

ローソク足チャートを用いたTCPトラフィックの表示法 TCP traffic in the candlestick view

清水 奨^{†§} 福田 健介[†] 廣津 登志夫[†] 菅原 俊治[†] 後藤 滋樹[§]
Susumu Shimizu Kensuke Fukuda Toshio Hirotsu Toshiharu Sugawara Shigeki Goto

1. まえがき

ユビキタスネットワーク社会の到来により、TCP/IPは社会の隅々にまで浸透している。ネットワークサーバやパーソナルコンピュータだけでなく、携帯端末やPDA、各種センサにおいてもTCP[1]による通信が広く使われつつある。

TCPは適応的なプロトコルである。ネットワークの状況に応じて良好なスループットを確保し、同時に輻輳を回避するための様々なアルゴリズムが採用されている[2]。しかし不適切なパラメータを設定している場合や、使用環境によっては意図したパフォーマンスが得られない場合がある。例えば、受信側ウィンドウサイズが帯域遅延積に比して小さいと、リンク帯域を使いすぎるができない。無線リンクなどでパケット欠落が頻繁に発生すると、輻輳ウィンドウサイズが小さくなり、状況が回復してもなかなかスループットが増加しない。

このような通信効率の低下を防ぐためには、使用環境下におけるTCPの挙動を理解し、各種のパラメータを適切に設定する必要がある。このためには、TCPの挙動をわかりやすく図示する手法が有効である。従来、時間軸を縦に取り、ノード間のパケットを矢印で表示する手法[2, 4]や、シーケンス番号の推移を図示する手法が良く使われてきた[3]。これらは全パケットを図示するため、TCPの挙動を詳細にトレースすることができる。TCPソフトウェアスタックを開発する場合や、新しいアルゴリズムの動作確認をする場合には、パケット毎の挙動理解が必要である。これに対して、パラメータ調整やスループット監視を目的とした場合、全パケットのトレースは必須ではない。むしろ、なんらかの手段で挙動を要約して表示すれば、参照すべきデータ量が少なくなり、挙動の把握も容易となる。

本論文では、TCPの挙動を要約表示する手法を提案する。TCPのパフォーマンスに直接関連するパラメータとして受信側ウィンドウサイズ、受信確認番号(ACK番号)、送信シーケンス番号に着目し、これらの推移を固定長のタイムスロット毎にシンボルを用いて表示する。シンボルとして、金融機関等で広く用いられているローソク足チャートを応用し、携帯等の低解像度端末にも対応できるコンパクトな表示と、挙動の図形表現を実現する。

以下、2節でローソク足チャートの特徴について述べ、3節でTCPトラフィック表示へのマッピングを議論する。4節ではTCPにおける典型的な挙動とローソク足チャートにおけるシンボルとの対応について述べ、5節はまとめである。

2. ローソク足チャートの特徴

ローソク足と呼ばれるチャートは江戸時代後期、米相場の変動を表現するために日本で考案された[5]。以来200年以上にわたり、日本の株式相場や為替相場で愛用され、近年は海外でも広く使われている[6]。ローソク足チャートが相場価格という時系列データの表示形式として一般に定着している理由として、ここでは二つの特徴を挙げる。

第一の特徴は、コンパクト性である。ローソク足では、ある期間における相場価格の変動(始値/終値)と、期間中に観測されたピーク値(高値/安値)を一つのシンボルで同時に表現できる。図1に標準的なシンボルを示す。

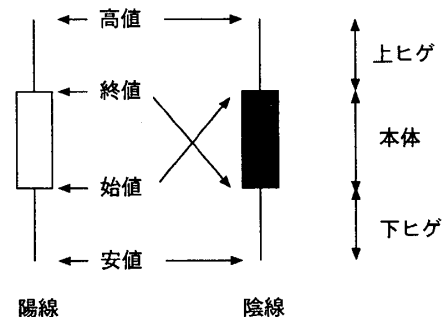


図1: ローソク足シンボル

シンボルは始値と終値で形成される矩形(本体)と、その上下の辺から上下のピーク値まで伸びる線分(ヒゲ)からなる。始値より終値が高ければ矩形は白ヌキとし、逆ならば塗りつぶす。カラーで表示する必要はなく、数ドットの幅で一つのシンボルが表現できるため、携帯等の低解像度端末にも適する。実際にiモード等携帯端末への株価チャート配信が行われている。

シンボルを生成する期間は任意に設定できる。短期的な変動を捉える用途には、取引時間を5分や60分ごとに区切ったシンボルを生成する(分足)。中長期的な動きには、期間を1日、1週間、1ヶ月と変えて分析する。タイムスケールを変えても高値/安値のピーク値は保存される。

第二の特徴は、矩形と線分を組み合わせることで、それらの長さの比が図形として伝わる点である。なかでも特徴的な形状のシンボルには名称がつけられ、相場の勢いを示すシグナルとして利用されている。

例えば図2において、上ヒゲ陽線は、該当する期間中で一時的に大きな上げがあったものの、最終的には押し戻されたことを示している。下ヒゲ陽線はこの逆であり、大陽線は当該期間を通じてほぼ一本調子に上昇したことを示す。また、同時線は売買勢力が拮抗しているさまを示す。ローソク足表現に慣れると、シンボルの形を見

[†]日本電信電話(株) 未来ねっと研究所

[†]日本電信電話(株) コミュニケーション科学基礎研究所

[§]早稲田大学 理工学部

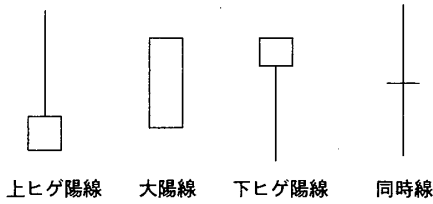


図 2: 特徴的なローソク足シンボルの例

るだけで当該期間中の市場の動きを把握できるようになる。このような図形的な理解は、時系列を折れ線やバーにより単純にグラフ化するだけでは得られない。

3. TCP トラフィック表示へのマッピング

ローソク足チャートは相場以外の時系列データ表示にも応用できる。例えば回線使用率や特定の二点間におけるパケット往復時間 (RTT) の表示に応用すると、個々の測定期間におけるピーク値と平均値の変動を一つのシンボルで表現でき、第一の特徴であるコンパクト性を活かせる。

本論文では、これに加え、第二の特徴である図形的な理解を TCP の挙動把握に応用するためのマッピングを提案する。TCP の転送状況をローソク足のシンボルを用いて要約表示することにより、シンボル形状に基づく挙動理解が可能になる。

TCP の挙動においては、送信側のシーケンス番号 (SEQ 番号) や受信側から返される ACK 番号の推移が本質的に重要である。例えば、SEQ 番号と ACK 番号の差は ACK を待たずに先送りされたデータ量を示し、これをモニタすることで送信側の輻輳ウィンドウの状態を予測できる。また、受信側から広報されているウィンドウサイズと、この先送りされたデータ量の相関を見やすく提示することにより、スループットの低下が受信側の性能に起因しているのか、あるいは途中経路上の輻輳に起因しているのか、判断できる。そこで本論文では、これらの SEQ 番号、ACK 番号、受信ウィンドウサイズといったパラメータに着目したマッピング手法を提案する。

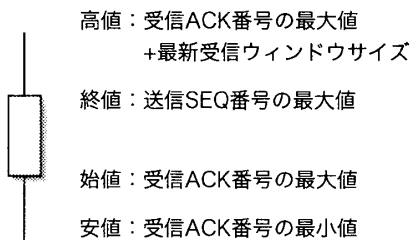


図 3: シンボルと TCP パラメータのマッピング

図 3 に、本論文で提案するマッピングを示す。あるタイムスロット (ピンサイズ) において、受信した ACK 番号の最小値を安値に、最大値を始値にマップする。また、受信した ACK 番号の最大値に広告された受信側ウィンドウサイズを加え、これを高値とする。さらに、このタイムスロットで送信したシーケンス番号の最大値 (ヘッ

ダに含まれる値にデータ長を加えたもの) を終値とする。このマッピングにより、シンボルの各部分に次に示す意味を与える。

上ヒゲ 広告された受信側ウィンドウのうち未使用の領域の大きさ。ウィンドウサイズの余裕を示す。

本体 ACK 待ちとなっている送信済データ量の大きさ。送信側の輻輳ウィンドウ (cwnd) のサイズを反映する。

下ヒゲ 受信した ACK 番号の伸び。表示しているタイムスロットにおけるスループットを示す。

図 4 に、提案するマッピングによるローソク足チャートの一例を示す。RTT 100ms、帯域 6Mbps の回線をエミュレーションしたリンク上でファイル転送を行い、始めの 5 秒間を、200ms のタイムスロットで表示した。パケットダンプファイルに基づいて描画しており、この区間でパケットの欠落や再送は起こっていない。

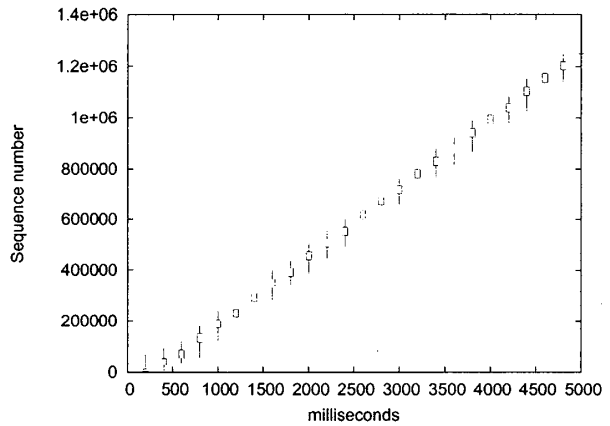


図 4: シーケンス番号表示

図 4 は TCP 転送の典型例を示している。接続の確立後から ACK が順調に返り、シンボルがほぼ時間に比例する直線上に表示されている。これより、一定のスループットが出ていることがわかる。この表示形式をシーケンス番号表示と呼ぶ。

図 5 は、シーケンス番号表示の各シンボルを直前のシンボルの安値でオフセットしたものである。即ち、直前のタイムスロットで受信した最小 ACK 番号からの差分を表示している。データは図 4 と同じであり、ピンサイズも同じ 200ms である。シーケンス番号表示では転送が進捗するに従い、グラフのスケールとの関係でシンボルが小さくなるため、個々のシンボルの形状を把握するためにはグラフを拡大する必要がある。差分を表示すると、拡大せずにシンボル自身を見やすく表示でき、シンボルの絶対位置 (x 軸からの距離) でスループットを表せる。この表示形式を差分表示と呼ぶ。図 5 をみると、接続が確立した直後、200ms、400ms、600ms と順を追ってシンボル本体が大きくなっている。これにより、スロースタートアルゴリズムの動作が見て取れる。

表示に用いるピンサイズは任意であるが、TCP のタイムアウトに比して大きすぎる値を用いるとシンボルの

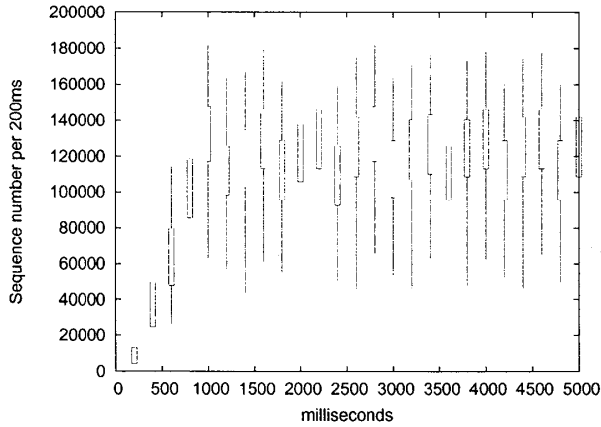


図 5: 差分表示

形状変化が小さくなるため、TCP 挙動の把握が難しくなる。また、小さすぎる値を用いると上下のヒゲや本体の長さが小さくなったり、シンボルが描画されないタイムスロットが現れる。我々は [1] における TCP の再転送タイムアウトの推奨値が RTT の 2 倍であることから、ピンサイズを表示フローの平均 RTT の 2 倍に設定した。例えば平均 RTT が 100ms ならば、ピンサイズを 200ms に設定する。これにより、特徴的なシンボルを見やすく描画できる。

4. シンボルに基づく挙動把握

本論文で提案するマッピングによれば、TCP の挙動を通じて、表 1 に示すような特徴的なシンボルが現れる。これらの特徴的なシンボルが実際にどのように現れるか、例を二つあげる。

表 1: シンボルと TCP 挙動

	上ヒゲ陽線: ACK の返りがなく、ドロップや再送が起こった可能性がある。スロースタートの開始時にも良く見られる。
	大陽線: ACK が返らず、ウィンドウを使いきっている。
	下ヒゲ陽線: ACK は順調に返ってきているが、ウィンドウを使いきっている。
	同時線: ACK は返っているが、新たなセグメントを送り出せない。又は、ACK 待ちセグメントが観測されていない。

図 6 は、IEEE802.11b 無線 LAN リンクを介して行われたファイル転送の初めの 5 秒間をローソク足チャートで示した図である。ピンサイズは 200ms である。電波状

況がそれほど良くないが、リンクの最大速度は 11Mbps で確立している。比較のため、従来手法 [3] による図を示した (図 7)。

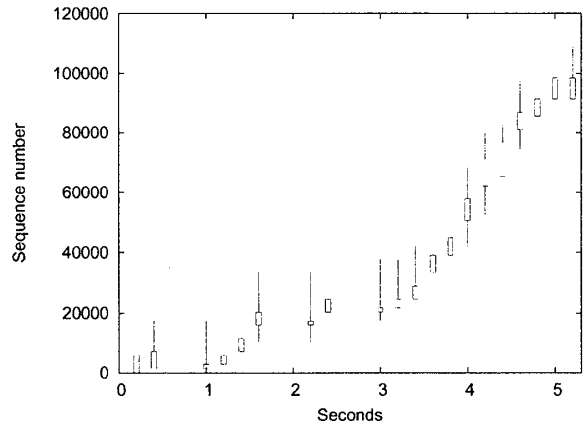


図 6: パケットドロップ/再送の例

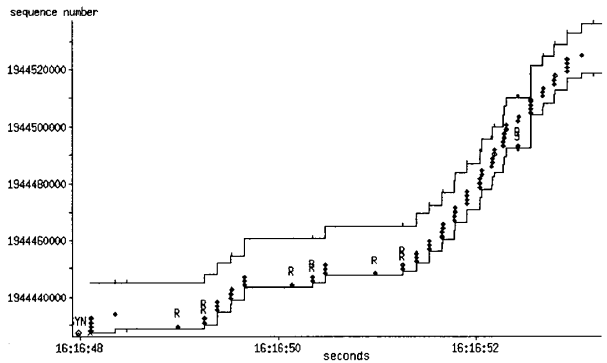


図 7: 従来手法による表示

図 6 には上ヒゲ陽線がいくつも見られ、ACK の返りが悪くドロップや再送の発生を示している。シンボルが抜けている箇所は、該当するタイムスロットでパケットが観測されなかったことを示す。図 7 に示す従来手法では再送が小さいアルファベット (R 文字) で表示され、数パケットずつ再送されていることがわかる。シンボルを用いた図では、いつ、どれくらい再送が起こったのかという詳細なトレースを得ることは出来ない。しかし図 6 によれば、転送が順調かどうかを図形的に理解できる。これは十分な要約となっている。また、ファイル転送の全体を表示するために必要なデータファイルサイズは 8905 バイトであり、図 7 のデータファイルサイズ (1.14MB) の 0.8% に過ぎない。

図 8 は、図 6 を差分表示した図である。シンボルが大きくなり、再送の後に輻輳ウィンドウが開いていく状況がよく理解できる。また、ドロップにともないスループロットがゼロに落ちる (1 秒、2.2 秒、3 秒時点) ことがわかる。

図 9 は、帯域 6Mbps、RTT 100ms のリンク (遅延帯域積 75KB) を介してファイル転送を行う際、ウィンド

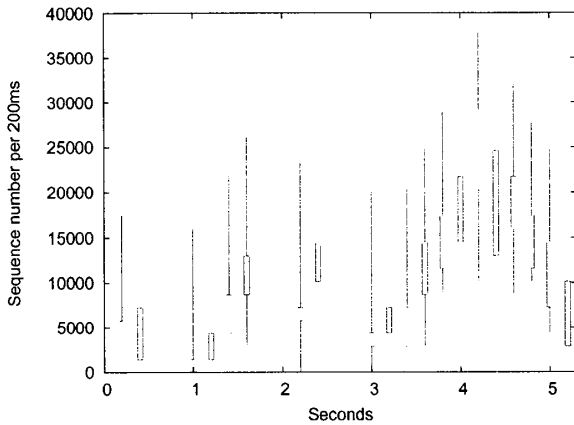


図 8: 差分表示

ウサイズを 32KB に設定した場合の挙動を示した図である。転送の始めの 10 秒間を、ピンサイズ 200ms の差分表示により描画した。下ヒゲ陽線が多く見られ、ウィンドウを使いきっている状態であることがわかる。スループットはおおよそ 2Mbps しか出ていない。比較のため、同じデータの同じ部分を従来手法により表示したものを図 10 に示す。図 10 からは、転送が順調に行われていることがわかるものの、ウィンドウサイズが不足しているかどうかはわからない。従来手法では、さらに表示を拡大し、パケットレベルで詳細にトレースする必要がある。

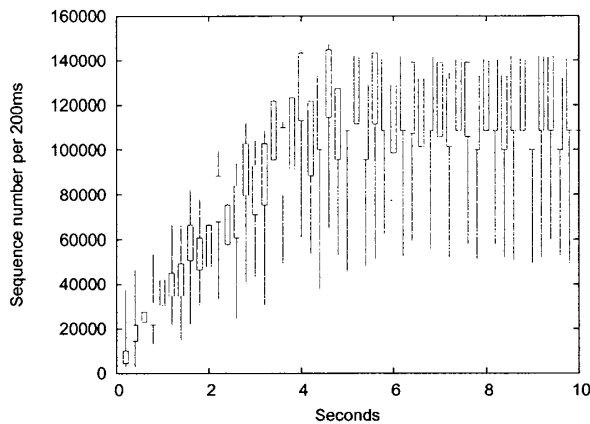


図 9: ウィンドウサイズ不足の例

なお、表 1 のシンボルのうち太陽線と同時線は、通常の転送ではあまり見られない。詳細は本論文では触れないが、太陽線は ACK パケットの戻り経路が急に変更になったり、輻輳により ACK パケットがまとまって失われたりした場合に現れる。また同時線は TCP RST(リセット)により送り側プロセスがアボートした場合や、高速な回線と高速なノードの組合せの際に ACK の戻りが極めて速い場合に現れる。このような特徴的な事象が、対応するシンボルから容易に発見できる点が本提案の重要な特徴である。

以上の例から、ローソク足チャートを用いて TCP の

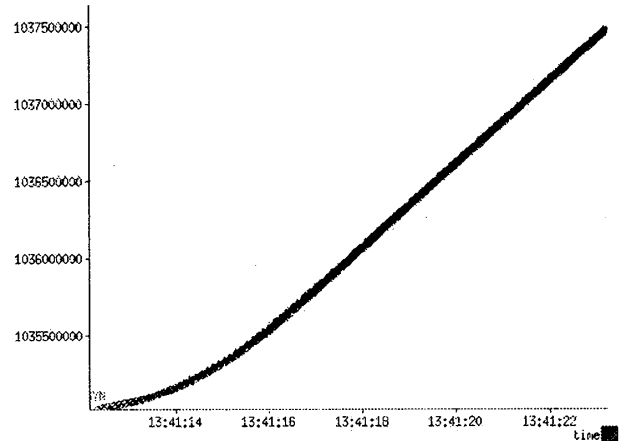


図 10: 従来手法による表示

挙動をシンボル表示し、ドロップの有無やウィンドウサイズの評価、スループットなどを図形的に把握できることがわかる。従来、TCP の挙動はパケットレベルでトレースしなければ理解しにくいものであったが、本論文で提案するマッピングを施すことで、より容易に把握できる要約表現が得られる。

5. まとめ

コンパクトなシンボル表示法であるローソク足チャートを用いて、TCP の挙動を図形的に理解可能な要約表示法を提案し、シンボルと TCP の挙動の関係について述べた。従来手法のようにパケット毎に挙動をトレースすることなく、再送状況やスループット、受信側ウィンドウサイズや送信側輻輳ウィンドウの推移を表現できる。描画に必要なデータが少なく、シンボルもシンプルであるため、携帯端末等の低解像度表示にも適している。

参考文献

- [1] J. Postel, Transmission Control Protocol. IETF RFC793, STD0007. Sep 1981.
- [2] W. R. Stevens, TCP/IP Illustrated Volume 1, The Protocols, Addison-Wesley, 1993.
- [3] S. Ostermann, TCPtrace, <http://www.tcptrace.org/>
- [4] 西田佳史, “TCP トラフィック解析ツールの開発”, 第 3 回インターネットテクノロジーワークショップ (WIT2000), Sep 2000.
- [5] 林 康史, “はじめてのテクニカル分析”, 日本経済新聞社, 東京, 1997.
- [6] S. Nison, “The Candlestick Course”, WILEY, 2003.