

多対地の収容を考慮した 衛星インターネット用 TCP ゲートウェイ

長谷川 輝之

三宅 優

長谷川 亨

中尾 康二

(株) KDD 研究所

1. はじめに

近年、衛星インターネットサービスの登場により、衛星回線を介した TCP/IP 通信の需要が高まりつつある。しかし、遅延の大きい衛星回線では、TCP ウィンドウサイズの制限で十分な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 TCP 通信における片方向のスループットを改善する衛星インターネット用 TCP ゲートウェイを開発し、1つの対地 (加入者) が上りと下りの回線双方の帯域を占有する収容方式で、その有効性を確認した [1]。

一方、衛星インターネットで多数の対地を収容する場合は、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収容方式が広く採用されている。この方式では一般に回線の非対称性が大きくなるため、ゲートウェイの適用にあたり、その影響を明らかにする必要がある。そこで本稿では、ゲートウェイを非対称性の大きい回線環境において評価し、その結果に基づき、多対地の環境にゲートウェイを導入するための指針を示す。

2. 衛星インターネット用 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。

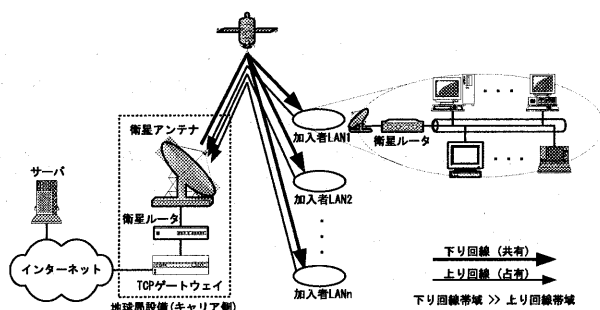


図 1: ネットワーク構成例

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) ゲートウェイはエンドツーエンドで行われる TCP

“A Study on Accommodating Multiple Destinations in TCP Gateway for Satellite-based Internet”
Teruyuki HASEGAWA, Yutaka MIYAKE, Toru HASEGAWA and Koji NAKAO
KDD R & D Laboratories, Inc.

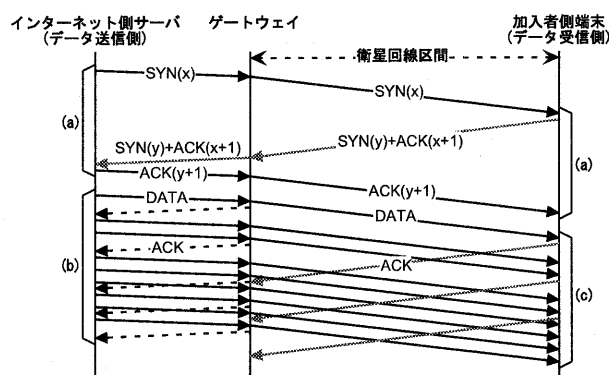


図 2: 通信シーケンス例

コネクション確立を監視し、確立したコネクションについてゲートウェイ処理を提供する (図 2(a))。

- (2) 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 (DATA) を引き出す (図 2(b))。
- (3) ゲートウェイでは、引き出した DATA 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先送りする (図 2(c))。
- (4) パケット紛失時には、受信ウィンドウを超えて送信した DATA 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。

3. 多対地収容を考慮した評価実験

3.1 多対地収容時の課題

衛星インターネットで多数の対地を効率良く収容する方式として、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ある。一方、ゲートウェイは下り回線を占有できる環境に置かれる必要がある。そこで、図 1 に示すように、共有する下り回線に対して 1 つのゲートウェイを導入し、全対地を収容することとする。

図 1 の環境では、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 トラヒックが集中すると、ACK による上り方向のトラヒックが、その対地の持つ上り回線帯域を超える可能性がある。

上記の問題がネットワークに及ぼす影響を評価するため、多対地の収容を想定した非対称回線環境に TCP ゲートウェイを導入し通信実験を行った。以降、その内容について述べる。

3.2 ネットワーク構成と実験内容

図3に実験ネットワーク構成を示す。本構成では、ルータ間を伝送遅延(往復 700msec)挿入用のデータチャネルシミュレータを介して ATM/AAL5 回線で接続し、ATMセルベースのトラヒックシェーピング(下り 10Mbps、上り 150kbps)を用いて、遅延のある非対称衛星回線を模擬することとした。また、40 バイトの ACK パケットが 1 セルに収容できるように、AAL5 の NULL カプセル化を用いた。

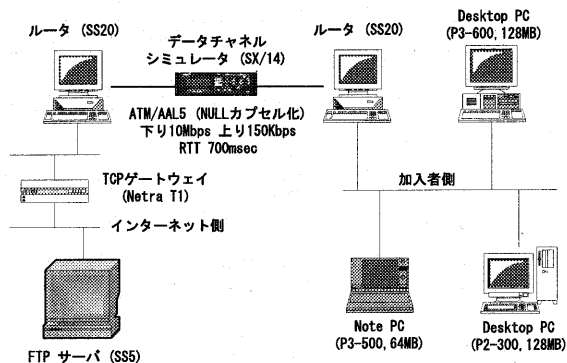


図 3: 実験ネットワーク構成

実験では、加入者側にある 3 台の PC からインターネット側の FTP サーバに対して、個別 (=1 コネクション) もしくは同時 (=3 コネクション) に 10M バイトのファイルをダウンロードし、スループットならびにパケット再送率を測定した。同時に、ping を用いて端末間の往復伝送遅延 (RTT) も計測した。実験のパラメータには、ゲートウェイが ACK を待たずに先送り可能なデータ量 (winoffset) を用いた。

3.3 実験結果

表 1~3 にコネクション当りの winoffset をそれぞれ 512KB、256KB、128KB に設定した場合の実験結果を示す。なお、表中のスループットならびに再送率については 3 回の測定における平均値を、RTT については最大値を表示している。3 コネクション時の値は各コネクションの平均値の合計である。なお、winoffset が 512KB の場合は 1 コネクションのみ測定した。

表 1: 実験結果 (winoffset=512KB)

測定項目	コネクション数
	1
スループット [KB/sec]	568.87
再送率 [%]	4.12
RTT(転送前→中) [msec]	706→858

4. 考察

(1) 表 1 に示すように、ゲートウェイがある場合は、1 コネクションで約 570KB/sec のスループットを達成した。一方、図 3 においてゲートウェイがない場合は 11.52KB/sec であった。従って、10Mbps/150kbps

表 2: 実験結果 (winoffset=256KB)

測定項目	コネクション数	
	1	3
スループット [KB/sec]	364.59	618.69
再送率 [%]	1.11	0.56
RTT(転送前→中) [msec]	706→769	706→1311

表 3: 実験結果 (winoffset=128KB)

測定項目	コネクション数	
	1	3
スループット [KB/sec]	184.79	546.72
再送率 [%]	0.00	0.35
RTT(転送前→中) [msec]	706→757	706→796

の非対称回線環境においてもゲートウェイ導入はスループット向上に有効であると考えられる。

- (2) RTT については、winoffset が 256KB で 3 コネクションの通信を行った場合に約 600msec 増加した。これは、合計 768KB の先送りに対応して上り回線帯域を超える ACK が発生し、加入者側のルータに蓄積されるためである。一方、128KB の winoffset では RTT の増加は 100msec 程度に収まっている。従って、本環境における最適な winoffset は、(384KB/コネクション数) 程度である。これらの議論より、ゲートウェイに多対地を収容するためには、ボトルネックとなる上り回線帯域を考慮し、処理中のコネクションの数や対地に応じて適切な winoffset を設定することが重要であると言える。
- (3) パケット再送率は最大 4% 程度であり、全て受信側でのパケット取りこぼしに起因するものであった。取りこぼしが発生した場合、紛失パケットに続く全ての先送りパケット受信毎に ACK が返送される。これにより、上り回線の帯域不足がより深刻となる。実験結果より、winoffset が増加するにつれてパケット取りこぼしは多くなるため、ゲートウェイで余分な winoffset を設定することは避けるべきである。さらには、ゲートウェイに対して、パケット紛失を可能な限り防止する機能を検討/導入していくことが望ましい。

5. おわりに

本稿では、衛星インターネット用 TCP ゲートウェイに複数の対地を収容する際の課題について検討し、多対地収容時の回線の非対称性を考慮した評価実験を通じて、多対地収容のための指針を示した。最後に日頃御指導頂く KDD 研究所秋葉所長に感謝します。

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.