

Gesture Recognition Using Built-in Illuminance Sensor for One-Hand Operation of Smartphone

Daisuke YAMASHITA^{**}, Hiroto AIDA^{*}, Taishi YAMAMOTO^{**}, Mitsunori MIKI^{*}

(Received October 20, 2017)

Gesture recognition, which allows intuitive operation, has drawn attention in recent years. While the developments of a dedicated gesture recognition devices advance, there are studies on gesture recognition also among research using mobile devices. However, there is a problem in hand gesture recognition using mobile devices. It is in the power consumption issue, privacy issue and need for additional devices. This paper proposed to perform hand gesture recognition using an illuminance sensor built in mobile device. It is a hand gesture recognition method which requires neither dedicated hand gesture recognition equipment nor additional equipment and takes into account power consumption and privacy issues in comparison with a method employing image recognition using a camera. The recognition accuracy under this method was verified given unknown data, users, and lighting environments to confirm its effectiveness. In the verification for unknown data, recognition rate of 97.5% on average was confirmed. For example, it is assumed that a touch operation such as glove attachment can not be performed. The proposed method is an effective method in the assumed situation.

Key words : mobile, gesture, illuminance

キーワード : モバイル, ジェスチャ, 照度

スマートフォンの片手操作時における照度センサを用いたジェスチャ認識

山下大輔, 間博人, 山本泰士, 三木光範

1. 序論

近年, コンピュータの直感的な操作を可能にする NUI (Natural User Interface) の研究に注目が集まっている. その中でも, 人間の身振りや手振りなどのジェスチャ認識に関する研究が多く, 様々なジェスチャ認識手法¹⁻⁵⁾がある. また, 専用のジェスチャ認識デバイスの商用化も進んでおり, 例として, Kinect

や Leap Motion などがある. ジェスチャ認識は, 人とコンピュータとのインタラクションをより自然で直感的なものにする. ジェスチャ認識は, 操作の幅が広いことや, 機器と直接接点なしで操作可能なことから様々な分野において活用が見込まれ期待が高まっている⁶⁻⁸⁾. ジェスチャ認識専用機器の発達のみでなく, スマートフォンやタブレット端末といったモバイル端末を用いたジェスチャ認識にも注目が集まっている.

* Department of Science and Engineering, Doshisha University, Kyoto

Telephone:+81-774-65-6930, Fax:+81-774-65-6716, E-mail:mmiki@mail.doshisha.ac.jp

** Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University, Kyoto

Telephone:+81-774-65-6930, Fax:+81-774-65-6716, E-mail:atonomura@mikilab.doshisha.ac.jp

モバイル端末を用いることで、特殊なジェスチャ認識専用デバイスを用いることなくジェスチャ認識を実現する。

現在普及しているスマートフォンの多くは、基本的な操作方法をタッチ操作としている。しかし、日常生活のなかでタッチ操作が容易に行えない状況が想定できる。例えば、冬場に手袋を装着した状態ではタッチ操作を行うことは容易ではない。タッチ操作に対応した手袋も存在するが、特定の手袋を用意する必要がある。また、タクシーやバスの運転手のように手袋の装着が義務付けられているような職業も存在する。広く普及し、多くの人が利用するスマートフォンは、特殊な状況においても操作性を確保する必要がある。

本研究では、タッチ操作が容易に行えない状況における操作方法として、スマートフォン内蔵の照度センサを利用する。提案手法は、手袋装着時のようにタッチ操作が容易に行えない状況において、スマートフォンの片手操作を支援する。片手でスマートフォンを利用する状況において、照度変化から特定のジェスチャを認識する。ジェスチャは、親指の動きや、端末の特定の動きである。照度センサを用いて取得した照度情報から4種類の動作を分類する。ジェスチャ認識を行うにあたり、実際にジェスチャを行った際の照度変化を訓練データとして収集し、ジェスチャを分類する決定木を作成した。提案するジェスチャ認識手法において、未知のデータ、未知のユーザ、未知の環境に対して有効性を検証した。

2. スマートフォンを用いたジェスチャ認識

タッチ操作以外の入力方法を提案する研究として、スマートフォンを用いたジェスチャ認識に関する研究がある。Side Swipe⁹⁾では、モバイル端末に内蔵されているカメラを利用してジェスチャ認識を行う。カメラを用いて取得した情報に対して画像処理を行うことで6種類のジェスチャを認識可能とした。ジェスチャ認識を用いることでスマートフォンの操作性を拡張したが、ジェスチャを行う手にカメラを向けるため両手を使う必要がある。

Surface Link¹⁰⁾は、スマートフォン内蔵の加速度センサ、振動モータ、スピーカに外部マイクを追加で使用する。この手法を用いることで、複数の端末間の机の上をなぞるようなジェスチャを認識可能である。しかし、追加デバイスとして外部マイクを必要とすることや、複数台の端末を机の上に置いて使用するため、利用状況が限られてしまう。

Song¹¹⁾らは、スマートフォンに内蔵されたRGBカメラを用いてジェスチャの認識を行い、タッチ操作と組み合わせることで、スマートフォンでのインタラクションを拡張している。ランダムフォレストをベースとしたアルゴリズムを用いて、頑健なジェスチャ認識を実現している。しかし、カメラ画像を用いてハンドジェスチャを認識する場合、モバイル端末のバッテリー持続時間を考慮する必要がある。また、カメラ画像を使用する際は、プライバシーについて考慮する必要がある。

本論文で提案する照度情報を用いた手法は、ハンドジェスチャを認識するために、単一のスマートフォンのみを用いる。また提案手法で利用する内蔵照度センサは、主に画面の自動輝度調整用に搭載するため常時利用を想定している。したがって、センシングにおいて消費電力への影響が小さい手法といえる。

3. 明暗変化を用いた片手操作支援手法

3.1 照度センサを用いたジェスチャ認識

スマートフォン内蔵の照度センサを用いて、ユーザの親指の動きや端末の動きなどのジェスチャを認識する手法を提案する。スマートフォン内蔵の照度センサは、端末表面の明るさを照度として取得し、画面の輝度調整を行うために搭載している。照度とは、明るさを表す指標であり単位は lx である。スマートフォン内蔵の照度センサから、ユーザの親指や端末を動かした際の照度履歴を取得する。取得したデータが表す照度変化の特徴からジェスチャの分類を行う。提案手法で認識するジェスチャは以下の4種類であり、Fig. 1に各ジェスチャのイメージを示す。

- Press : 照度センサ部分を長押しする動作

- Trace : 照度センサ付近を指でなぞる動作
- Tap : 照度センサ部分を指で3度叩く動作
- Snap : 端末を軽く手前に弾く動作

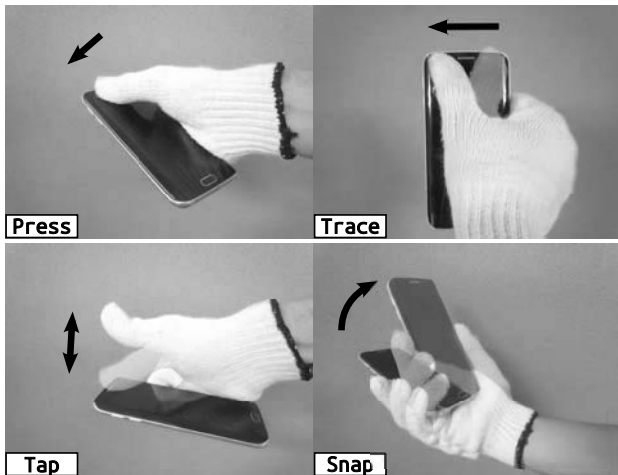


Fig. 1. Four kinds of hand gestures.

3.2 ジェスチャによる照度変化

4種類のジェスチャは、それぞれ照度変化に特徴がある。ジェスチャの分類を行うにあたり、訓練データを収集して各ジェスチャの特徴を抽出した。抽出した特徴をもとにジェスチャの分類のための決定木を作成した。実際にジェスチャの分類に用いた特徴は以下の3つである。

- 照度変化を表す波の数
- 照度変化を表す波の深さ
- ジェスチャの実行時間

照度変化を表す波の数は、Tapを分類する際に用いる。照度センサ部分を3度叩く動作を行うことで、小刻みに上下する明暗変化がTapの特徴である。照度変化を表す波の深さは、TraceとSnapの判別に用いる。Traceは照度センサ付近を親指でなぞるため、端末を少し動かすSnapと比べて照度変化が大きくなる。ジェスチャの実行時間はPressの認識に用いる。Pressは、照度センサ部分を長押しするため、他のジェスチャに比べて実行時間が長くなる。これらの特徴は、実際の

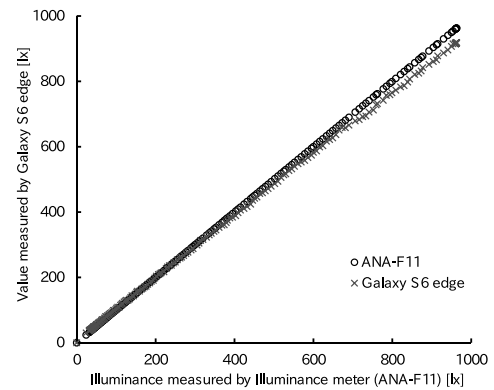


Fig. 2. Comparison of illuminance values measured by mobile device and illuminance meter.

複数のユーザ、複数の照明環境において訓練データ収集実験を行い、収集したデータから抽出した。

4. モバイル端末内蔵照度センサの性能

本章では、検証実験に用いるモバイル端末内蔵照度センサの性能について述べる。本論文で述べる検証実験では、スマートフォンとしてGalaxy S6 edgeを用いた。Galaxy S6 edgeに内蔵する照度センサの性能について、照度分解能および時間分解能を確認した。まず、照度分解能の確認として内蔵照度センサおよび照度計による照度計測を行った。255段階で調光可能な照明を用いて机上面を0 lxから1000 lxに調光し、照度を計測する。照度計は、ANA-F11(東京光電製: JIS C 1609-2に準拠)を用いる。内蔵照度センサから取得した値と照度計で計測した照度をFig. 2に示す。

Fig. 2より、Galaxy S6 edgeの内蔵照度センサは、実際の照度と線形関係にある。また、Fig. 2より、Galaxy S6 edgeは高い照度分解能を持っており細かく照度を取得可能である。

実験端末であるGalaxy S6 edgeに内蔵する照度センサの時間分解能を確認する。内蔵照度センサによる値の取得を10秒間行い、照度取得間隔を計測した。照度取得間隔の平均と標準偏差をTable 1に示す。Table 1より、Galaxy S6 edgeの内蔵照度センサは平均87.9 msの間隔で照度取得が可能である。

Table 1. Illuminance acquisition interval of mobile device.

Average	SD
179.6 ms	2.5 ms

5. ジェスチャ認識精度の検証

5.1 実験概要

ジェスチャ実行時の照度変化を訓練データとして収集した。実験協力者は20代の学生6名、実験端末はGalaxy S6 edgeを用いた。実験環境には照明が9灯あり、実験協力者は中央の照明の直下でジェスチャを行った。実験環境をFig. 3に、実験風景をFig. 4に示す。照明環境は、床上72cmの位置で300lx, 500lx, 700lx, 1000lxとなるような4種類の環境である。

4種類のジェスチャのうち、Pressを除いた3種類のジェスチャについて訓練データを収集した。収集したデータから、ジェスチャの実行時間を確認した。すべてのデータよりジェスチャ実行時間が長くなるような照度変化をPressとして認識する。Pressを除く3種類のジェスチャについては、収集した訓練データより分類を行うための決定木を作成した。

6名の実験協力者は、Pressを除く3種類のジェスチャを4種類の環境で10回ずつ入力した。したがって、収集した訓練データは合計720である。この訓練データに対して交差検証を行い、未知のデータ、未知のユーザ、未知の環境に対してのジェスチャ認識精度を確認した。

5.2 実験結果

実験で収集した訓練データを検証してジェスチャ認識精度を確認した。まず、未知のデータに対する有効性の検証としてすべてのデータに対して、一個抜き交差検証を行った。1つのデータを抜き出してテストデータとし、残りのデータを訓練データとして、3種類のジェスチャを正しく分類可能かどうか確かめる。すべてのデータに対して一個抜き交差検証を行った結果をTable 2に示す。Table 2から、平均97.5%で3

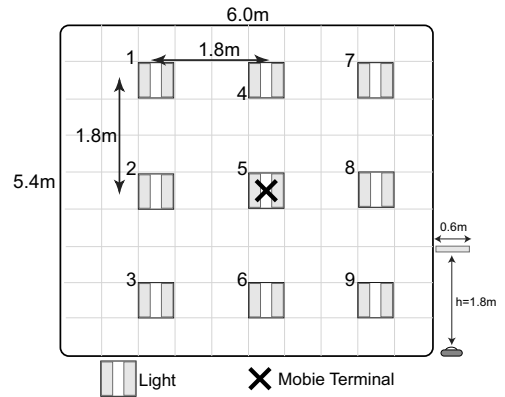


Fig. 3. Experimental environment.



Fig. 4. Experimental situation on the recognition accuracy.

種類のジェスチャを分類している。検証結果から、提案手法は訓練データに存在しない未知のデータに対して有効である。

Table 2. Result of leave-one-out cross-validation.

	Tap	Trace	Snap
Tap	97.9 %	1.7 %	0.4 %
Trace	4.6 %	95.4 %	0.0 %
Snap	0.8 %	0.0 %	99.2 %

次に、未知のユーザに対する有効性の検証を行った。6名の実験協力者のうち、1人が入力したデータをテストデータとし、残りの実験協力者が入力したデータを訓練データとしてジェスチャ認識精度を確認した。6名全員のデータに対して検証を行った結果をTable

3に示す。Table 3から、平均 97.2 %で3種類のジェスチャを分類している。検証結果から、提案手法は訓練データに自らのデータが含まれていない未知のユーザに対して有効である。

Table 3. Result of leave-one-user-out cross-validation.

	Tap	Trace	Snap
Tap	97.9 %	1.7 %	0.4 %
Trace	4.6 %	95.4 %	0.0 %
Snap	0.8 %	1.3 %	97.9 %

未知の照明環境に対する有効性の検証を行った。照明環境は4種類であり、ジェスチャ入力を行っている場所の机上面がそれぞれ 300 lx, 500 lx, 700 lx, 1000 lxとなる環境である。同一の照明環境で取得したデータをテストデータとし、残りの照明環境で取得したデータを訓練データとしてジェスチャ認識精度を確認した。4種類の照明環境すべてに対して検証を行った結果をTable 4に示す。Table 4から、平均 97.1 %で3種類のジェスチャを分類している。検証結果から、提案手法は訓練データに含まれない未知の照明環境に対して有効である。

Table 4. Result of leave-one-illuminance-out cross-validation.

	Tap	Trace	Snap
Tap	97.9 %	1.7 %	0.4 %
Trace	4.6 %	95.0 %	0.4 %
Snap	0.8 %	0.8 %	98.4 %

6. むすび

スマートフォン内蔵の照度センサを利用して、端末表面の明暗変化から4種類のジェスチャを分類する手法を提案した。検証の結果、提案手法は未知のデータ、未知のユーザ、未知の照明環境に対して有効である。スマートフォン内蔵の照度センサを利用することで、ジェスチャを行う手にカメラを向けるような手法と比

較して片手のみで利用可能とした。提案手法を様々なアプリケーションに対応することで、タッチ操作が容易に行えない状況において片手操作を支援可能である。冬場に手袋を装着するときや、常に手袋を装着するような職業の人でも簡単に利用可能な操作方法として活用が期待できる。

今後は、提案手法をアプリケーションに対応して実利用を想定した評価を行っていききたい。手袋を装着するような状況を想定した場合、ジェスチャ操作に割り当てると有効なスマートフォンの操作を調査することが必要であると考え。また、実利用を考慮して想定できるジェスチャ以外の照度変化に対する対策を考えていきたい。

本研究の一部は、同志社大学ハリス理化学研究所研究助成金の助成を受けて行われた。

参考文献

- 1) T. Sharp, C. Keiskin, D. Robertson, J. Taylor, J. Shotton, D. Kim, C. Rhemann, I. Leichter, A. Vinnikov, Y. Wei, D. Freedman, P. Kohli, E. Krupka, A. Fitzgibbon, and S. Izadi, "Accurate, Robust, and Flexible RealTime Hand Trackin", *In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI'15*, 3633-3642 (2015).
- 2) S. Srinath, A. M. Feit, C. Theobalt, and A. Oulasvirta, "Investigating the Dexterity of Multi-Finger Input for Mid-Air Text Entry", *In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI'15*, 3643-3652 (2015).
- 3) J. Song, F. Pece, G. Sörös, M. Koelle, and O. Hilliges, "Joint Estimation of 3D Hand Position and Gestures from Monocular Video for Mobile Interactions", *In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI'15*, 3657-3660 (2015).
- 4) F. Haque, M. Nancel and D. Vogel "Myopoint: Pointing and Clicking Using Forearm Mounted Electromyography and Inertial Motion Sensorsm", *In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI'15*, 3653-3656 (2015).

- 5) S. Gupta, D. Morris, S. Patel and D Tan, “Sound-Wave: Using the Doppler Effect to Sense Gestures”, *In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI’12*, 1911-1914 (2012).
- 6) J. Wachs, H. Stern, Y. Edan, M. Gillam, C. Feied, M. Smith and J. Handler, A Real-Time Hand Gesture Interface for Medical Visualization Application, In Ashutosh Tiwari, Rajkumar Roy, Joshua Knowles, Erel Avineri and Keshav Dahal, editors, *Applications of Soft Computing*, volume 36 of *Advances in Intelligent and Soft Computing*, (Springer Berlin Heidelberg, 2006), pp. 153-162.
- 7) J. Lee, A. Olwal, H. Ishii and C. Boulangeir, “Space-Top: Integrating 2D and Spatial 3D Interactions in a See-through Desktop Environment”, *In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI’13*, 189-192 (2013).
- 8) S. Taylor, C. Keskin, O. Hilliges, S. Izadi and J. Helmes, “TypeHover-Swipe in 96 Bytes: A Motion Sensing Mechanical Keyboard”, *In Proceedings of the 32nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI’14*, 1695-1704 (2014).
- 9) C. Zhao, K. Chen, Md T. I. Aumi, S. Patel, M. S. Reynolds, “SideSwipe: Detecting In-air Gestures Around Mobile Devices Using Actual GSM Signal”, *In Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST’14*, 527-534 (2014).
- 10) M. Goel, B. Lee, Md. I. Aumi, S. Patel, G. Borriello, S. Hibino and B. Begole, “SurfaceLink: Using Inertial and Acoustic Sensing to Enable Multi-Device Interaction on a Surface”, *In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI’14*, 1387-1396 (2014).
- 11) J. Song, G. Sörös, and F. Pece, S. R. Fanello, S. Izadi, C. Keskin, and O. Hilliges, “In-Air Gestures Around Unmodified Mobile Devices”, *In Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST’14*, 319-329 (2014).