

# SkinRing: 装着方向に依らない指側面でのジェスチャ入力可能なリング型デバイス

花山 勝吾<sup>1</sup> 北村 莉久<sup>1</sup> 山本 匠<sup>1</sup> 雨坂 宇宙<sup>1</sup> Chan Liwei<sup>2</sup> 杉浦 裕太<sup>1</sup>

**概要:** 本研究では、装着方向にかかわらず指側面でのジェスチャ入力を可能にするリング型デバイス SkinRing を提案する。SkinRing は、8 個の反射型光センサがリングに取り付けられたもので、人差し指に装着し、親指が人差し指に触れた際の皮膚変形情報を取得することでジェスチャ識別を行う。さらに、最初に手の開閉動作によるキャリブレーションを行うことにより、装着時のリングの回転方向に依存しない入力が可能である。9 種類のジェスチャの識別精度を検証した結果、87.8% の平均識別精度を示した。

## 1. はじめに

リング型デバイスは、インタラクティブな機能を実現するために広く研究されてきた。しかし、リング型デバイスは、その形から入力スペースが一次元に制限されることも多い [1], [2]。この入力機能を拡張するために、先行研究では周囲の皮膚領域を利用している [3], [4]。例えば、EFRing[3] は、電界センシングを利用して指の皮膚上での 2 次元のジェスチャ入力を可能にしている。FingerSound[4] は、接触式マイクとジャイロセンサを用いて手の平での 2 次元のジェスチャ入力を可能にしている。ところが、これらはリング型デバイスを装着したユーザーが正確な入力座標を維持するために指にデバイスを正しい向きで装着する必要がある。

本研究では、装着方向に依らずに指側面でのジェスチャ入力を可能にするリング型デバイス、SkinRing を提案する (図 1)。SkinRing は、8 個の反射型光センサが、赤外線指に照射する向きにリングに取り付けられたものである。人差し指に装着し、親指が人差し指に触れたときの皮膚変形情報を取得することでジェスチャ識別を行う。反射型光センサはリングの周りに等間隔に取り付けられているため、キャリブレーションを行うことによってリングの回転方向に依存しない入力が可能である。さらに、人差し指の皮膚を親指でなぞるようにジェスチャするため、アイズフリー入力には特に重要な触覚フィードバックを与えることができる。

本研究では、親指が人差し指に触れたときの皮膚変形情報の時系列データから特徴量抽出後、ランダムフォレスト



図 1 SkinRing は親指で人差し指をなぞるジェスチャ入力を検出

を用いてジェスチャを識別した。9 種類のジェスチャの識別精度を測定するためにユーザスタディ (N=10) を実施したところ、8つの異なる回転方向でキャリブレーションを用いてジェスチャを行った際の平均識別精度は 87.8%であった。これは、リングの回転方向に依存しないジェスチャ入力が十分に可能であることを示しており、快適で便利な入力に貢献するものである。

## 2. 関連研究

### 2.1 リング型入力デバイス

これまでも多くのリング型入力デバイスが研究されている。AuraRing[5] は、リングとリストバンドで構成され、磁界を利用して指の動きを追跡する。LightRing[6] は、赤外線近接センサとジャイロスコープを組み合わせて、平面上の指先の 2 次元位置を検知する。ThumbTrak[7] は、近接センサを用いて手のポーズを認識する。國分ら [8] は、リングの上の空中でジェスチャ入力を行うために反射型光センサを利用した。Tsai ら [9] は、静電容量センシング技

<sup>1</sup> 慶應義塾大学

<sup>2</sup> National Chiao Tung University

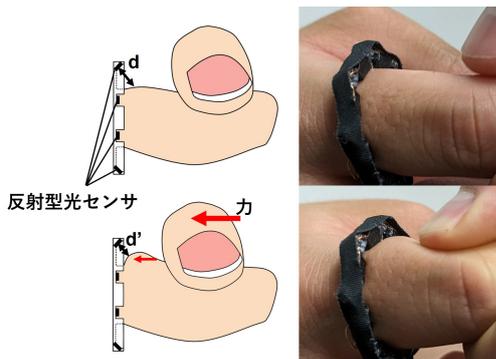


図 2 反射型光センサが皮膚変形を検出

術を用いて、電極が印刷された紙のリング上で入力を行った。また、皮膚そのものを入力面として使用する研究も多い。これらの研究には、触覚フィードバックを提供するインタフェースとして皮膚表面を使用できるという利点がある。例えば、ElectroRing[10]は、正確なタッチを検出するためにアクティブな電気センシングを使用した。Tsaiら[11]は、皮膚上の親指の一次的な動きを追跡するために手の甲とサムリングに慣性計測ユニットを取り付けた。Waghmareら[2]は、アクティブ電界センシングと手の電気インピーダンスの変化を利用して、一次元ジェスチャ入力やユーザー識別などの様々な機能を実現した。Zhangら[12]は、慣性計測ユニットと接触型マイクを用いて、親指の一次元ジェスチャ入力を可能にした。また、2次元ジェスチャ入力を可能にするデバイスもある。例えば、電界センシングを用いて2次元ジェスチャ入力を可能にするEFRing[3]などがある。また、Zhangら[4]は、接触型マイクとジャイロセンサを用いて、手の平による2次元ジェスチャ入力を可能にしている。

しかし、これらの2次元ジェスチャ入力を可能にするデバイスは、リングの回転方向に対する制約があり、ユーザは装着時に注意を払う必要がある。本研究では、キャリブレーション技術を実装することでこの制限を克服し、リングの回転方向に依存しない入力を可能にする。

## 2.2 皮膚変形の検知

反射型光センサを使用して、指以外の身体部位の皮膚変形を検出する研究はいくつかある。耳[13]や頬[14],[15]を使ったインタフェースや、イヤリング[16]、眼鏡[17],[18]、マスク[19]を使い、皮膚の変形によって表情を認識する研究もある。また、人間に馴染みのある、手を用いた入力手法に皮膚変形を取り入れた研究もある。北村ら[20]は、指先の皮膚変形を利用して、親指で人差し指に描いたマイクロジェスチャを識別する付け爪型デバイスを提案した。尾形らは、手首の皮膚変形を利用した腕時計型ジェスチャ入力デバイスを開発した[21]。また、バンド型のデバイスを装着し、指で皮膚を動かす入力方法を提案した[22]。さら

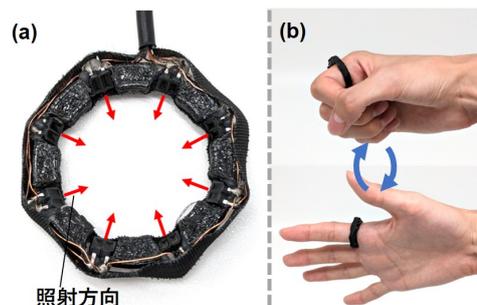


図 3 (a) デバイスと赤外線照射方向. (b) 手の開閉によるキャリブレーション動作.

に、リング型のデバイスを介して外圧や指の回転を検出する方法も提案した[23]。

しかし、このリング型デバイス[23]によるジェスチャ識別の可能性については言及されていない。本研究では、皮膚の変形を検出するリング型デバイスを用いたジェスチャ識別の精度を測定することで、幅広い実用性を検討する。

## 3. 提案手法

最初に皮膚変形検出の原理を説明し、次に使用したハードウェアを紹介する。最後に、キャリブレーションとジェスチャ識別の方法について詳述する。

### 3.1 皮膚変形検出の原理

反射型光センサは発光素子から赤外線を照射し、その反射光を受光素子で検出する。物体からセンサまでの距離によって反射光の量が変化するため、距離を測定することができる。手を開閉するときや、親指で人差し指の側面をなぞるとき、リング付近の皮膚が変形する。その際、図2に示すように反射型光センサと指の皮膚との距離を測定することで皮膚変形を検出し、センサ値から回転方向のキャリブレーションやジェスチャ識別を行う。

### 3.2 ハードウェア設計

3Dプリンタで作成したリングに8個の反射型光センサ(SG-105:コーデンシ社)が、指に赤外線を照射する向きに取り付けられている(図3(a))。デバイスはラージサイズとスモールサイズの2種類を用意した。ラージサイズの直径は21mm、スモールサイズの直径は19mmである。反射型光センサから取得したセンサ値はArduino Pro Mini 3.3Vを用いてノートパソコン(ASUS:Zenbook 14)に送信される。サンプリングレートは約80[fps]であった。

### 3.3 キャリブレーション

キャリブレーションを行う目的は、リングの装着されている回転方向を特定することである。本研究では、キャリブレーションとして、手を閉じた状態から手の開閉を2回行う(図3(b))。ジェスチャを行う前にキャリブレーション

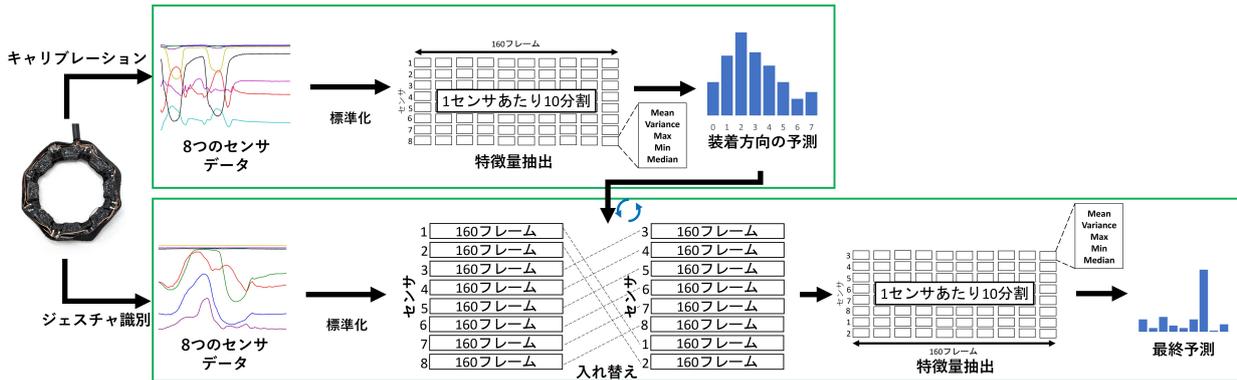


図 4 キャリブレーションとジェスチャ識別

ンを行い、160 フレームの 8 つのセンサ値を取得する。時系列データを標準化した後、各センサデータを 10 分割し、それぞれの分割したデータごとに 5 つの特徴量（平均値、分散、最大値、最小値、中央値）を抽出する。その後、ランダムフォレストを用いて回転方向を予測する。キャリブレーション後、ジェスチャデータとして 160 フレームの 8 つのセンサ値を取得し、標準化した後に、キャリブレーションでの予測結果に基づき、センサデータの入れ替えを行うことで回転の影響を減らす。そして、キャリブレーションと同様のプロセスでジェスチャデータから特徴量を抽出する。最後にランダムフォレストを用いてジェスチャの最終予測をする (図 4)。このようにキャリブレーションを行うことで、回転方向に依存しないジェスチャ識別が可能となる。

### 3.4 識別

4.3 節に示す実験 3 では、8 つの回転方向 (図 5 (a)) のジェスチャを識別する際、各センサのデータの順番を、キャリブレーションで予測された回転方向に合わせるように入れ替えた。

キャリブレーションでは 8 つの離散的な回転方向しか識別できないため、厳密な回転方向の予測はできない。したがって、訓練データには、実際の回転方向に入れ替えたデータだけでなく、その両隣の回転方向に入れ替えたデータも利用している。識別では、キャリブレーションモデルで予測した回転方向に入れ替えたデータとその両隣の回転方向に入れ替えたデータでの予測確率を算出し、その中で最も高い確率のジェスチャに決定するという方式を取った。ランダムフォレスト分類器は、python scikit-learn ライブラリを用いて作成された。

## 4. 評価

SkinRing の識別精度を測定するため、10 人のユーザを対象としたユーザスタディを実施した。参加者は男性 8 名、女性 2 名 (平均年齢 23.3 歳、標準偏差 2.34 歳) で、全員

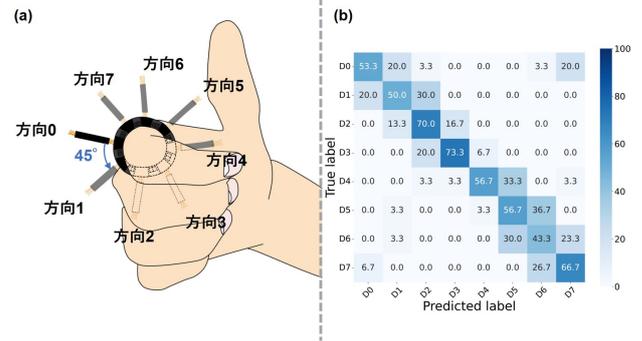


図 5 (a) リングの回転方向. (b) 回転方向の識別精度.

が右利きだった。使用したリングは、ユーザの指の大きさに合わせてラージサイズとスモールサイズを使い分けた。ラージサイズを使用した参加者は 3 名、スモールサイズを使用した参加者は 7 名だった。実験では、参加者は右手の人差し指に SkinRing を装着した。実験はすべて室内で行った。すべての実験は、著者の所属する研究機関である慶應義塾大学の研究倫理委員会から承認を得ている。

## 4.1 実験 1：1 回転方向でのリング装着時のジェスチャ

### 4.1.1 概要

本実験は、ベースライン調査として、1 つの回転方向でのジェスチャの識別精度を評価する。リングの回転方向を、手の甲側にワイヤーを向けた方向 0 (図 5 (a)) に固定し、図 6 に示す全 9 種類のジェスチャを用いて識別精度を検証した。使用したジェスチャセットはリングベースのジェスチャに関する先行研究 [3] のものである。実験の前に参加者にはジェスチャの練習をもらった。実験では 9 つのジェスチャを 1 回ずつすべてを行うことを 1 セットとし、参加者は 10 セットジェスチャを行った。1 セット行う度にリングを付け直した。

### 4.1.2 結果

10 セット取得したセンサデータについて、個人内交差検証と個人間交差検証を行った。個人内検証では、個人のデータを訓練データとして 9 セット分のジェスチャデー

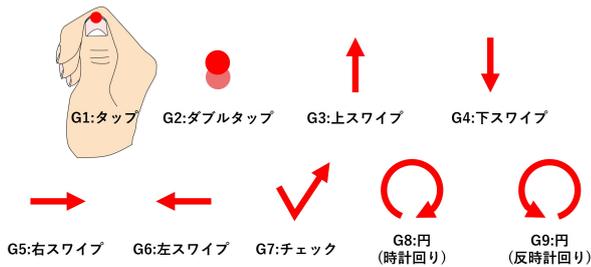


図 6 ジェスチャセット

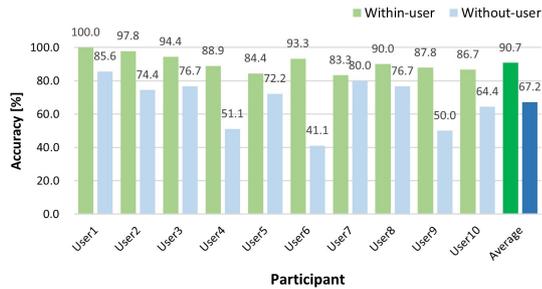


図 7 1 回転方向でのジェスチャの識別精度

データを、テストデータとして 1 セット分のジェスチャデータを使用し、個人間検証では、訓練データとして 9 人分のジェスチャデータを、テストデータとして 1 人分のジェスチャデータを使用した。その結果、9 つのジェスチャの平均識別精度は個人内で 90.7%，個人間で 67.2%であった。各ユーザにおける個人内識別精度と個人間識別精度を図 7 に示す。個人ごとに見ても分かるように、個人内識別はある程度可能であるが、個人間識別は困難であるといえる。

## 4.2 実験 2：装着方向のキャリブレーション

### 4.2.1 概要

本実験は、図 3 (b) に示す手の開閉を 2 回行うキャリブレーション動作の識別精度を評価する。参加者は、図 5 (a) に示すリングの 8 つの回転方向について、それぞれ 3 回ずつキャリブレーション動作を行った。各方向の角度間隔は 45 度である。方向 0 では、ワイヤーは手の甲側を向いている。リングは毎記録ごとに付け直した。

### 4.2.2 結果

取得したセンサデータについて、個人内交差検証を行った。訓練データとしてテストデータ以外のキャリブレーションデータを、テストデータとして 1 方向かつ 1 回分のキャリブレーションデータを使用した。その結果、8 つの回転方向の平均識別精度は 58.8%であった。混同行列を図 5 (b) に示す。各回転方向のラベルに対して隣のラベルとの距離を 1 とした場合の平均距離誤差は 0.413 であった。実際の正しいラベルだけでなく、両隣のラベルも正しいラベルとみなした場合の平均識別精度は 99.2%であった。これらの結果と混同行列から、キャリブレーションにより回

転方向を正確に決定することはできないが、隣の回転方向ラベルを含めたおおよその予測は 100%に近い確率で行えることが明らかになった。

## 4.3 実験 3：8 回転方向でのリング装着時のジェスチャ

### 4.3.1 概要

本実験は、図 5 (a) に示す 8 つの回転方向でリングを装着したときのジェスチャの識別精度を評価する。方向 0 のジェスチャは 4.1 節で記録したため、参加者は残りの 7 つの回転方向でそれぞれ 3 セットずつジェスチャを行った。1 セットあたり図 6 に示す 9 つのジェスチャを行い、9 つのジェスチャを 1 回ずつすべて行う度にリングを付け直した。

### 4.3.2 結果

各ユーザの 8 つの回転方向のセンサデータに対して、キャリブレーションありとキャリブレーションなしで個人内交差検証を行った。訓練データとしてテストデータ以外のジェスチャデータを、テストデータとして 1 方向かつ 1 セット分のジェスチャデータを使用した。使用したキャリブレーションモデルは、4.2 節で得られたデータから作成した個人内モデルである。その結果、9 つのジェスチャの平均識別精度は、キャリブレーションありで 87.8%，キャリブレーションなしで 76.0%であった。各ユーザにおけるキャリブレーションを用いた際と用いなかった際の識別精度を図 8 に、キャリブレーションを行った場合のジェスチャの識別精度の混同行列を図 9 に示す。ジェスチャについては、特にスワイプとチェックのジェスチャで間違いが生じやすいことが確認された。これは、単純な直線の方向を識別することが、他のジェスチャに比べて難しいからだと考えられる。

本実験結果から、個人ごとに見ても、キャリブレーションを用いることによってリングの回転方向に依らないジェスチャ識別が容易になっていることが分かる。実際にユーザがデバイスを利用することを考えると、1 回転方向で 10 セットジェスチャを行った際の識別精度である 90.7%を 8 回転方向でも達成するために、8 回転方向ですべてのジェスチャを 10 セット行うことは、大きな手間である。そのため、3 セットという大幅に少ない試行回数で 87.8%の精度を達成できたことは本研究の大きな貢献である。

## 5. 制約と今後の展望

本研究では、リングデバイスの装着方向に依存しない入力を可能にする手法を提案した。しかし、提案した SkinRing にはいくつかの制約がある。初めに、個人差の影響がある。反射型光センサは赤外線を照射し、その反射光の強さを測定するため、肌色や肌表面の個人差によってセンサの感度が異なる。さらに、リングの大きさは固定されているため、個人の指の太さによってもセンサの値が異なる。また、個

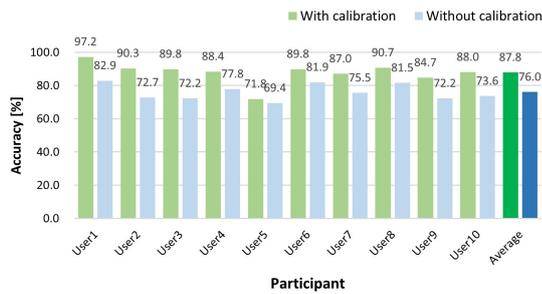


図 8 8 回転方向でのジェスチャの識別精度

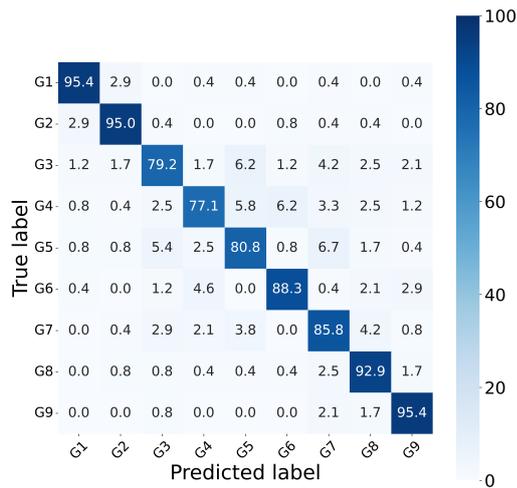


図 9 9 つのジェスチャの識別精度

人間でも、その日の指のむくみ具合によってセンサ値が異なる。そのため、今後は指輪の装着方向のキャリブレーションだけでなく、リングを装着した状態でのセンサの初期値のキャリブレーションや、感度調整も必要である。また、実際に製品として使用する際に、リングが個人の指の太さに合うように作成することも重要である。

また、皮膚を動かさずジェスチャを習得するのに時間がかかるという問題もある。実験参加者の中には、皮膚を変形させるジェスチャが難しいと感じている人もいた。また、ジェスチャをする際に指がリングに当たってしまうという意見もあったため、ジェスチャをする位置を検討する必要がある。さらに、実験は屋内で行ったが、SkinRing は環境光に含まれる赤外線の影響を受けるため、日差しの強い場所での使用には限界がある。この問題を解決するためには、反射型光センサに向かってくる他の光を遮断する必要がある、そのためにはデバイス自体のデザインを変更する必要がある。

実用化に向けては、ユーザがリングを装着した状態で勝手に入力が行われないようにするためのロック機能を追加するべきである。さらに、本研究では人差し指への装着の可能性に言及しているが、皮膚上のジェスチャ面積の広さやジェスチャ時のユーザの快適さから、中指への装着も可能であると考えられる。複数の指に装着できる可能性があ

れば、特定の指を負傷した場合など、使用シーンが広がる。そして、ジェスチャ識別だけでなくポインティング操作が SkinRing で行えるようになれば、実用の幅はさらに広がる。最終的な目標は、リングを無線化することでより快適な入力を可能にすることだと考えている。

## 6. おわりに

本論文では、装着時の回転方向に依存せずに指の側面でのジェスチャ入力を可能にするリング型デバイス SkinRing を提案した。9 種類のジェスチャの平均識別精度は 87.8% であった。我々は、本研究が、リング型デバイスの装着時の回転方向を無視できるという、この分野の他の研究者がこれまでに触れてこなかった利点を見出し、リング型入力デバイスの進歩に貢献する特異で重要なものとなったと考えている。今後は、デバイスの汎用性向上のため、リングサイズ幅の増加、中指への装着可能性の追求、ポインティング操作の実装に取り組むと同時に、実用化のため、リング装着時の誤作動防止用のロック機能の追加やデバイスの無線化による快適な入力の促進を試みる。

### 謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費（課題番号：JP21H03485）の支援を受けたものである。

### 参考文献

- [1] Ashbrook, D., Baudisch, P. and White, S.: NENYA: Subtle and Eyes-Free Mobile Input with a Magnetically-Tracked Finger Ring, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '11*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 2043–2046 (online), DOI: 10.1145/1978942.1979238 (2011).
- [2] Waghmare, A., Ben Taleb, Y., Chatterjee, I., Narendra, A. and Patel, S.: Z-Ring: Single-Point Bio-Impedance Sensing for Gesture, Touch, Object and User Recognition, *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '23*, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3544548.3581422 (2023).
- [3] Chen, T., Li, T., Yang, X. and Zhu, K.: EFRing: Enabling Thumb-to-Index-Finger Microgesture Interaction through Electric Field Sensing Using Single Smart Ring, *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.*, Vol. 6, No. 4 (online), DOI: 10.1145/3569478 (2023).
- [4] Zhang, C., Waghmare, A., Kundra, P., Pu, Y., Gilliland, S., Ploetz, T., Starner, T. E., Inan, O. T. and Abowd, G. D.: FingerSound: Recognizing Unistroke Thumb Gestures Using a Ring, *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.*, Vol. 1, No. 3 (online), DOI: 10.1145/3130985 (2017).
- [5] Parizi, F. S., Whitmire, E. and Patel, S.: AuraRing: Precise Electromagnetic Finger Tracking, *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.*, Vol. 3, No. 4 (online), DOI: 10.1145/3369831 (2020).
- [6] Kienzle, W. and Hinckley, K.: LightRing: Always-Available 2D Input on Any Surface, *Proceedings of the*

- 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '14, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 157–160 (online), DOI: 10.1145/2642918.2647376 (2014).
- [7] Sun, W., Li, F. M., Huang, C., Lei, Z., Steeper, B., Tao, S., Tian, F. and Zhang, C.: ThumbTrak: Recognizing Micro-Finger Poses Using a Ring with Proximity Sensing, *Proceedings of the 23rd International Conference on Mobile Human-Computer Interaction*, MobileHCI '21, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3447526.3472060 (2021).
- [8] Kokubu, H., Tominaga, K. and Shizuki, B.: One-Handed Control for Smartwatches Using Thumb Gestures to Ring, *Proceedings of the Asian HCI Symposium 2022*, Asian HCI '22, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 30–32 (online), DOI: 10.1145/3516492.3558790 (2023).
- [9] Tsai, H.-R., Hsiu, M.-C., Hsiao, J.-C., Huang, L.-T., Chen, M. and Hung, Y.-P.: TouchRing: Subtle and Always-Available Input Using a Multi-Touch Ring, *Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services Adjunct*, MobileHCI '16, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 891–898 (online), DOI: 10.1145/2957265.2961860 (2016).
- [10] Kienzle, W., Whitmire, E., Rittaler, C. and Benko, H.: ElectroRing: Subtle Pinch and Touch Detection with a Ring, *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '21, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3411764.3445094 (2021).
- [11] Tsai, H.-R., Wu, C.-Y., Huang, L.-T. and Hung, Y.-P.: ThumbRing: Private Interactions Using One-Handed Thumb Motion Input on Finger Segments, *Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services Adjunct*, MobileHCI '16, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 791–798 (online), DOI: 10.1145/2957265.2961859 (2016).
- [12] Zhang, C., Wang, X., Waghmare, A., Jain, S., Ploetz, T., Inan, O. T., Starner, T. E. and Abowd, G. D.: FingOrbits: Interaction with Wearables Using Synchronized Thumb Movements, *Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers*, ISWC '17, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 62–65 (online), DOI: 10.1145/3123021.3123041 (2017).
- [13] Kikuchi, T., Sugiura, Y., Masai, K., Sugimoto, M. and Thomas, B. H.: EarTouch: Turning the Ear into an Input Surface, *Proceedings of the 19th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '17, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3098279.3098538 (2017).
- [14] Masai, K., Sugiura, Y. and Sugimoto, M.: FaceRubbing: Input Technique by Rubbing Face Using Optical Sensors on Smart Eyewear for Facial Expression Recognition, *Proceedings of the 9th Augmented Human International Conference*, AH '18, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3174910.3174924 (2018).
- [15] Yamashita, K., Kikuchi, T., Masai, K., Sugimoto, M., Thomas, B. H. and Sugiura, Y.: CheekInput: Turning Your Cheek into an Input Surface by Embedded Optical Sensors on a Head-Mounted Display, *Proceedings of the 23rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, VRST '17, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3139131.3139146 (2017).
- [16] Futami, K., Oyama, K. and Murao, K.: Augmenting Ear Accessories for Facial Gesture Input Using Infrared Distance Sensor Array, *Electronics*, Vol. 11, No. 9 (online), DOI: 10.3390/electronics11091480 (2022).
- [17] Igarashi, Y., Futami, K. and Murao, K.: Silent Speech Eyewear Interface: Silent Speech Recognition Method Using Eyewear with Infrared Distance Sensors, *Proceedings of the 2022 ACM International Symposium on Wearable Computers*, ISWC '22, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 33–38 (online), DOI: 10.1145/3544794.3558458 (2022).
- [18] Masai, K., Sugiura, Y., Ogata, M., Kunze, K., Inami, M. and Sugimoto, M.: Facial Expression Recognition in Daily Life by Embedded Photo Reflective Sensors on Smart Eyewear, *Proceedings of the 21st International Conference on Intelligent User Interfaces*, IUI '16, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 317–326 (online), DOI: 10.1145/2856767.2856770 (2016).
- [19] Lee, H., Kim, Y. and Bianchi, A.: MAScreen: Augmenting Speech with Visual Cues of Lip Motions, Facial Expressions, and Text Using a Wearable Display, *SIGGRAPH Asia 2020 Emerging Technologies*, SA '20, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3415255.3422886 (2020).
- [20] Kitamura, R., Yamamoto, T. and Sugiura, Y.: TouchLog: Finger Micro Gesture Recognition Using Photo-Reflective Sensors, *Proceedings of the 2023 ACM International Symposium on Wearable Computers*, ISWC '23, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 92–97 (online), DOI: 10.1145/3594738.3611371 (2023).
- [21] Ogata, M. and Imai, M.: SkinWatch: Skin Gesture Interaction for Smart Watch, *Proceedings of the 6th Augmented Human International Conference*, AH '15, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 21–24 (online), DOI: 10.1145/2735711.2735830 (2015).
- [22] Ogata, M., Sugiura, Y., Makino, Y., Inami, M. and Imai, M.: SenSkin: Adapting Skin as a Soft Interface, *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '13, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 539–544 (online), DOI: 10.1145/2501988.2502039 (2013).
- [23] Ogata, M., Sugiura, Y., Osawa, H. and Imai, M.: IRing: Intelligent Ring Using Infrared Reflection, *Proceedings of the 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '12, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 131–136 (online), DOI: 10.1145/2380116.2380135 (2012).