

高安定PCによるネットワーク計測

町澤 朗彦*

北口 善明†

2002年 11月 14日

1 まえがき

コンピュータネットワークの高速化に伴い、ネットワーク計測に用いるタイムスタンプの高精度化が求められている [1]。例えば、MTU=1500 bytes の GbE ネットワークでは、パケットの最大滞在時間は 12 マイクロ秒しかない。このようなネットワークの状況を探るには、マイクロ秒以下の精度が必要である。しかし、通常用いられているコンピュータは、温度補償されていない水晶により駆動されているため、その安定度は 10 のマイナス 6 乗程度であり、毎秒 1 マイクロ秒のずれを生じることもあり、高速ネットワークの計測には不十分であり、補正手法が提案されているが [2], [3], [4]、マイクロ秒以下の精度での補正は困難である。また、GPS による時刻情報を用いたハードウェアタイムスタンプも開発が進められているが、多くの計測ツールが PC 上で開発されているように、様々なアルゴリズムを試すためには、PC ベースのシステムの柔軟性は魅力的である。

本稿では、PC に搭載されている水晶を高安定な周波数源に置き換えた高安定 PC を用いて、ネットワークを計測することにより、従来の PC では見ることのできなかった現象を解析する可能性について検討した。計測には、セシウム原子時計を周波数源とし、Pentium III 1 GHz のシステムを用い、タイムスタンプの精度は 300 ナノ秒である。その結果、GbE 回線の利用度の計測およびルータ負荷を推定することができた。

2 高安定 PC

PC には、いくつかの水晶が搭載されており、多くは 3 つだが、中には 1 つしか載っていないものもある。それらのうち、14.318MHz の水晶はクロックジェネレータを介して、CPU や PCI バスなど PC の主要回路の

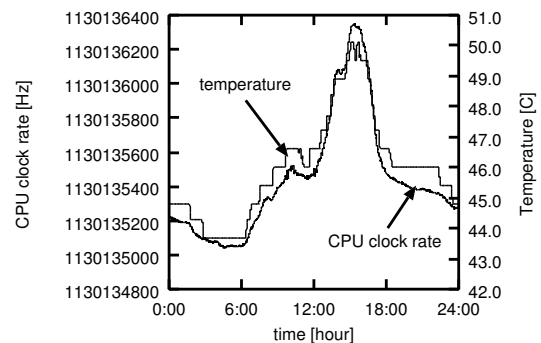


図 1: Relations between CPU clock rate and temperature of a mother board

動作クロックの元となっている。一方、32.378kHz の水晶は、リアルタイムクロックに使われ、1.193MHz の水晶は、タイマ割込みなどに利用されている。しかし、これらの水晶は温度補償されていない SPXO (Simple Packaged Crystal Oscillator) が使われており、その周波数は気温や PC 内部の温度の影響を強く受け、安定度は数十 ppm しかない。

マザーボードの温度と CPU 動作周波数を同時に測定すると、図 1 のように、温度変化に対応して、動作周波数が大きく変動していることが分かる。

我々は、PC 外部から、10MHz の信号を入力し、14.318MHz および 1.19318MHz を出力する周波数変換器を製作した [5]。本変換器の出力を PC のマザーボードの水晶と置き換えることにより、外部に接続した周波数源の安定度で動作する PC を構成することができる。

外部に、SPXO、オープン型水晶 (Oven controlled XO, OCXO)、GPS 位相同期 OCXO (OCXO/GPS)、セシウム原子時計から得られる 10MHz を接続した場合の、短期および長期安定度は図 2 である [6]。

周波数源の安定度とコストの比較を表 1 に示す。価格 × 安定度をコストパフォーマンスとすると、水晶グループと原子時計グループに分かれるが、グループ内ではコストパフォーマンスは一定であり、要求す

*通信総合研究所, 東京都, machi@crl.go.jp

†通信・放送機構, 東京都, kita@genesis.tao.go.jp

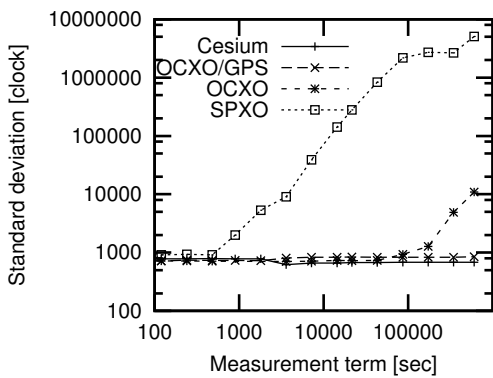


図 2: Short- and long-term stability

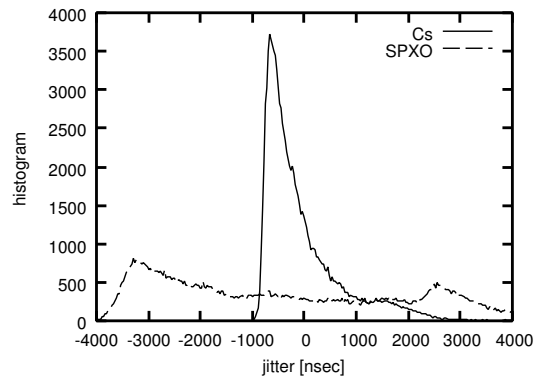


図 3: Histogram of jitters for Cs PC and SPXO PC

表 1: Stability across cost

Oscillator	cost (YEN)	stability	cost per performance
SPXO	10^2	10^{-6}	10^{-4}
TCXO	10^3	10^{-7}	10^{-4}
OCXO	10^4	10^{-8}	10^{-4}
OCXO/GPS	10^5	10^{-11}	10^{-6}
Rb	10^5	10^{-11}	10^{-6}
Cs	10^6	10^{-12}	10^{-6}

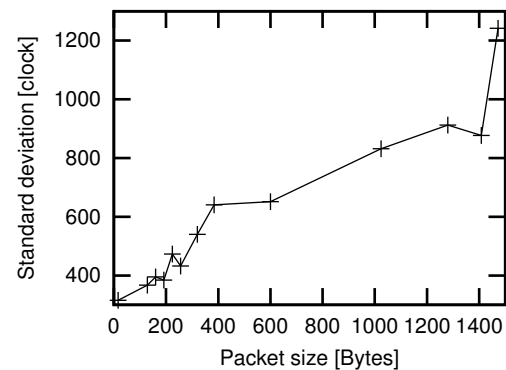


図 4: Histogram of jitters for Cs PC and SPXO PC

る安定度と費用により、システムを構成することができる。

3 高安定 PC vs. SPXO 駆動 PC

通常の SPXO により駆動されている PC では、図 1 に見られるように、常に動作周波数が変動しているため、PC 内部の時刻情報も変動することになる。このような SPXO 駆動 PC を用いて、ネットワークの遅延を計測すると、図 3 破線のように、ジッタは広い範囲に広がってしまい、特性を正確に測定することができない。なお、図 3 は、2 台の PC をクロスケーブルにより直結して測定しており、ルータなどのネットワーク接続機器の影響を取り除いている。

一方、セシウム原子時計により駆動された PC では、図 3 実線のように、ジッタは小さくなっている。この場合、パケットがポアソン到着で、コンピュータの処理の待ち時間が指数分布となることを反映していると思われる。

4 高安定 PC vs ハードウェアタイムスタンプ

ネットワークの高速化に伴い、従来の PC によるタイムスタンプの精度では不十分なため、専用ハードウェアによるタイムスタンプが開発されている。その精度の多くは、GPS の精度に依存しており、約 100 nsec である。

一方、高安定 PC によるタイムスタンプの解像度は、用いるパケットサイズにより変化するが、図 4 に示すように、小パケットの場合、標準偏差で 300 nsec 程度である。¹精度は PC よりもハードウェアタイムスタンプの方が優れているが、PC の方が柔軟性に優れており、ケースバイケースで使い分ける必要があると思われる。

¹この値は、Pentium III 1GHz の PC でマルチタスク OS 上のユーザプログラムで得た値であり、更に改善可能である。

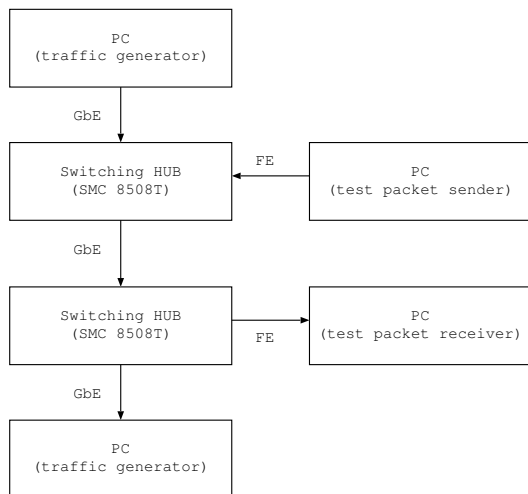


図 5: Line usage estimation

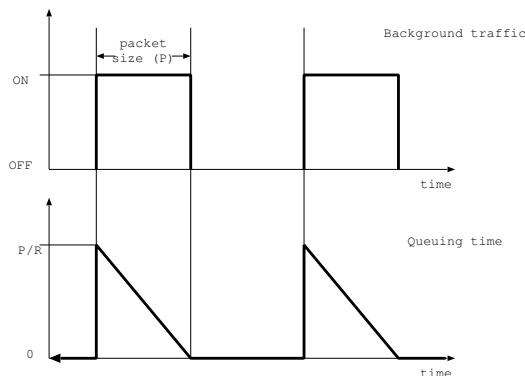


図 6: Queuing time

5 目盛 300ns のモノサシで見えるもの

5.1 回線利用率

回線にパケットを流す場合、キューが溜っていないならば、すぐに回線に乗ることができるが、溜っている場合、空くまで待つことになる。図 5 の構成で、回線利用率の推定を試みる。簡単のため、バックグラウンドトラフィックは同一サイズのパケットのみとする(図 6)。この時、プローブパケットに待ち時間が発生する場合、その待ち時間は $\text{キューパケットサイズ} \div \text{回線速度}$ までは一定確率であり、待ち時間無しの場合の確率は回線の空確率に等しくなる。

GbE 回線において、測定した結果を図 7 に示す。図 7 では、バックグラウンドトラフィックのパケットサイズをパラメータとして、ジッタ分布を表している。

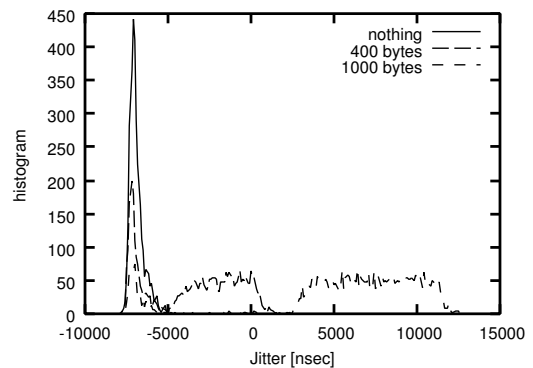


図 7: Histogram of jitters for queuing time

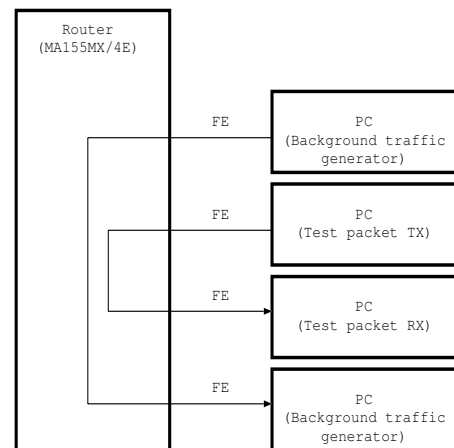


図 8: Load average estimation of a router

キューイングされた場合とされなかった場合が、明確に分かれている。また、本計測データより、回線利用率を推定したところ、実測値にほぼ一致した。

5.2 ルータ負荷

次に、ルータの負荷を計測する。ここでは、ルータの 2 つのポートにトラフィックを流し負荷をかけ、それらとは別のポートを通過する経路から、そのルータの負荷を推定する(図 8)。

ルータとして、NEC MA155MX/4E を用いた。負荷を 20%, 60%, 90% に変えて、ジッタの分布を調べたところ、分布に変化が現れた(図 9)。分布の形状は、アーラン分布に近く、負荷が高まるにつれ、分散が大きくなっている。したがって、ジッタ分布からルータの負荷を推定できる可能性があると思われる。

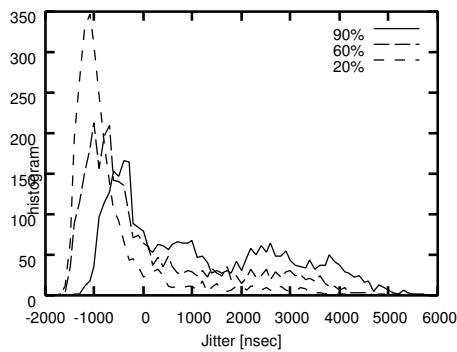


図 9: Histogram of jitters for router load average

6 むすび

本稿では、高安定 PC を用いたネットワーク計測の可能性について検討した。高速ネットワークでは、高精度なタイムスタンプが必要であり、高安定 PC が有効であると思われる。今回、予備実験として、回線利用度とルータ負荷について、非常にシンプルなネットワーク上で、大まかな測定を行なったところ、良好な結果を得ることができた。

今後、より厳密な測定により性能を評価するとともに、実トラフィックの流れる大規模なネットワークの計測を行いたい。また、更なる精度向上を図る予定である。

参考文献

- [1] J. Micheel, S. Donnelly, and I. Graham : "Precision Timestamping Network Packets. " in Proceedings of the ACM SIGCOMM Internet Measurement Workshop 2001, San Francisco, pp.273-277, Nov. 2001.
- [2] V. Paxson : "On Calibrating Measurements of Packet Transit Times." IN Proceedings of the ACM SIGMETRICS, Madison, pp.11-21, June 1998
- [3] S.B. Moon, P. Skelly, and D. Towsley : Estimation and Removal of Clock Skew from Network Delay Measurement. In Proceedings of the IEEE INFOCOM, pp.227-234, March 1999.
- [4] L. Zhang, Z. Liu, C. Xia : "Clock Synchronization Algorithms for Network Measurements." in Proceedings of the IEEE INFOCOM, New York, June 2002.
- [5] H. Okazawa, Y. Kitaguchi, et al. : "Advanced NTP Synchronization Device for Internet Monitoring Tools," in Proceedings of INET2001, Stockholm, June 2001
- [6] 町澤、北口、岡沢、中川: "ネットワークを用いた CPU 動作周波数期間安定度の精密評価", DI-COMO2002, July 2002