
T シャツ型ウェアラブルセンサーを用いた乗車中姿勢推定

山登庸次 (日本電信電話(株) ソフトウェアイノベーションセンタ)

Abstract 本稿では、乗り物のドライバーの乗車姿勢を、ウェアラブル加速度センサから推定するための方式を検討し、実地テストを行う。近年、センサ技術が進展しており、ウェアラブルセンサを用いてバイタルデータを取得し、作業状態を分析して安全管理することが検討されている。バスやタクシーのドライバーは、事故を避けるため、安全管理のニーズが高い。しかし、乗車中は、車の加速度がウェアラブルセンサの加速度に加算されるため、正しい運転姿勢を判定できる保証がない。そこで、本稿では T シャツ型センサ hitoe の加速度データを用いて乗車中姿勢推定の方式を検討し、実地検証及び、サンプルアプリケーション実装を行う。

1. はじめに

IoT 技術 (例えば Industrie4.0 等[1]-[4]) の適用として、製造メンテナンス等[5] とともに、ウェアラブルセンサを用いて個人のバイタルデータを取得し、健康や作業状態を分析して安全管理することが検討されている。具体的には、センサにより加速度や心拍を取得し、そのデータをクラウド技術 (例えば、[6]-[15]) を用いて管理分析する。クラウドでは、IoT プラットフォーム等[16][17]が、個々人のバイタルデータを管理し、バッチ処理 (Hadoop [18][19]等)、マイクロバッチ処理 (Spark Streaming [20]等)、ストリーム処理 (Storm [21]等) を使い分けて、転倒等の姿勢変化や疲労蓄積等の状態変化を迅速に判断する。更に、問題発生時は、クラウドから Web サービス等のサービス連携技術 (例えば、[22]-[34]) を用いて外部システムと連携し、スタッフの手配や緊急警告等を行うことが検討されている。

日本では、2016 年 1 月に長距離バスの転落で 15 人が死亡する事故が起きている [35]。バスやタクシー (以後、車) のドライバーは、運転中の物拾いや疲労蓄積等が事故につながる可能性があり、ドライバーにストレスを与えず、ウェアラブルセンサで安全管理を行うニーズが高まっている。T シャツ型ウェアラブルセンサ hitoe [36]はストレスなく着られ、心電図、加速度データが取得できるセンサであり、病院患者等でのトライアル利用がされている。hitoe を使ったドライバー安全管理が考えられるが、車内では、車の加速度がウェアラブルセンサの加速度に加算されるため、既存手法を用いるとドライバーの運転姿勢を正確に推定できない。そこで、本稿では、hitoe を用いた、乗車中のドライバー姿勢推定の方式を新たに検討し、実地検証する。

2. 既存ウェアラブルセンサと分析技術

バイタルデータを取得するセンサとしては、ウェアラブル端末が普及してきており、腕時計型、リストバンド型、メガネ型、T シャツ型等、多彩な端末が出てきている。Apple Watch [37]は、腕時計型のコンピュータで、心拍センサ、加速度センサ等を内蔵しており、バイタルデータの常時収集が可能である。Sony SmartEyeglass [38]は、メガネ型コンピュータであり、加速度、照度といった情報

が取得可能である。hitoe は NTT と東レが開発した T シャツ型のウェアラブルセンサーであり、ECG（心電図）と 3 軸の加速度が、T シャツを着用するだけで取得できるセンサーである。バイタルデータは胸に着ける hitoe トランスミッターを介してスマホに送信される。加速度は、トランスミッターに対して、水平方向が X 軸、前方方向が Y 軸、頭部方向が Z 軸である。これらセンサーで取得される加速度を分析し、姿勢を推定するツールも市中に出ている（例えば、hitoe は hitoe SDK [39] が提供されている）。

ウェアラブルセンサーを用いた人間活動分析として、[40]-[42]がある。しかしこれらは、十分な計算量が必要であり、リアルタイムな処理は十分でない。また、ドライバーの運転姿勢検出としては、[43]がある。これは、車載カメラの映像を分析することで、ドライバーの姿勢を検出している。しかし、カメラで監視されているドライバーのストレスは高い。hitoe は、T シャツ型であり、ドライバーに意識させず加速度データ等が取得できる点が大きなメリットである。

[44]は、運転者の視線移動に着目して、運転技術との関連を分析している。しかし、バス等の事故を予防するための、物拾い等の危険運転姿勢を検知、警告するような取り組みは検討されていない。この他にも OpenCV [45]や imageJ [46]等を用いた画像からの動作識別は検討されている。[47]は、加速度センサーを用いた運転動作の分析である。腕に着けた無線加速度センサーを用いて、加速度からどのようにハンドルしたかを分析し、初心者特有の運転動作を検出している。

バス会社のコメントから、バス会社は、物拾いや睡眠障害による突発的居眠り等の危険な姿勢変更を、ドライバーにストレスを与えずに早期に検知したいと考えている。これらの姿勢変更は深刻な事故に繋がり得るからである。リストバンド等のウェアラブルセンサーの SDK は、平地の人のお辞儀等の姿勢変更を、スマホで分析しリアルタイムに検知が出来る。しかし、乗車中ドライバーには、乗り物の加速度がウェアラブルセンサーの加速度に加わるため、既存の SDK で正確にドライバーの姿勢を検知できなかった。そこで、本稿ターゲットは、ドライバーにストレスが低い T シャツ型センサーの hitoe を使った際に、ドライバー運転中の特定の危険な姿勢変更（物拾いや居眠り）をリアルタイムに検知する事である。

ターゲットは T シャツ型加速度センサーを用いた運転姿勢推定であり、T シャツタイプのセンサーでの姿勢推定は既存にない。また、hitoe を用いることで、ECG データと加速度データ両方をクラウドに送信しており、危険運転姿勢等の緊急性ある分析と、蓄積疲労等の時間変化を見る分析の両方を行うことができる。これらの分析結果を用いた、バスドライバー向けの統合ソリューションが考えられる。

3. 運転中の姿勢推定の方式検討

乗車中のドライバーの安全管理を想定した際に、運転中に運転席を離れることはまずないと考えられるため、運転中の物拾いや居眠りで前に倒れる等が検出したい危険姿勢である。そのような姿勢をウェアラブルセンサーで分析する場合に、ウェアラブルセンサーには車の加速度が加算されて測定される事が課題である。

上記を踏まえ、まず、車の加速度をウェアラブルセンサーの加速度から減算することで、ドライバーの姿勢を推定する方法が考えられる。方式 1 : hitoe 加速度からスマホ加速度を減算。ドライバーが着る hitoe 加速度から、ドライバーが保持するスマホの加速度を、タイムスタンプを合わせた後、減算する形である。ドライ

バー自体の加速度が抽出できるはずであるが、2つのセンサの精度違い等加速度減算の実現性が懸念される。

次に、物拾い等検出したい特定姿勢の加速度パターンを、車加速度が加わった hitoe 加速度データからそのまま分析する方法が考えられる。方式 2 : hitoe 加速度パターンから特定姿勢を分析。バスやタクシーは急発進を避けるよう指導されており、X, Y 軸の加速度はそれほど大きくない。一方、物拾い等は前屈等の変化があるため、重力の影響で hitoe の Y, Z 軸加速度が大きく変わる。そこで、加速度変化に着目すれば、閾値設定により、特定危険姿勢を判定できる可能性がある。

4. 移動中姿勢推定の検証

hitoe とスマホ Sony Xperia を用いて、方式 1, 2 について実加速度で検証した。

方式 1 について、まず、hitoe とスマホが同じ動きの場合に、加速度を減算してゼロにできるかを確認するため、hitoe とスマホを同じ台車に乗せ、発進、直進、右左折等を行った。図 1 にその際の Y 軸の加速度データを示す。図 1 より、hitoe とスマホの加速度データは類似であるが、実際に減算してもゼロにはならず、ローパスフィルタを通して高周波ノイズを除去した場合も完全にゼロにはならないことが分かる。これは、2つのセンサの反応や精度等が異なるためと考えられる。

方式 2 について、乗車中の姿勢変更が hitoe 加速度データから検出できるかを確認するため、hitoe 着用者が路線バスに乗車し、着席中に物を拾う等の姿勢変更を行う実験を行った。図 2 に路線バス乗車中の加速度データを示す。

図 2 より、バス起因の加速度は、X, Y 軸の加速度変化でジグザグ表示の通り継続的に変化がある事が分かる。一方、着席中物拾いは、体の傾きが変わるため、

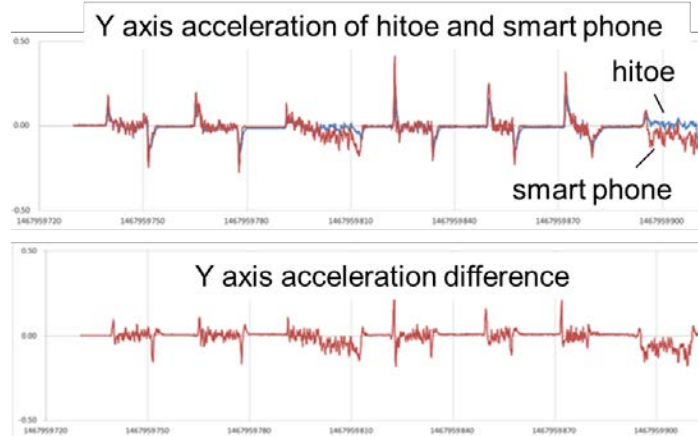


図 1 台車上の Y 軸加速度データ

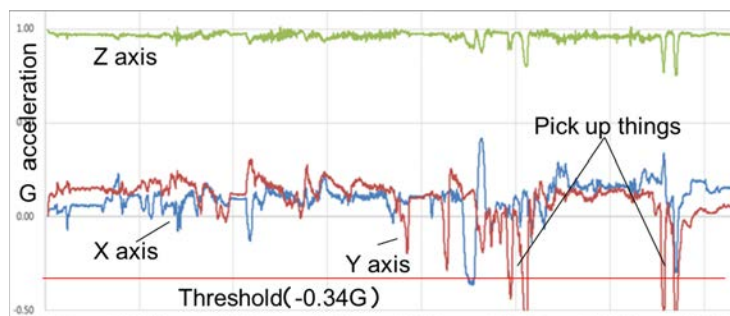


図 2 路線バス中の hitoe 加速度データ

シャツの前方方向である Y 軸の加速度が短時間で大きく変化する事が分かる。

この結果から、方式 1 検討のように完全に車加速度を取り除かなくても、方式 2 は Y 軸の短時間で大きく変わる特徴的な加速度変化に着目することに優れるため、車加速度が加算されていてもそれを含めて、物拾い等の特定の動作を検出可能と言える。具体的には、車内では「Y 軸加速度を閾値 20 度 (-0.34G 加速度) で区切る」ことを提案する。この設定値により、平地ではかからない車起因加速度による動作は検出せず、人起因の物拾いの加速度による動作を検出可能であった。

ただし、Y 軸の加速度変化を閾値にした場合、急傾斜な路線の際は、誤判定する懸念がある。そこで、急勾配（傾斜 20%程度）で知られる、富士山登坂バスで実際にバスに乗り検証を行った。その結果、急な坂道であっても、閾値 20 度までの Y 軸加速度変化には至らなかったため、誤判定は生じないことが分かった。

5. サンプルアプリケーション

前節検証の方式 2 を用いて、ドライバーの物拾い等の危険姿勢を検出するアプリケーションを試作した。図 3(a)に、サンプルアプリケーションの処理概要を示す。アプリケーションは、まず、hitoe から受信した加速度データに対して、バンドパスフィルタを介してノイズを除去する。次に、ノイズ除去した加速度データ及び、Y 軸加速度が-0.34G を超えるかどうかの閾値を用いて、姿勢表示する。

実装したサンプルアプリケーションを用いて、日本の武蔵野市路線バスに乗り乗車中の物拾いを繰り返し実施して、姿勢画像が変更されることを確認した(図 3(b))。条件として、約 2km の運行距離の三鷹駅発路線バスを 2 往復乗り、その間に物拾い動作を片道 3 回ずつ行った。物拾いのタイミングで検知できていることを、スマホの姿勢画像は目視で、hitoe ログはバス降車後にグラフデータを閲覧し、確認した（検知精度を KPI に誤検知なく 100%検出出来ていることを確認）。

サンプルアプリケーションは姿勢だけを表示しているが、加速度データと合わせて hitoe で取得できる心拍等のバイタルデータもクラウドに送信しており、クラウド技術を用いてより高度な分析が出来る。例えば、疲労度変化は心拍間隔の変化から計算できる。機械学習を行う際は、CUDA [48]、OpenCL [49]を用いて GPU

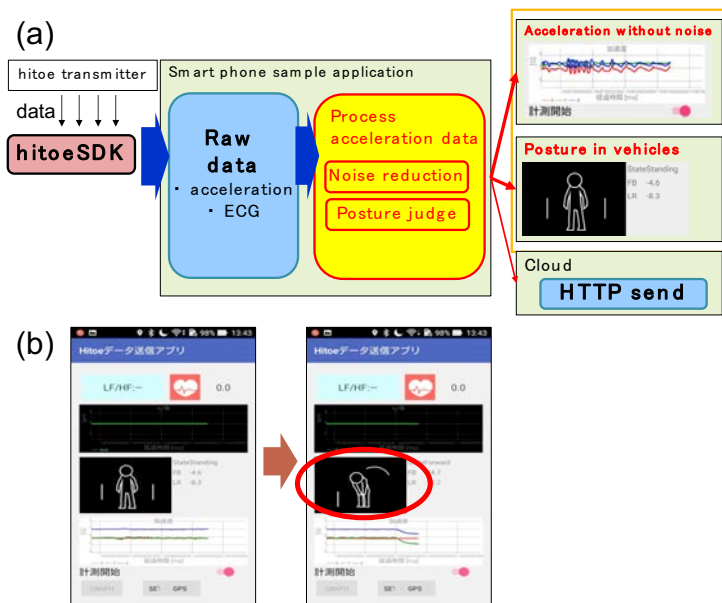


図 3 (a) サンプルアプリケーション処理概要. (b) 画面イメージ

を使ってもよい。クラウドの分析結果に応じて、Web サービス連携技術等を用いて、代替ドライバー手配や緊急警告等の処理が行われる。

6. まとめ

本稿では、hitoe 加速度センサを用いて乗車中ドライバーの姿勢推定の方式検討、実地検証を行った。hitoe とスマホのセンサを用いて、車加速度を減算する方式は、センサ精度違い等課題が多いことが分かった。一方、物拾い等の姿勢変更は、加速度閾値判定で判断できる見込みを得た。それを踏まえ、車加速度を考慮して姿勢表示を行うサンプルアプリケーションを実装し、バス内で有効性を確認した。

hitoe の心電分析による疲労推定等も行うトライアルを、2016年10、11月に福井県京福バス会社と実施し、問題なく動作し、バス会社の運行改善議論に繋がった。

参考文献

- 1) M. Hermann, T. Pentek and B. Otto, "Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios," Working Draft, Technische Universitat Dortmund. 2015.
- 2) Tron project web site, <http://www.tron.org/>
- 3) P. C. Evans and M. Annunziata, "Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines," Technical report of General Electric (GE), Nov. 2012.
- 4) Y. Yamato, T. Demizu, H. Noguchi and M. Kataoka, "Automatic GPU Offloading Technology for Open IoT Environment," IEEE Internet of Things Journal, Sep. 2018.
- 5) S. Arakawa, "Development and Deployment of KOMTRAX Step 2," Komatsu Technical Report, 2002.
- 6) Y. Yamato, Y. Nishizawa, S. Nagao and K. Sato, "Fast and Reliable Restoration Method of Virtual Resources on OpenStack," IEEE Transactions on Cloud Computing, Vol.6, No.2, pp.572-583, Apr. 2018.
- 7) Y. Yamato, Y. Nishizawa, M. Muroi and K. Tanaka, "Development of Resource Management Server for Production IaaS Services Based on OpenStack," Journal of Information Processing, Vol.23, 2015.
- 8) Y. Yamato, N. Shigematsu and N. Miura, "Evaluation of Agile Software Development Method for Carrier Cloud Service Platform Development," IEICE Transactions on Information & Systems, Vol.E97-D, No.11, pp.2959-2962, Nov. 2014.
- 9) Y. Yamato, S. Katsuragi, S. Nagao and N. Miura, "Software Maintenance Evaluation of Agile Software Development Method Based on OpenStack," IEICE Transactions on Information & Systems, Vol.E98-D, No.7, pp.1377-1380, July 2015.
- 10) Y. Yamato, "OpenStack Hypervisor, Container and Baremetal Servers Performance Comparison," IEICE Communication Express, Vol.4, No.7, pp.228-232, July 2015.
- 11) Y. Yamato, "Automatic verification technology of software patches for user virtual environments on IaaS cloud," Journal of Cloud Computing, Springer, 2015, 4:4, DOI: 10.1186/s13677-015-0028-6, 2015.
- 12) Y. Yamato, "Performance-Aware Server Architecture Recommendation and Automatic Performance Verification Technology on IaaS Cloud," Service Oriented Computing and Applications, Springer, 2016.
- 13) Y. Yamato, M. Muroi, K. Tanaka and M. Uchimura, "Development of Template Management Technology for Easy Deployment of Virtual Resources on OpenStack," Journal of Cloud Computing, Springer, 2014, 3:7, June 2014.
- 14) Y. Yamato, "Server Selection, Configuration and Reconfiguration Technology for IaaS Cloud with Multiple Server Types," Journal of Network and Systems Management, Springer, Aug. 2017.
- 15) Y. Yamato, "Optimum Application Deployment Technology for Heterogeneous IaaS Cloud," Journal of Information Processing, Vol.25, No.1, pp.56-58, Jan. 2017.
- 16) AWS IoT Platform website, https://aws.amazon.com/iot/how-it-works/?nc1=h_ls
- 17) Microsoft Azure IoT service, <https://github.com/Azure/azure-iot-sdks>
- 18) K. Shvachko, Hairong Kuang, S. Radia and R. Chansler, "The Hadoop Distributed File System," IEEE 26th Symposium on Mass Storage Systems and Technologies (MSST2010), pp.1-10, May 2010.
- 19) J. Dean, and S. Ghemawat, "MapReduce: Simplified data processing on large clusters," proceedings of the 6th Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI'04), pp.137-150, 2004.
- 20) M. Zaharia, M. Chowdhury, M. J. Franklin, S. Shenker and I. Stoica, "Spark: Cluster computing with working sets," Proceedings of 2nd USENIX Conference on Hot Topics in Cloud Computing, 2010.
- 21) N. Marz. "STORM: Distributed and fault-tolerant realtime computation," 2013.
- 22) Y. Yamato, "Ubiquitous Service Composition Technology for Ubiquitous Network Environments," IPSJ Journal, Vol.48, No.2, pp.562-577, Feb. 2007.
- 23) M. Takemoto, T. Ohishi, T. Iwata, Y. Yamato, T. Tanaka, S. Tokumoto, N. Shimamoto, A. Kurokawa, H. Sunaga and K. Koyanagi, "Service-composition method and its implementation in service-provision architecture for ubiquitous computing environments," IPSJ Journal, Vol.46, No.2, 2005

- 24) M. Takemoto, Y. Yamato and H. Sunaga, "Service Elements and Service Templates for Adaptive Service Composition in a Ubiquitous Computing Environment," APCC 2003, Vol.1, pp.335-338, 2003.
- 25) Y. Yamato, Y. Tanaka and H. Sunaga, "Context-aware Ubiquitous Service Composition Technology," The IFIP International Conference on Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems (CONFENIS 2006), pp.51-61, Apr. 2006.
- 26) H. Sunaga, Y. Yamato, H. Ohnishi, M. Kaneko, M. Iio and M. Hirano, "Service Delivery Platform Architecture for the Next-Generation Network," ICIN2008, Session 9-A, Oct. 2008.
- 27) Y. Yokohata, Y. Yamato, M. Takemoto, E. Tanaka and K. Nishiki, "Context-Aware Content-Provision Service for Shopping Malls Based on Ubiquitous Service-Oriented Network Framework and Authentication and Access Control Agent Framework," IEEE CCNC 2006, 2006.
- 28) Y. Yamato, H. Ohnishi and H. Sunaga, "Development of Service Control Server for Web-Telecom Coordination Service," IEEE International Conference on Web Services (ICWS 2008), Sep. 2008.
- 29) Y. Yamato, H. Ohnishi and H. Sunaga, "Study of Service Processing Agent for Context-Aware Service Coordination," IEEE International Conference on Service Computing (SCC 2008), July 2008.
- 30) Y. Yamato, Y. Nakano and H. Sunaga, "Study and Evaluation of Context-Aware Service Composition and Change-Over Using BPEL Engine and Semantic Web Techniques," IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC 2008), pp.863-867, Jan. 2008.
- 31) H. Sunaga, M. Takemoto, Y. Yamato, Y. Yokohata, Y. Nakano and M. Hamada, "Ubiquitous Life Creation through Service Composition Technologies," World Telecommunications Congress 2006 (WTC2006), May 2006.
- 32) Y. Nakano, Y. Yamato, M. Takemoto and H. Sunaga, "Method of creating web services from web applications," IEEE SOCA 2007, pp.65-71, June 2007.
- 33) Y. Yokohata, Y. Yamato, M. Takemoto and H. Sunaga, "Service Composition Architecture for Programmability and Flexibility in Ubiquitous Communication Networks," IEEE International Symposium on Applications and the Internet Workshops (SAINTW'06), pp.145-148, Jan. 2006.
- 34) Y. Yamato and H. Sunaga, "Context-Aware Service Composition and Component Change-over using Semantic Web Techniques," IEEE ICWS 2007, pp.687-694, July 2007.
- 35) Bus accident news, <http://www.japantimes.co.jp/news/2016/01/15/national/night-ski-bus-flips-karuizawa-three-killed-11-critical-condition/#.WKOd4cu7oeE>
- 36) S. Tsukada, H. Nakashima and K. Torimitsu, "Conductive Polymer Combined Silk Fiber Bundle for Bioelectrical Signal Recording", PLoS ONE, Vol.7, No.4, pp.e33689, 2012.
- 37) Apple Watch web site, <https://www.apple.com/watch/>
- 38) Sony SmartEyeglass web site, <http://developer.sonymobile.com/products/smarteyeglass/>
- 39) hitoe SDK web site, https://dev.smt.docomo.ne.jp/?p=docs.api.page&api_name=iot_control
- 40) O. D. Lara and M. A. Labrador, "A Survey on Human Activity Recognition using Wearable Sensors," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 15, no. 3, pp. 1192-1209, 2013.
- 41) Andreas Bulling, Ulf Blanke, and Bernt Schiele, "A Tutorial on Human Activity Recognition using Body-worn Inertial Sensors," ACM Computing Surveys, Vol. 46, No. 3, 2014.
- 42) Wai Yin Wong and Man Sang Wong, "Detecting spinal posture change in sitting positions with tri-axial accelerometers," Gait & Posture, Vol. 27, No.1, pp.168-171, 2008.
- 43) G. Stockman, J.L. Chen, Y. Cui and H. Reynolds, "Measuring Body Points on Automobile Drivers Using Multiple Cameras," Image and Vision Computing, Vol.15, pp.317-329, 1997.
- 44) T. Falkmer and N.P. Gregersen, "A comparison of eye movement behavior of inexperienced and experienced drivers in real traffic environments," Opt & Vision, 2005.
- 45) OpenCV web site, <http://opencv.org/>
- 46) imageJ web site, <https://imagej.nih.gov/ij/docs/concepts.html>
- 47) M. Tada, R. Ohmura, M. Okada, F. Naya, H. Noma, T. Toriyama and K. Kogure, "A Method for Measuring and Analyzing Driving Behavior Using 3D-Accelerometers," IPSJ Interaction 2007, 2007.
- 48) J. Sanders, E. Kandrot, "CUDA by example : an introduction to general-purpose GPU programming," Addison-Wesley, ISBN-0131387685, 2011.
- 49) J. E. Stone, D. Gohara, and G. Shi, "OpenCL: A parallel programming standard for heterogeneous computing systems," Computing in science & engineering, Vol.12, No.3, pp.66-73, 2010.

山登 庸次 (正会員) yoji.yamato.wa@hco.ntt.co.jp

2000年東京大学理学部卒。2002年同大学院理学系研究科修了。2009年同大学院総合文化研究科にて博士(学術)。2002年日本電信電話株式会社入社。同社にて、クラウドコンピューティング、IoT技術研究開発、環境適応ソフトウェア研究に従事。現在、同社NTTネットワークサービスシステム研究所特別研究員。情報処理学会会員、電子情報通信学会及びIEEEシニア会員。

Received : 2018年10月26日

Accepted : 2019年4月12日

編集担当 : 今原修一郎 (株) 東芝