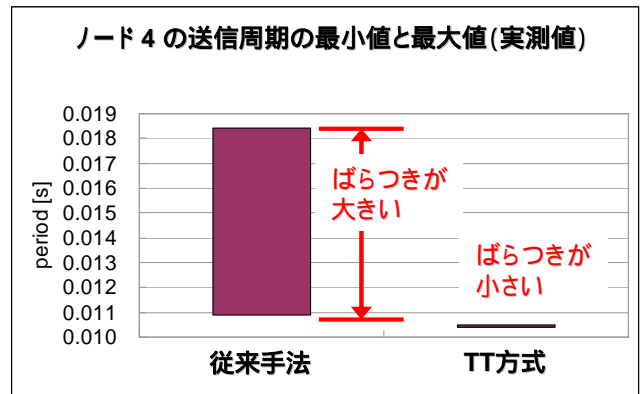


図 8. 実験 1 の結果

#### 4. 実験

4.1 実験条件 実験環境を図 7 に示す。5 つのノードと観測ノードを CAN バスに接続し、次の 2 項目の実験を実施する。

(実験 1) TT 方式の基本性能の確認

高負荷状態のバスに 10 msec でサイクリック送信を行うノード(ノード 4)を接続し、そのデータの送信サイクルを観測ノードで測定する。

(実験 2) 提案手法の評価

TT 方式で動作しているバスにおいて、ノード 0 から大量のデータ(64 byte)を送信し、そのデータの転送レートを観測ノードの測定用ソフトを用いて測定する。

4.2 実験結果 TT 方式の基本性能の確認結果(実験 1)を図 8 に示す。図 8 は送信周期の peek to peek を表している。この結果より、従来方式は送信周期に 0.001 ~ 0.018 sec のばらつきが生じていることが分かる。一方、TT 方式を用いることで送信周期のばらつきが抑えられており、通信のリアルタイム性が保証されていることが分かる。

提案手法の評価実験結果(実験 2)として、図 9 に転送レート測定ソフトの画面をキャプチャしたものを示す。この結果より、TT 方式を改良することで、リアルタイム性を確保しつつ、転送レートを最大で約 5 倍向上できることが確認された。

#### 5. まとめ

本研究では、高信頼な高速通信を目指し、フィールドバスのリアルタイム性の確保と大量データの高速通信の両立手法として、TT 方式の採用ならびに、帯域を有効活用するためのスケジューリング方式を提案した。これにより、フィールドバスのリアルタイム性の確保ならびに、リアルタイム性を保証した上で転送レートを向上させることが可能となった。

本方式を用いることで、限られた通信路においてリアルタイム性を崩すことなく、大量のデータの転送が可能とな

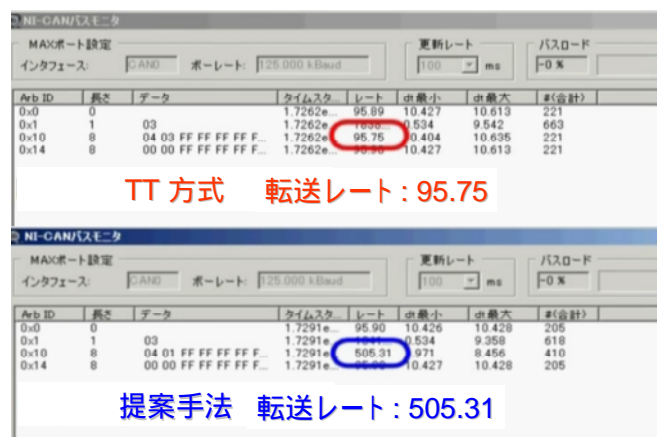


図 9. 実験 2 の結果

る。近年、生産現場で用いられる機器は IT 化されており、大量の生産データを高速に処理することが求められている。そのような大量データ伝送時に信頼性が求められる場面において、本方式が効果的であると考える。

(平成 21 年 7 月 2 日受付、平成 21 年 8 月 7 日再受付)

#### 文 献

- (1) Nicolas Navet, et al. : "Trends in Automotive Communication Systems", Proc. of the IEEE, Vol. 93, No. 6 (2005)
- (2) 元吉伸一: 「フィールドバス入門」, 日刊工業新聞社 (2000)
- (3) 五十嵐, 佐藤, 玉城: 「CAN 入門講座」, 電波新聞社 (2006)