

## 産業用途向けリング型ネットワークの通信方式 Communication Method of Ring Network for Industrial System

君家 一紀<sup>†</sup>  
Kazuki Oya

田中 宏平<sup>†</sup>  
Kohei Tanaka

佐藤 利光<sup>†</sup>  
Toshimitsu Sato

吉田 実<sup>†</sup>  
Minoru Yoshida

轟木 伸俊<sup>†</sup>  
Nobutoshi Todoroki

### 1. はじめに

産業用途を中心に、リング型トポロジーを用いたネットワークが普及している。リング型では、任意の 2 ノード間の通信経路が 2 種類存在することから、単一故障時においても通信を維持することができる。ゆえに、ロバスト性の高いネットワークを構築できる。しかしながら現在普及している手法では、専用のハードウェアが必要となり、導入コストや部品の長期供給性において問題があった。そこで本研究では、一般的な Ethernet および IP を利用した、専用ハードウェアを必要としない手法を提案する。

### 2. 従来手法

一般的な Ethernet では、ブリッジやリピータを介してリング状に接続すると、パケットが消えることなく中継され、パケットがあふれて通信できなくなってしまう。ゆえに、そのままリング型のネットワークを構築することはできない。産業用ネットワークには、リング型のネットワークを構成できる規格として、EtherCAT や CC-Link、SERCOS などが存在する[1]。これらの規格は産業用途として広く普及しているが、ネットワークの構築に専用のハードウェアが必要となる。また、STP(Spanning Tree Protocol、IEEE802.1D) や RSTP(Rapid Spanning Tree Protocol、IEEE802.1w)など、リング型のネットワークを構成できるプロトコルが多数提案されている[2]。しかしながら、いずれのプロトコルにおいても専用のスイッチが必要となる。加えて、STP や RSTP は、故障発生時の復旧時間が各々 40 秒、2 秒と長い。一方、復旧時間をミリ秒オーダーとしたプロトコルが文献[2]では多数示されているが、いずれも独自プロトコルであり、長期供給性に問題がある。

### 3. ネットワーク構成

本研究で提案するネットワークの構成を図 1 に示す。図では一例としてノード数 4 の場合を示している。各ノードはネットワークインターフェースを 2 つずつ持ち、各々は直接 LAN ケーブルを用いてリング状に接続される。以下では、ノード  $n$  の持つネットワークインターフェースについて、リングの中央から見て右側を IF-nA、左側を IF-nB と呼ぶこととする。図 1 の例では、IF-1A の IP アドレスは“192.168.1.1”になっており、IF-1B の IP アドレスは“192.168.4.2”になっている。IP アドレスは、LAN ケーブルで接続されているネットワークインターフェースで同一セグメントになり、かつ、IF-nA と IF-nB は別セグメントになるように割り当てる。

次に、通信方式について説明する。通信方式として、1 つのノードがマスターとなりその他のノードがスレーブとなるマスタースレーブ方式や、任意のタイミングで各ノードが通信するピアツーピア方式などが考えられる。このう

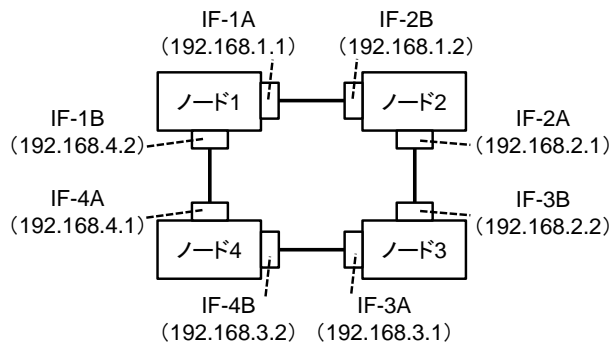


図 1: ネットワークの構成

ち本稿では、ノード 1 をマスターとした、マスタースレーブ方式を例に説明する。通信に用いるパケットのフォーマットを図 2 に示す。ネットワーク層に IP を用い、トランスポート層に UDP を用いる。パケットフォーマットは汎用的な Ethernet のものを用い、Ethernet ヘッダ、IP ヘッダ、UDP ヘッダ、データ、FCS(Frame Check Sequence)で構成される。このうちデータは、送信元ノード番号、宛先ノード番号、送信データから構成される。送信元ノード番号は送信元を識別するために用いられ、宛先ノード番号はパケットのルーティングに用いられる。

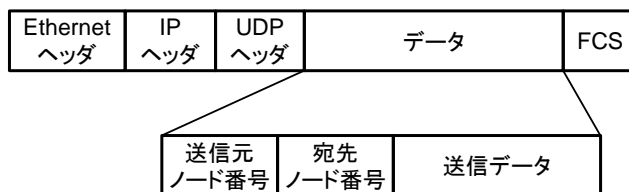


図 2: パケットフォーマット

パケットのルーティングは、以下のルールに従って実施する。

- ◆ 受信したパケットの宛先ノード番号が自身のノード番号に等しくなければ、受信したネットワークインターフェースと別のネットワークインターフェースからパケットを転送する。
- ◆ 受信したパケットの宛先ノード番号が自身のノード番号に等しければ、パケットを受け取り、受信したネットワークインターフェースと同じネットワークインターフェースからマスター(ノード 1)宛のパケットを送信する。

具体例として、ノード 1 からノード 3 へデータを送信する例を図 3 に示す。ノード 1 はノード 3 へデータを送信するために、2 つのパケットを送信する。一方はノード 2 経由で、もう一方はノード 4 を経由する。ノード 1 はノード 3 へ、ノード 2 を経由してデータを送信するとき、送信元 IP アドレスを“192.168.1.1”、宛先 IP アドレスを

<sup>†</sup>三菱電機株式会社 先端技術総合研究所

“192.168.1.2”、送信元ノードを1、宛先ノードを3としてIF-1Aから送信する。IF-2Bからパケットを受信したノード2は、パケットの宛先ノード番号から自身宛でないことを確認すると、送信元IPアドレスを“192.168.2.1”、宛先IPアドレスを“192.168.2.2”に変更して、IF-2Aから送信する。IF-3Bからパケットを受信したノード3は、パケットの宛先ノード番号から自身宛であることを確認し、パケットを受け取る。ノード3は、同様の手順で、ノード4経由のパケットを、IF-3Aから受け取ることができる。パケットを受け取ったノード3は、IF-3Aからパケットを受け取ったときはIF-3Aから、IF-3Bからパケットを受け取ったときはIF-3Bからノード1宛のパケットを送信する。最後に、ノード1はIF-1A,1Bの各々から、ノード3の送信したパケットを受け取り、通信処理が完了する。

以上示した手順を踏むことにより、正常時に加えて単一故障が発生した状況においても、ノード間で少なくとも1つのパケットを通信することができる。例えば図3において、ノード1とノード2の間で断線故障が生じた場合、ノード1からノード3へは、ノード4を経由することでパケットを1つ通信できることが分かる。

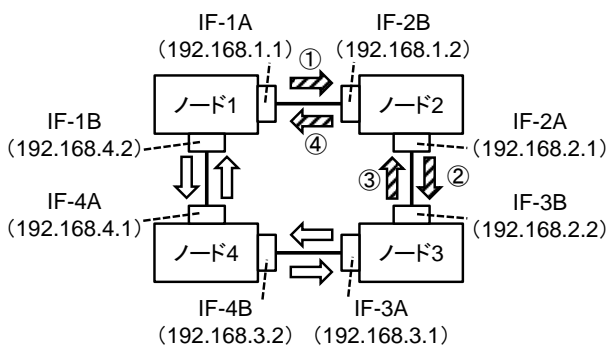


図3：ノード1,3間の通信

表1：図3中①～④のパケットの送信元と宛先

	送信元 IPアドレス	宛先 IPアドレス	送信元 ノード番号	宛先 ノード番号
①	192.168.1.1	192.168.1.2	1	3
②	192.168.2.1	192.168.2.2	1	3
③	192.168.2.2	192.168.2.1	3	1
④	192.168.1.2	192.168.1.1	3	1

#### 4. 故障検知

提案するネットワークにおいて、ネットワークの故障を検知し、また、故障箇所を推定する方法について述べる。想定するシステムは、ノード1をマスターとしたマスタースレーブ方式で、マスターは、各スレーブと周期的に通信するものとする。このとき、ネットワークの故障の検出、および故障箇所を推定するには、ノード1で受信したパケットの数、および受信したネットワークインターフェースを確認すればよい。ノード1で受信したパケットと故障位置との関係を表2に示す。故障なしの場合、ノード1はノード2, 3, 4から2パケットずつ、計6パケットを受信す

る。一方、ノード間で断線故障が生じた場合、断線故障が生じた箇所によらず、受信できるパケットは3パケットになるが、受信したネットワークインターフェース毎に受信したパケット数が異なるため、故障箇所を推定できる。また、ノード故障が生じた場合では、受信できるパケットは2パケットになるため、断線故障と区別することができ、また、故障箇所の推定は、断線故障と同様に受信したネットワークインターフェース毎の受信パケット数を確認することで実施できる。

あるノードで故障検知を実施するには、そのノードを除くすべてのノードから少なくとも一度データを受信する必要がある。そのため、先述したマスタースレーブ方式では、別途処理を追加することなく、マスターで故障検知を実施することができる。一方で、各ノードが任意のタイミングでデータ送信するようなピアツーピア方式では、そのままでは故障検知を実施することはできないため、故障検知用のパケットを通信するなど、別途処理を追加する必要がある。

表2：受信パケットと故障パターンとの関係

故障パターン	受信したIF		受信数 合計
	IF-1A	IF-1B	
故障なし	3	3	6
ノード1,2間断線	0	3	3
ノード2,3間断線	1	2	
ノード3,4間断線	2	1	
ノード4,1間断線	3	0	
ノード2故障	0	2	2
ノード3故障	1	1	
ノード4故障	2	0	

#### 5. おわりに

本稿では、一般的なEthernetおよびIPを利用した、専用ハードウェアを必要としないリング型ネットワークの構成及び通信手順について示した。専用ハードウェアが不要であることにより、導入コストや長期供給性などの問題を解決することができる。一方で、パケットのルーティングや故障検知の処理をソフトウェアで実施するため、マイコンの負荷が増大する。そのため、今後は処理時間の見積もりや計測を実施していく予定である。加えて、従来のリング型やスター型のネットワークと比較して、通信処理に必要な時間が増長することが懸念されるため、これらの方式との比較も実施予定である。

#### 参考文献

- [1] P. Danielis et al., "Survey on real-time communication via ethernet in industrial automation environments," Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA), Barcelona, 2014, pp. 1-8.
- [2] G. Prytz, "Redundancy in Industrial Ethernet Networks," 2006 IEEE International Workshop on Factory Communication Systems, Torino, Italy, 2006, pp. 380-385.