

モーションネットワーク向けフレームの連結中継を用いた高速通信方式

長川 大介^{1,a)} 竹内 清史¹ 楠 和浩¹

受付日 2012年5月7日, 採録日 2012年11月2日

概要: モーションネットワークでは, 高い応答性を実現するために制御周期の短さが求められる. 特にモーションネットワークの用途の1つである放電加工機や射出成型機などは, サーボアンプ8台の構成で制御周期 30 μ s 以下を実現することが求められる. 本論文では, 複数の装置から送信されるフレームを中継中に1つのフレームに連結し送信することで, 短い制御周期を実現する通信方式を提案する. 机上計算により, 本方式の制御周期はサーボアンプ8台の構成で 29.8 μ s となり, 放電加工機や射出成型機向けに使用できることを確認した. また, 本方式により制御周期を PROFINET IRT に代表される並列通信方式より 51.3%, EtherCAT に代表される巡回通信方式より 37.6%短縮できることを確認した.

キーワード: 通信プロトコル, 中継通信, フレーム連結, 高スループット化

High Speed Communication Protocol with Concatenation Forwarding Frame for Motion Network

DAISUKE OSAGAWA^{1,a)} KIYOFUMI TAKEUCHI¹ KAZUHIRO KUSUNOKI¹

Received: May 7, 2012, Accepted: November 2, 2012

Abstract: In motion network, high response control requires short cycle time. For example, the control of electrical discharge machine and injection molding machine consisting of 8 servo amplifiers requires cycle time of less than 30 microseconds. In this paper, we propose a protocol that forwarding frames are concatenated during forwarding frames. By desk analysis, we confirm that cycle time of proposed protocol is 29.8 microseconds and proposed protocol is suitable for the control of electrical discharge machine and injection molding machine. And we confirm that cycle time of proposed protocol is 51.3% shorter than cycle time of parallel communication protocol like PROFINET IRT and 37.6% shorter than cycle time of circulating communication protocol like EtherCAT.

Keywords: communication protocol, relayed communication, frame concatenation, throughput improvement

1. はじめに

モーションネットワークは工場で使用されるネットワークのうち, 駆動装置の制御に特化されたネットワークである. モーションネットワークでは, 1台のコントローラと複数のサーボアンプ間で通信を行う. 各サーボアンプには, 駆動装置であるモータが接続されており, コントロー

ラからの通信をもとにモータを制御する.

駆動装置の制御では, コントローラは各サーボアンプに対して周期的に指令を送信し, サーボアンプはモータを制御する. これと並行して, 各サーボアンプはモータの状態を応答として, 周期的にコントローラに送信する. コントローラは応答をもとに次の周期以降の指令を決定する. 指令と応答の送信周期を制御周期という. 制御周期が短いほど応答性は高く, 特に高い応答性の求められる放電加工機や射出成型機は, 新たな要求として, サーボアンプ8台の構成で制御周期 30 μ s 以下の実現が求められている. しかし, 既存のモーションネットワークの代表的な通信方式

¹ 三菱電機株式会社
Mitsubishi Electric Corporation, Kamakura, Kanagawa 247-8501, Japan

^{a)} Osagawa.Daisuke@eb.MitsubishiElectric.co.jp

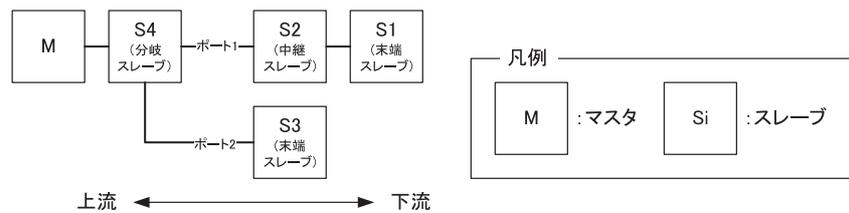


図 1 スレーブの種類と位置関係の定義

Fig. 1 Position relations of slaves.

である PROFINET IRT [1] に代表される並列通信方式や EtherCAT [2]*1 に代表される巡回通信方式では、制御周期 30 us 以下を実現することは難しい。

本論文では、複数の装置から送信されるフレームを中継中に 1 つのフレームに連結し送信する通信方式を提案する [3]。本方式により、通信の並列化と通信オーバーヘッドの削減が実現できるようになり、サーボアンプ 8 台の構成で制御周期 30 us 以下を実現することが可能になる。

2. モーションネットワーク

本章ではモーションネットワークの一般的なネットワーク構成を説明した後、既存の並列通信方式と巡回通信方式における通信方式と制御周期を説明する。

2.1 ネットワーク構成

モーションネットワークとは、1 台のマスターが複数台のスレーブを制御するためのネットワークである。装置間はリングトポロジやツリートポロジで接続され、隣接しない装置間の通信は間に位置する装置の中継により実現される。

本論文では、ツリートポロジで接続されるスレーブのうち、図 1 のように 1 台の装置としか隣接していないスレーブを末端スレーブ、複数台の装置を接続するスレーブを中継スレーブとする。特に 3 台以上の装置を接続する中継スレーブを分岐スレーブとする。また、ループを含まないネットワーク上の位置関係について、マスター側を上流、スレーブ側を下流とし、マスターからの通信を下り方向の通信、マスターへの通信を上り方向の通信とする。さらに、中継スレーブの下流の各ポートを、下流に接続されているスレーブ台数の多い順にポート 1, ポート 2... とする。

2.2 通信方式

モーションネットワークでは、フレーム中継により通信を実現することが前提となっている。モーションネットワークの中継方式は、通信時間を短縮するために、IP ネットワークで一般的なストア&フォワード方式ではなく、カットスルー方式を用いる。

また、モーションネットワークでやりとりされる通信には、定期的にスレーブの制御に必要な情報をやりとりするサイクリック通信と、不定期に制御の補足的な情報をやりとりするメッセージ通信の 2 種類がある。サイクリック通信ではマスターは全スレーブに対して指令を、全スレーブはマスターに対して応答をそれぞれ周期的に送信する。また、メッセージ通信では、マスターと任意の装置の間で非周期データを不定期にやりとりする。両通信とも決められた制御周期を実現するため、制御周期に対する通信タイミングとデータサイズは固定となる。そのため、メッセージ通信の通信タイミングは、一般的なメッセージ通信と異なり、固定のタイミングとなる。

通信方式の性能は、サイクリック通信の制御周期が短いほど高性能とされる。これは、サイクリック通信の制御周期が短いほどマスターからの指令とスレーブからの応答が高頻度で通知され、きめ細かい制御が実現できるためである。制御周期はサイクリック通信とメッセージ通信の両通信が完了するまでの時間で決まり、制御周期の短縮には、個々の通信にかかる時間（以下、通信時間）を短縮する必要がある。

以下、既存のモーションネットワークの代表的な通信方式である並列通信方式と巡回通信方式の通信方式を説明する。

2.2.1 並列通信方式

並列通信方式は、複数の装置が同時時間帯に並列に通信を実施することで制御周期を短縮する方式である。

並列通信方式では、宛先ごとに異なるフレームで通信を行い、上り方向の通信と下り方向の通信を並列に実施する。基本的な動作としては、下り方向の通信では、マスターは下流のスレーブ宛のフレームから順に送信する。中継スレーブは受信したフレームを宛先のスレーブが接続されているポートに中継する。これにより、各スレーブはマスターからのデータを受信することができる。一方、上り方向の通信では、各スレーブは上流のスレーブから順にフレームを送信する。中継スレーブは受信したフレームをすべて上流の装置に中継する。これにより、マスターは全スレーブからのデータを受信することができる。なお、メッセージ通信はサイクリック通信完了後実行される。

リングトポロジにおける並列通信方式の通信シーケンス例を図 2 に示す。

*1 EtherCAT は Beckhoff Automation GmbH の国際登録商標です。その他記載されている会社名、製品名は各社の登録商標または商標です。

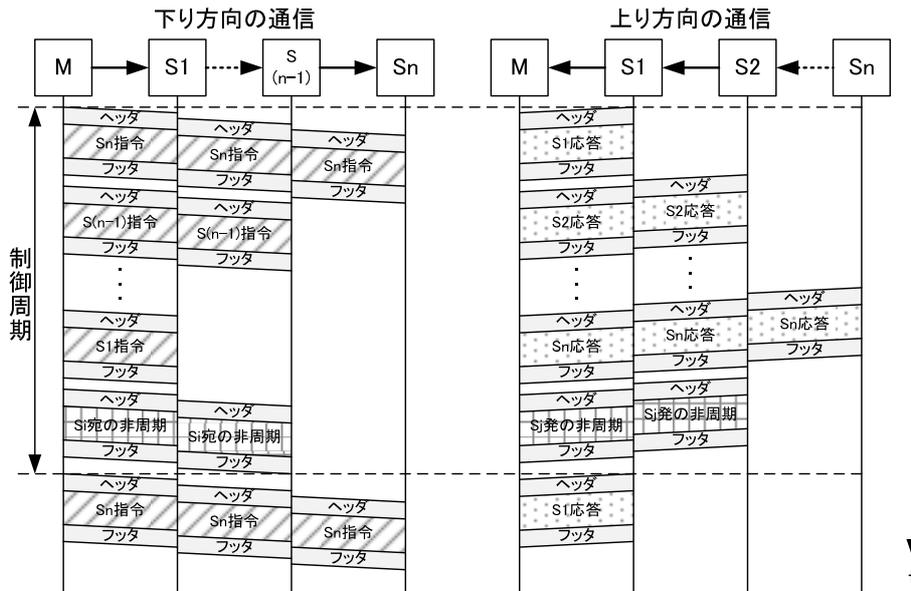


図 2 並列通信方式の通信シーケンス例

Fig. 2 Procedure of parallel communication protocol.

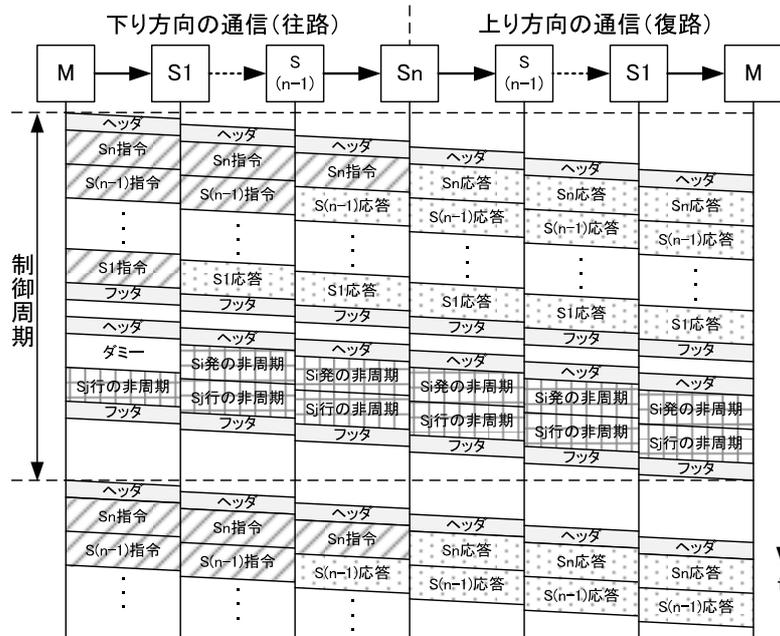


図 3 巡回通信方式の通信シーケンス例

Fig. 3 Procedure of circulating communication protocol.

2.2.2 巡回通信方式

巡回通信方式は、各装置が宛先の異なる複数のデータを格納したフレームを中継して通信することで、フレーム送信ごとに発生する通信オーバーヘッドを削減し、制御周期を短縮する方式である。

巡回通信方式では、全二重の通信路を利用した仮想的なリングトポロジに沿ってフレームを巡回させることで、上り方向の通信と下り方向の通信を1回の通信で実施する。基本的な動作としては、マスタは最初に全スレーブ宛のデータを格納したフレームを送信する。各スレーブは、受信したフレームのマスタから自局宛のデータを自局からマ

スタ宛のデータに置き換え、フレームを中継する。マスタは、最後に全スレーブが中継したフレームを受信する。これにより、マスタは全スレーブからのデータを受信することができ、各スレーブはマスタからのデータを受信することができる。

ライトポロジにおける巡回通信方式の通信シーケンス例を図3に示す。

2.3 既存通信方式の短所

並列通信方式と巡回通信方式を比較すると、両方式の短所をそれぞれ確認できる。並列通信方式では、宛先ごとに

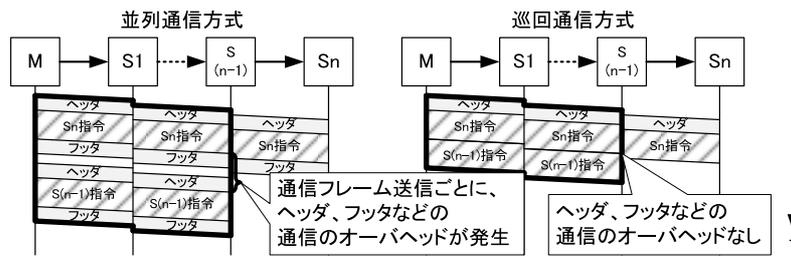


図 4 並列通信方式の短所 1

Fig. 4 The first disadvantage of parallel communication protocol.

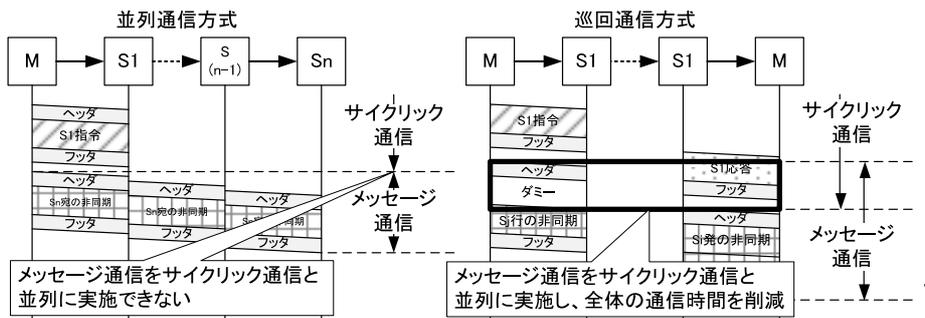


図 5 並列通信方式の短所 2

Fig. 5 The second disadvantage of parallel communication protocol.

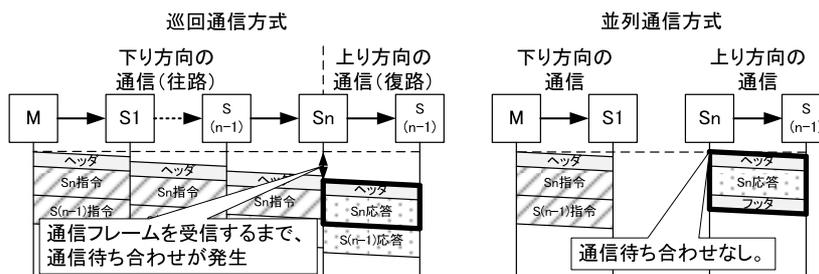


図 6 巡回通信方式の短所

Fig. 6 Disadvantage of circulating communication protocol.

異なるフレームで通信を行うため、図 4 のように宛先の異なる複数のデータを格納したフレームで通信を行う場合に比べ、ヘッダやフッタなどの通信オーバーヘッドが発生する。

さらに、並列通信方式では、サイクリック通信完了後とメッセージ通信を実施するため、下り方向の通信では図 5 のように、サイクリック通信とメッセージ通信を並列に実施することができない。

一方、巡回通信方式では、各装置が宛先の異なる複数のデータを格納したフレームを中継して通信するため、図 6 のように通信路が空いていてもフレームが到着するまで通信を開始できず、並列に通信することができない。

3. 通信方式の提案

本章では、並列通信方式と巡回通信方式の両方式よりも制御周期の短い通信方式を提案する。以下、提案方式の前提となるトポロジを定義し、通信方式を説明する。

3.1 トポロジ

提案方式でも、既存のメッシュネットワークと同様ツリートポロジとリングトポロジをサポートする。ただし、リングトポロジについては、プロトコルの簡略化のため、経路の一部を仮想的に切断し、ライントポロジとして動作させる。

以下、図 1 のツリートポロジを例に通信方式を説明する。

3.2 通信方式

提案方式は、複数の装置が同時帯に並列に通信を実施しつつ、同一経路を経由する通信を中継中に 1 つのフレームに集約することで、制御周期を短縮する方式である。以下、下り方向の通信と上り方向の通信の順に動作を説明する。

下り方向の通信では、マスタは非周期データ、指令（下流のスレーブから順）を格納したフレームを隣接する下流のスレーブに送信する。中継スレーブは、フレーム受信中に非周期データと各ポートに下流に接続されているスレー

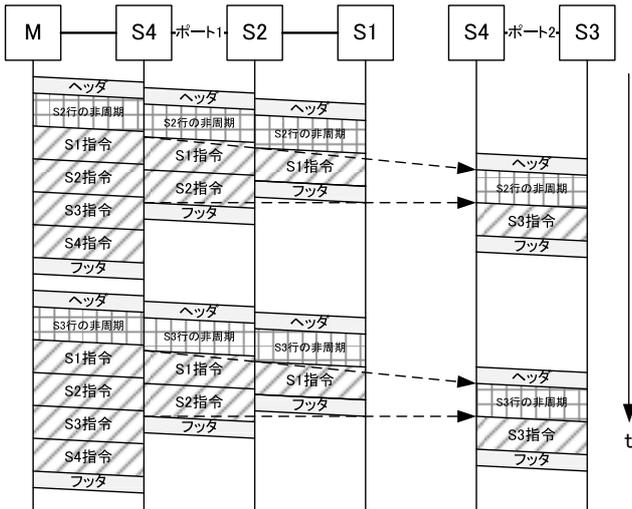


図 7 下り方向の通信シーケンス例

Fig. 7 Downstream procedure of proposed protocol.

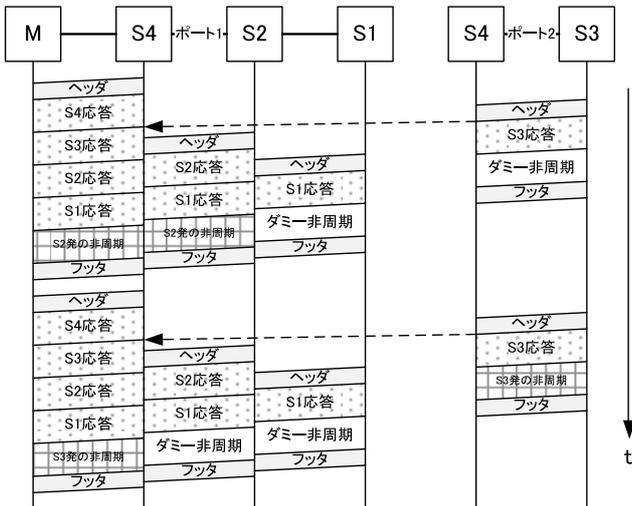


図 8 上り方向の通信シーケンス例

Fig. 8 Upstream procedure of proposed protocol.

ブ宛の指令を抽出して、各ポートから並列に送信する。

図 1 のツリートポロジにおける下り方向の通信シーケンスを図 7 に示す。

一方、上り方向の通信では、各スレーブは上流に隣接するスレーブの送信タイミングに合わせて、応答（上流のスレーブから順）、非周期データを格納したフレームを隣接する上流のスレーブに送信する。中継スレーブは、送信中のフレームに、下流に隣接するスレーブから受信した応答データと非周期データを連結して送信する。このとき、中継スレーブは送信開始後にフレームサイズは変更できないため、あらかじめ送信するデータサイズを認識しておかなければならない。そこで、非周期データを送信できるスレーブは毎周期 1 台に制限し、非周期データを送信しないスレーブは非周期データの代わりにダミー非周期データを送信することで、各スレーブの送信するフレームサイズを固定長にする。

図 1 のツリートポロジにおける上り方向の通信シーケンスを図 8 に示す。

各スレーブの送信タイミングは、通信待ち合わせを削減するために、中継スレーブでのポート i からの応答の送信開始がポート $(i - 1)$ からの応答の送信完了 ($i = 1$ の場合、中継スレーブの応答の送信完了) と同時になるようにスレーブの送信開始時刻を設定する。

このとき、マスタまたは中継スレーブのポート i に接続されているスレーブの送信開始時刻 T_{pi} は、図 9 よりマスタまたは中継スレーブの送信開始時 T_{p0} に、ヘッダの送信時間 D_{hdr}/S 、中継スレーブ S_j の応答の送信時間 D_{sync}/S 、ポート 1~ポート $(i - 1)$ からの応答の送信時間 $\sum_{l=1}^{i-1} N_l D_{sync}/S$ を加え、ヘッダの送信時間 D_{hdr}/S と伝搬遅延 l/c' と時間フレームの中継処理時間 T_{rly} を差し引いた時間となる。よって、 T_{pi} は下記のように表される。

$$T_{pi} = T_{p0} - l/c' - T_{rly} + \left(\sum_{l=1}^{i-1} N_l + 1 \right) D_{sync}/S$$

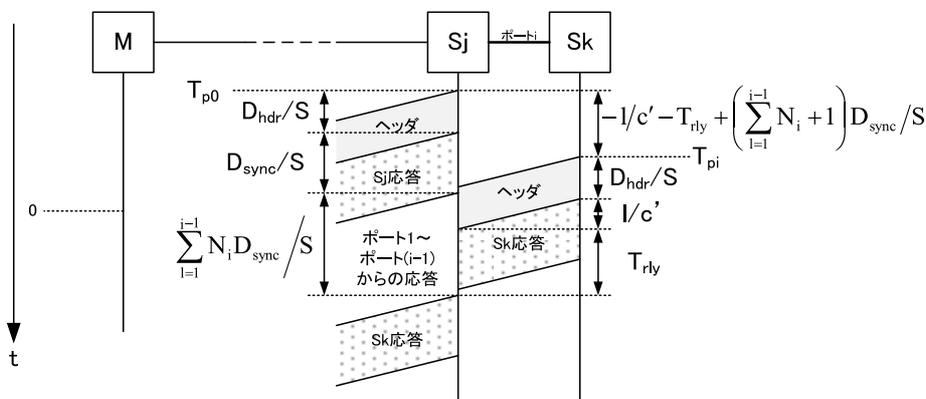


図 9 送信タイミングの決定方法

Fig. 9 Transmission time of upstream.

上式を用いて、マスタの送信開始時刻をもとに、全スレーブの送信開始時刻を再帰的に決定する。

4. 性能評価

並列通信方式、巡回通信方式、提案方式の制御周期を比較する。

4.1 制御周期の算出方法

制御周期はサイクリック通信とメッセージ通信の両通信が完了するまでの時間となる。よって、上り方向の通信と下り方向の通信を並列に実施する並列通信方式や提案方式では、上り方向の通信時間と下り方向の通信時間のより長い時間となる。

さらに、通信時間は周期の先頭に送信されるフレームが送信されてから再度周期の先頭に送信されるフレームが送信されるまでの送信再開時間、または周期の先頭に送信されるフレームが送信されてから1周期の間に送信される全フレームを受信完了するまでの受信完了時間の長い方となる。送信再開時間はフレームの送信時間と送信待ち合わせ時間の合計より、受信完了時間はフレームの送信時間とフレームの中継時間とケーブルの伝播遅延の合計より、それぞれ算出できる。各時間は下記の方法で算出できる。

- フレームの送信時間
1周期の間に送信される全フレームの送信開始から送信完了までかかる時間。1周期の間に送信される全フレームのフレームサイズとフレーム間ギャップの合計を回線速度で割ることで算出できる。
- 送信待ち合わせ時間
周期の末尾に送信されるフレームを送信してから周期の最初に送信されるフレームを送信するまでの待ち合わせ時間。フレーム間ギャップを回線速度で割ることで算出できる。
- フレームの中継時間
スレーブがフレームの中継するためにかかる時間。スレーブ1台あたりのフレーム中継遅延にフレームが中継される回数をかけることで算出できる。
- ケーブルの伝搬遅延
フレームが装置間を接続するケーブルを通過するためにかかる時間。フレームが通過するケーブル長を光の伝搬速度で割ることで算出できる。

算出にあたり、表1のパラメータを使用する。

さらに、モデルの簡略化のために下記3条件を前提とする。

- 条件1: トポロジはライトポロジとする。
- 条件2: メッセージ通信は1周期の間に下り方向の通信と上り方向の通信でそれぞれ1回実施する。
- 条件3: スレーブ1台あたりのフレーム中継遅延と隣接する装置間のケーブルの伝搬遅延の合計は、フレームサ

表1 制御周期算出に用いるパラメータ

Table 1 Parameter for calculating cycle time.

パラメータ	説明
D_{sync}	指令のデータサイズ, 応答のデータサイズ
D_{async}	非周期データのサイズ
D_{hdr}	ヘッダサイズ
D_{ftr}	フッタサイズ
D_{gap}	フレーム間ギャップとプリアンプルの合計サイズ
T_{fwd}	スレーブ1台あたりのフレーム中継遅延
l	隣接する装置間のケーブル長
c'	メタルケーブルにおける光の伝搬速度
S	回線速度

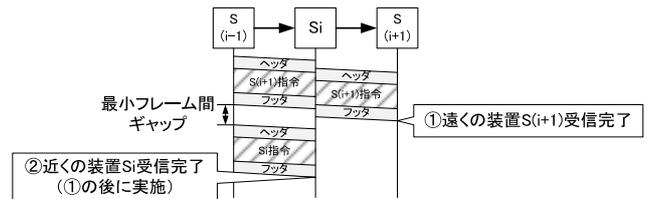


図10 連続送信フレームの受信タイミングの関係

Fig. 10 Receipt time of frame transmitted continuously.

イズとフレーム間ギャップの送信時間に比べ、十分に短いとする。このとき、遠くの装置宛のフレームと近くの装置宛のフレームを連続して送信する場合、後発の近くの装置宛のフレームの受信完了(図10の②)は、先発の遠くの装置宛のフレームの受信完了(図10の①)より必ず後になる。

4.2 並列通信方式

並列通信方式の制御周期は下り方向の通信時間に相当する。これは、メッセージ通信とサイクリック通信を並列に実施できない下り方向の通信は、メッセージ通信とサイクリック通信を一部並列に実施できる上り方向の通信より通信時間が長いためである。

このとき、送信再開時間は図11のように、指令1個を格納したフレーム n 回と非周期データ1個を格納したフレーム1回の送信時間、フレーム間ギャップ1回の送信待ち合わせ時間の合計となる。

また、受信完了時間は図12のように、指令1個を格納したフレーム n 回と非周期データ1個を格納したフレーム1回の送信時間、 $(n-1)$ 台のスレーブの中継時間、 n 本のケーブルの伝搬遅延の合計となる。

よって、制御周期は下式のように表される。ただし、関数 $Max(A, B)$ は入力 A, B のうち、値の大きなものを出方とする関数とする。

$$\{nD_{sync} + D_{async} + (n+1)(D_{hdr} + D_{ftr}) + nD_{gap}\}/S + Max(D_{gap}/S, (n-1)T_{fwd} + nl/c')$$

4.3 巡回通信方式

巡回通信方式の制御周期は、上り方向の通信と下り方向

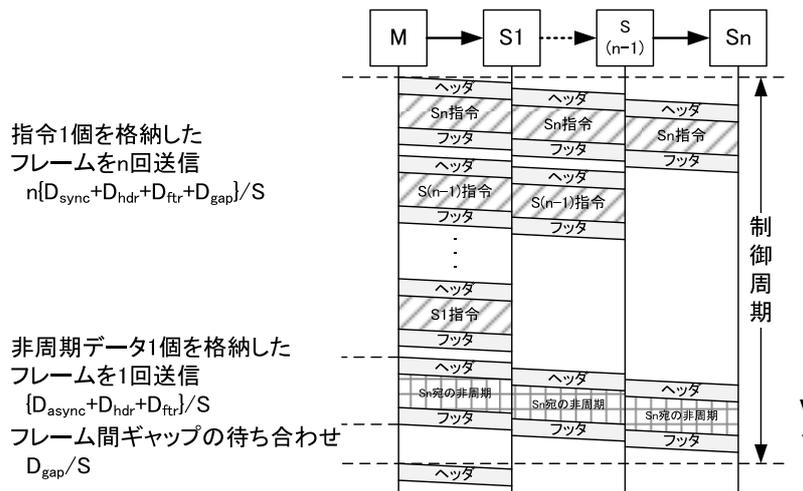


図 11 並列通信方式の送信再開時間

Fig. 11 Transmitting time of parallel communication protocol.

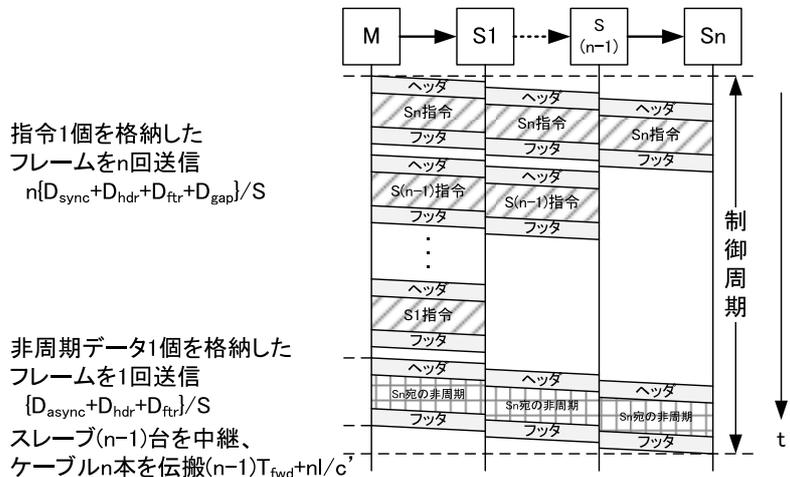


図 12 並列通信方式の受信完了時間

Fig. 12 Receiving time of parallel communication protocol.

の通信を1回の通信にまとめたサイクリック通信とメッセージ通信の通信時間の合計となる。

このとき、送信再開時間は図 13 のように、指令を n 個格納したフレーム 1 回と非周期データ 2 個を格納したフレーム 1 回の送信時間、フレーム間ギャップ 1 回の送信待ち合わせ時間の合計となる。

また、受信完了時間は図 14 のように、指令を n 個格納したフレーム 1 回と非周期データ 2 個を格納したフレーム 1 回の送信時間、 $(2n - 1)$ 台のスレーブの中継時間、 $2n$ 本のケーブルの伝播遅延の合計となる。

よって、制御周期は下式のように表される。

$$\{nD_{sync} + 2D_{async} + 2(D_{hdr} + D_{ftr}) + D_{gap}\}/S + \text{Max}(D_{gap}/S, (2n - 1)T_{fwd} + 2nl/c')$$

4.4 提案方式

提案方式の制御周期は、下り方向の通信時間と上り方向の通信時間に相当する。これは下り方向の通信と上り方向

の通信が対称であり、両通信時間が一致するためである。以下、下りの通信時間を用いて制御周期を算出する。

このとき、送信再開時間は図 15 のように、指令を n 個と非周期データ 1 個を格納したフレーム 1 回の送信時間、フレーム間ギャップ 1 回の送信待ち合わせ時間の合計となる。

また、受信完了時間は図 16 のように、指令を n 個と非周期データ 1 個を格納したフレーム 1 回の送信時間、1 本のケーブルの伝播遅延の合計となる。

よって、制御周期は下式のように表される。

$$\{nD_{sync} + D_{async} + (D_{hdr} + D_{ftr})\}/S + \text{Max}(D_{gap}/S, l/c')$$

この式から分かるように、提案方式では制御周期にスレーブ 1 台あたりのフレーム中継遅延 T_{fwd} が影響しないため、スレーブが 4.1 節で定義した条件 3 を満たす限り、この制御周期を実現することができる。

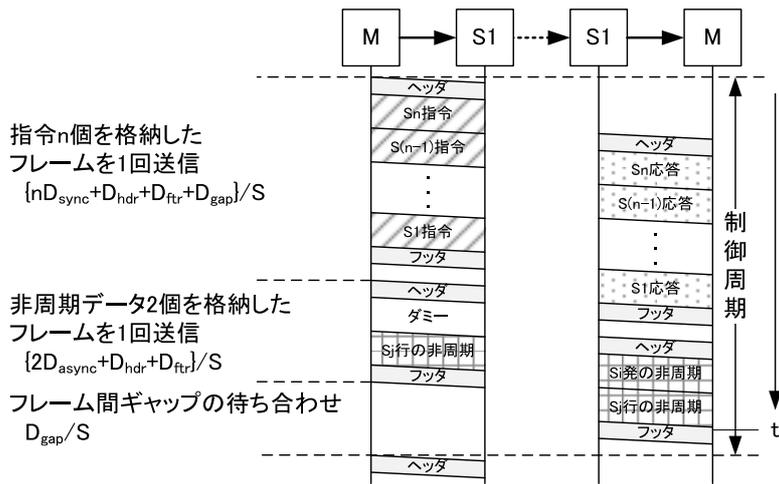


図 13 巡回通信方式の送信再開時間

Fig. 13 Transmitting time of circulating communication protocol.

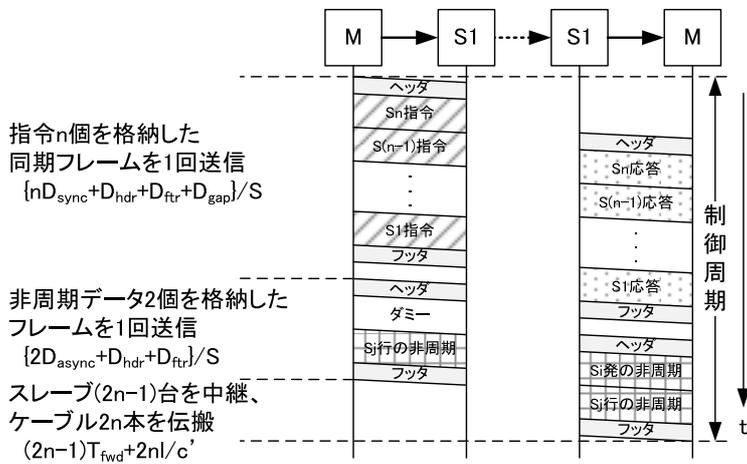


図 14 巡回通信方式の受信完了時間

Fig. 14 Receiving time of circulating communication protocol.

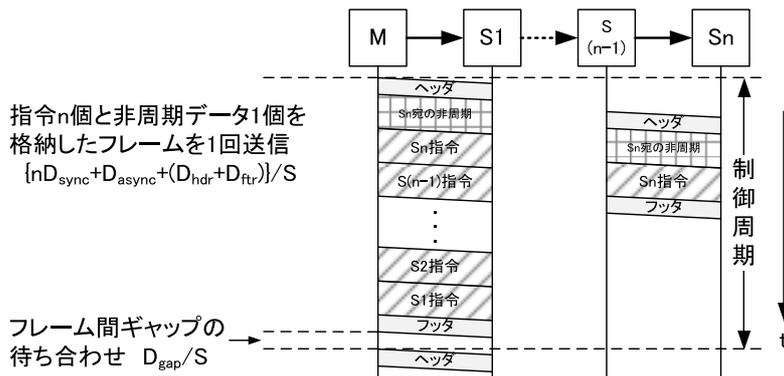


図 15 提案方式の送信再開時間

Fig. 15 Transmitting time of proposed protocol.

4.5 性能比較

これまでに算出した各通信方式の制御周期を比較するため、ライントポロジにおけるスレーブ台数に対する制御周期を試算した。制御周期算出用パラメータの値を表 2 のように定義する。なお、モーションネットワークでは、決められた制御周期を実現するため、各データサイズは固定値

で運用される。

この結果、並列通信方式、巡回通信方式、提案方式のスレーブ台数に対する制御周期はそれぞれ図 17 のようになる。また、放電加工機や射出成型機で使用されるスレーブ台数 8 台の構成での各方式の制御周期を表 3 にまとめる。

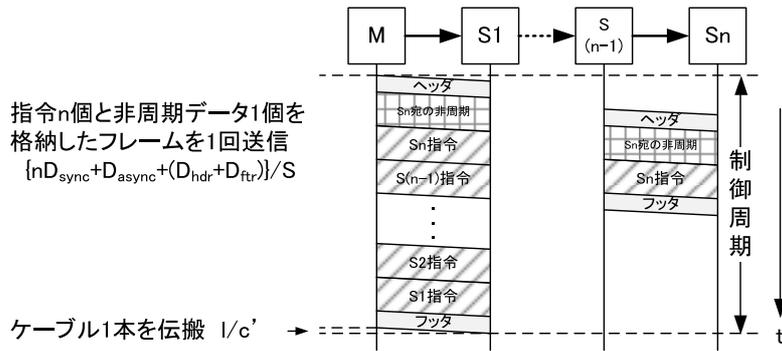


図 16 提案方式の受信完了時間
 Fig. 16 Receiving time of proposed protocol.

表 2 制御周期算出用パラメータの値
 Table 2 Value of the parameter for calculating cycle time.

パラメータ	値	単位
D_{sync} : 指令のデータサイズ, 応答のデータサイズ	40	Byte/台
D_{async} : 非周期データのサイズ	12	Byte
D_{hdr} : ヘッダサイズ	16	Byte/フレーム
D_{ftr} : フッタサイズ	4	Byte/フレーム
D_{gap} : フレーム間ギャップとプリアンプルの合計サイズ	20	Byte/フレーム
T_{fwd} : スレーブ 1 台あたりのフレーム中継遅延	600	ns/台
l : 隣接する装置間のケーブル長	80	m/台
c' : メタルケーブルにおける光の伝搬速度	2×10^8	m/s
S : 回線速度	100	Mbps

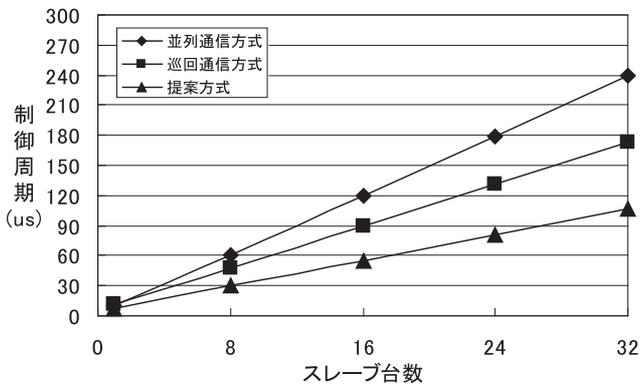


図 17 各通信方式のスレーブ台数に対する制御周期
 Fig. 17 Cycle time against the number of slaves in the network.

表 3 スレーブ台数が 8 台のときの各方式の制御周期
 Table 3 Cycle time in the network with 8 servo amplifiers.

並列通信方式	巡回通信方式	提案方式
61.2us	47.7us	29.8us

5. 考察

表 3 より, スレーブ台数 8 台の構成での提案方式の制御周期は 29.8us となり, 放電加工機や射出成型機で要求されている制御周期 30 us 以下を実現できる見通しが得られた。また, 並列通信方式に対して 51.3%, 巡回通信方式に

対して 37.6%短縮できる見通しを得た。

今回の評価では, 指令のデータサイズ, 応答のデータサイズおよびスレーブ台数が少なく 1つのフレームにすべてのデータが収まるケースのみを取り扱ったが, 指令のデータサイズ, 応答のデータサイズまたはスレーブ台数が増加すると, それに比例したペイロードが発生する巡回通信方式と提案方式で性能低下が見込まれる。

このとき, 提案方式と並列通信方式を比較すると, 提案方式ではフレーム数は増加するものの可能な限り 1つのフレームにデータを集約するため, 並列通信方式のフレーム数より多くなることはない。よって, 提案方式の制御周期は並列通信方式の制御周期より短くなる。また, 提案方式と巡回通信方式を比較すると, 提案方式のペイロードサイズは巡回通信方式のペイロードサイズと同等であるが, 提案方式の同時帯に並列に通信を実施する優位性はなくなる。よって, 提案方式の制御周期は巡回通信方式の制御周期より短くなる。

以上より, 指令のデータサイズ, 応答のデータサイズおよびスレーブ台数が増加しても提案方式では並列通信方式と巡回通信方式より短い制御周期を実現できるといえる。

6. まとめ

本論文では, 放電加工機や射出成型機向けにサーボアンプ 8 台の構成で制御周期 30 us 以下を実現する通信方式を

提案した。提案方式では、複数の装置から送信されるフレームを中継中に1つのフレームに連結し送信することで、短い制御周期を実現した。本方式の制御周期を机上で評価した結果、サーボアンプ8台の構成で制御周期は29.8 usとなり、放電加工機や射出成型機向けに使用できることを確認した。また、提案方式により制御周期を並列通信方式より51.3%、巡回通信方式より37.6%短縮できる見通しが得られた。

今後は、実機で提案方式の通信方式と制御周期の実現可否を評価する予定である。

参考文献

- [1] Jasperneite, J., Schumacher, M. and Weber, K.: Limits of Increasing the Performance of Industrial Ethernet Protocols, PI — PROFIBUS & PROFINET International (online), available from (http://www.profibus.com/uploads/media/ieee.etfa2007_jj_mk_kw.pdf) (accessed 2010-05-07).
- [2] EtherCAT Technology Group: EtherCAT Introduction, EtherCAT Technology Group (online), available from (http://www.ethercat.org/pdf/english/Industrial_Ethernet_Technologies.pdf) (accessed 2010-05-07).
- [3] 長川大介, 竹内清史, 大谷治之: 産業用ネットワーク向け高速周期通信方式—通信フレームの連結中継による通信周期の短縮, 信学技報, NS2010-170, Vol.110, No.448, pp.39-44 (2011).



楠 和浩 (正会員)

1962年生。1986年3月九州大学工学部情報工学科卒業。1988年3月九州大学大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了。同年三菱電機(株)入社。2000年3月九州大学大学院システム情報科学研究科博士課程修了。博士(工学)。現在、三菱電機(株)情報技術研究所に勤務。分散処理システムおよび制御用リアルタイムネットワークに関する研究・開発に従事。1992年情報処理学会第45回全国大会奨励賞受賞。



長川 大介 (正会員)

1980年生。2003年3月京都大学工学部電気電子工学科卒業。2005年3月京都大学大学院情報学研究科通信情報システム専攻修士課程修了。同年三菱電機(株)入社。現在、同社情報技術総合研究所に勤務。制御用リアルタイムネットワークに関する研究・開発に従事。



竹内 清史

1977年生。1999年3月中央大学理工学部情報工学科卒業。2001年3月中央大学大学院理工学研究科情報工学専攻修了。同年三菱電機(株)入社。現在、同社情報技術総合研究所に勤務。制御用リアルタイムネットワークに関する研究・開発に従事。