

カメラによる写りこみを防止するプライバシーバイザーの提案

山田 隆行† 合志 清一‡ 越前 功¶

†総合研究大学院大学 複合科学研究科

‡工学院大学 情報学部

¶国立情報学研究所 コンテンツ科学研究系

概要 盗撮やカメラの写りこみによるプライバシー侵害を、被撮影者側から防止する方式を提案する。カメラ付き携帯端末の普及や、SNS や画像検索技術の進展により、無断で撮影・開示された写真を通じて、被撮影者がいつ・どこにいたかという情報が暴露されることになり、被撮影者のプライバシー保護が求められている。従来手法は被撮影者の顔面の隠ぺいや着色により顔面を変える必要があるため、物理空間における人対人のコミュニケーションに支障をきたすという問題があった。本論文では、被撮影者のプライバシーを保護するために、人間の視覚とデジタルカメラの撮像デバイスの感度特性の違いを利用したウェアラブルデバイスを被撮影者が装着することで、人の視覚に違和感を与えずに、撮影時のみ被撮影者の同定を不能にする方式を提案する。提案方式を実装したプライバシーバイザーによる顔検出の評価実験により、顔画像への妨害度合いを確認し、プライバシーバイザーの有効性を確認した。

Privacy visor: Wearable device that transmits invisible noise signals for preventing face recognition from camera images

Takayuki Yamada† Seiichi Gohshi‡ Isao Echizen†¶

†Graduate University for Advanced Studies

‡Kogakuin University

¶National Institute of Informatics

Abstract A method is proposed for preventing privacy invasion through unintentional capture of facial images. Prevention methods such as covering the face and painting particular patterns on the face are effective but hinder face-to-face communication. The proposed method overcomes this problem through the use of a device worn on the face that transmits near-infrared signals that are picked up by camera image sensors, which makes the face in captured images undetectable. The device is similar in appearance to a pair of eyeglasses, and the signals cannot be seen by the human eye, so face-to-face communication is not hindered. Testing of a prototype “privacy visor” showed that it can effectively prevent privacy invasion via face detection by corrupting the facial images.

1 はじめに

ユビキタス情報社会の進展により、コンピュータ、センサおよびそのネットワークがいたるところに存在

し、生活のあらゆる時間・空間で有益なサービスが受けられるようになった。一方で、カメラや GPS などのセンサを内蔵した携帯端末の普及により、人間という知的センサによって絶えず監視され、プライバシ

一情報が容易に開示されるという問題が顕在化している[1,2]. 特にカメラ付き携帯端末により, 当事者に無断で撮影された写真や, 意図せず写りこんだ写真が, 撮影者により, 撮影情報とともに SNS などに開示されることで, 当事者のプライバシーが侵害されることが社会問題となっている[3]. 撮影時に撮影場所・時間などの撮影情報(ジオタグ)をメタデータとして写真に付加する携帯端末の普及や, Google images などの類似画像検索技術の進展により, 公開されている当事者の写真から当事者がいつ・どこにいたかという情報が無断で開示された写真を通じて暴露されることになり, 盗撮やカメラの写りこみによるプライバシー侵害を防止する本質的な対策が求められている.

本論文では, 撮影による人物のプライバシーを保護するために, 既存のデジタルカメラに新たな機能を追加することなく, 人間の視覚とデジタルカメラの撮像デバイスの感度特性の違いを利用することで, 人の視覚には影響を与えずに, 撮影時のみ人物の同定を不能にする方式を提案する.

以下, 2章で従来手法を概観し, 3章で提案手法を説明する準備として, 顔検出の概要を説明する. 4章では提案手法である撮影時のみ人物の同定を不能にする方式について述べ, 5章では4章の方式を実装したウェアラブルデバイス(プライバシーバイザー)について述べる. 6章では当該デバイスの評価結果を示す.

2 従来手法

従来手法に, 顔面を物理的に隠すことで, 人物のプライバシーを保護する手法[4]や, 顔面への着色や髪形の変更により, 人物の顔検出を失敗させる手法[5]がある. 顔面を物理的に隠す手法[4]は, Wearable Privacy Shell と呼ばれる伸縮可能な Shell 状の素材を用いてユーザのプライバシーを物理的に保護するもので, 通常は畳まれた状態でファッションアクセサリーとして機能するが, 伸長すると顔面を覆う Shell として機能し, ユーザのプライバシーを保護するとともに, カメラへの写りこみを物理的に防止する. 人物の顔検出を失敗させる方法[5]は,

顔面への特殊パターンの着色や髪形を特殊な形状にすることで, 顔認識の前処理である顔検出を失敗させ, 人物の同定を防止する. しかしながら, 上述した従来方式はいずれも, 顔面の大部分の隠ぺいや着色が必要なため, 物理空間における人対人のコミュニケーションに支障をきたすという問題があった.

本論文では, 物理空間における人対人のコミュニケーションに支障をきたすことなく, 盗撮やカメラの写りこみによるプライバシー侵害を防止する方法を提案する. 具体的には, 筆者らが過去に提案した盗撮防止技術[6,7]で得た知見に基づいて, 人の視覚に影響を与えず, カメラの撮像デバイスだけに反応する近赤外光源を人間の顔面から照射することで, 当該顔面の顔検出を不能にするウェアラブルデバイス(プライバシーバイザー)を提案する. 次章では, 顔検出の概要について述べる.

3 顔検出の概要

顔検出は, 顔を理解するための顔画像処理技術として, 最も重要で基礎的な技術であり[8], 顔認識の前処理として用いられている.

顔検出の中で最も良く知られた手法は, Viola と Jones によって2001年発表されたアルゴリズムである[9]. Viola らが提案した顔検出手法(Viola-Jones法)は, Haar-like 特徴量, 積分画像法, 判別器のカスケード構成という3つの主要な概念から構成されたアルゴリズムで, 高い精度と高速な検出処理を実現している. 以降では, Viola-Jones 法の上述の3つの概念のうち, 提案手法に関係する2つの概念である Haar-like 特徴量と判別器の Cascade 構成について概説する.

3.1 Haar-like 特徴量

Haar-like 特徴量は, 画像における特徴量であり, 入力画像の任意の場所から切り出した検出領域に対して, 図1に示すような矩形特徴を重ね合わせ, 赤い矩形領域 $r1$ の平均輝度 $s(r1)$ と青い矩形領域 $r2$ の平均輝度 $s(r2)$ の差をとることで, 次式のように得られる特徴量である.

$$h(r1, r2) = s(r1) - s(r2)$$

この矩形特徴を Haar-like 特徴と呼び、図 2 に示すように複数の基本パターンが定義されているが、検出領域における基本パターンの位置と大きさを変化させることで、1 つの検出領域に対して、多数の矩形特徴が用いられる。個々の矩形特徴は、それぞれの特徴から得られる Haar-like 特徴量と閾値との比較により、この特徴に適しているか適していないかを判別する弱判別器を構成する¹。顔検出は、各検出領域に対して、異なる矩形特徴を持つ複数の弱判別器から構成された強判別器を複数連結 (Cascade) し、連結された複数の強判別器による順次判定に基づいて、当該領域が“顔”か“非顔”であるか判定する。

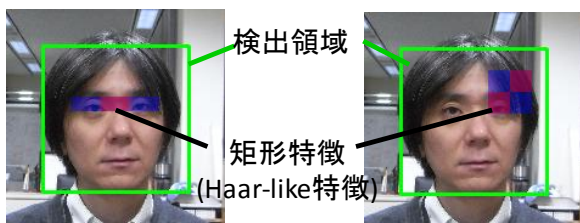


図1 検出領域と矩形特徴の重ね合わせの例

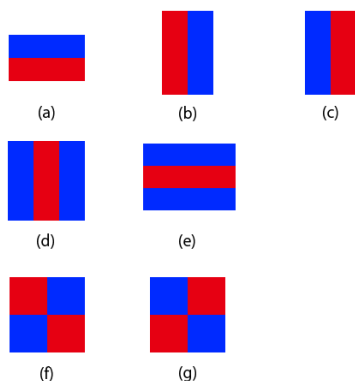


図 2 Haar-like 特徴の例

3.2 判別器の Cascade 構成

前節で述べたように、顔検出は各検出領域に対して、異なる矩形特徴を持つ複数の弱判別器から構

¹複数の矩形特徴で構成する弱判別器もあるが、説明を単純化するため、ここでは 1 つの矩形特徴で 1 つの弱判別器を構成するケースを考える。

成された強判別器を複数連結 (Cascade) し、連結された複数の強判別器による順次判定に基づいて、当該領域が“顔”か“非顔”であるか判定する。図 3 に強判別器の連結構成 (Cascade 構成) を示す。図が示すように、入力画像における各検出領域に対して、強判別器 1 から順に“顔・非顔”の判別を行い、検出領域が強判別器 1 で“非顔”と判別された場合は、以降の判別処理は行われずに、この検出領域に対する処理を終了する。検出領域が強判別器 1 で“顔”と判別された場合には、強判別器 2 に処理が引き継がれる。全ての強判別器で“顔”と判定された場合、この検出領域内に“顔候補”が含まれると判定し処理を終了する。顔検出は、入力画像における検出領域の位置をずらしながら、異なるサイズの検出領域についても実行される。全ての検出領域について顔検出が終了した後、“顔候補”が含まれると判定された検出領域内に、“顔候補”が含まれると判定された (異なるサイズの) 検出領域が M 個ある場合、当該領域に顔があると判定し、全ての処理を終了する。

また、強判別器を構成する弱判別器の数を、最上位の強判別器 1 では最も少なく、下位の強判別器に進むに従って多くすることで、各検出領域における“非顔”の判別を高速に行うことができる。Haar-like 特徴に基づく多数の矩形特徴から顔検出に有効な矩形特徴の選択や、強判別器内の弱判別器の構成および強判別器の連結順序は、多数の顔画像と非顔画像を学習データとして用いた強化学習 (Boosting) により事前に決定する。

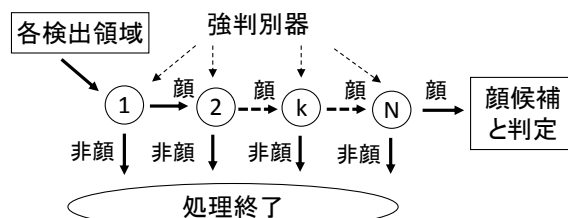


図 3 強判別器の連結構成 (Cascade 構成)

次章では、この顔検出を不能にすることで被撮影者のプライバシーを保護するウェアラブルデバイス (プライバシーバイザー) を提案する。

4 プライバシーバイザーの提案

本論文の目的は、物理空間における人対人のコミュニケーションに支障をきたすことなく、盗撮やカメラの写りこみによるプライバシー侵害を防止する方法を提案することである。具体的には、筆者らが過去に提案した盗撮防止技術[6,7]で得た知見に基づいて、人の視覚に影響を与えず、カメラの撮像デバイスにのみ反応する近赤外光源を人間の顔面から照射することで、当該顔面の顔検出を不能にするウェアラブルデバイス(プライバシーバイザー)を提案する。以降では、提案手法の原理について述べた後、顔検出を失敗させる近赤外光源の配置手法について検討する。

4.1 原理

光に関する標準仕様を勧告する国際照明委員会(CIE: international Commission on Illumination)の視覚の分光感度特性(等色関数)によれば、人間の目の可視域は波長 380~780nm である[10]。一方、デジタルカメラに用いられる撮像デバイスは暗所での感度維持のために可視域よりも広い波長域(約 200nm~1100nm)に感度を有している[11]。図 4 に人間とデジタルカメラの感度の違いを示す。

提案手法は、人の視覚に影響を与えず、カメラの撮像デバイスにのみ反応する近赤外線(近赤外線)を人間の顔面から照射することで、撮影された顔画像にノイズを付加し、顔検出を経由した人物の同定を防止する。顔面からの近赤外線照射は、人間が通常着用する眼鏡やゴーグルに近赤外光源をノイズ光源として組み込むことで実現可能である。そこで、本論文では、近赤外光源を組み込んだゴーグル状のウェアラブルデバイス(プライバシーバイザー)を提案する。図 5 にプライバシーバイザーの概要を示す。

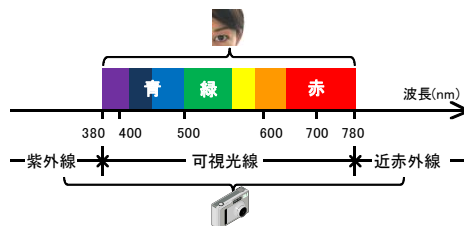


図 4 人間とデジタルカメラの感度

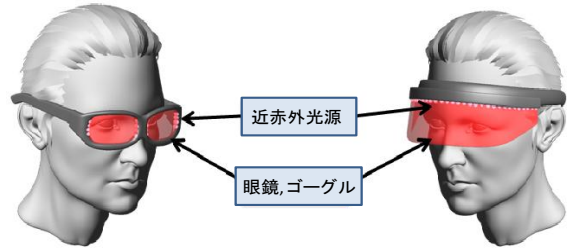
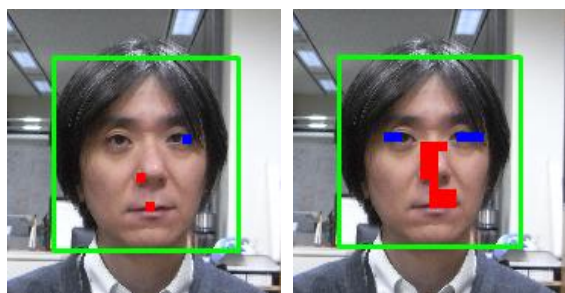


図 5 プライバシーバイザーの概要

4.2 ノイズ光源の配置

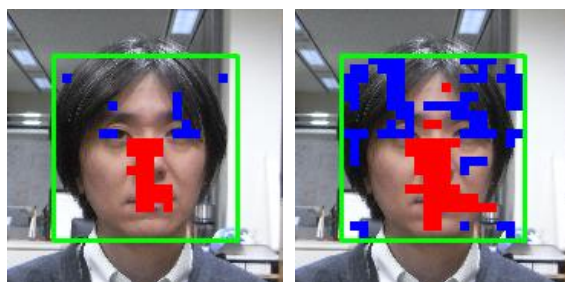
顔検出を妨害するためには、3.2 節で述べた顔検出の Cascade 構成において、強判別器に“非顔”と判別させる必要がある。すなわち、強判別器を構成する弱判別器において、顔画像に付加されたノイズが Haar-like 特徴量を大きく変化させることで、弱判別器に誤判別を起こさせることが必要である。そこで、強化学習(Boosting)により選択された顔検出に有効な矩形特徴を解析することで、顔面のどの部分にノイズ光源を配置することが適切か検討した。具体的には、5000 枚の顔画像と 3000 枚の非顔画像を用いた学習データ[12]に基づいて選択した矩形特徴を、赤い矩形領域 $r1$ 内の数値を+1、青い矩形領域 $r2$ 内の数値を-1 として、検出領域上に足し合わせることで、検出領域上に大きい値ととる正值・負値を持つ部分領域を示し、顔面内の輝度値変更による顔検出の影響が大きい箇所を特定した。

図 6 は、顔検出に成功した検出領域に上述の部分領域を重ね合わせたものである。図中の赤領域は絶対値が大きい正值を持つ領域、青領域は絶対値が大きい負値を持つ領域を示している。具体的には、部分領域の正值・負値が-1 から 1 の範囲にあるように規格化し、最大値から最大値- Δ の範囲にある正值を赤領域、最小値から最小値+ Δ の範囲にある正值を青領域で示している。図に示すように、赤領域は鼻筋および鼻筋の周囲と口に、青領域は目の周辺に集中しており、 Δ を大きくしていくと領域の面積が増えていくのが分かる。この分析結果にゴーグル状のウェアラブルデバイスに組み込み可能な領域を組み合わせて検討した結果、プライバシーバイザーのノイズ光源の位置を目の周辺および鼻筋周辺とした。



(a) $\Delta=0.15$

(b) $\Delta=0.30$



(c) $\Delta=0.45$

(d) $\Delta=0.60$

図6 ノイズ光源の配置候補

次章では、プライバシーバイザーの実装および評価について述べ、その有効性について検証する。

5 プライバシーバイザーの実装

5.1 概要

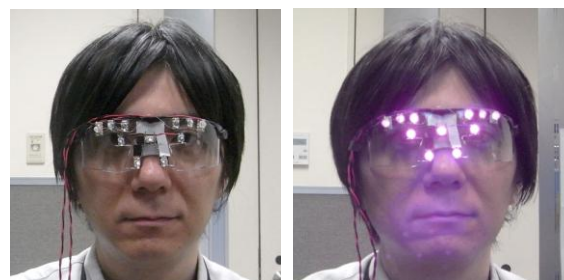
図7にプライバシーバイザーの概観、表1にその仕様を示す。実装したプライバシーバイザーは市販のゴーグルに近赤外LEDを取り付けている。図8にプライバシーバイザーを顔面に装着した例を示す。



図7 プライバシーバイザーの概観

表1 プライバシーバイザーの仕様

近赤外 LED	反射型: 11 個, ピーク波長: 870 nm, 放射強度: 600mW/sr, 放射角: $\pm 15^\circ$, 定格電流: 1A, 定格消費電力: 2.1W
ゴーグル	フレーム材料: プラスティック, レンズ: ポリカーボネート,
電源	充電電池 10 本(12V)



(a)正面(ノイズ無し)

(b)正面(ノイズ有り)



(c)斜め方向(ノイズ無し)

(d)斜め方向(ノイズ有り)

図8 プライバシーバイザーの装着例

プライバシーバイザーのノイズ光源を点灯した場合には、図8(b),(d)に示すように、カメラの撮像デバイスには、近赤外線はノイズとして記録される。顔画像に付加されたこのノイズが Haar-like 特徴量を大きく変化させるため、弱判別器が誤判別を起こし、顔の検出ができなくなる。一方、プライバシーバイザーのノイズ光源を非点灯した場合は物理世界で人間の目が認識するゴーグルに相当し、図8(a),(c)に示すように通常のゴーグルに見えるため、物理世界における人対人のコミュニケーションを阻害することはない。

以下では、プライバシーバイザーを構成する近赤外 LED とゴーグルの詳細について詳述する。

5.2 構成

5.2.1 近赤外 LED

近赤外 LED の特性として、近赤外 LED の照射出

力が高い場合には、カメラ撮影時のノイズ効果は強まるが、人間の目に近赤外 LED の赤色成分が知覚されやすくなる。逆に照射出力が低い場合には、人間の目には知覚されないが、ノイズ効果は弱まる。さらに、LED の放射角が狭い場合には、放射角度内での妨害は強くなるが、斜めからの人物撮影に対して妨害効果が弱くなる。逆に放射角が広い場合には、斜めからの撮影に対して妨害効果は高くなるが、放射角度内での妨害効果は弱くなる。そこで、人間の目による知覚度合いと任意の撮影角度・距離における撮像デバイスのノイズ効果の度合いを LED の基本種別(砲弾型, 反射型), ピーク波長, スペクトル幅, 人間の視覚・撮像デバイスの感度特性を考慮しながら表 1 に示す近赤外 LED を採用した。

5.2.2 ゴーグル

近赤外 LED の人体への装着には着脱が容易な表 2 に示すゴーグル(眼鏡)を採用した。撮影時のノイズ効果の向上や顔認識を効果的に妨害するためには、顔面上のノイズ光源の配置が重要な課題となる。近赤外 LED の配置(位置や個数)については、4.2 節の分析結果に基づき、市販のゴーグルに 11 個の近赤外 LED を目の周辺(瞼両側:6 個, 瞳両側:2 個), 鼻筋周辺(鼻両側:2 個, 眉間:1 個)に取り付けている。写り込みは正面からだけでなく斜め方向からもあるため、斜め方向からも防止できなければならない。そこで、瞼両側 6 個の近赤外 LED のうち外側 2 個とその内側 2 個については、ゴーグルのレンズ面に沿って正面軸からそれぞれ 30°, 20°となるように取り付けた。

6 評価実験

デジタルカメラ(1/2.3-inch CCD:有効画素数約 1000 万画素)を用いて撮影した画像を使用し、実装したプライバシーバイザーを評価した。

6.1 評価方法

写り込みの画像を作成するために、正面と斜め(10°)から撮影を行う。このとき、表 2 に示すように写り込みとなる被写体の条件を設定した。顔検出は、一般に、カメラと被写体との距離が近いほど顔画像

は大きく撮影され、顔検出がより容易となる。本評価では、顔検出が容易となるようにカメラと被写体との距離を 3m とし、図 3 に示す Haar-like 特徴を用いた強判別器(N=20)の連結構造に基づく Open CV[13,14]による顔検出ライブラリを用いた。検出領域のサイズは、一辺が 20 pixel から入力画像の短辺を一辺とする pixel まで増分を 2 pixel とした正方領域とし、入力画像における検出領域の位置をずらしながら実行した。全ての強判別器を通過した検出領域は“顔候補”となり、“顔候補”が含まれると判定された検出領域内に、その他の“顔候補”が含まれると判定された(異なるサイズの)検出領域が M=2 個以上ある場合、Open CV の顔検出ライブラリでは、当該領域に顔があると判定され顔が検出される。

表 2 被写体の条件

(i)	プライバシーバイザー非装着
(ii)	プライバシーバイザー装着(ノイズ無し)
(iii)	プライバシーバイザー装着(ノイズ有り)

6.2 評価結果

CCD デジタルカメラにより正面と斜め 10°で撮影された画像例を図 8 に示す。

(i) プライバシーバイザー非装着の場合

図 9 (a),(b)に示すように、正面と斜めからいずれの場合も、内包関係にある“顔候補”が含まれると判定された(異なるサイズの)検出領域が M=2 個以上あるため、顔として検出された。

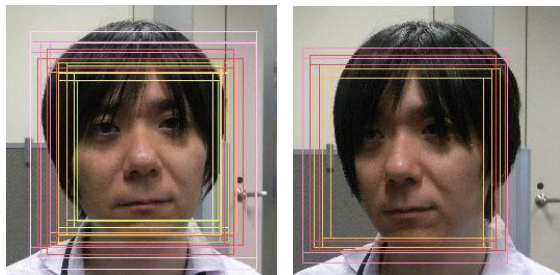
(ii) プライバシーバイザー装着(ノイズ無し)の場合

この場合は、正面から撮影した場合は、(i)と同様に顔として検出されたが、斜めから撮影した場合には、図 10 (b)に示すように、内包関係にある“顔候補”が含まれると判定された(異なるサイズの)検出領域が M=1 個であるため、顔は検出されなかった。これは斜めから撮影することにより、眼鏡をつけるなどによる顔が歪みに対して顔検出の精度が低下したものと考えられる。

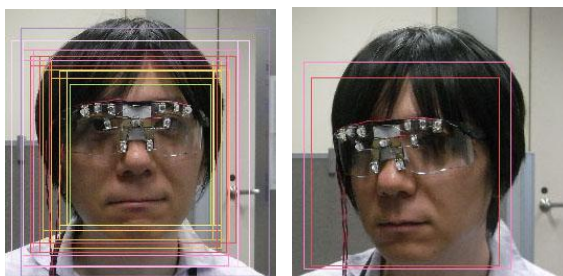
(iii) プライバシーバイザー装着(ノイズ有り)の場合

斜めから撮影した場合には、図 11 (b)に示すように内包関係にある“顔候補”が含まれると判定された(異なるサイズの)検出領域がない(M=0 個)ため、ノイズ無しの場合と同様に顔は検出されなかった。

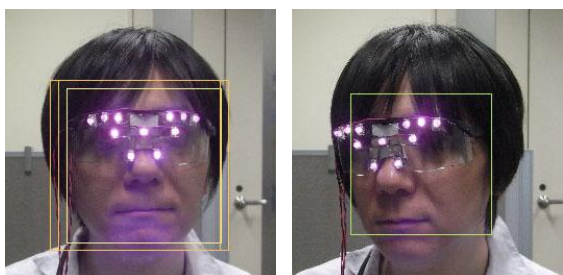
また、正面から撮影した場合は、図 11 (a)は、3つ以上の検出領域があるものの、内包関係にある“顔候補”が含まれると判定された(異なるサイズの)検出領域が M=1 個であるため、顔として検出されなかった。これは、近赤外線によるノイズにより正面から撮影した画像に対しても顔検出を妨害することができたものと考えられる。



(a) 正面 (b) 斜め(10°)
図 9 (i) プライバシーバイザー非装着

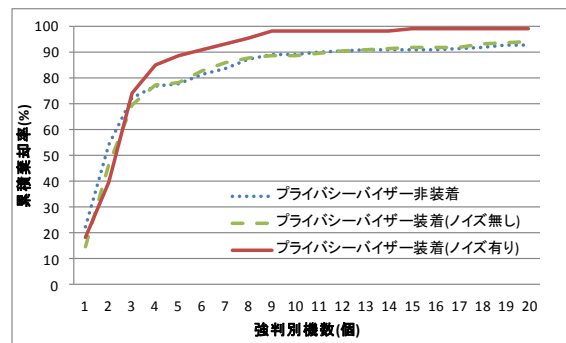


(a) 正面 (b) 斜め(10°)
図 10 (ii) プライバシーバイザー装着(ノイズ無し)

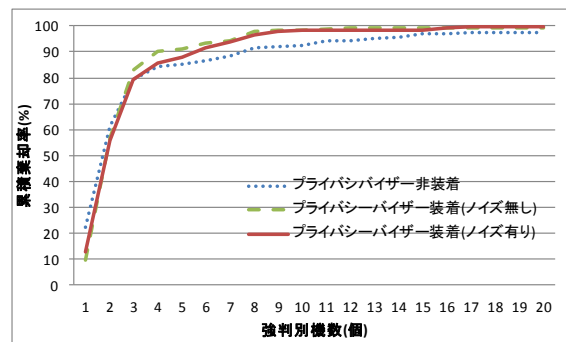


(a) 正面 (b) 斜め(10°)
図 11 (iii) プライバシーバイザー装着(ノイズ有り)

以上の結果は、提案方法が撮影した顔画像の顔検出によるプライバシー侵害を効果的に防止することができることを示している。



(a) 正面



(b) 斜め(10°)

図 12 累積棄却率

次にプライバシーバイザーが顔検出の誤判別にどのような影響を与えているか示すために、実行した全ての検出領域の各々が強判別器の何番目で棄却(“非顔”と判定)されたのかを調べた。強判別器 $k(k=1, \dots, 20)$ の棄却率を

$$\text{棄却率} = \frac{\text{強判別器が非顔と判定した検出領域数}}{\text{全ての検出領域数}}$$

とすると、各強判別器の棄却率を累積した累積棄却率のグラフは図 12 のようになる。グラフの横軸は Cascade 構成された最上位から最下位までの強判別器の番号 ($k=1, \dots, 20$)、縦軸は累積棄却率を示す。顔が検出されない場合、最下位の強判別器 ($k=20$) における累積棄却率はほぼ 100%となる。図 9 から図 11 に示したいずれの条件の顔画像においても、顔は上位の強判別器で棄却されており、 $k=3$ までの強判別器で、正面の場合には約 70%、斜めの場合には約 80%の画像が棄却されている。正面から撮影した場合には、図 12(a)に示すようにプライバシーバイザー装着(ノイズ有り)とそれ以外(プライバシーバイザー装着(ノイズ無し)および非装着)

との差は、 $k \geq 5$ で 10%程度となり、近赤外線による効果が高いことがわかる。一方、図 12(b)に示すように、斜め 10° から撮影した場合には、 $k \geq 6$ でプライバシーバイザー装着(ノイズ有し)と装着(ノイズ無し)との差はほとんどなかったが、これらとプライバシーバイザー非装着との差は最大 7%程度となった。これは、ノイズ光源の点灯・非点灯に関わらず、プライバシーバイザーの形状が顔検出の誤判別に影響を与えていると考えられる。

7 むすび

カメラ付き携帯端末により、当時者に無断で撮影された写真や、意図せず写りこんだ写真が、撮影者により、撮影情報とともに SNS などに開示されることで、当時者のプライバシーが侵害されることが社会問題となっており、無断で撮影・開示された写真による被撮影者のプライバシー保護が求められている。

本論文では、盗撮やカメラの写りこみによるプライバシー侵害を、被撮影者側から防止する方式を提案した。方式を実装したウェアラブルデバイス(プライバシーバイザー)は、人の視覚に影響を与えず、カメラの撮像デバイスのみに対応する近赤外光源を人間の顔面から照射することで、当該顔面の顔検出を不能にするという特徴を持つ。実装したプライバシーバイザーを顔面に装着して行った評価実験を通じて、提案手法が撮影した顔画像の顔検出によるプライバシー侵害を効果的に防止することができることを示した。今後、通常装着時の違和感の減少や、近赤外線光源の最適配置について引き続き検討を行う予定である。

参考文献

- [1] 今田 美幸, 風間 一洋, “社会ネットワーク上の個人情報伝搬特性に関する一考察”, 電子情報通信学会技術研究報告(SITE). Vol.108, No.289, pp.31-36, 2008.
- [2] 吉浦 裕, 越前 功, “ユビキタス情報社会のプライバシーとその保護技術”, 情報処理, Vol. 51, No. 9, pp.1136-1143, 2010.
- [3] 川口 嘉奈子, “ユビキタス時代のプライバシー : Google ストリートビュー・セカイカメラ等をもたらす問題の倫理的考察”, 電子情報通信学会技術研究報告. (SITE), Vol.109, No.74, pp.71-75, 2009.
- [4] Wearable Privacy Shells, <http://www.toxel.com/tech/2011/08/20/wearable-privacy-shells/>
- [5] How to camouflage yourself from facial recognition technology, <http://venturebeat.com/2010/07/02/facial-recognition-camouflage/>
- [6] 山田隆行, 合志清一, 越前功, “生体とデバイスの感度の違いを利用した映像の盗撮防止方式”, CSS2009 論文集, pp.715-720, 2009.
- [7] 山田隆行, 合志清一, 越前功, “人間とデバイスの感度の違いを利用したディスプレイ盗撮防止方式”, CSS2011 論文集, pp.702-707, 2011.
- [8] 勞世こう, 山口修, “利用が進む顔画像処理とその応用事例: (前編) 顔画像処理技術の動向”, 情報処理学会誌, Vol.50 No.4, pp.319-326, 2009.
- [9] P.Viola and M. Jones, “Robust Real-Time Face Detection,” International Journal of Computer Vision, (IJCV), Vol.57, No.2, pp.134-157, 2004.
- [10] CIE(international Commission on Illumination) <http://www.cie.co.at/>
- [11] 米本和也, “CCD/CMOS イメージ・センサの基礎と応用”, CQ 出版社, 2003.
- [12] Rainer Lienhart and Alexander Kurano and Vadim Pisarevsky, “Empirical Analysis of Detection Cascades of Boosted Classifiers for Rapid Object Detection,” DAGM25th Pattern Recognition Symposium, pp.297-304, 2003.
- [13] Gary Bradski, Adrian Kaehler, “詳解 OpenCV –コンピュータビジョンライブラリを使った画像処理・認識”, O'Reilly Japan, 2009.
- [14] 永田 雅人, “OpenCV 映像処理&解析”, カットシステム, 2009.