

3G-03— 伝送誤りを伴う回線上での TCP/IP 通信のための データリンクプロトコルに関する一検討

井戸上 彰[†] Morten JOHANSEN[‡] 田上 敦士[†] 加藤 聡彦[†]

[†]KDD 研究所 [‡]Technical University of Denmark

1. はじめに

携帯端末を用いたモバイルコンピューティングが普及しつつあり、より高速な伝送速度をサポートする次世代移動体通信システムの検討も行われている。このような移動体通信システムを利用したデータ通信においても、TCP/IP をベースとした通信アプリケーションが広く利用されると考えられる。しかし、無線回線のような伝送誤りを伴う回線上では、主として輻輳によるパケット紛失を想定した TCP の誤り回復手順のみでは、効率的な通信を実現できないことが知られている^④。そこで筆者らは、データリンク層において各種再送手順を適用した場合の、TCP のスループットやプロトコルの振舞いに関するシミュレーション評価を行った。本稿ではその概要を述べる。

2. シミュレーションの概要

シミュレーションのネットワーク構成を図 1 に示す。シミュレータとして、パケット網用プロトコルシミュレータ REAL^⑤を用いた。TCP ソース/シンクノードは、指定されたウィンドウサイズの範囲内で連続的に TCP セグメントの送信/確認応答の返信を行う。データリンクノードは、後述の各種再送手順をサポートし、データリンクノード間は、2Mbps の伝送速度と指定された伝送遅延を持ち、任意のビット誤りを発生する伝送路を想定したチャンネルで接続した。

データリンクノードにおいては、HDLC をベースとして以下の再送手順を実装し、比較を行った。

- ① **REJ 方式:** HDLC における REJ フレームを用いた Go-back-N による再送方式。
- ② **SREJ 方式:** HDLC における SREJ フレームを用いた単一フレームの選択再送方式。
- ③ **SACK 方式:** 受信側で不連続に受信したデータのフレーム番号(複数)を通知する複数フレームの選択再送方式。

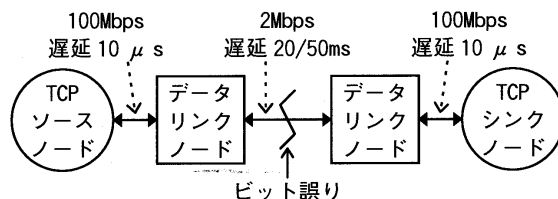


図1 シミュレーションのネットワーク構成

- ④ **反復方式:** 送信側でウィンドウサイズ分のデータフレームを送信後、未確認のデータフレームを自発的に繰り返して送信する方式。
- ⑤ **反復+SACK 方式:** 反復方式と同様な繰り返し再送を行うが、受信側から確認応答が返されたものは繰り返し再送に含まない方式。

3. 結果と考察

伝送遅延を 20ms および 50ms とした場合の、ビット誤り率(BER)に対するスループットを図 2 に示す。TCP のセグメント長はヘッダを含め 1500 バイトとし、TCP ウィンドウサイズ(TCP WIN/セグメント数換算)は、連続的にデータ送信が可能のように応答遅延時間の 2 倍相当以上に設定した。また、データリンクプロトコルのウィンドウサイズは 63 固定とした。スループットは、2000 セグメントの転送を 10 回行った場合の平均値である。また、伝送遅延が 50ms の場合について、再送を含む送信フレーム数に対する有効受信フレーム数の割合(有効フレーム率)を図 3 に示す。さらに、伝送遅延 50ms の場合の、ビット誤り率に対する TCP の再送回数(10 回の平均値)を図 4 に示す。

図 2 から、ビット誤り率が 2×10^{-5} 程度以下では、伝送遅延が 20ms の場合、SACK 方式が最も高いスループットを実現している。また遅延が 50ms の場合は、SACK 方式と反復+SACK 方式の特性がほぼ同程度となっている。しかし、図 3 より、反復方式や反復+SACK 方式は、有効受信

A Study of Data-link Protocol for TCP/IP Communications over Lossy Links

Akira IDOUE[†], Morten JOHANSEN[‡], Atsushi TAGAMI[†] and Toshihiko KATO[†]

[†]KDD R&D Laboratories / [‡]Technical University of Denmark

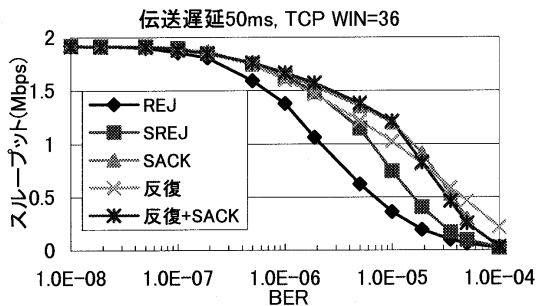
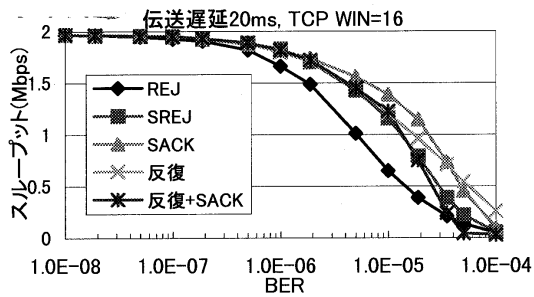


図2 ビット誤り率に対するスループット

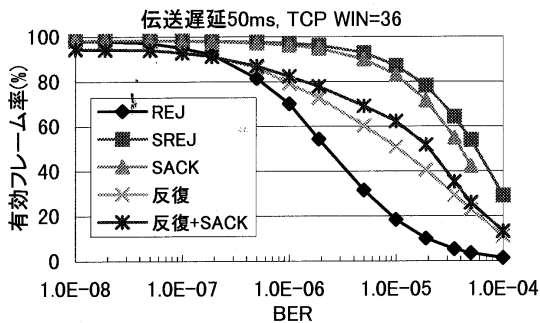


図3 ビット誤り率に対する有効フレーム率

フレームに対して、より多くのフレームを送信している。従って、SACK方式と反復+SACK方式を比較すると、誤ったフレームのみを再送するSACK方式の方が効率的であると言える。

一方、ビット誤り率が 2×10^{-5} 以上では、いずれの場合も、反復方式が、反復+SACK方式を含めた他の方式よりも高いスループットを得ている。図4から、ビット誤り率が大きい場合に、反復+SACK方式において、TCPの再送が増加していることがわかる。反復方式と反復+SACK方式について、経過時間に対するTCP再送タイムアウト時間(RTO)の推移を、確認応答の受信タイミングでプロットした一例(伝送遅延 50ms)を図5に示す。TCPでは、RTOを応答遅延時間に比例させて計算するとともに、再送セグメントが紛失

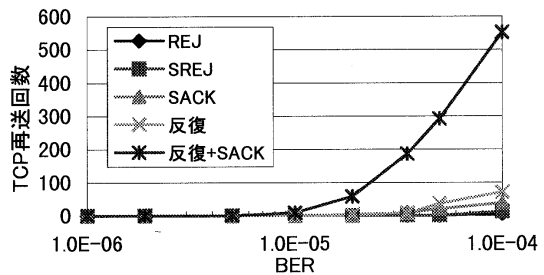


図4 ビット誤り率に対するTCP再送回数

するごとに指数関数的に増加させる。図5において、経過時間が22~24秒にかけては、セグメントの紛失なしに正常に転送が行われており、この間は、反復+SACK方式の応答遅延時間が小さい。このため反復+SACK方式の方がRTOも小さく設定され、TCPの再送が起りやすくなっていると考えられる。また、24~26秒前後にかけて、TCPの再送が発生しRTOが増大している。このように、ビット誤り率が大きい場合に、反復+SACK方式が反復方式よりもスループットが低いのは、TCPでの再送のためと言える。

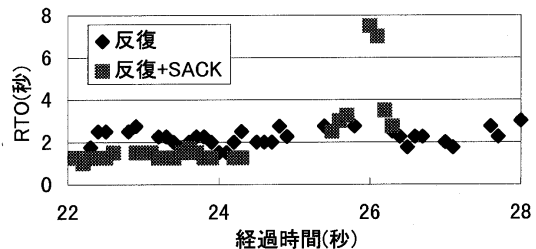


図5 TCP再送タイムアウト時間(RTO)の推移

4. おわりに

本稿では、伝送誤りを伴う回線上でのTCP/IP通信のためのデータリンクプロトコルについて、各種の再送方式を適用した場合のスループットや、TCPにおける再送の発生との関連を中心としたシミュレーション結果について述べた。最後に、日頃御指導頂くKDD研究所村上取締役所長、鈴木副所長に感謝する。

参考文献

- [1] H. Balakrishnan et al. "A Comparison of Mechanisms for Improving TCP Performance over Wireless Links," Proc. ACM SIGCOMM '96, Aug. 1996.
- [2] S. Keshav, "REAL: A network Simulator," Computer Science Department Technical Report 88/472, UC Berkley, Dec. 1988.