

リアルタイム通信集約プロトコル向け経路冗長化手法

大西 直哉† 金井 遵† 松山 拓紀†
(株)東芝†

1. はじめに

工場やプラントなどの産業向け監視制御システムは、応答時間の制約から各制御対象の近傍に制御装置を設置する構成が採られている。また、鉄道や交通などの社会インフラシステムにおいては、自動改札機や ETC 料金所などの機器が地域に分散して配置されている。そのため、システム構成の柔軟な変更が困難であることや、メンテナンスに時間を要するという課題があった。そこで近年では、産業・社会インフラ向けの制御システムにおいても、システムのスケラビリティを確保可能なクラウド技術を活用することが求められている^[1]。従来、制御対象の近傍の装置で行っていた制御処理や演算処理をクラウドサーバから行うことで、システム構成の柔軟な変更やメンテナンスの簡易化を行える可能性がある。

クラウドサーバと連携してリアルタイムな制御を行うシステムでは、多数の packets がサーバやネットワーク機器に集中し、通信遅延や packet loss が発生することが課題となる。そこで、サーバに送信する packets を、図 1 に示すように、ネットワークの中継路であるゲートウェイ (GW) で集約し、通信遅延を低減するリアルタイム通信集約プロトコルを提案している^[2-3]。

本稿では、リアルタイム通信集約プロトコルにおいてゲートウェイに異常が生じた際でも通信を継続することを目的に、ゲートウェイの二重化及び通信経路の冗長化手法を提案し、ゲートウェイ異常を模擬した評価を行う。

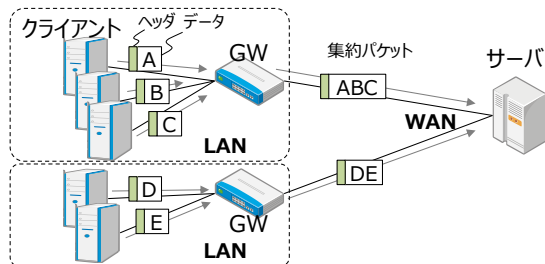


図1 リアルタイム通信集約プロトコル

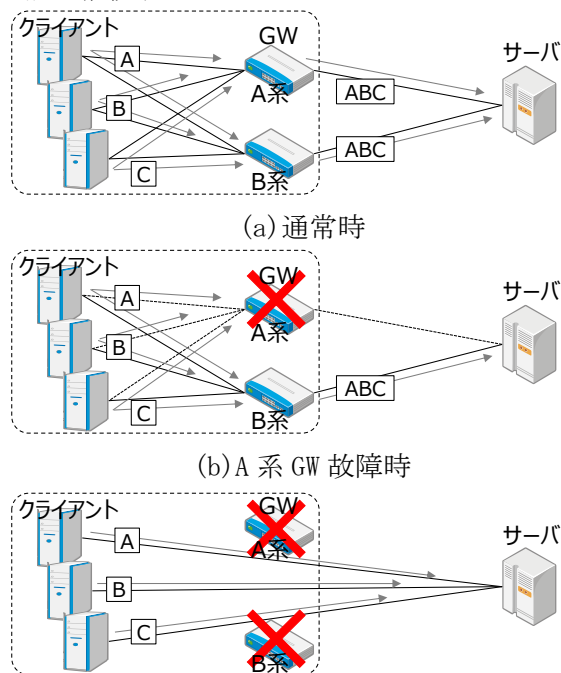
A Method of Redundancy of Communication Path for Real-time Aggregation Protocol

†Toshiba Corporation

2. 通信経路冗長化手法

2.1. アーキテクチャ

図 1 に示すリアルタイム通信集約プロトコルにおいて、ゲートウェイが単一故障点となるため、ゲートウェイに異常が生じた際に、クライアントとサーバ間の通信が行えなくなるという課題があった。そこで、ゲートウェイを物理的に二重化し通信経路を冗長化することで機器異常に対する可用性を向上させる。図 2(a) に示すように、クライアントは A 系と B 系の 2 台のゲートウェイの両方に packets を送信し、各ゲートウェイは packets を集約しサーバに送信する。片方のゲートウェイに異常が発生した場合、図 2(b) に示すように、異常が発生していないゲートウェイが packets を送受信できるため、異常の影響を受けずにクライアントとサーバ間の通信を継続できる。さらに、両方のゲートウェイに異常が発生した場合、図 2(c) に示すように、クライアントとサーバが直接通信を行うことで、通信を継続する。



(c) A系 B系 GW 故障時

図2 冗長化アーキテクチャ

2.2. プロトコルスタック

冗長化アーキテクチャを適用したプロトコルスタックを、図 3 に示す。クライアント側アプリケーションの変更を避けるため、クライアント側に通信経路冗長化プロセスを設け、クライアントアプリケーションとはループバックのソケットで接続する。通信経路冗長化プロセスは、TCP と UDP のプロトコル変換を行い、パケットのヘッダにクライアントの ID やパケットのシーケンス番号を付加する。また、送達確認の packets によりゲートウェイの状態を監視し、ゲートウェイに異常が生じた際にはパケットの送信先をサーバに切り替える。

サーバ側の通信経路冗長化機能は、受信したパケットのクライアント ID とシーケンス番号からパケットの重複を判定し、先着の受信パケットをアプリケーション側に渡す。

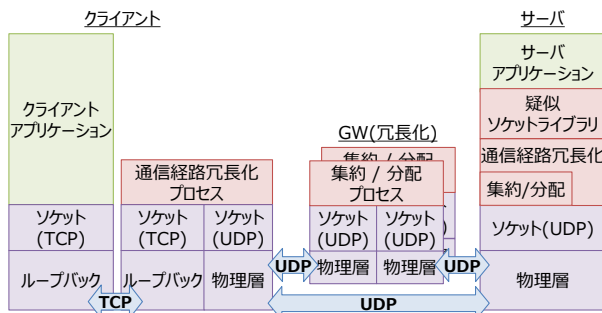


図 3 プロトコルスタック

2.3. 通信フロー

クライアントアプリからサーバアプリへパケット送信する際の通信フローを、図 4 に示す。クライアントアプリは通信経路冗長化プロセスへパケットを送信し、通信経路冗長化プロセスは A 系と B 系のゲートウェイへパケットを転送する。ゲートウェイは送達確認の packets を通信経路冗長化プロセスへ送信するとともに、集約時間 A の間に受信した packets を 1 つの packets に集約し、集約 packets をサーバへ送信する。通信経路冗長化プロセスが、送達確認時間 T の間に送達確認の packets を受信できない場合、サーバに直接 packets を送信する。

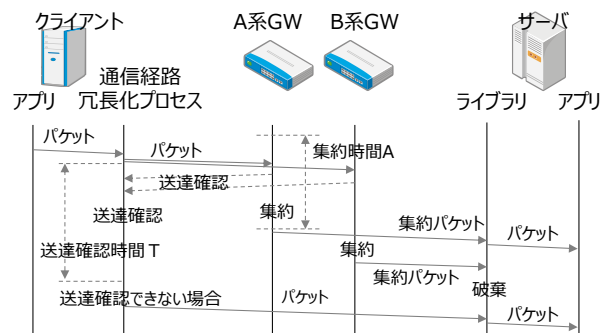


図 4 通信フロー

3. 評価と考察

クライアントからサーバに対し、1 秒周期でトランザクションを発生させ、トランザクション開始から終了までの応答時間を計測した。ここで、通信中のゲートウェイ故障を模擬するため、20 周期目で A 系、40 周期目で B 系ゲートウェイのプロセスを終了させた。ゲートウェイとサーバ間の通信遅延は 1ms、1 トランザクションの通信回数は 12 回とし、ゲートウェイでの集約時間 A は 1ms、送達確認時間 T は 10ms とした。

評価結果を図 5 に示す。ゲートウェイの故障がない周期 (0~19 周期目) と A 系のゲートウェイのみが故障した周期 (20~39 周期目) では、応答時間の傾向は変化せず、平均値が 20.1ms、最大値が 20.8ms となった。40 周期目で B 系のゲートウェイを故障させた時点で応答時間は 29.1ms となり、その後の 41 周期目以降では応答時間の平均値は 9ms となった。

40 周期目で応答時間が 10ms 程度増加する原因は、通信経路冗長化プロセスの送達確認時間 T が 10ms であるためである。また 41 周期目以降は、ゲートウェイでの packets 集約のための待ち時間がなくなるため応答時間が 9ms 程度に短縮される。一方、全クライアントがサーバと直接通信するとサーバ負荷が増大するため、ゲートウェイ異常は直ちに復旧することが望ましい。

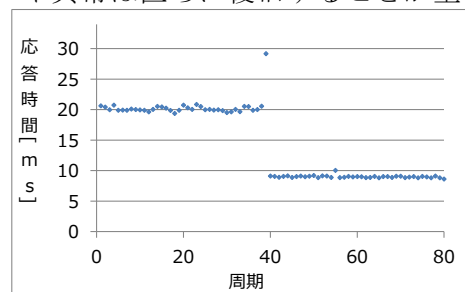


図 5 評価結果

4. まとめ

本稿では、通信集約プロトコル向けの通信経路冗長化手法の設計と評価を行った。ゲートウェイと通信経路を冗長化する手法を提案し、ゲートウェイ異常時でも一定の遅延時間で通信を継続できることを示した。更なる評価を行い、実際の制御システムへの適用を検討する。

参考文献

- [1] Colombo, A. et al.: "Industrial Cloud-Based Cyber-Physical Systems", IMC-AESOP Approach (2014)
- [2] 松山ら: "クラウドサーバ向けリアルタイム通信集約プロトコルの評価", 電気学会全国大会, Vol. 3, pp. 11-12 (2017)
- [3] 金井ら: "リアルタイム通信集約プロトコル向け輻輳制御手法", 組み込みシステムシンポジウム, pp. 70-73 (2017)