

時刻ドリフトを利用した機器特徴抽出手法における経年変化の検証 Verification of Secular Change in Digital Equipment Feature Extraction Method Using Clock Drift

小林 明珠[†] 千川 尚人[†] 平田 克己[†] 白木 厚司[‡] 下馬場 朋禄[‡] 伊藤 智義[‡]
Asu Kobayashi Naoto Hoshikawa Katsumi Hirata Atsushi Shiraki Tomoyoshi Shimobaba Tomoyoshi Ito

1. はじめに

IoT (Internet of Things) 機器が普及し、多数のデジタル機器がネットワークに繋がるようになる一方で、機器のすり替えやなりすましによる、情報漏洩や不正アクセスのリスクが高まっており、適切な機器識別の重要性が増している。本研究グループでは、デジタル機器の識別手法として、機器が生成するクロック信号の特性に起因するシステム時刻のずれを時刻ドリフトと呼び、機器特徴として用いる手法[1]を提案している。ここで抽出している機器特徴は水晶振動子の特性に依存していると推測している[2]が、水晶振動子は一般に経年変化によって周波数特性が変動すると考えられるため、一度計測した特徴データが長期にわたって利用できるか不明である。そこで本研究では、約 4 か月の期間で測定した同一機器を分析することで、時刻ドリフト特性の時間経過に伴う安定性を検証した。

2. 既存技術

並木らの研究[3]では、デジタル機器の時刻ドリフトと CPU コア温度との間に線形性が確認された。ここでは、計測されたコア温度と時刻ドリフトを対のデータとし、最小二乗法を適用することで回帰係数(傾きと切片)を得ており、ここで得られた回帰係数を機器固有の特徴量とし、機器識別に用いる試みがなされた。しかし、この研究の約 2 か月にわたる時刻ドリフトの計測では、時間経過に伴う影響が考慮されていなかった。もし時刻ドリフトの発生源となる部品が経年変化の影響を受ける場合、得られる機器の特徴量も変化するため、識別に使う情報源として担保できなくなる。

3. 提案手法、実験システム

時間経過に伴う時刻ドリフト特性の変化の有無を検証するために、デジタル機器の時刻ドリフトと CPU コア温度を長期間にわたり計測する。本研究では、3 台のノートパソコンの時刻ドリフトと CPU コア温度を 4 か月間計測する。計測データを 1 か月で分割して 4 つの期間に分け、それぞれの期間で特徴量を抽出し、経年変化と計測誤差のどちらの影響が大きいかを検証する。実験システムの構成を図 1 に示す。計測対象機器は Intel Celeron T1600 を搭載したノートパソコン 3 台に、Ubuntu Server 16.04.4 をインストールしたものである。以降、ノートパソコンを PC と表記する。計測対象機器は NTP (Network Time Protocol) による時刻同期機能を無効化し、実験室内のローカルネットワ

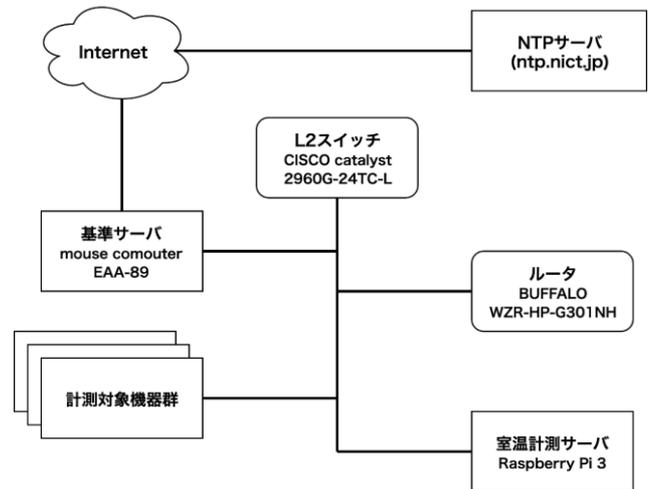


図 1 実験システム

ークのみに接続されている。また、時刻の基準サーバはこのローカルネットワークとインターネットに接続されている。基準サーバは 10 分ごとに情報通信研究機構 (NICT) が運用する Stratum 1 公開 NTP サーバと時刻同期したのち、計測対象機器のシステム時刻と基準サーバのシステム時刻の差分(時刻ドリフト)を測定し、同時に計測対象機器の CPU のコア温度(以降コア温度と表記)を記録する。また、計測を行った実験室の室温も記録する。

4. 実験結果

本実験は 2018 年 10 月 19 日から 2019 年 2 月 20 日の期間で計測を行った。計測で得られたデータから、外れ値を四分位法により除去したときの、コア温度-時刻ドリフトの関係を図 2 に示す。以降の検証では、外れ値も確率分布に従って抽出されるものと考えるので、計測データから外れ値を除去しない場合について論じる。

4.1 経年変化の検証

時刻ドリフト特性の変化の有無について検証を行う前に、計測データから得られる回帰係数が正規分布に従うかを確認する。正規性の検定は、シャピロウィルク[4]検定を用いる。有意水準は 0.05 とする。各 PC、各期間において、サンプル数 1000 で回帰係数(傾きと切片)を 1000 回求めた時の、シャピロウィルク検定における p 値を求めた。2018 年 10 月 19 日から 2018 年 11 月 18 日の間の計測データにおける、すべての PC の傾きと切片それぞれの p 値が 0.05 を下回り、正規分布に従うと仮定できない。その他の期間では、すべての PC において傾きと切片がどちらも 0.05 以上であり、正規分布に従うという帰無仮説が棄却されない。

[†] 小山工業高等専門学校

National Institute of Technology, Oyama College

[‡] 千葉大学

Chiba University

表 1 回帰係数の平均値

| | | 2018/10/19 -2018/11/18 | 2018/11/19 -2018/12/18 | 2018/12/19 -2019/01/18 | 2019/01/19 -2019/02/20 |
|----|------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 傾き | PC A | 1.211×10^{-4} | 1.189×10^{-4} | 1.214×10^{-4} | 1.164×10^{-4} |
| | PC B | 1.110×10^{-4} | 1.180×10^{-4} | 1.188×10^{-4} | 1.145×10^{-4} |
| | PC C | 1.054×10^{-4} | 1.501×10^{-4} | 1.559×10^{-4} | 1.552×10^{-4} |
| 切片 | PC A | -1.693×10^{-6} | -1.612×10^{-6} | -1.704×10^{-6} | -1.553×10^{-6} |
| | PC B | -1.990×10^{-6} | -2.215×10^{-6} | -2.257×10^{-6} | -2.061×10^{-6} |
| | PC C | 3.600×10^{-7} | -1.223×10^{-6} | -1.352×10^{-6} | -1.251×10^{-6} |

一部の計測データにおいて正規性が仮定できなかったの
で、F 検定を用いる分散分析は用いない。特性の変化の有
無の検証にはノンパラメトリック法のフリードマン検定[5]
を用いる。有意水準は 0.05 とする。先ほど求めた回帰係数
の平均値を用いる (表 1)。フリードマン検定における p
値を表 2 に示す。傾きと切片それぞれの p 値が 0.05 以上な
ので、計測期間によって回帰係数に変動がないという帰無
仮説は棄却されない。

5. 考察

特定の期間において、すべての PC から得られた回帰係
数の正規性を仮定することができなかったが、その他の期間
ではすべての PC で正規性を仮定することができた。本実
験では、CPU コア温度に対して室温の影響が高く、計測環
境による影響が大きいと考えられる。回帰係数の正規性を
仮定できると、区間推定を用いた機器識別[6]などの有用性
を確かめることができるので、より精密な計測が必要であ
ると考える。

時間経過に伴う時刻ドリフト特性の変化の有無の検証の
結果、約 4 か月の計測において変化は見られなかった。こ
れより、時刻ドリフトの発生源の経年変化が無いか無視で
きるほど小さい、もしくは、経年変化はあるが計測誤差の
ほうが大きいということが考えられる。前者の場合、時刻
ドリフトを機器識別に用いる手法が、長期的に運用される
デジタル機器に対して有用である可能性を示唆するもの
である。しかし、本実験での測定は PC が無負荷の状態
で行われた。デジタル機器が何かしらの処理を行っている
ことを想定した場合、負荷状態での特性の変化を検証する
必要がある。

また、本実験で用いたフリードマン検定は表 1 における
列数が多いほど漸近相対効率が高くなる。より正確な検証
のために、また、より長期的な運用に対しても本手法が有
効であるかを検証するために、さらなる計測が必要である
と考える。

6. おわりに

本研究では、無負荷状態の PC3 台の CPU コア温度とシ
ステム時刻のずれを約 4 か月間計測し、時間経過に伴う特
性の変化の有無を検証した。計測データを 1 か月ごとに分
割してフリードマン検定を行った結果、変化は見られず、
時刻ドリフトを用いる機器識別手法が長期的に運用される
デジタル機器に対して有用である可能性が示唆された。
今後の課題として、より長期的なデジタル機器の運用に
対しても本手法が有用であるかを検証するために、さらな

表 2 フリードマン検定の結果

| | 傾き | 切片 |
|-----|--------|--------|
| p 値 | 0.1218 | 0.1218 |

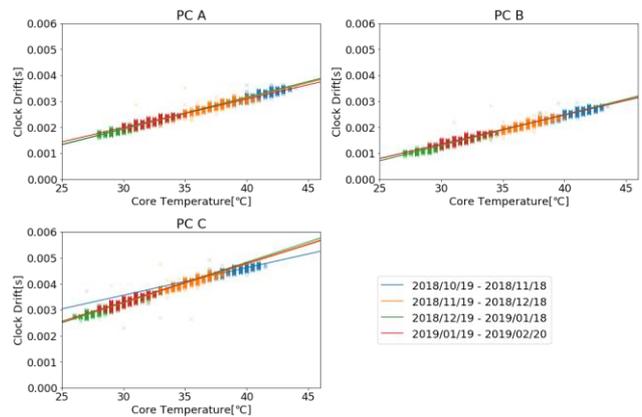


図 2 コア温度-時刻ドリフト図

る計測を行う必要がある。また、負荷状態のデジタル機
器についても経年変化の有無を検証することで、本手法の
有用性を確認していく。

謝辞

本研究は矢崎財団 (Yazaki Memorial Foundation for
Science and Technology) の支援を受けた。

参考文献

- [1] 干川 尚人, 下馬場 朋禄, 伊藤 智義, “デジタル機器のクロック
周波数信号特性に基づく個体識別技術”, 電子情報通信学会第
16 回ネットワークソフトウェア研究会, 6 (2018).
- [2] 古井 海里, 干川 尚人, 白木 厚司, 下馬場 朋禄, 伊藤 智義, “ディ
ジタル機器のマイクロプロセッサ高負荷時における時刻ドリ
フトの研究”, 情報処理学会第 82 回全国大会, (2019).
- [3] 並木 涼, 干川 尚人, 下馬場 朋禄, 伊藤 智義, “デジタル機器に
おけるシステム時刻のずれと環境温度の変動との相関性”, 電子
情報通信学会第 18 回ネットワークソフトウェア研究会, (2019).
- [4] S. S. Shapiro, M. B. Wilk, “An analysis of variance test for normality
(complete samples), *Biometrika*, Vol. 52, No. 3/4, pp. 591-611, (1965)
- [5] 村上 秀俊, “ノンパラメトリック法”, 朝倉書店, (2015)
- [6] 古井 海里, 干川 尚人, 白木 厚司, 下馬場 朋禄, 伊藤 智義, “クロ
ックフィンガープリントによるデジタル機器の識別における
特徴量の統計的分析”, サービスコンピューティング研究会, 3
(2020)