

プライバシー保護のためにウェアラブルカメラに外付けする適応的レンズぼかし機構

中原 滉希* 大西 鮎美* 寺田 努* 塚本 昌彦*

概要. カメラを内蔵したウェアラブルデバイスの普及には、プライバシーへの配慮が重要である。既存の映像匿名化手法は、映像をデバイスに取り込んでから画像処理を施すため、個人識別可能な映像をデバイスに取り込んだ時点でリスクが生じるという現在のプライバシーへの配慮のルールに厳密には適合しない。そこで本研究では、既存のウェアラブル製品のカメラに外付けで装着可能で、カメラに映像が入る前に物理的なぼかしフィルムによって映像を適応的に匿名化する機構を実現する。提案デバイスでは、低解像度のサーモグラフィを用いて人の存在と距離を推定し、サーボモータによって扇状のフィルムを回転させて、3段階のぼかし度合いを切り替える。これにより、個人特定ができない範囲で可能な限り映像から詳細な情報を得られるぼかし度合いへと自動的に制御された状態でウェアラブルカメラを使用できる。

1 背景

カメラ映像を用いるウェアラブルシステムでは、個人情報を含む映像をデバイスに取り込む可能性があり、プライバシーの問題が生じることがある。前例として、ヘッドマウントディスプレイ方式の拡張現実ウェアラブルコンピュータである Google Glass は備え付けの小型カメラが周囲の人のプライバシーを侵害する懸念が社会的に問題となったことを主な理由として、一般開発者向けの販売が中止となった [1]。

個人を特定できる映像情報のうち、顔は個人を表す特徴的な情報であり、顔をぼかすことによってプライバシーを保護しようとする試みが進められている。日本テレビ放送網と NTT データは、画像認識による顔検出 AI を用いて自動で顔に映像編集によるぼかし加工を行うソフトウェアを開発した [2]。しかし既存のプライバシー保護手法では、カメラを通してデバイスに取り込まれた後にぼかし処理が行われるため、システムに一旦個人情報が取り込まれる。ここで日本の個人情報保護法や欧州連合の EU 一般データ保護規則では、明確な同意がある場合を除いて個人データを取得する時点でプライバシーの侵害とみなしている [3, 4]。よってプライバシー情報を含む映像を取得しないことが必要であるため、先行事例のシステムではプライバシー問題を根本的には解決できていない。

カメラに取り込まれる映像を物理的に隠しながら、カメラ以外のセンサを用いることで、人を検出する研究が存在する [5, 6]。しかし、脈拍の情報を抽出

して人を検出するという手法に対して、脈拍情報は動きに弱いことやサーモカメラと映像取得用カメラの画角を合わせるためにデバイスのサイズが大きくなることから、据え置き型のカメラでの使用を想定している。

そこで本研究では、ウェアラブルデバイスのカメラで撮影した映像情報でも、プライバシーを保護しつつ、人を検出するため、軽量かつ小型のデバイスを実装する。映像を取得する前にプライバシー情報を隠すため、デバイスの前に光を散乱させる乳白色のフィルムを外付けで配置する。そして、プライバシー情報を含む映像を取り込まない範囲で、ぼかし処理を可能な限り弱く保つことにより、アプリケーションの目的達成とプライバシー保護の両立を図るシステムの実現を目指す。

2 システムの設計と実装

提案デバイスの構成を図 1 に示す。提案デバイスでは、光を散乱させるポリプロピレン素材のフィルム (TEJI: CC-141-17) を任意のカメラレンズの前に配置して映像全体を物理的にぼかす。ぼかし度合いは、ぼかし強 (フィルム 2 枚重ね)、ぼかし弱 (フィルム 1 枚)、ぼかし無 (フィルム無) の 3 段階を用意する。ぼかし度合いの制御にはマイコン (M5Stack: M5stick-C-Plus) とサーボモータ (Tower Pro Pte Ltd: SG92R) を用いる。各ぼかし度合いでの映像の映り方と、それぞれの状態において物体検出技術を用いて得られる情報の一例を図 2 に示す。提案デバイスでは、扇状のぼかしフィルムを切り替える時に境目が生じないように 45 度ずらしてサーボモータに接続している。初期状態ではフィルムを 2 枚重ねたものをレンズの前に配置する。マイコンを用いて初期状態からサーボモータを 45 度回転させるこ

Copyright is held by the author(s). This paper is non-refereed and non-archival. Hence it may later appear in any journals, conferences, symposia, etc.

* 神戸大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Kobe University

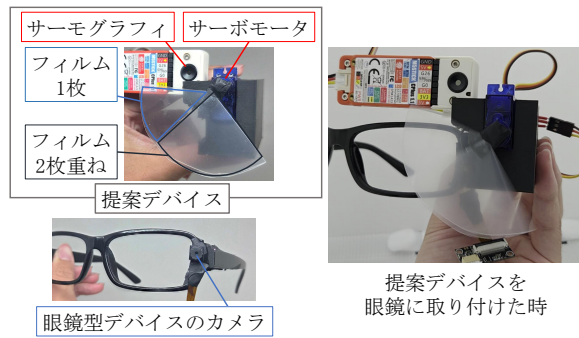


図 1. 提案デバイスの構成

ぼかし度合い	強	弱	無
映像			
映像から得られる情報	シルエットのみ 人や物	物体の一般名称 人, 机, 机上の物	個人や物体の特定 〇〇さん, 机, コップ等

図 2. ぼかし度合いによる取得映像と情報の違い

とでより弱いぼかし度合いであるフィルム 1 枚がレンズの前に移動する。さらに 45 度回転させることでレンズの前にフィルムが無くなり、ぼかしが無い状態となる。

また個人特定ができるかどうかの判断には、一般的には個人識別器が用いられる。しかし、個人識別器を使用すると、カメラ映像をコンピュータに入力してしまうことになり、プライバシーが保護できない。よって、提案デバイスでは、小型の赤外線アレイセンサ (Melexis: MLX90640) を用いる。32 × 24 ピクセルに分割されたサーモグラフィによる個人特定は困難であると考えられる。よって、この情報からプライバシーを保護しつつ、人を検出する。このセンサが得る 32 × 24 ピクセルに分割した熱分布を示す 2 次元画像のうち、人の体温に近い値で隣接して分布するピクセルの数とその縦横比の情報から、物体検出用のカメラの画角内に人がいるか判断する機能と、カメラから最も近くににいる人までの距離を推測する機能をマイコンに搭載した。

また、マイコンに内蔵された 3 軸加速度センサ値の合成値が、事前に設定した閾値 1.5 G を超えた場合、装着者が振り向いたと判定し、最もぼかしが強い状態に切り替える。さらに、サーモグラフィで温度の高いエリアが多く現れた場合、急に人が映像内に現れたとして、最もぼかしが強い状態に切り替える。

匿名化のための物理的な映像ぼかしと画像からわ

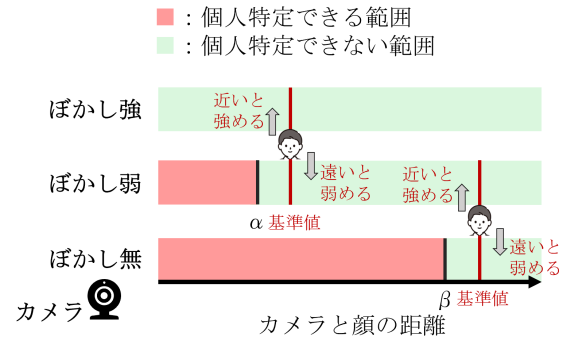


図 3. ぼかし度合いの判断基準

かる情報のリッチさは、トレードオフの関係にある。そのためぼかし度合いはリアルタイムで匿名化できている範囲でできるだけぼかさないことが求められる。適切なぼかし度合いを決める要素には、カメラ・フィルムの種類や、カメラと人との距離が考えられる。匿名化できる距離の範囲は、実装に用いるカメラやフィルムの種類に依存するため、実装で採用した機材の構成ごとにフィルム切り替え距離を調査して、その距離の閾値を校正する必要がある。

次に校正により得られる距離の閾値に応じた、ぼかし度合いを強める、あるいは弱める判断基準について説明する。図 3 に示すように匿名化できる距離の範囲が得られたとする。個人特定が可能になることを確実に防ぐため、匿名化が可能となる距離の閾値からさらにある程度遠い距離を、ぼかしを切り替える判断に用いる基準値とする。この基準値より近い場合にぼかしを強め、遠い場合にぼかしを弱める。

3 まとめ

本論文では、ウェアラブルデバイスにおいて「映像情報を必要以上に失わず、かつプライバシーを保護する」ことを目的に、状況に応じてぼかし度合いを切り替えるデバイスを提案し、実装した。今後は、日常生活における多様な場面で匿名性を維持できるかを確かめるため、評価実験を行う。

謝辞

本研究の一部は、JST ムーンショット型研究開発事業 (JPMJMS239F) および科学研究費補助金基盤研究 (A)(22H00550) の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] 丸山栄治, 塚本昌彦, 新川拓哉: スマートグラスに関するプライバシーの問題, Contemporary and Applied Philosophy, Vol. 15, pp. 220–240 (Oct. 2024).

- [2] 日本テレビ放送網株式会社・株式会社エヌ・ティ・ティ・データ: BlurOn, <https://blur-on.com/> (Accessed on 10/20/2025).
- [3] 個人情報保護委員会: 法令・ガイドライン等, <https://www.ppc.go.jp/personalinfo/legal/> (Accessed on 10/20/2025).
- [4] EU: General Data Protection Regulation, <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj> (Accessed on 10/20/2025).
- [5] 北島利浩, 村上エドワード, 吉元俊輔, 黒田嘉宏, 大城 理: 生体信号を利用したプライバシー保護画像からの顔検出手法, 電気学会論文誌 C, Vol. 138, No. 3, pp. 210–220 (2018).
- [6] Y. Zhang, Y. Lu, H. Nagahara, and R. Taniguchi: Anonymous Camera for Privacy Protection, *Proc. of the 22nd International Conference on Pattern Recognition*, pp. 4170–4175 (Aug. 2014).