

多対地の収容を考慮した 衛星通信用 TCP ゲートウェイの設計

長谷川 輝之

長谷川 亨

三宅 優

中尾 康二

(株) KDDI 研究所

1. はじめに

衛星回線を利用したインターネットアクセスは、場所によらず IP ネットワークを構築できる等の優れた特徴を持つ。しかし、遅延の大きい衛星回線では十分な TCP スループットが得られないという問題がある。これに対して筆者等は、衛星回線を介した下り方向の TCP スループットを改善する、TCP ゲートウェイを開発した [1]。一方、本ゲートウェイは衛星回線が輻輳しないことを前提とした設計であるため、多数の加入者（対地）が下り回線を共有するような、非対称性の高い環境では、上り回線の輻輳を招く可能性がある [2]。そこで本稿では、多対地収容を考慮した輻輳回避ならびに再送機能を有する TCP ゲートウェイの設計について述べる。

2. TCP ゲートウェイ概要

図 1 に TCP ゲートウェイを導入した衛星インターネットのネットワーク構成例を示す。ゲートウェイは、キャリア側の地球局設備内に置かれ、加入者側への下り方向の TCP スループットを改善する。ゲートウェイ導入に伴う加入者側設備の変更は一切不要である。

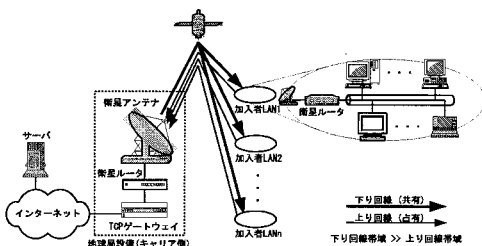


図 1: ネットワーク構成例

図 2 にゲートウェイを用いた通信シーケンス例を示す。その概要は以下の通りである。

- (1) インターネット側サーバに対して、加入者側端末からの確認応答 (ACK) を待つことなくゲートウェイから代理の ACK を送り、送信データ (DT) を引き出す (図 2(a))。
- (2) ゲートウェイでは、引き出した DT を、加入者側端末から ACK により通知される受信ウィンドウを超えて投機的に先送りする (図 2(b))。

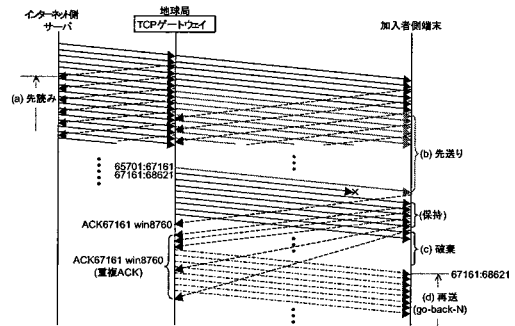


図 2: TCP ゲートウェイ通信シーケンス例

- (3) DT 紛失時には、受信ウィンドウを超えて送信した DT を全て再送する必要がある。このためゲートウェイでは、Go-back-N をベースに先送りを考慮した再送手順を採用する (図 2(c),(d))。

3. 多対地収容を考慮した TCP ゲートウェイの設計

3.1 既存ゲートウェイの問題点

既存のゲートウェイでは、衛星回線が輻輳しないことを前提に、TCP の輻輳回避手順を省き回線帯域を占有する設計となっている。一方、衛星インターネットでは、多数の対地を効率良く収容するために、図 1 のように全対地で下り回線を共有し、各対地毎に上り回線を用意する方式が一般的である。ここでは下り回線に、想定する収容対地数に応じた広い帯域を用いるため、一般に回線の非対称性が大きくなる。このため、ある対地向けに TCP トラフィックが集中すると、ACK による上り方向のトラフィックにより、その対地の持つ上り回線が輻輳する可能性がある。また同時に、加入者側端末の輻輳 (受信バッファ溢れ) による DT 紛失の可能性も高まる。

3.2 設計方針

多対地収容における上記の問題点を解決するために、TCP ゲートウェイの設計方針を以下のように定めた。

- (1) 各対地で下り回線を効率的かつ公平に共有することを目的として、各 TCP コネクションに対して、ネットワークの輻輳を検出しこれを回避するための輻輳回避手順を導入する。
- (2) 一般的な TCP の実装では、DT 紛失を契機として輻輳を検出し送信レートを減少させるアルゴリズムを採用している。しかし、ゲートウェイでは、DT 紛失により大量の再送が発生する等の問題がある。

このため、DT 紛失によらない輻輳検出を行うこととする。

- (3) 上記を実現するため、往復伝送遅延 (RTT) とこれに基づく送信レートを監視することにより DT 紛失前に輻輳を検出する、TCP Vegas^[3] をベースに輻輳回避手順を設計する。
- (4) DT 紛失時の再送手順は、再送により更なるネットワークあるいは受信端末の輻輳を招かないように設計する。すなわち、輻輳が発生しない程度に再送レートを抑制する手順を採用する。

3.3 輻輳回避手順

図 3に、ゲートウェイで採用した輻輳回避手順の動作例を示す。以下その手順について説明する。

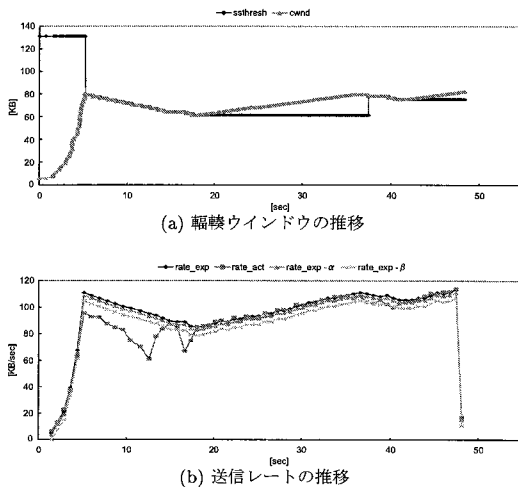


図 3: 輻輳回避手順動作例

- (1) TCP で一般的に用いられている輻輳ウィンドウ (cwnd) を採用する。ゲートウェイは、cwnd を超える DT 送信を行わない。
- (2) 各送信 DT に対応した ACK 受信により往復遅延時間 (RTT) を計測し、その最小値 (RTT_{base})、ならびに、RTT 毎の平均値 (RTT_{ave}) を導出する。これらの値から、送信レートの期待値 ($rate_{exp}$) と実測値 ($rate_{act}$) を算出する。
- (3) $rate_{exp}$ と $rate_{act}$ の差 (δ) が小さい ($< \alpha$) 場合は、送信レートの増加が可能と判断し、別途設けた閾値 (ssthresh) の値に応じて、cwnd を指数的あるいは線形的に増加させる。
- (4) δ が大きい ($> \beta$) 場合は輻輳発生と判断し、cwnd を 1 減らし送信レートを減少させる。いずれにも該当しない場合は、送信レートが適切であると判断し cwnd を変更しない。

3.4 再送手順

DT 紛失時の再送手順は以下の通りである。

- (1) DT 紛失を検出すると、ゲートウェイは cwnd と ssthresh の値を以下のように変更する。

$$ssthresh = cwnd/2$$

$$cwnd = cwnd_{min} \text{ (e.g. 2)}$$

ここで、 $cwnd_{min}$ は、予め定義した cwnd の最小値である。

- (2) DT 紛失を重複 ACK 受信により検出した場合、ゲートウェイは、重複 ACK を引続き受信する毎に、cwnd を $1/incr$ だけ増加する。図 4に $incr=1$ である場合の再送シーケンスを示す。ここでは、重複 ACK を 1 つ受信する毎に DT を 1 つ送信する。重複 ACK の受信間隔は、加入者側端末の受信能力に相当すると考えられるため、端末の受信能力に応じた再送が可能となる。

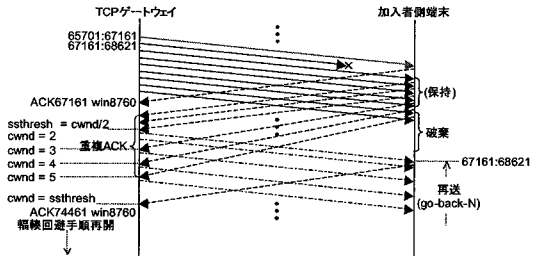


図 4: 重複 ACK 受信時の再送シーケンス

- (3) 再送 DT に対する ACK を受信すると、cwnd に ssthresh を代入し DT 紛失時の送信レートから半減させる。以降は、前述の輻輳回避手順に従う。
- (4) 再送タイムアウトにより DT 紛失を検出した場合は、ゲートウェイは、再送 DT に対する ACK を受信するまで、cwnd を $cwnd_{min}$ から変更しない。ACK 受信後は、前述の輻輳回避手順に従って cwnd を再び指数的に増加させる。

4. おわりに

本稿では、多対地収容を考慮した輻輳回避・再送機能を有する TCP ゲートウェイの設計について述べた。本ゲートウェイは、衛星回線の輻輳を回避しつつ TCP スループットを向上させることが可能である。最後に日頃御指導頂く KDD 研究所浅見所長に感謝します。

参考文献

- [1] Y. Miyake, T. Hasegawa, T. Hasegawa, T. Kato, "Acceleration of TCP Throughput over Satellite-Based Internet Access," Proceedings of IEEE symposium on Computers Communications 2000, July 2000.
- [2] 長谷川、長谷川、三宅、中尾, "多対地の収容を考慮した衛星通信用 TCP ゲートウェイの実装," 信学技報, SAT2001-40, July 2001.
- [3] L. Brakmo and L. Peterson, "TCP Vegas: end to end congestion avoidance on a global Internet," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 13, no. 8, pp. 1465-1480, October 1995.