

産業用モニタリングシステムにおける障害検知手法の提案

令和 2 年 7 月 8 日

山本 航平

進捗報告

- 6 月 23 日（火）から 15 秒間隔での継続的な計測を行っています
- 7 月 7 日（火）から 10 秒間隔での継続的な計測を開始しました
- LTE の接続切れのプロセスを調べました
- LTE コアネットワーク内のタイマーについて調べました

1 突発的に発生する大きな応答遅延の単発性の検証

ping による応答遅延の計測を 10 ミリ秒間隔で計 10 回行う操作を 5 秒毎に実行した。また、計測期間は計 1 時間とした。ping コマンドの実行時刻が早いものから順に $t = 1, 2, \dots$ とし、 t を横軸に、縦軸にはそれに対応する ping 応答遅延時間 [ms] をとった結果を図 1 から図 4 に示す。この図では、縦軸に垂直な黒線で ping の実行時刻に応じた組分けをしており、組内の ping の実行間隔は 10 ミリ秒、組間の先頭の ping の実行間隔が 5 秒となるようにしている。

図より、組ごとに右下がりの傾向が見られ、応答遅延時間は最小応答遅延時間付近まで小さくなることが分かった。これは、後に送信される ping パケットが先に送られるパケットの影響でバッファ待ちすることなくなるからだと思う。バッファ待ちの要因の一つとしてモバイルコアネットワークのベアラの張り直しが考えられる。この張り直しは、前の実験機器での計測において 12 秒程度の通信の途絶により発生し、5 秒では発生しないことが確認されている。SIM や OS は異なるものの、今の実験機器においても 5 秒ではベアラの張り直しは発生しないと考えた。しかしながら、図では通信間隔が最大でも 5 秒以下であるにも関わらず、10 ミリ秒間隔の最初の計測での応答遅延が大きくなっていった。したがって、今回の実験機器では、ベアラの張り直しが 5 秒程度の通信の途絶であっても発生する、もしくは、他の要因によりバッファ待ちが発生していることが考えられる。ただ、5 秒は感覚的に短くそこまで頻繁にベアラを張り直しているとは想像できないため、後者の方が可能性が高いのではないかと推測している。

2 5 秒間隔での継続的な ping 応答遅延計測

5 秒間隔での ping による応答遅延を一日を通じて行った。横軸に時刻をとった応答遅延の結果を図 5 に示す。また、この計測は 7 月 1 日 15 時から 7 月 2 日 15 時までのものであり、縦の赤色点線は LTE 接続が切断された時点を表す。この図においても、部分的に右上がりの箇所が見て取れた。原因は現時点ではわかっていないが、5 秒という短い実行間隔であっても確認できるようだ。

3 15 秒間隔での継続的な ping 応答遅延計測

15 秒間隔での ping による応答遅延を一日を通じて行った。現時点では、6 月 23 日（火）から 7 月 6 日（月）までの計測結果が得られている。その結果を図 6 から図 8 に示す。横軸には時刻

を取っており、縦軸には ping 応答遅延 [ms] を取っている。また、縦の赤色点線は LTE 接続が切断された時点を表す。この結果から新たに、図 6(b) から図 6(c) までの 6 月 24 日（水）から 6 月 25 日（木）にかけて応答遅延のベースラインは大きく変わらないものの大きな応答遅延の発生頻度が極端に高くなる期間や、図 7(a) の 6 月 29 日（月）のように 900 ms を超えるかなり大きな応答遅延が発生する箇所が確認された。また、いずれの図においても部分的な右上がりの傾向が見られる。

なお、応答遅延の大きさやばらつきに時間帯に応じた顕著な変化は見取れなかった。

4 LTE 接続の切断について

何らかの要因でプロバイダ側から LTE 接続が切られることがある。そのときの Raspberry Pi のログ情報は

```
11:25:59 : LCP terminated by peer #プロバイダ側からの切断
11:25:59 : Modem hangup #モデムの停止
11:25:59 : Connection terminated. #コネクションの切断
11:25:59 : candy-pi-lite start_pppd.sh
#モデムの起動（SIM カードの読み込み・認証, APN の確認, IP アドレスの取得）
11:26:13 : candy-pi-lite: CANDY Pi Lite Board is initialized successfully!
```

となっており、大体 15 秒程度で再接続が完了するようだ。この再接続によって UE と eNodeB, eNodeB と S-GW, S-GW と P-GW との間のベアラが解放されるかどうかは分からないが、Raspberry Pi に電源を入れたときと同様に、candy-pi-lite start_pppd.sh を用いたモデムの起動と接続要求を行っていることから、復帰直後はベアラが張られた状態になっていると考えられる。よって、LTE 接続切れの直後の応答遅延が大きくなるわけではないと思われる。表 1 は図 6 から図 8 において赤色点線で示される LTE 接続切れが起こった時点の時刻と直前と直後のそれぞれの計測の応答遅延時間を示したものである。この表から、直後の応答遅延は図 1 (a) で見られるようなベアラ構築が必要と考えられる最初の計測で得られる 300 ms 程度と比べて十分小さく、他の多くの応答遅延が分布している 60 ms から 90 ms の範囲内であることが見て取れ、再接続後にはその直後から通常通りの応答遅延時間を取ることがわかる。また、直前の応答遅延もこの分布帯の範囲内であり、LTE 接続がプロバイダ側から切られる兆候があるようには思えなかった。また、6/25 以降は 11:25 ごろにこの接続切れが発生していた。この時刻になると接続を一度切る設定が Raspberry Pi にあるのかと思えたが 6/23 などに行っていないことからそうではないようだ。連続接続時間が 24 時間である可能性も考えたが、途中（7/3 11:24 から 7/4 11:23 までの間の 7/3 16:06 など）で LTE 接続切れが発生しても次の 11:25 ごろに 24 時間の経過を待たずに発生していることからこれも考えにくい。よって、時刻依存であることは確かとは思いますが、その設定は Raspberry Pi 側ではなくプロバイダ側が行っていると思われる。

表 1: LTE 接続切れの前後の応答遅延

LTE 接続切れの時刻	直前の応答遅延 [ms]	直後の応答遅延 [ms]
6/23 18:14	88.934	73.963
6/24 5:12	72.752	74.752
6/24 17:39	67.805	69.993
6/24 18:22	89.047	96.564
6/24 18:58	73.25	72.536
6/25 7:58	99.517	73.378
6/25 11:23	77.071	88.349
6/26 11:23	72.568	82.324
6/27 11:23	78.957	81.854
6/28 11:23	74.188	90.633
6/29 11:24	78.807	89.982
6/30 11:24	98.668	87.294
7/1 11:24	76.881	103.859
7/2 11:24	74.716	88.716
7/3 11:24	74.385	87.174
7/3 16:06	76.791	76.731
7/3 18:20	73.014	71.303
7/4 11:23	78.397	81.959
7/5 11:24	78.295	78.767
7/5 12:17	81.315	72.903
7/6 11:25	89.076	84.182
7/6 12:29	80.295	80.794

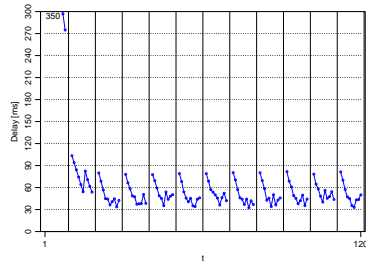
5 inactivity timer

コアネットワーク内のタイマーについて調べた。なお、産業用モニタリングシステムにおける無線端末の移動は考えにくいので、ハンドオーバーなどの端末移動に伴った処理に関するタイマーは除いている。今回私が見つけたものは inactivity timer だけです。このタイマーは、UE がある程度の時間通信を行わないと発生する、UE と eNodeB、eNodeB と S-GW との間のベアラの解放が行われるまでの時間を計るものである。このタイマーの値は各通信事業者が個別に設定することが可能であり、また、通信の混雑具合から動的に変更しているようだ [1]。ただ、このタイマーの値を計るとおよそ 120 秒程度であったという報告 [2] があり、私の実験設定においても大体その程度なのではないかと思われる。

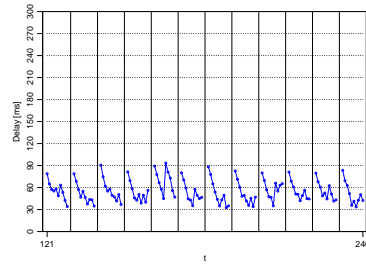
参考文献

- [1] Y. Chen and X. Lagrange, “Analysis and Improvement of mobility procedures for mobile relays in LTE networks,” 2015 IEEE 26th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)IEEE, pp.1769–1774 Aug. 2015.

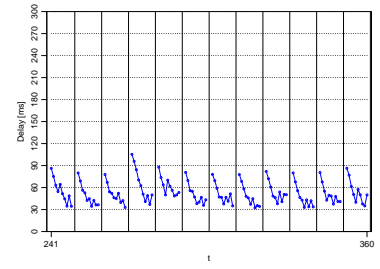
- [2] 大西健夫 and 城島貴弘 and 中島一彰 and others, “サーバブッシュにおけるモバイル端末の RRC 状態を考慮したメッセージ配信遅延抑制方式,” 研究報告マルチメディア通信と分散処理 (DPS), vol.2013, no.39, pp.1–6, Sept. 2013.



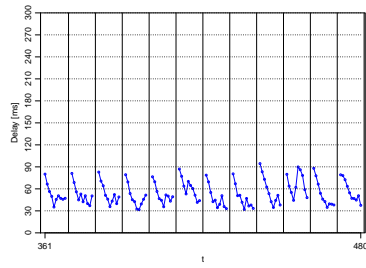
(a) 0 ~ 1 分後



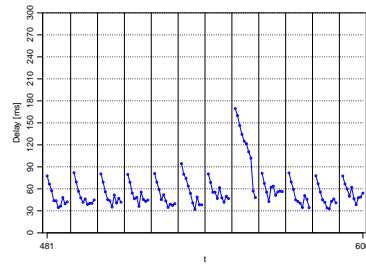
(b) 1 ~ 2 分後



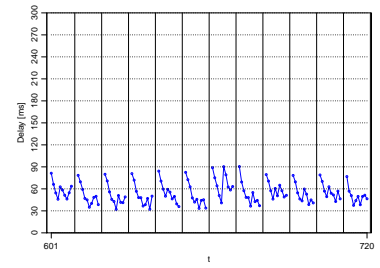
(c) 2 ~ 3 分後



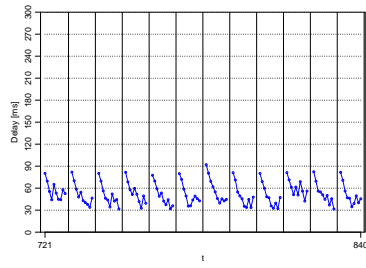
(d) 3 ~ 4 分後



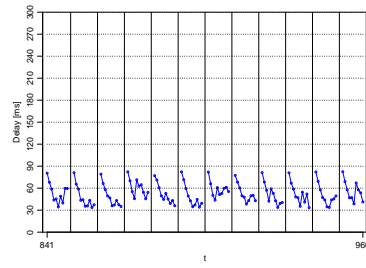
(e) 4 ~ 5 分後



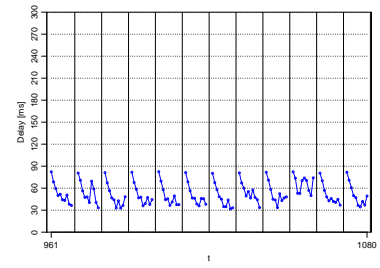
(f) 5 ~ 6 分後



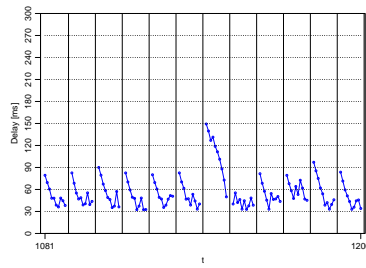
(g) 6 ~ 7 分後



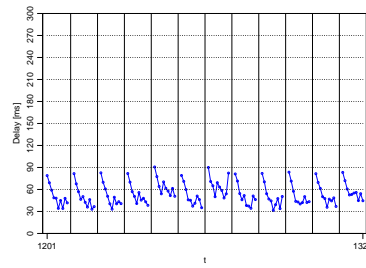
(h) 7 ~ 8 分後



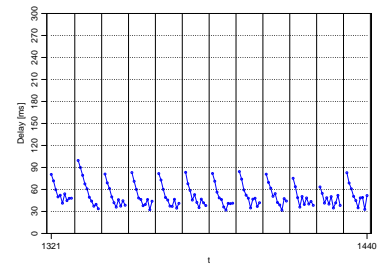
(i) 8 ~ 9 分後



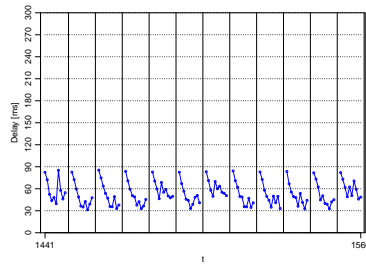
(j) 9 ~ 10 分後



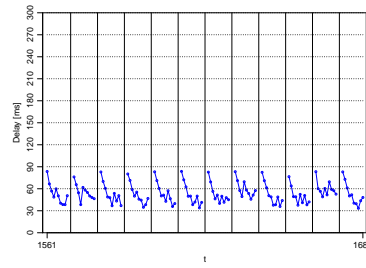
(k) 10 ~ 11 分後



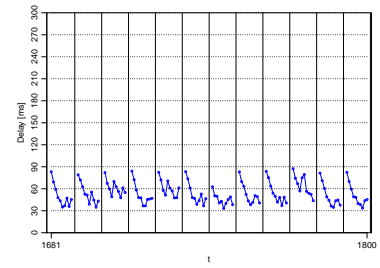
(l) 11 ~ 12 分後



(m) 12 ~ 13 分後

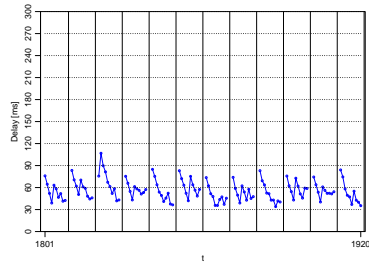


(n) 13 ~ 14 分後

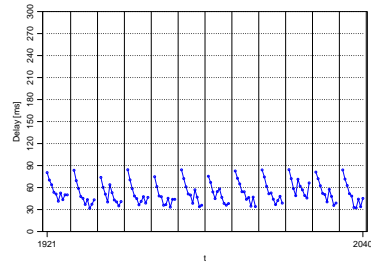


(o) 14 ~ 15 分後

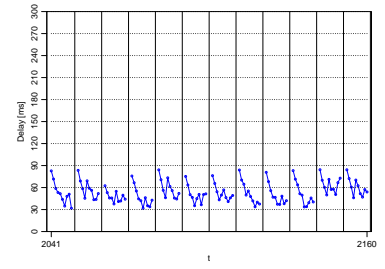
図 1: 10 ミリ秒間隔で計 10 回の ping 実行を 5 秒毎に行った計測結果 (開始から 15 分後まで)



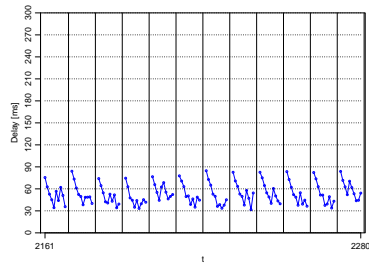
(a) 15 ～ 16 分後



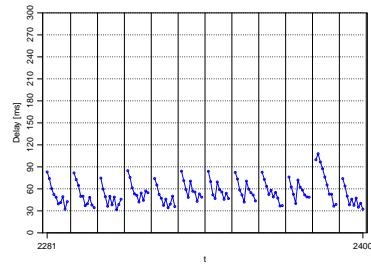
(b) 16 ～ 17 分後



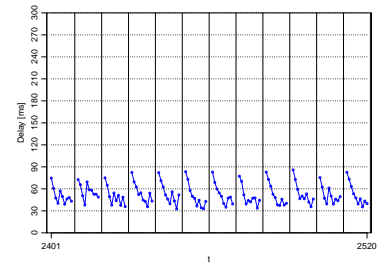
(c) 17 ～ 18 分後



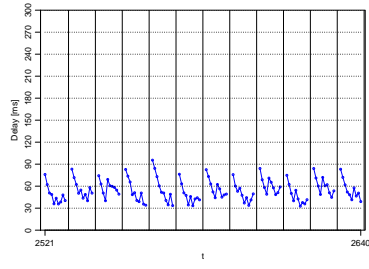
(d) 18 ～ 19 分後



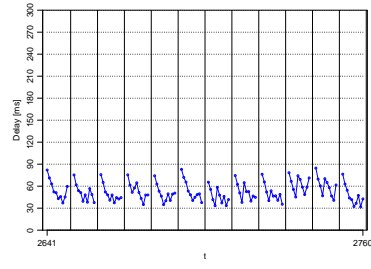
(e) 19 ～ 20 分後



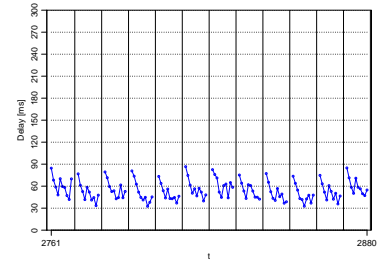
(f) 20 ～ 21 分後



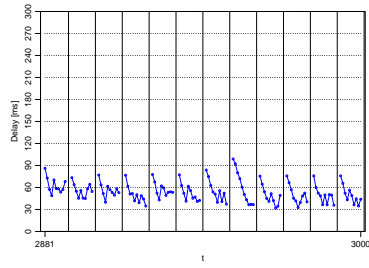
(g) 21 ～ 22 分後



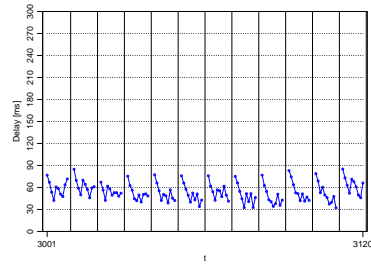
(h) 22 ～ 23 分後



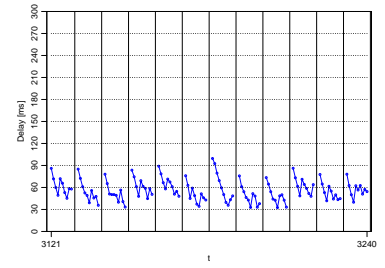
(i) 23 ～ 24 分後



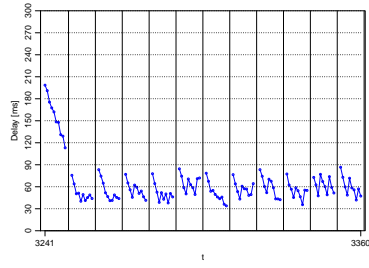
(j) 24 ～ 25 分後



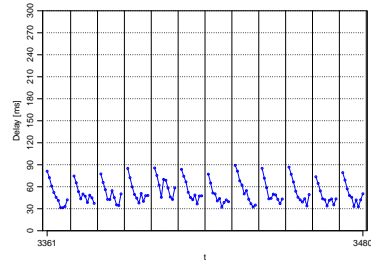
(k) 25 ～ 26 分後



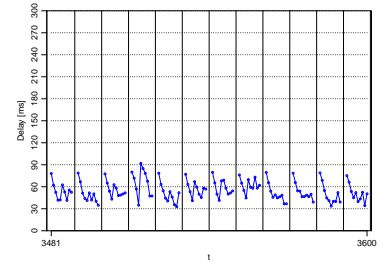
(l) 26 ～ 27 分後



(m) 27 ～ 28 分後

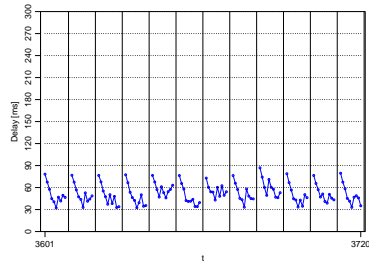


(n) 28 ～ 29 分後

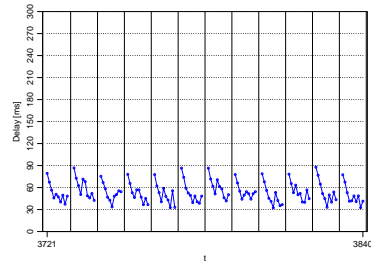


(o) 29 ～ 30 分後

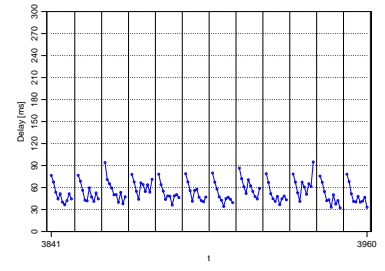
図 2: 10 ミリ秒間隔で計 10 回の ping 実行を 5 秒毎に行った計測結果 (15 分後から 30 分後まで)



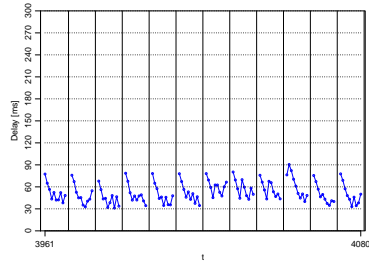
(a) 30 ~ 31 分後



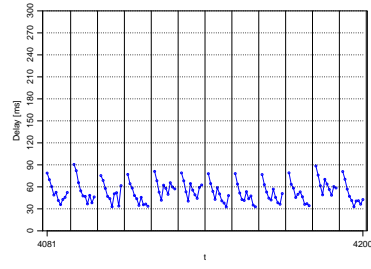
(b) 31 ~ 32 分後



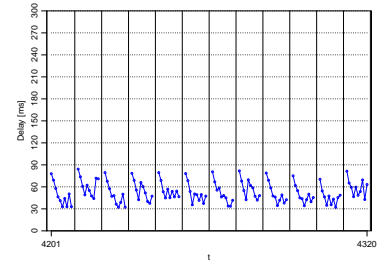
(c) 32 ~ 33 分後



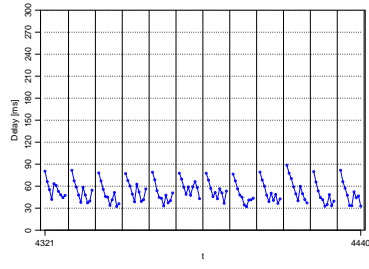
(d) 33 ~ 34 分後



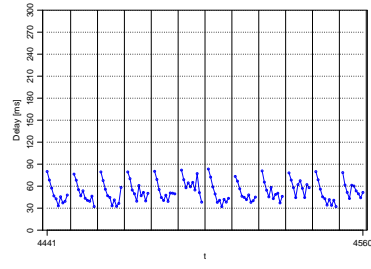
(e) 34 ~ 35 分後



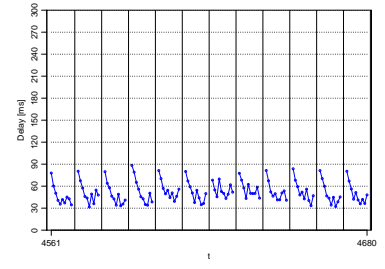
(f) 35 ~ 36 分後



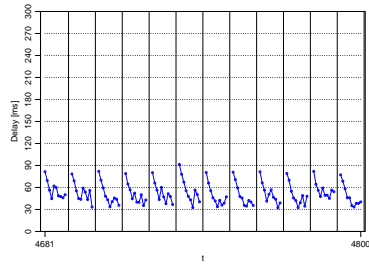
(g) 36 ~ 37 分後



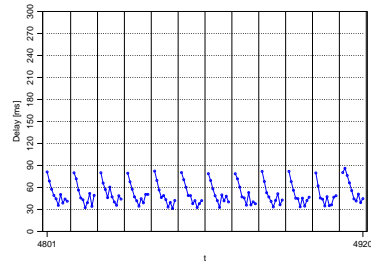
(h) 37 ~ 38 分後



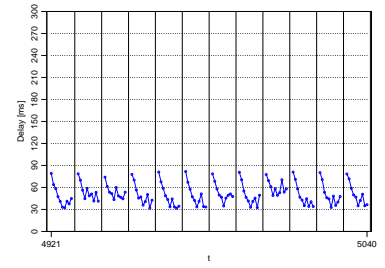
(i) 38 ~ 39 分後



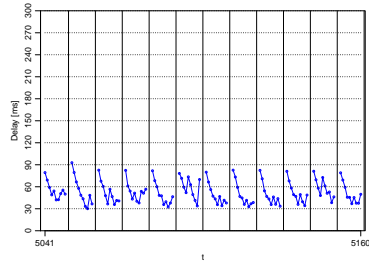
(j) 39 ~ 40 分後



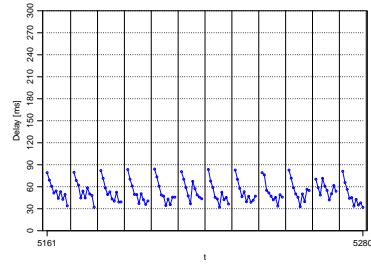
(k) 40 ~ 41 分後



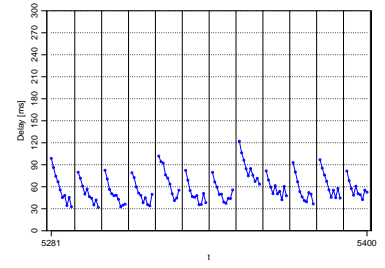
(l) 41 ~ 42 分後



(m) 42 ~ 43 分後

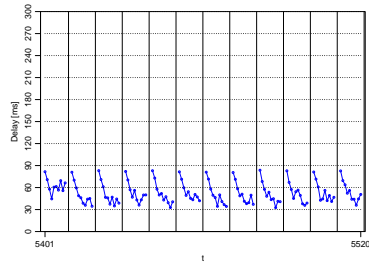


(n) 43 ~ 44 分後

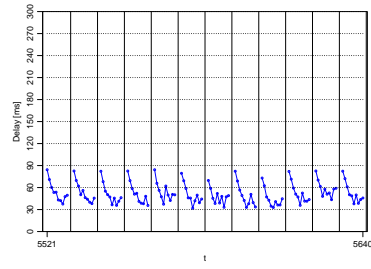


(o) 44 ~ 45 分後

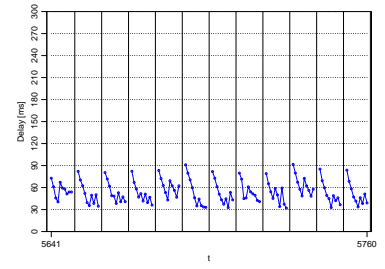
図 3: 10 ミリ秒間隔で計 10 回の ping 実行を 5 秒毎に行った計測結果 (30 分後から 45 分後まで)



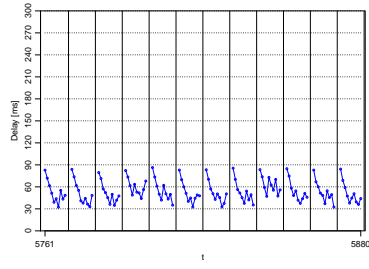
(a) 45 ～ 46 分後



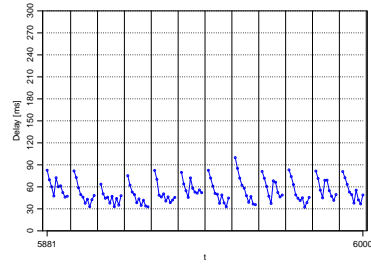
(b) 46 ～ 47 分後



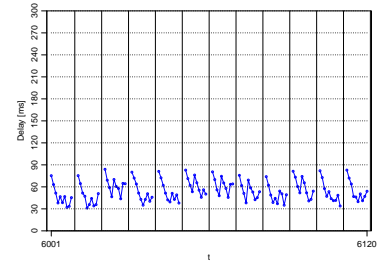
(c) 47 ～ 48 分後



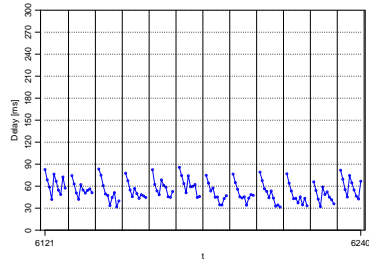
(d) 48 ～ 49 分後



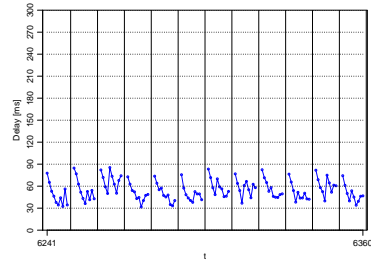
(e) 49 ～ 50 分後



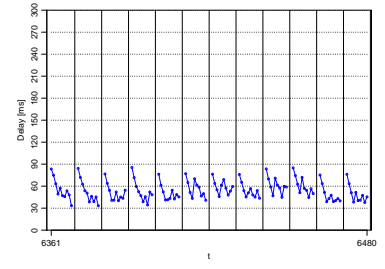
(f) 50 ～ 51 分後



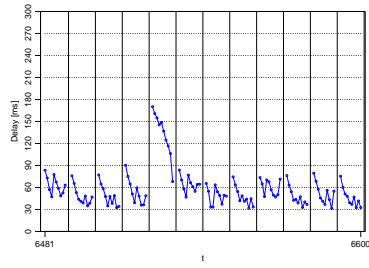
(g) 51 ～ 52 分後



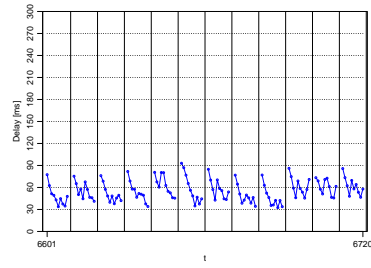
(h) 52 ～ 53 分後



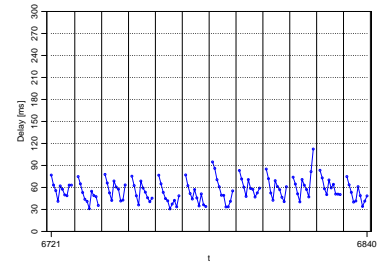
(i) 53 ～ 54 分後



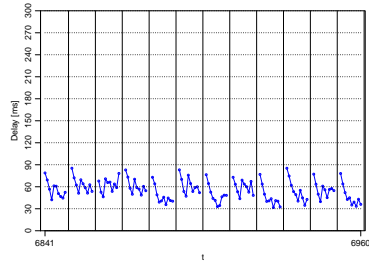
(j) 54 ～ 55 分後



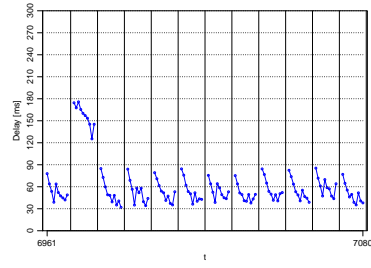
(k) 55 ～ 56 分後



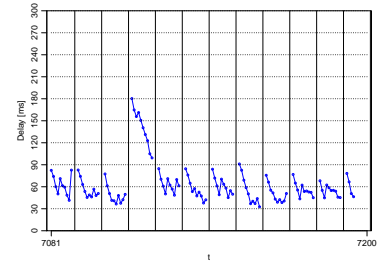
(l) 56 ～ 57 分後



(m) 57 ～ 58 分後



(n) 58 ～ 59 分後



(o) 59 ～ 60 分後

図 4: 10 ミリ秒間隔で計 10 回の ping 実行を 5 秒毎に行った計測結果 (45 分後から 60 分後まで)

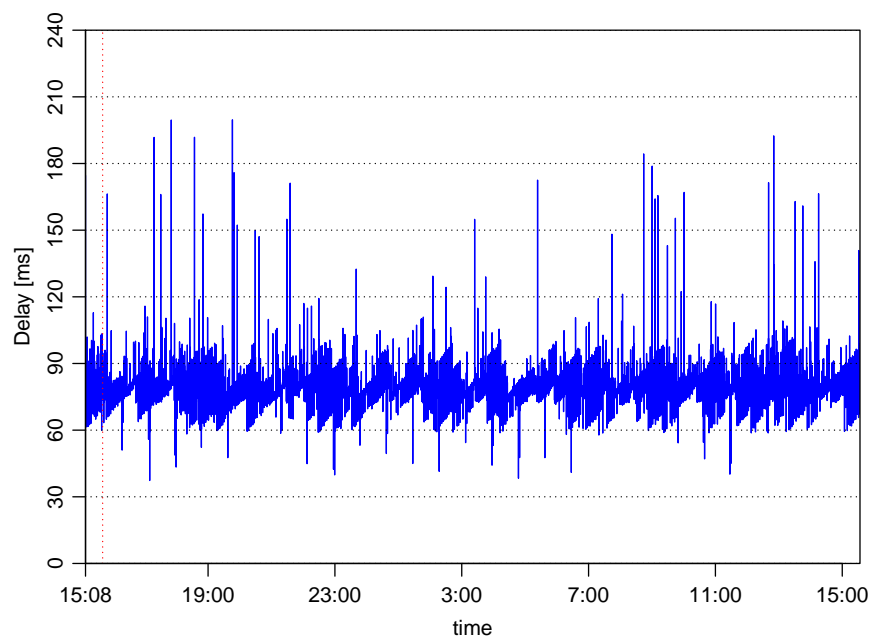
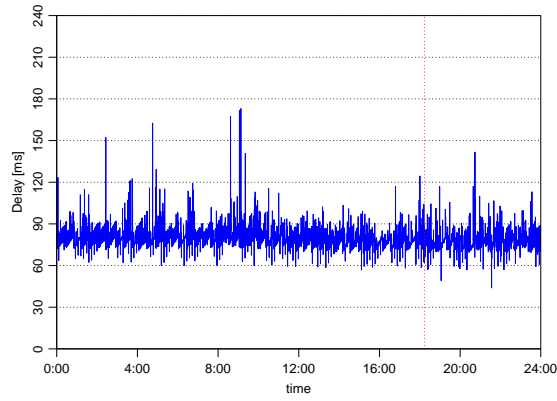
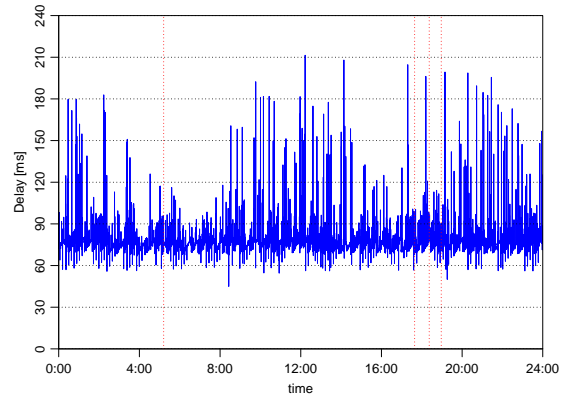


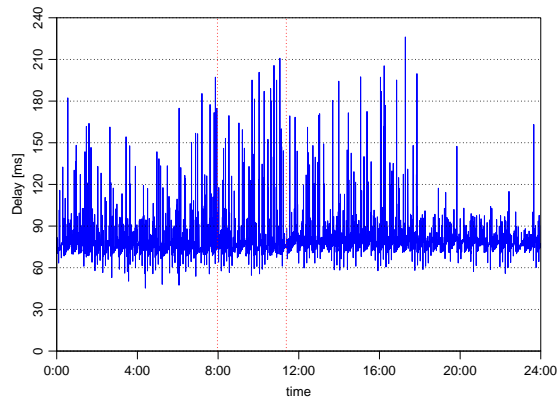
図 5: 7 月 1 日 15 時から 7 月 2 日 15 時まで (5 秒間隔)



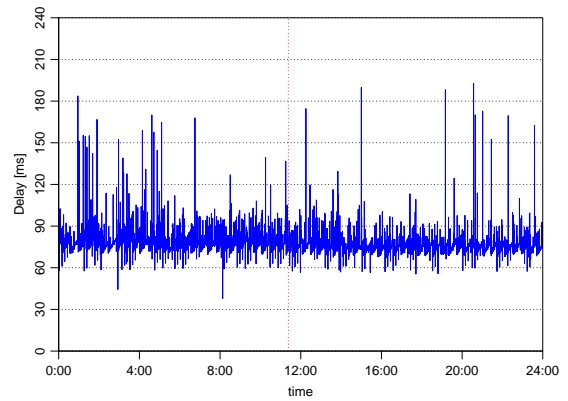
(a) 6月23日(火)



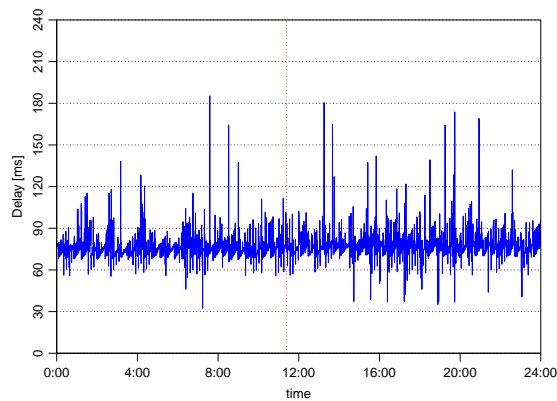
(b) 6月24日(水)



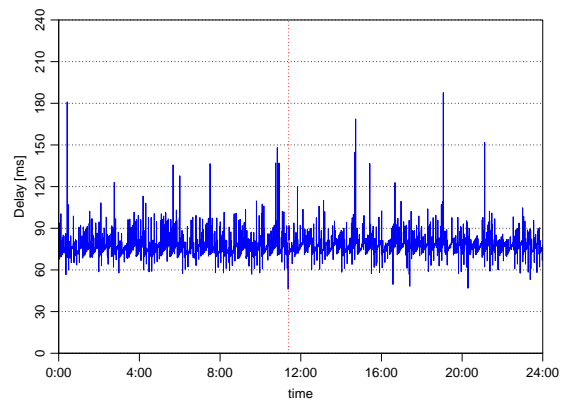
(c) 6月25日(木)



(d) 6月26日(金)

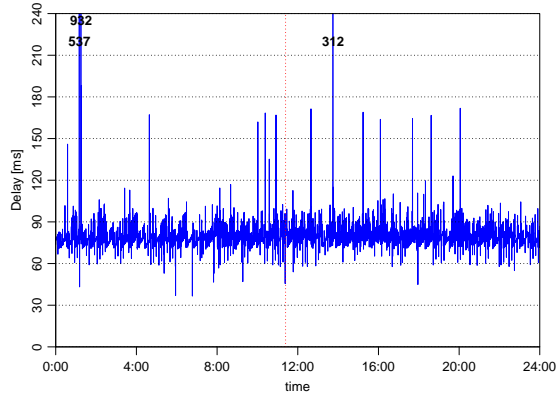


(e) 6月27日(土)

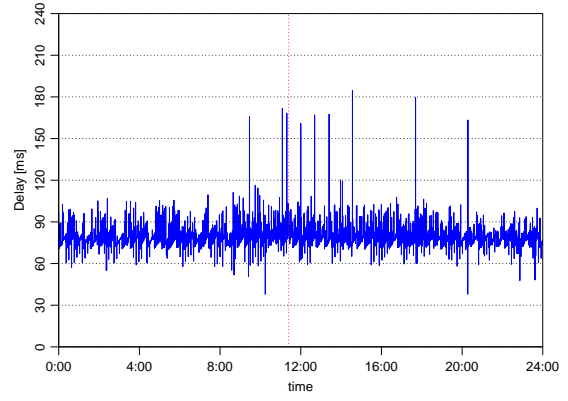


(f) 6月28日(日)

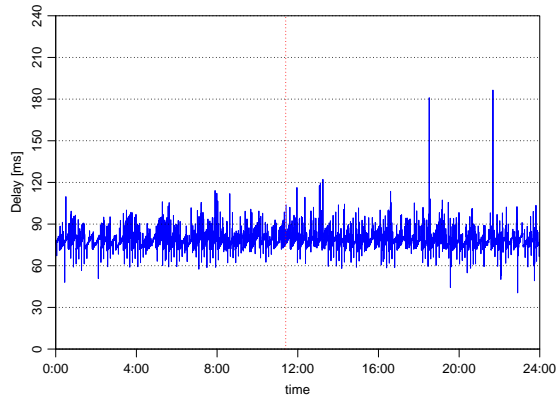
図 6: 一日を通じた計測 (15 秒間隔) 6月23日(火) から6月28日(日) まで



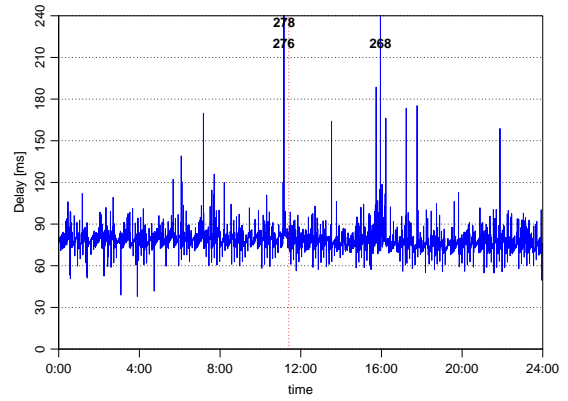
(a) 6月29日(月)



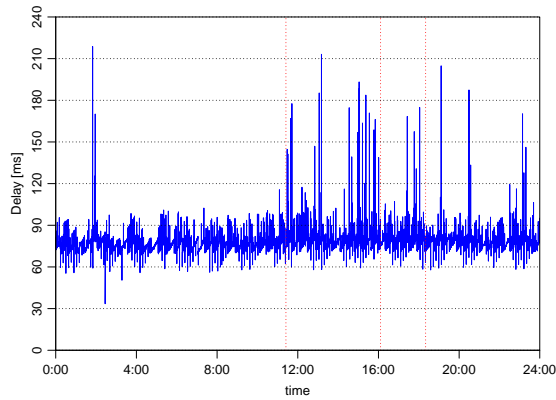
(b) 6月30日(火)



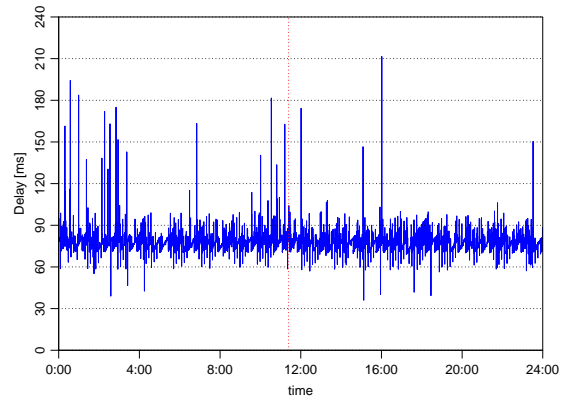
(c) 7月1日(水)



(d) 7月2日(木)

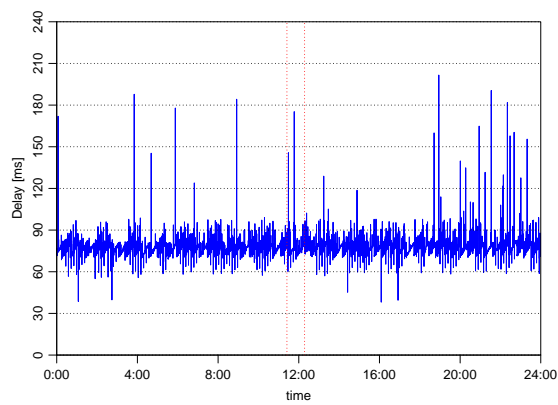


(e) 7月3日(金)

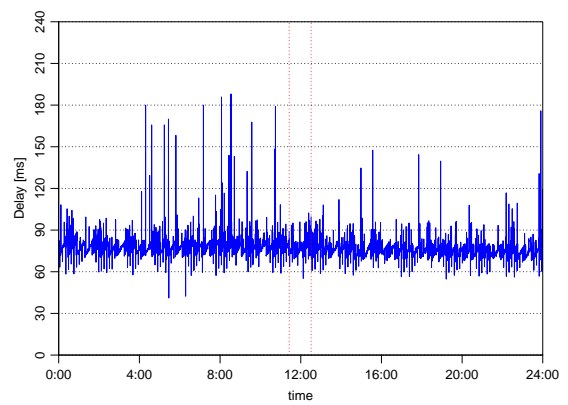


(f) 7月4日(土)

図 7: 一日を通じた計測 (15 秒間隔) 6月29日(月) から7月4日(土) まで



(a) 7月5日(日)



(b) 7月6日(月)

図 8: 一日を通じた計測 (15 秒間隔) 7月5日(日)と7月6日(月)