

M-24 多地点パケット監視システム用時刻同期方式の検討 A Study on Time Synchronization of Multi-point Packet Monitoring System

田上 敦士
Atsushi Tagami

長谷川 輝之
Teruyuki Hasegawa

阿野 茂浩
Shigehiro Ano

長谷川 亨
Toru Hasegawa

1. はじめに

近年、IP ネットワークを構成する回線は多様化しており、衛星、無線LAN、第3世代携帯電話などの無線回線の利用も拡大している。これらは有線回線と比較して、データリンク層の処理によりパケットに大きな遅延変動が発生する。また、VoIP (Voice over IP) など遅延変動の影響を受けやすいアプリケーションも増加傾向にある。この為、新たな無線回線やサービスの導入にあたっては、テストベッド上の複数の地点においてパケットを収集し、ネットワークでのパケットの流れを詳細に解析する必要がある。また、導入後に障害が発生した場合にも原因究明の為に同様の試験を行なう必要がある。

筆者らは、このような試験を行なう為の多地点パケット監視システムの検討を行っている。本システムでは、各地点でのパケット測定装置の時刻を同期させる必要がある。本稿では、特殊な装置を使用せずに、複数の汎用 PC で収集したパケットの時刻を同期させる方式について述べる。

2. 多地点パケット監視システム

多地点パケット監視システムの構成を図1に示す。測定装置は対象となる回線や機器の両端に配置され、各地点を通過したパケットに通過時刻を付加しつつディスクに30分~1時間程度収集する。解析装置は測定地点のパケットを集計し、各回線・機器におけるパケット損失や遅延時間・遅延変動を解析し、問題となる箇所の特定、ネットワーク品質の評価などを行なう。測定装置、解析装置には汎用 PC を使用する。

ここで、測定装置がパケットに付加する時刻は同期している必要がある。例えば無線回線では数10ms単位での遅延変動が発生する。この変動を測定する為には、すべての測定装置はmsの精度で同期している必要がある。

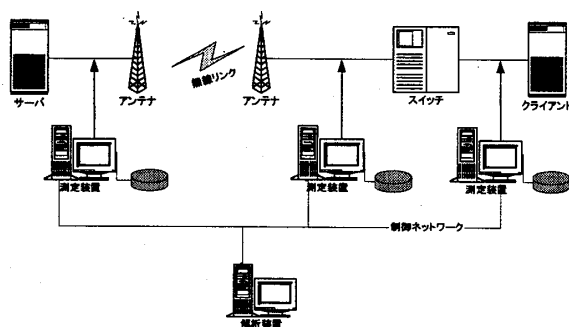


図1: 多地点パケット監視システム

3. 時刻同期方式

3.1. 設計方針

PCの時刻同期手法としてはGPSを用いる手法が知られている[1]。しかしながら、試験対象が常にGPSを使用できる場所にあるとは限らない。また、時刻誤差の収束に数ヶ月要するという問題もある。本システムにおいては、各測定装置間で時刻が同期していればよく、絶対時刻と同期する必要はない。そこで本方式では測定装置の1つを基準測定装置とし、他の装置を基準測定装置と同期させる事とした。

PCの時刻誤差は、RTC (Real Time Clock module) の個体差や温度条件、電源電圧などに影響される長期的誤差と、ノイズ成分である短期的誤差に分けられる。長期的誤差は本システムが想定する30分から1時間程度の動作では変動せず、その間は直線近似できると仮定する。この場合図2に示すように、測定された時刻と絶対時刻との傾きの違いが長期的誤差、各測定点における近似直線との差が短期的誤差となる。

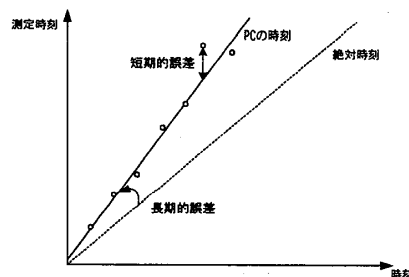


図2: 長期的誤差と短期的誤差

複数のPCを同期する手法としてはNTP[2]が一般的である。しかしNTPは時刻誤差を一定の範囲内に抑える事を目的としており、長期的誤差による累積誤差を不連続に修正する。これに対して本システムでは、ms精度での時刻同期が必要であり不連続な修正は適当でない。そこで、時間軸上の2点以上において測定装置間の時刻差を求め、その傾きから測定装置間の時刻誤差を求める方式を採用する。測定装置間の時刻差の求め方として以下の2つを想定する。

(1) ブロードキャストパケットの受信時刻

同一LAN内に測定装置がある場合、ブロードキャストパケットをあるホストより送信し、そのパケットの受信時刻を基準として装置間の時刻差を求める

(2) 1PPS (Plus Per Second)の受信時刻

測定装置が遠距離にある場合、ブロードキャストパケットの到着時間を同時刻とみなせない為、GPSの1PPS信号を基準として装置間の時刻差を求める。

3.2. RTCの精度

設計方針における仮定を検証する為、tcpdumpのタイムスタンプの短期的誤差と長期的誤差を測定した。実験環境は試験装置 (IXIA 400) と2台の測定装置からなる。試験装置は、基準時刻として1秒に1回40byteのブロードキャストパケ

ットを 30 分間連続して測定装置に送信する。測定装置は Linux (kernel 2.4.18) の動作する PC であり, tcpdump によりキャプチャしたパケットにタイムスタンプを付加する。各装置間は Shard Hub で接続されブロードキャストパケットは, 2 台の測定装置に同時に到着する。試験装置の持つクロックの精度は 1ppm であり, 1 秒のずれの最大値は 1 μ s である[3]。各測定装置で受信したパケット到着時刻と基準時刻との差を図 3 に, パケット間隔を計測した結果を表 1 に示す。

図 3, 表 1 より測定装置 1 において時刻誤差は直線近似可能である事が分かる。1 秒のパケット間隔に対しての短期的誤差は 20 μ s の範囲内に収まっており, 目標とする ms 精度に対して無視できる範囲である。一方, 図 3 より測定装置 2 は 445 秒の点で, 傾きが不連続になっており長期的誤差に変動が生じている。しかしながら, 1 秒後から 455 秒後と, その後を別にして見るとその範囲では直線近似が可能である事が分かる。

以上の結果より, 数十分程度であれば PC の長期的誤差は一定であり, 短期的誤差は小さいため, 直線近似による誤差補正が可能であると言える。

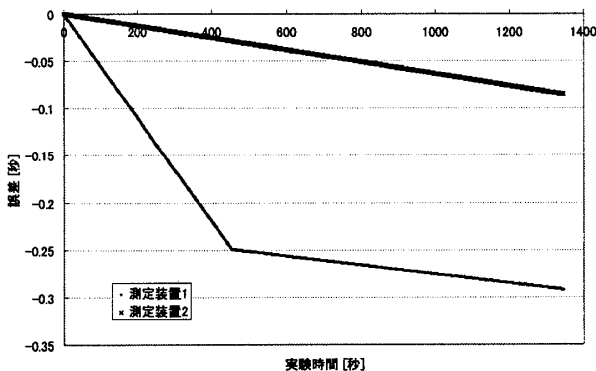


図 3: 受信パケット間隔

表 1 受信パケット間隔の平均/最大/最小/分散

	平均[s]	最大[s]	最小[s]	分散(σ^2)
測定装置 1	0.99994	0.99995	0.99993	1.24×10^{-6}
測定装置 2	0.99978	0.99996	0.99944	2.36×10^{-4}
1-455 秒	0.99945	0.99948	0.99944	1.91×10^{-6}
456 秒以降	0.99995	0.99996	0.99994	1.57×10^{-6}

3.3 提案方式

n 台の測定装置 $\{x | x=1 \dots n\}$ のうち, 測定装置 1 を基準測定装置とし, 以下の手順に従ってパケットの測定を行なう。

(1) 解析装置から測定装置に対して制御ネットワークを用いてブロードキャストパケット P_s を送信する。測定装置 i が P_s を受信した時刻を $t_s^{(i)}$ とする。

(2) 実験ネットワークの測定を開始する。各測定装置は, 収集したパケットに対して自分自身のタイムを用いて時刻を付加する。

(3) 解析装置から測定装置に対して, ブロードキャストパケット P_e を送信する。測定装置 i が P_e を受信した時刻を $t_e^{(i)}$ とする。

(4) 基準測定装置での P_s, P_e の受信時刻 $t_s (= t_s^{(1)})$, $t_e (= t_e^{(1)})$ より, 測定装置 i におけるパケット受信時刻 $t^{(i)}$ を以下の式を用いて補正する。

$$t = a_i t^{(i)} + b_i$$

但し

$$a_i = \frac{t_s - t_e}{t_s^{(i)} - t_e^{(i)}}$$

$$b_i = \frac{t_e t_s^{(i)} - t_s t_e^{(i)}}{t_s^{(i)} - t_e^{(i)}}$$

本方式では, 測定装置間の短期的誤差を無視し長期的誤差のみを直線近似している。測定装置 i の時間軸 t_i を横軸に, 基準測定装置の時間軸 t を縦軸にとると,

$$t = a_i t_i + b_i$$

が成り立つ。これより, 実験の開始時と終了時に基準となるブロードキャストパケットを送信し, その 2 点より a_i, b_i を求め補正している。

3.4 評価

提案方式の評価を行なうため, 3.2 節の実験結果に対して補正を行なった。具体的には 500 秒から 1000 秒の間のパケットを使用し, P_s, P_e として 500 秒, 1000 秒のパケットを使用し a_i, b_i を求めた。測定装置 1, 2 での時刻差を図 4 に示す。これより蓄積された測定装置間の時刻誤差が, 正しく補正されている事が分かる。補正後は誤差が 16.8 μ s の範囲に収まっており, ms 精度での時刻同期が可能である。

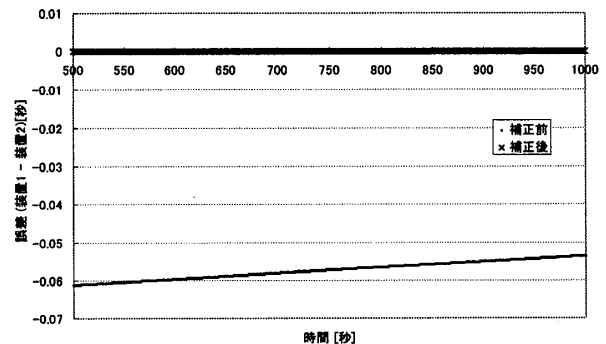


図 4: 2 測定点での測定時刻の差

4. おわりに

本稿では多地点パケット監視システムにおける時刻同期方式について述べた。本方式では特別な装置を用いる事なく, 汎用 PC を用いて ms 精度で時刻同期を可能とする。最後に日頃ご指導頂く KDDI 研究所浅見所長, 及び本研究に関して助言を頂いた新保研究員に感謝する。

参考文献

- [1] "Time Synchronization Server," <http://www.eecis.edu/~ntp/>.
- [2] D.L.Mills. "Internet time synchronisation: the network time protocol," IEEE Trans. Communications, 39(10), 1482-1493, October 1991.
- [3] "Timesamp Synchronization Between Distributed Chassis," <http://www.ixiacom.com/pdfs/whitepapers/TimestampSynchronizationPaper.pdf>.