

データリンク層の周期的な途絶が TCPのスループットに与える影響

唐土 慶太[†] 矢向 高弘[‡]
慶應義塾大学理工学部[†] [‡]

1 序論

近年,遠隔操作ロボットなど実時間通信を必要とする制御の需要が増えてきている.しかし,現在のインターネットなどに用いられている一般的な通信は,遅延が保証されていないため,このような制御の通信には向いていない.そこで本研究室では,遠隔制御の要求するリアルタイム通信を実現する方法として Synchronous-TDMA(S-TDMA)[1]を提案している.

S-TDMA は S-TDMA スイッチにより, TCP/IP 通信に対応した Shared モードと, パケットのヘッダを見ずにスイッチ内部で直結させて送信することでリアルタイム通信を行うことの出来る Exclusive モードの 2 つのモードに切り替えることができる. このモードの切り替えは STDMA スイッチングハブによって周期的に切り替わるようになっている. しかしこのモードが切り替わることによって, ネットワークのスループットに影響が出る可能性があるため, S-TDMA を使った通信における通信データの挙動を評価しておく必要がある. そこで本研究ではこのモードの切り替えを想定し, 周期的なリンクの切断による TCP のスループットへの影響をシミュレーションによって評価した.

2 STDMA のネットワーク

本研究では, 図 1 に示すようなネットワークを想定する. PC1 と PC2 は Shared モードによる通信を行い, PC3 と PC4 は Exclusive モードによるリアルタイム通信を行うとする. 通常は PC1,2 間で Shared モードによる通信を行っているが, リアルタイム通信が要求されると, S-TDMA スイッチによって Exclusive モードとなり, PC3,4 間のリアルタイム通信が行われる. Exclusive モードの期間中, PC1 もしくは PC2 から送信されたデータはこのスイッチによって破棄され, 破棄されるデータ量が大きい程スループットが低下してしまう. そこで, リンクの周期的な切断が TCP においてス

ループットにどのような影響を与えているかを評価するために, シミュレーション環境を構築した.

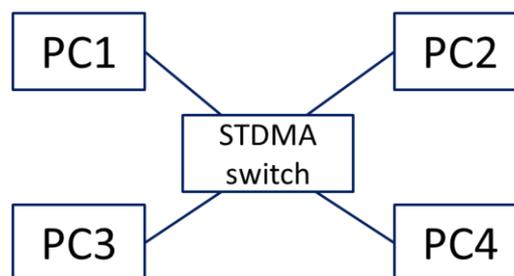


図 1: S-TDMA ネットワーク

3 シミュレーション

3.1 シミュレーション設計

ネットワークシミュレータには OMNeT++[2]を選定した. このシミュレーションでは, 一方の PC がもう一方の PC にスイッチを介して, TCP によりデータを送信するようなシミュレーション環境を構築した. 周期的なリンクの切断による TCP のスループットの影響を評価するために, このスイッチは通常のスイッチとして機能する時間と, 送信側から送られてきたデータをスイッチ内で破棄するようにする時間が周期的に繰り返されるように設計した. また, リンクレートは 1Gbps である.

3.2 シミュレーション結果

1 周期あたりの接続時間の占有率を変化させて, その時の TCP のスループットを測定した. また周期を 10 μ s から 10ms で変化させ, それぞれでスループットを測定した. シミュレーション時間は 10s である. 測定したスループットの結果を図 1 に示す. これを見ると, いずれの周期においても接続時間がある占有率以下になると, スループットが急激に低下している. 次に, 周期ごとのスループットが低下する時の接続時間の占有率をみると, 周期が 1ms の時が最も低くなっていることが分かる.

Impact on TCP throughput caused by periodic interruption of data-link layer

[†]Keita Morokoshi [‡]Takahiro Yakoh
[†]Keio University

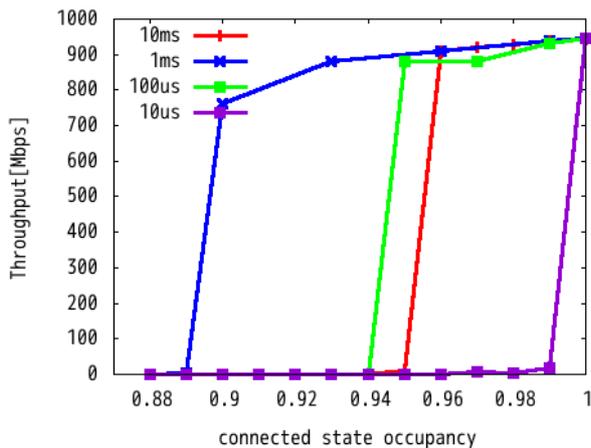


図 2: 各周期での TCP のスループットの測定結果

3.3 シミュレーション結果の分析

接続時間の占有率がある値でスループットが急激に低下する原因を調べるため、スループットが低下している時の接続時間の占有率からデータを分析した。

TCP ではパケットを送信した後、受信側から ACK が返ってこなければ再送を行う。しかし、決められた回数再送を行うか、決められた時間までに ACK が返ってこなければ、再送タイムアウト (RTO) になり、次の送信まである時間待たなければならない。再送タイムアウトが連続して起きると、次の再送タイムアウト時間 t_{next} は以下の式で表される。

$$t_{next} = 2 \times t \quad (1)$$

t は今の再送タイムアウト時間を表す。

図 3 はシミュレーションにおける再送タイムアウトの起こった回数である。

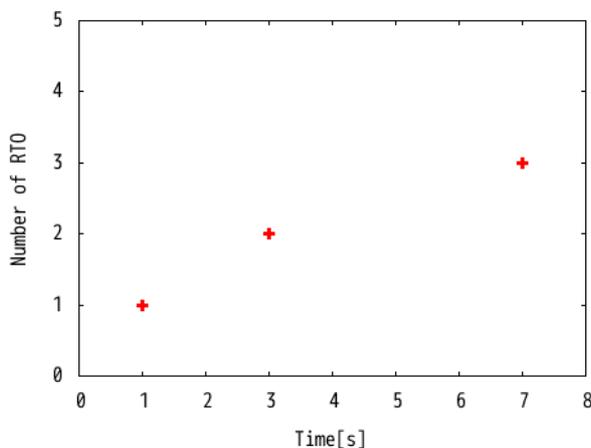


図 3: 周期 1ms, 接続時間の占有率 89% のときの測定結果の再送タイムアウト起こった回数

図 3 より、再送タイムアウト時間は前のタイムアウト時間の 2 倍になっているため、連続して再送タイムアウトが起きていることが分かる。すなわち、再送タイムアウトが連続して起こっているので、データが送信されておらず、これが原因でスループットが急激に低下したことを示す。

3.4 スループット低下回避の提案

急激なスループット低下を回避する方法として 2 つ提案する。

1 つ目は切断中、スイッチのキューに送られてきたパケットを溜めておく方法である。本シミュレーションでは、切断中にスイッチに入ってきたパケットは破棄されるようになっている。キューに溜めることで破棄されるパケットが減るので、スループットは低下しにくくなると考えられる。

2 つ目は切断期間に入る直前に送信側にポーズフレームを送って送信を一時的に止めることである。これによって切断中は送信を行わないので、パケットを損失することがなくなり、スループットを維持できると考えられる。

4 結論

周期的なリンクの切断による TCP のスループットの変化を評価するシミュレーション環境を構築し、TCP のスループットを測定した。その結果、周期に対するリンクの接続時間の占有率がある値以下になると、スループットが急激に低下することが分かった。この原因は再送タイムアウトが連続して起きていたためであった。

今後は周期的なリンクの切断による TCP のスループットへの影響を抑える方法を検討・評価していく。そして TCP のスループットに影響を与えない S-TDMA スイッチをシミュレーションによって構築し、性能評価を行いたい。

5 謝辞

本研究は JSPS 科研費 24300086 の助成を受けたものです。

参考文献

[1] H. Nishijima and T. Yakoh: "Minimum delay switch for Synchronous TDMA network", 2012 International conference on Computer systems and Industrial Informatics, 2012

[2] OMNeT++. <http://www.omnetpp.org>