

広域 IP ネットワーク上での高信頼通信手法の評価

中西 茂利, 山口 義一, 落合 真一
三菱電機(株) 情報技術総合研究所

プラント制御などの産業システム分野では, 広域 IP ネットワークを用いた, 低コストな遠隔監視制御システム構築の要求がある。しかし, 広域 IP ネットワーク上では, その性質上, 宛先ホストへのデータ到達保証はなく, 経路途中でのデータ消失や転送遅延が頻繁に発生し, 一定時間内に確実にデータが到達する必要がある産業システムへの適用は困難である。本研究では, 広域 IP ネットワーク上で制御用通信を実現するために, 送信データを複製し, 個々のデータを異なる転送経路を明示的に指定したパケットで配送することで, 複数経路使用による冗長化実現手法を提案している。本論文では, 本手法のネットワークシミュレーション結果を示し, その有効性を評価する。

Evaluation of the Highly Reliable Communication Technique over Wide Area IP Network

Shigetoshi Nakanishi, Yoshikazu Yamaguchi, Shinichi Ochiai
Mitsubishi Electric Co., Information Technology R & D Center

In a field of industrial system, such as plant control, there is demand of wanting to make a remote-control system at a low cost, using wide area IP network. But, over wide area IP network, there is no guarantee to send on a data to the receiving host because data loss and forwarding delay happen frequently. Therefore, such a network cannot be applied to industrial network system because it requires highly reliable communication. We suggested our experiment technique of network for control to make highly reliable communication over wide area IP network. This technique makes duplication of transmission data and sends to target host using different route. In this paper, we show the network simulation result of this technique, and the validity is evaluated.

1. はじめに

プラント制御などの産業システム分野では, 産業用計算機やコントローラを, 高速/大容量かつ安価な汎用品を用いて構成されるネットワークに接続し, 高信頼性が必要な制御用通信と, マルチメディア/一般情報処理用通信を同一伝送路上で実現したいという要求がある[1]。さらに, これらの制御用ネットワークを, インtranet/インターネットのような広域 IP

ネットワークへ接続し, 遠隔地からの監視制御を実現したいという要求も存在する。

しかし, 広域 IP ネットワーク上では, その性質上, 宛先ホストへのデータ到達保証はなく, 接続機器障害や経路変更によるデータ消失, および, 同時に行われている通信間での干渉による転送遅延などが頻繁に発生するため, 信頼性が低下し, そのままでは産業システムへの適用は難しい。

これに対し、本研究では、制御用通信を広域 IP ネットワーク上で行うために必要な、高信頼化技術として、「データ多重化通信手法」を提案している[2]。本手法は、ホストからの送信データを複製し、個々のデータを、異なる経路を明示的に指定したパケットを用い、宛先ホストへ転送する。これにより、広域 IP ネットワーク上のデータ転送経路冗長化が可能となる。

本論文では、本手法のネットワークシミュレーション結果を示し、その有効性を評価する。

2. 産業システムへの IP ネットワーク導入における目的と課題

2.1. 目的

近年、産業用制御計算機は、従来からの高リアルタイム性、高信頼性を維持した上で、更に、オープン化、低価格化が要求されている。

制御用ネットワークでも同様である。汎用通信技術の急速な発展により、接続機器の高速/大容量/低価格化が進んできた。これらの技術を制御用ネットワークへ導入し、広域 IP ネットワーク上に接続された複数計算機を 1 つのシステムとして考えた、分散型リアルタイムシステムの実現が求められている。

マルチメディア/一般情報処理用通信では、近年、End-to-End でのデータ転送に、次のような高信頼性が要求されてきている。

- データ到達保証：転送されるデータ系列に、欠落が発生しないことを保証する。これにより、トランスポート層やアプリケーション(AP)で行われる、再送処理を防ぐことが可能となる。
- 転送遅延保証：宛先ホストへ、データ系列が一定レートで到達することを保証する。これにより、音声や動画配信など、ジッタの影響が大きい通信が、実現可能となる。

これらの項目を保証することで、広域 IP ネットワーク上での、高信頼なデータ通信を実現することが出来るが、特に、制御用通信の場合は、その保証レベルが厳しく、ある一定時間(数

百ミリ秒～数秒程度)内に、確実にデータが到達することが重要である。

2.2. 制御用ネットワークでの技術動向と課題

前節の目的を達成するために、次のような高信頼化通信技術の検討/実装が行われてきた。

- (1) 局所的ネットワーク(LAN)技術：物理伝送路多重化による冗長構成手法。ネットワークインタフェースカード(NIC)を複数枚実装したホストと、複数のハブを用いて、図1のような、独立した LAN を構築する。ホスト上で動作する通信 AP は、同一データを各 NIC より送信することで、通信データの冗長性を増し、NIC/ハブ/物理伝送路の故障による通信断を防止する。

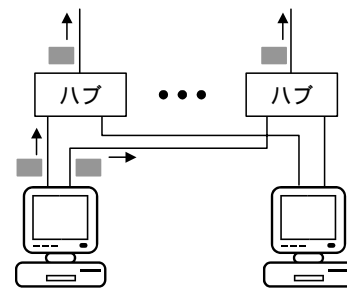


図 1 LAN 上での多重化

- (2) ルータ技術：VRRP[3]/HSRP[4]を用いた冗長構成手法。ネットワーク上の同一セグメントにルータを複数配置し、あるルータが故障した際、他のルータがデータ転送処理を継続することで、ネットワーク上の各ホストの通信断を防止する。

これに対し、広域 IP ネットワーク上の高信頼化技術は、従来からのルーティングプロトコルによる、経路再構成手法が用いられている。しかし、ルーティングプロトコルを用いた転送経路断検出、および、経路再構成には、その仕様から、数秒～数分の処理時間が必要となり、それまで End-to-End 間で行われていた、データ送受信は中断され、データ消失や転送遅延に繋がる(図 2)。前述のように、制御用通信では、データ系列の到達保証、および、転送遅延保証

が非常に重要であり、マルチメディア/一般情報処理用通信よりも、厳しい制限が課せられる。従って、広域 IP ネットワーク上で制御用通信を実現するためには、何らかの高信頼化手法を施す必要がある。本研究では、この課題に着目し、データ多重化通信手法を提案している。

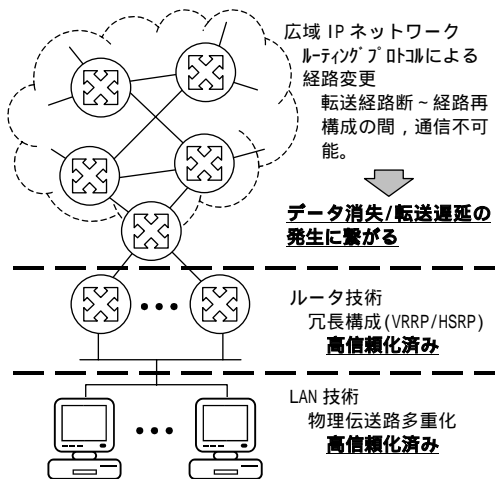


図 2 技術適用箇所

3. データ多重化通信手法

本章では、本研究で提案しているデータ多重化通信手法について、そのネットワークモデルと通信ホストの内部処理の概要を示す。

3.1. ネットワークモデル

本手法を施したネットワークモデルを図 3 に示す。

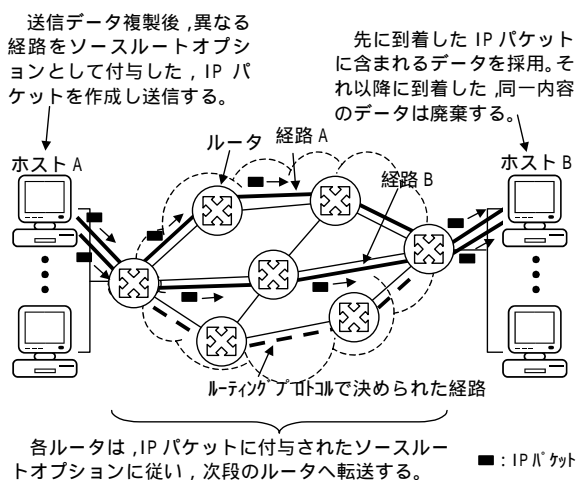


図 3 データ多重化通信ネットワークモデル

本図では、複数のルータ(いずれも市販品)により構成される広域 IP ネットワークを介し、ホスト A-ホスト B 間の通信を、転送経路に着目し示している。図中の破線で記されている部分は、ルーティングプロトコルにより決定される経路であり、経路 A、および、経路 B は、データ多重化通信手法により、異なる 2 種類(多重度:2)の経路として指定したものである。通信処理概要を以下に示す。

ホスト内部の送信処理:ホスト A で送信データを 2 経路分複製する。その後、各データより IP パケットを作成し、ソースルートオプション[5]として、経路 A、および、経路 B の経路指定情報を付与し、送信する。経路途中のルータの振る舞い:経路途中のルータは、ホスト A より送信された IP パケットを、ソースルートオプションに基づき、経路 A、および、経路 B を用いて、宛先ホストである、ホスト B へ転送する。

ホスト内部の受信処理:ホスト B では、先に到着したホスト A からの IP パケットに含まれるデータを採用し、それ以降に到着した、同一内容のデータは廃棄する。

本モデルでは、ホスト A-ホスト B 間の通信の多重度を 2 としたが、多重度を n (n は正の整数)と定義することで、転送経路数を増加させることが出来る。これにより、冗長性の増加による、データ到達率を向上可能である。また、IETF(The Internet Engineering Task Force)で議論されている、通信品質保証手法[6]などを適用することで、制御用通信で求められる、転送遅延保証が実現可能となる。

なお、多重化対象外の通信は、ルーティングプロトコルにより、予め決定されている経路を用いて転送される。これにより、制御用などの重要度の高い通信にデータ多重化通信手法を用い、それ以外の、重要度の高くはない通信には、従来からの転送手法を用いるので、ネットワーク上の転送データ量を抑えつつ、データ到達率を向上することが可能となる。

3.2. 通信ホストの内部処理

本手法による通信ホスト内部の送受信処理を示す。通信ホスト内部では、送信時のデータ複製/転送経路指定処理、および、受信時の重複データ廃棄処理を、すべて通信 AP 内部で実施する。本手法の処理概要を以下に示す(図 4)。

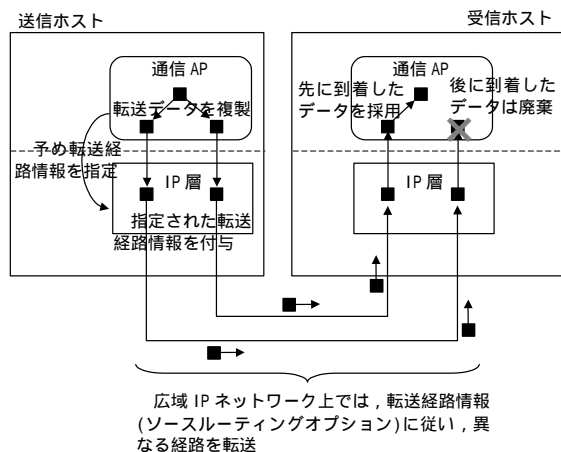


図 4 通信ホスト内部処理概要

送信ホスト上の通信 AP は、予め IP 層に対して転送経路情報を指定する。

送信ホスト上の通信 AP で、データ送信処理が発生した際、送信対象データの複製を作成し、それぞれのデータに対して送信処理を実施する。

送信ホスト上の IP 層では、通信 AP からの送信データを、予め指定されていた転送経路情報をソースルートオプションとして付与した IP パケットを作成し、送信する。広域 IP ネットワーク上では、送信ホストからの IP パケットに指定された転送経路情報に従い、異なる経路でパケットを転送する。

受信ホストでは、受信した IP パケットからデータを抽出し、通信 AP 内で、同一データの到着順を判断する。先に到着したデータを採用し、それ以降に到着したデータは廃棄する。

本手法では、使用プロトコル層には非依存に、通信 AP ごとのデータ多重化通信制御が可能で

ある。通信 AP が制御用通信を実施している場合は、データ多重化を行い、そうでない場合は従来からの転送手法を用いることにより、通信の重要度とネットワーク上の転送データ量とを最適化することが出来る。

4. シミュレーションによる評価

前述したデータ多重化通信ネットワークモデル、および、通信ホスト内部処理を、ネットワークシミュレータ(OPNET Technologies 社製)上に作成し、シミュレーションを実施した。

4.1. 実施条件

シミュレーション条件を以下に示す。

測定対象通信(制御用通信)

制御用通信は、通常、1 パケット当りのデータサイズは小さいが、一定間隔でのデータ送受信が実施される。本論文では、制御用通信として、ホスト A からホスト B に対し、10 バイトのパケットを、100 パケット/秒の一定レートで送信し、ホスト A-ホスト B 間の転送遅延とパケット消失数を計測する。

機器故障による経路変更

上記の通信実施中に、経路 A 上で、機器故障による通信断を発生させる。データ多重化通信手法を使用しない場合、ルーティングプロトコル(RIP/OSPF)により、経路 A から経路 B への経路再構成が発生する。また、データ多重化通信手法(多重度:2)を用いる場合は、予め、経路 A および経路 B を転送経路と定める。

表 1 に、前述の条件を組合せ実施した、シミュレーションケース、図 5 にシミュレーションに用いたネットワークモデルを示す。

表 1 シミュレーションケース

ケース	ルーティングプロトコル	多重化
	RIP	無
	RIP	有
	OSPF	無
	OSPF	有

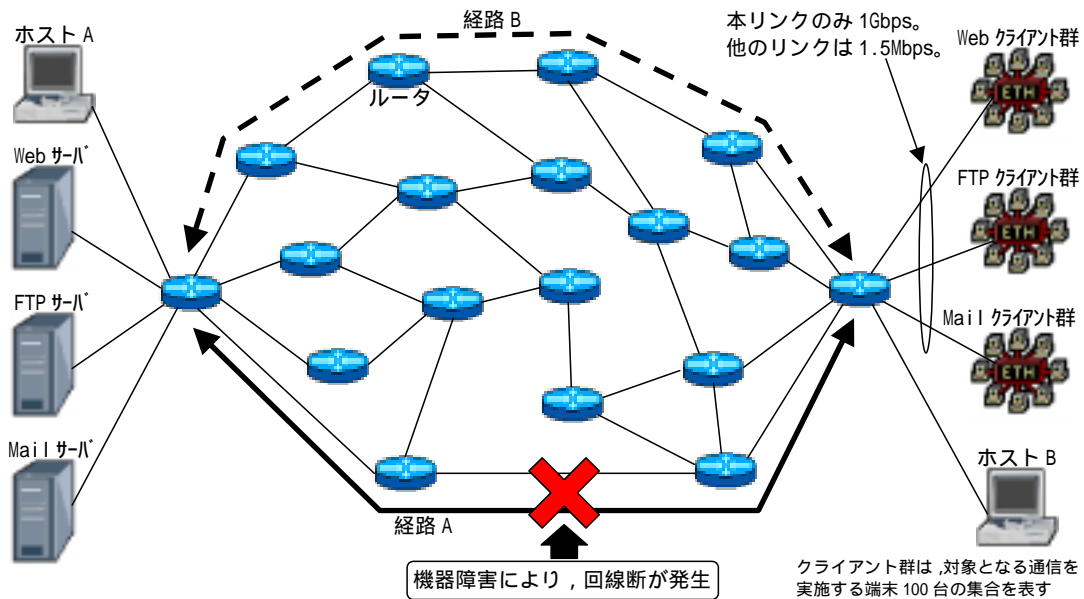


図 5 シミュレーションに使用したネットワークモデル

なお、すべてのケースにおいて、外乱として、以下のパラメータで通信を行う端末 100 台からなるクライアント群(Web, FTP, Mail)から、対応する各サーバへの通信を同時に実施した。

- Web クライアント: Web サーバより、10 秒間隔で 10K バイトのデータを受信する。
- FTP クライアント: FTP サーバとの間で、1 分間隔で 10K バイトのデータを送受信する。
- Mail クライアント: Mail サーバとの間で、1 分間隔で 2K バイトのデータを送受信する。

4.2. シミュレーション結果

表 1 に示した各ケースに対し、図 6 にケース , , および、図 7 にケース , , のシミュレーション結果を示す。

4.2.1. 機器故障によるパケット消失

機器故障発生前(区間 A): ケース , では、ルーティングプロトコルにより予め決定されている、経路 A を用いてパケット転送が行われている。また、ケース , では、多重化指定により、経路 A、および、経路 B を用いて、同内容のパケットが転送されている。本区間でのパケット消失は発生しない。

機器故障発生時(区間 B): ケース , とも、

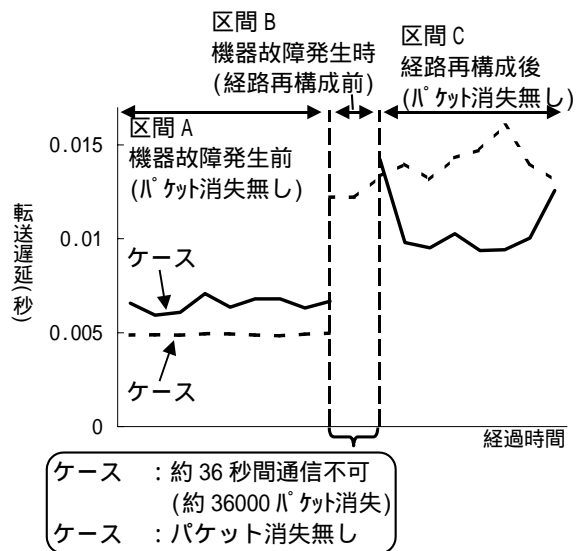


図 6 シミュレーション結果(ケース ,)

本区間ではパケット消失が発生している。ケース の場合、約 36 秒間で約 36000 パケット、ケース の場合、約 5 秒間で約 500 パケットが失われることになり、その間、Host A-Host B 間の通信は中断されてしまう。それに対し、ケース , の場合は、経路 B を用いて転送されたパケットが Host B へ到着しているため、経路 A 上の機器故障発生時でも、Host A-Host B 間の通信は中断されていない。

経路再構成後(区間 C): ケース , では、ホ

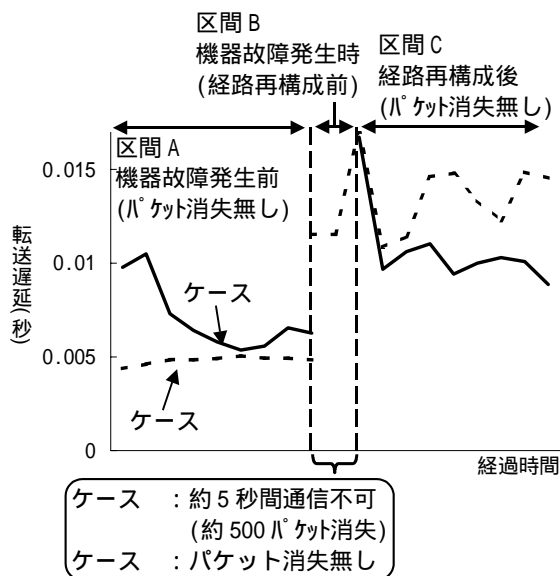


図 7 シミュレーション結果(ケース ,)
 スト A-ホスト B 間の通信は経路 B を用いて再開される。また, ケース , は, 経路 B 側のみで通信が継続される(経路 A を指定したパケットは機器故障により廃棄され続ける)。

4.2.2. 外乱による転送遅延

機器故障発生前(区間 A): ケース , では外乱通信も経路 A を用いて転送されるため, ホスト A-ホスト B 間の転送遅延に影響を与えている。ケース , では, 経路 A, および, 経路 B を使って転送されたパケットに対して, 速く到着した方を採用するため, 転送遅延の変化が抑えられていることが分かる。

機器故障発生時(区間 B): ケース , ではパケット消失が発生するため測定は不可能である。ケース , では, 経路 B のみを用いた転送になるため, 転送遅延が大きくなっている。

経路再構成後(区間 C): ケース ~ , および外乱通信とも, 経路 B のみを用いるため, 全ケースの転送遅延に影響が表れている。

4.2.3. 制御用通信への適用性評価

本論文では, 制御用通信の成立条件として, 「100 ミリ秒以下の転送遅延, かつ, パケットを消失しないこと」と規定する。本成立条件を基に, 図 6, および, 図 7 に示した, ケース

~ のシミュレーション結果について, 制御用通信への適用性を評価した。表 2 に評価結果を示す。

表 2 制御用通信への適用性評価

ケース	条件		制御用通信適用性
	転送遅延	パケット消失	
		×	×
		×	×

本結果より, データ多重化通信手法を用いることにより, 途中経路の故障の如何に関わらず, 宛先ホストへのデータ到達を保証出来, 制御用通信への適用が可能となる。

5. おわりに

本研究では「データ多重化通信手法」を提案している。本論文では, 本手法, および, ルーティングプロトコルによる経路再構成手法に対し, 制御用通信への適用可能性をシミュレーションにて評価した。データ多重化通信手法は宛先へのデータ到達を保証出来るため, 制御用通信への適用が可能である。

今後は, より複雑な形状のネットワークへの本手法の適用を検討していく予定である。

参考文献

- [1] 中西, 他 : 汎用 LAN による産業用制御ネットワークの設計, 情処研報 Vol.99 No.18, pp19-24, 1999/2
- [2] 中西, 他 : 広域 IP ネットワーク上での高信頼通信手法の検討, 情処研報 Vol.2001 No.29, pp115-120, 2001/3
- [3] S.Knight, et. al. : Virtual Router Redundancy Protocol, RFC2338, 1998/4.
- [4] T.Li, et, al. : Cisco Hot Standby Router Protocol (HSRP), RFC2281, 1998/3.
- [5] D.Comer 著, 村井, 他 訳 : 第 3 版 TCP/IP によるネットワーク構造 Vol.1-原理・プロトコル・アーキテクチャ, 共立出版(株), 1997/8.
- [6] S.Blake, et. al. : An Architecture for Differentiated Services, RFC2475, 12/1998.