

カメラの写りこみによるプライバシー侵害への対策

-光反射・吸収特性を用いたプライバシーバイザーの提案-

Method based on light absorbing and reflecting properties for preventing face recognition from camera images

山田 隆行[†]
Takayuki Yamada

合志 清一[‡]
Seiichi Gohshi

越前 功[†]
Isao Echizen

1. まえがき

情報処理の高度化とユビキタス化の進展により個人が絶えず監視され、プライバシー情報が容易に開示されるというサイバー監視社会のプライバシー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る。カーネギー・メロン大学による Facebook の実験[4]では、実験のために写真を撮られることに同意した被験者のうち三分の一が、Facebook 上の写真と比較することによって人物を同定されるという結果が得られており、盗撮やデジタル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。盗撮やデジタルカメラの写り込みによるプライバシーの侵害の問題は、管理者によって映像が管理されている監視カメラによる撮影映像とは違い、被撮影者が自分の撮影映像や写真の無断開示を制御できない点にある。

本論文では、光吸収素材と光反射素材を用いたウェアラブルデバイスを使いデジタルカメラの写り込みによるプライバシー侵害を防止する手法を提案する。提案手法は、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、物理空間における人対人の自然なコミュニケーションを確保しつつ撮影された画像からの人物の同定を不能にすることが可能である。

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された画像からの人物の同定を不能にする手法について述べ、5章では4章の手法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[5]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[6]がある。顔面を物理的に隠す手法[5]は、VEASYBLE 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、デジタル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手法[6]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、上述した従来手法はいずれも、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。

そこで、先に筆者らは、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、人間の視覚には影響を与えずに、撮影された画像からの人物の同定を不能にする手法[7, 8]を提案した。提案手法は、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、盗撮やデジタルカメラの写りこみによるプライバシー侵害を防止することが可能である。しかしながら、ノイズ光源として近赤外 LED を使用していることから、近赤外 LED のための電源が必要である。また、市販のデジタルカメラは暗所での感度維持のために近赤外線を利用していることから、近赤外線に対する感度は、デジタルカメラによって異なり、一部のデジタルカメラは近赤外線に反応しない。したがって、近赤外線を用いた方法は、近赤外線に反応しないデジタルカメラに対しては効果がないという問題があった。

本論文で提案する手法は、これらの問題を克服するために、可視域における光の吸収と反射の特性に基づき、光吸収素材と光反射素材を用いることで、電源を必要とせずに顔検出によるプライバシー侵害を防止する。具体的には、光吸収素材と光反射素材を用いて、顔の明暗差に着目した特徴量である Haar-like 特徴量を大きく変化さ

[†] 国立情報学研究所, National Institute of Informatics

[‡] 工学院大学, Kogakuin University

せることにより顔検出を失敗させる。提案手法は、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、すべてのデジタルカメラに有効である。

次章では、顔検出の概要について述べる。

3. 顔検出

近年、計算機で顔画像を認識する研究が進み、人物の追跡や計数等に広く利用されている[9]。画像中の位置や大きさが未知の顔を、計算機によって自動的に認識するためには、図1に示すように顔認識処理の前に入力画像から顔領域を切り出す処理が必要となる。この処理は、顔検出と呼ばれ Viola と Jones が提案した顔検出手法[10] (Viola-Jones 法) が、その速度および性能の良さから広く利用されている[11]。Viola-Jones 法は、次節で述べる Haar-like 特徴量に基づく弱判別器を複数組み合わせた強判別器を複数連結して顔検出を行う手法である[12]。

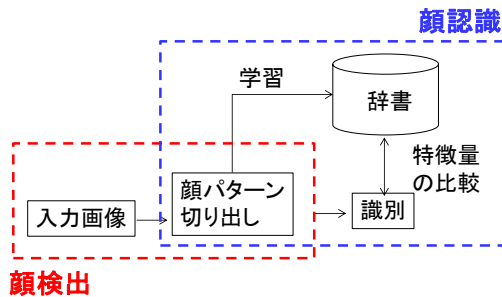


図1 顔検出と顔認識

3.1 Haar-like 特徴量

Haar-like 特徴量は、顔の明暗差に着目した特徴量で、2つの矩形領域で構成された Haar-like 特徴を用いて特徴量を算出する。図2に Haar-like 特徴の基本パターンを示す。図3に示すように入力画像から切り出した検出領域に対して、この基本パターンの位置と大きさを網羅的に変化させて生成した多数の Haar-like 特徴^[a]を用いて特徴量を算出する。具体的には、図2に示す Haar-like 特徴の基本パターンにおける青と赤の矩形領域の平均輝度値の差を求める。検出領域内の赤い矩形領域 r_1 における平均輝度値を $s(r_1)$ 、青い矩形領域 r_2 の平均輝度 $s(r_2)$ とすると、

Haar-like 特徴量 $H(r_1, r_2)$ は、

$$H(r_1, r_2) = s(r_1) - s(r_2) \quad (1)$$

と表すことができる。

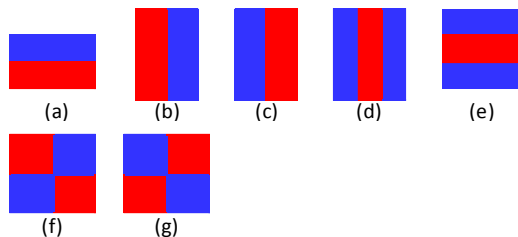


図2 Haar-like 特徴の基本パターン

[a] 例えば、検出領域を 20×20 のブロックに分割する場合、数万個の特徴が生成される。

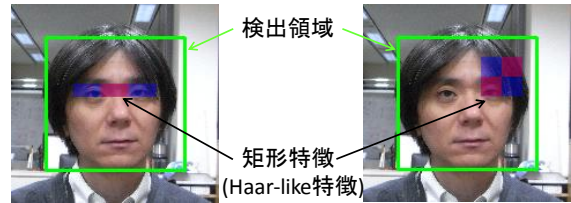


図3 矩形特徴を用いた特徴量の算出

3.2 弱判別器の構成

Haar-like 特徴量に基づく弱判別器は、検出領域における画素値集合を x 、基本パターンから網羅的に生成した多数の Haar-like 特徴をナンバリングしたインデックスを j 、 x に対して j 番目の Haar-like 特徴を用いて算出した Haar-like 特徴量を $f_j(x)$ とすると、次式で与えられる。

$$h_j(x) = \begin{cases} 1 & : p_j f_j(x) < p_j \theta_j \\ 0 & : \text{上記以外の場合} \end{cases} \quad (2)$$

ただし、 θ_j はしきい値、 p は不等号の向きを決定する変数(1 または -1)である。弱判別器 $h_j(x)$ は検出領域 x 内における j 番目の Haar-like 特徴量に基づいて、当該領域に Haar-like 特徴に類似した特徴があるか判別する。

つぎに、多数の弱判別器から、顔検出に有効な T 個の弱判別器を選定する。顔検出に有効な弱判別器とその組み合わせを構成する手法に AdaBoost がある[13]。AdaBoost では、“顔($y=1$)”か“非顔($y=0$)”を示すラベル ($y=0,1$)が付けられた K 枚の学習サンプル $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_K, y_K)$ を用いて学習を行い、多数の弱判別器から顔検出に有効な T 個の弱判別器を選定する。

3.3 強判別器と Cascade 構造

弱判別器を組み合わせたものは強判別器と呼ばれ、弱判別器の誤り値によって求まる弱判別器の重みを α 、学習により選定した T 個の弱判別器を $h_t(x)$ ($t=1, \dots, T$) とすると、強判別器 $F(x)$ は次式により表される[14]。

$$F(x) = \begin{cases} 1 & : \sum_{t=1}^T \alpha_t h_t(x) \geq \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \alpha_t \\ 0 & : \text{上記以外の場合} \end{cases} \quad (3)$$

この式では、まず、Haar-like 特徴に類似した特徴が存在するか否かの判別を全ての弱判別器で行い、多数決の原理により、当該特徴が存在すると判別した弱判別器が多い場合は 1 (真)、少ない場合には 0 (偽) の結果を返す。顔検出は、各検出領域に対して、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“顔候補”であるか判定する。図4に強判別器を N 個連結した構成 (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“真”か“偽”の判別を行い、検出領域が強判別器 1 で“偽”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“真”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“真”と判定された場合、この検出領域を“顔候補”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（内包関係にある異なるサイズの）検出領域が M 個ある場合、当該検出領域に顔があると判定し、全ての処理を終了する。

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手法（光反射・吸収特性を用いたプライバシーバイザー）を提案する。

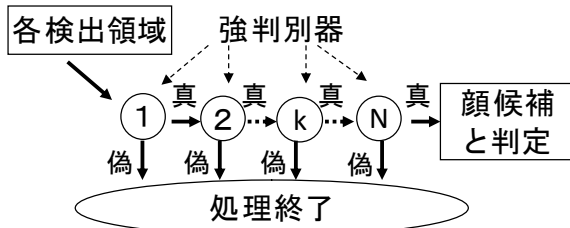


図4 強判別器の連結構成(Cascade 構成)

4. 光反射・吸収特性を用いたプライバシーバイザー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、盗撮やデジタル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、筆者らが先に提案したデジタルカメラの写りこみによるプライバシー侵害を防止する手法の2つの問題（電源と近赤外線に対する感度）を克服するために、入射光を吸収及び反射する素材の使用によって顔検出を防止するウェアラブルデバイス（光反射・吸収特性を用いたプライバシーバイザー）を提案する。提案するプライバシーバイザーは、近赤外線ではなく可視光を使用するため電源を必要とせず、すべてのデジタルカメラに対して有効である。図5に光反射・吸収特性を用いたプライバシーバイザーの概要を示す。

図に示すように、人間が通常着用する眼鏡やゴーグルの特定領域に装着された光吸収素材と光反射素材によって、顔画像の Haar-like 特徴量が変化し、顔検出を失敗させる。提案するプライバシーバイザーは、物理空間における人対人の自然なコミュニケーションを確保しつつ撮影された画像からの人物の同定を不能にすることが可能である。

以降では、提案する光反射・吸収特性を用いたプライバシーバイザーの原理について述べた後、顔検出を失敗させる光吸収素材と光反射素材の配置について検討する。

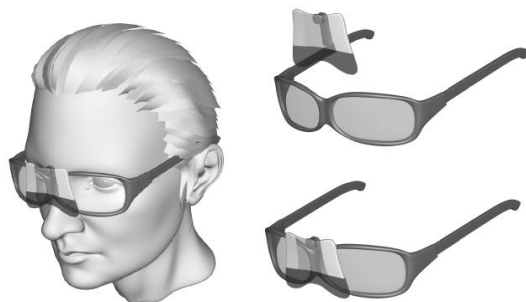


図5 プライバシーバイザーの概要

4.1 原理

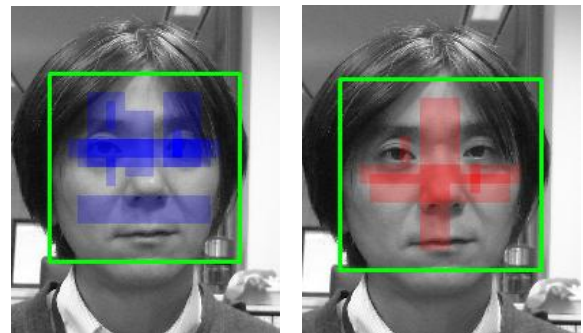
太陽光や蛍光灯には、さまざまな波長成分が含まれている。無光沢の色のついた物体は、その色の波長成分を除く波長成分が吸収され、人間の目には反射した可視域の波長成分が色として見える。無光沢の白い物体は、可視域におけるすべての波長成分を一様に（拡散）反射するため、人間の目には白く見える。一方、無光沢の黒い物体は、可視域におけるすべての波長成分を一様に吸収するため、人間の目には黒く見える。

Haar-like 特徴量は、顔の明暗差に着目した特徴量であることから、可視光の吸収と反射の特性を用いることで、顔認識の前処理である顔検出を失敗させることができる。すなわち、顔の輝度値の大きい領域に光吸収素材を配置し、顔の輝度値の小さい領域に光反射素材を配置することによって Haar-like 特徴量が変化し、顔検出を失敗させることができる。

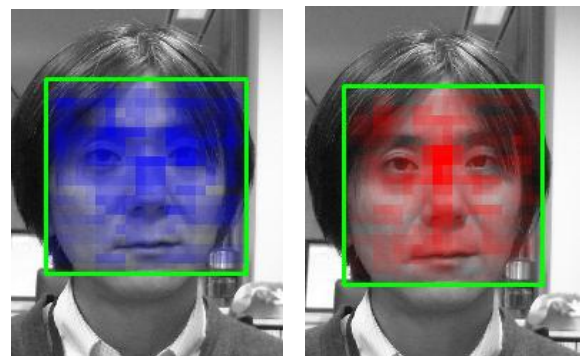
次節では、顔検出を失敗させる光吸収素材と光反射素材の効果的な配置について検討する。

4.2 光吸収素材と光反射素材の配置

顔検出を失敗させるためには、3.3 節で述べた顔検出の Cascade 構成において、強判別器に“偽”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、光吸収素材と光反射素材を適切に配置することにより、Haar-like 特徴量を大きく変化させ、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、教師付き学習により選択された顔検出に有効な矩形特徴を分析することで、顔面のどの領域に光吸収素材と光反射素材を配置することが適切か検討した。



(a) 1 番目($k=1$)の強判別器を用いた結果(6 特徴)



(b) 10 番目($k=10$)の強判別器を用いた結果(94 特徴)

図6 検出領域における位置と大きさを変化させて生成した Haar-like 特徴の重ね合わせ

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サンプル[15]に基づいて選択した位置と大きさを変化させ生成した Haar-like 特徴のうち赤い矩形領域のみを検出領域上に足し合わせることで顔の輝度値の大きい領域、青い矩形領域のみを検出領域上に足し合わせることで顔の輝度値の小さい領域をそれぞれ特定した。

図6は、1番目の強判別器 ($k=1$) 及び10番目の強判別器 ($k=10$) によって決定した位置と大きさを変化させ生成した Haar-like 特徴を重ね合わせて作成した図である。図中の赤い領域は、鼻筋や鼻筋の周囲、青い領域は目の周辺に集中しており、強判別器の番号が大きくなるとディテールが複雑になっていくことが分かる。これは、顔検出の最初の段階で顔の大きな特徴を判別していることによるものである。顔検出を失敗させるためには、赤い領域の輝度値を小さく青い領域の輝度値を大きくする必要がある。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に取り付ける光吸収素材と光反射素材の配置をそれぞれ鼻筋や鼻筋の周囲及び目の周辺とした。

次章では、プライバシーバイザーの実装について述べる。

5. プライバシーバイザーの実装

5.1 原理

図7にプライバシーバイザーの外観、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ゴーグルに光吸収素材と光反射素材を取り付けている。光吸収素材と光反射素材により 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、その結果、強判別器が“偽”と判別することにより、顔検出ができなくなる。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。装着時の違和感は、光吸収素材と光反射素材に施したデザインにより軽減される。

次節では、プライバシーバイザーを構成する光吸収素材と光反射素材、ゴーグルの詳細について詳述する。



図7 プライバシーバイザーの外観

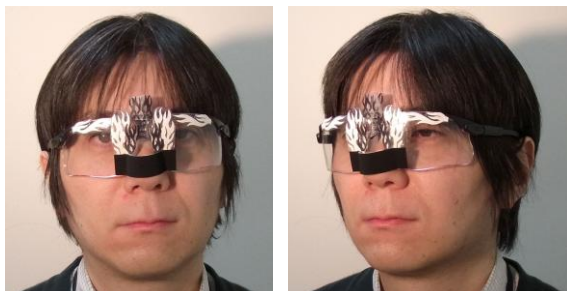


図8 プライバシーバイザーの装着例

5.2 構成

5.2.1 光吸収素材

可視域におけるすべての波長成分を一様にほとんど吸収する色は黒色である。そこで、Haar-like 特徴を検出領域に重ね合わせたときに高輝度となる顔の部位には、入射する可視光をほとんど吸収する特性を有する無光沢の黒い素材が必要である。本論文では、紙の上に静電植毛し、細かな黒い毛で光を吸収して不要な光の拡散を防ぐ植毛紙を用いた。使用した植毛紙の反射率は 0.7% であり、入射する可視光の大部分を吸収する。

5.2.2 光反射素材

可視域におけるすべての波長成分を一様にほとんど反射する色は白色である。そこで、Haar-like 特徴を検出領域に重ね合わせたときに低輝度となる顔の部位には、入射する可視光を一様にほとんど反射する特性を有する無光沢の白い素材が必要である。本論文では、無光沢の高品質紙を用いた。使用した高品質紙の反射率は 91% であり、入射する可視光の大部分を反射する。

5.2.3 ゴーグル

プラスチックフレームとポリカーボネートレンズを使用した市販のゴーグルを用いて光吸収素材と光反射素材を固定する。効果的に顔検出を失敗させるために、4.2 節の分析結果に基づき鼻筋や鼻筋の周囲及び目の周辺に、光吸収素材と光反射素材を市販ゴーグルのフレームとレンズ面に沿って取り付けた。

表1 プライバシーバイザーの仕様

光吸収素材	植毛紙; 色:黒; 反射率: 0.7%
光反射素材	高品質紙; 色: 白; 反射率: 91%
ゴーグル	フレーム: プラスティック レンズ: ポリカーボネート

6. 評価実験

プライバシーバイザーを装着した 10 人の評価者をデジタルカメラ (1/2.3-inch CCD : 有効画素数約 1000 万画素) を用いて異なる角度、距離で撮影した画像を使用し、プライバシーバイザーの妨害効果を評価した。

6.1 評価方法

写り込みの画像を作成するために、10 人の評価者を距離 (1-22m) において正面と斜め (10° , 20°) から撮影を行った。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。本評価では、図 2 に示す Haar-like 特徴を用いた強判別器の連結構造に基づく Open CV [16] ライブラリの顔検出 API を用い、正面から撮影した顔の学習済み Cascade (弱判別器の総数 1047, 強判別器の連結数 20) を適用した。入力画像のサイズを縦 2448pixel, 横 3264pixel, 検出領域のサイズを一边が 20 pixel から入力画像の短辺を一边とする 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。Open CV による顔検出では、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、当該領域に顔があると判定され顔が検出される。10 人の評価者による検出人数より妨害効果の評価を行う。

表 2 被写体の条件

(a)	プライバシーバイザー非装着
(b)	プライバシーバイザー装着

6.2 評価結果

CCD デジタルカメラにより 1m の距離において正面と斜め (10° , 20°) から撮影した画像例を図 9 に示す。図中における正方形の異なる色は異なるサイズの顔候補を表わしている。図 9 (i) ~ (iii) (a) に示すように、プライバシーバイザーを装着しない場合には、顔候補が多数検出され、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 $M \geq 2$ であるため、顔として検出された。一方、図 9 (i) ~ (iii) (b) に示すように、プライバシーバイザーを装着した場合には、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 $M < 2$ であるため、顔として検出されることはなかった。検出人数は、撮影角度ごとに横軸に撮影距離、縦軸に検出人数をとり図 10 に示すグラフに表示した。プライバシーバイザーを装着しない場合には、図 10 (i) ~ (iii) (a) に示すように、10 人の被験者のうち 7 人以上が検出された。一方、プライバシーバイザーを装着した場合には、図 10 (i) ~ (iii) (b) に示すように、検出されたのは 1 人以下であった。

評価結果は、プライバシーバイザーがデジタルカメラを用いた写り込みによるプライバシー侵害を効果的に防止していることを示すものである。

以下に評価結果の詳細を述べる。

(i) 正面から撮影した場合

顔検出では、一般に、正面から顔を撮影し、デジタルカメラと被写体との距離が近いほど顔検出がより容易となる。プライバシーバイザーを装着しない場合には、図 10 (i) (a) に示すように、15, 18, 19, 21m で 9 人が検出され、それ以外の距離では、全ての被験者が検出された。一方、プライバシーバイザーを装着した場合には、図 10 (i) (b) に示すように、距離が 2, 6, 8, 11m で 1 人が検出され、それ以外の距離では、検出人数は 0 人であった。

(ii) 斜め 10° から撮影した場合

プライバシーバイザーを装着しない場合には、図 10 (ii) (a) に示すように、距離が 18m で 8 人、距離 22m で 9 人が検出され、それ以外の距離では、全ての被験者が検出された。一方、プライバシーバイザーを装着した場合には、図 10 (ii) (b) に示すように、距離が 11m で 1 人が検出され、それ以外の距離では、検出人数は 0 人であった。

(iii) 斜め 20° から撮影した場合

プライバシーバイザーを装着しない場合には、図 10 (iii) (a) に示すように、距離が 18m で 7 人、14, 19, 21, 22m で 9 人が検出され、それ以外の距離では、全ての被験者が

検出された。一方、プライバシーバイザーを装着した場合には、図 10 (iii) (b) に示すように、8m で 1 人が検出され、それ以外の距離では、検出人数は 0 人であった。

撮影角度が大きくなるにつれて、遠距離での検出人数が低下する傾向がある。これは、斜めから撮影した場合、顔の特徴を示す領域が撮影の影になるためと考えられる。実験では 20° までの角度を評価したが、これ以上の角度から撮影した場合には、顔検出自体が難しくなる。一般的には正面から撮影した画像による顔検出においては、撮影角度の上限を 30° とすることが多い[13]。

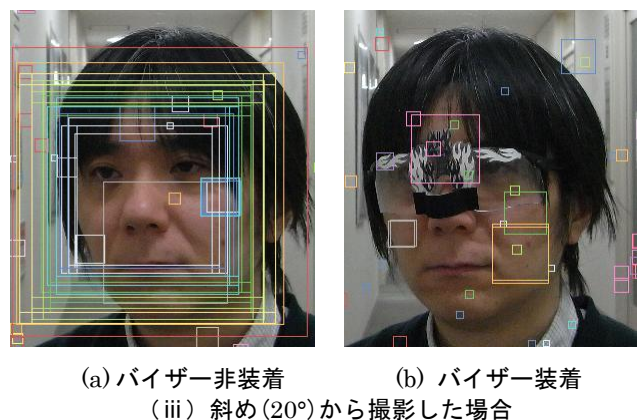
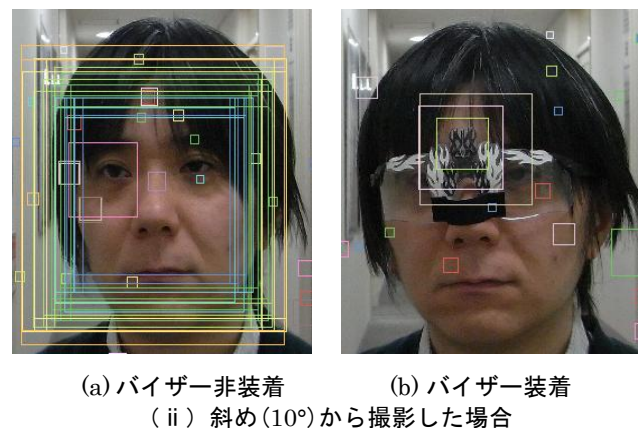
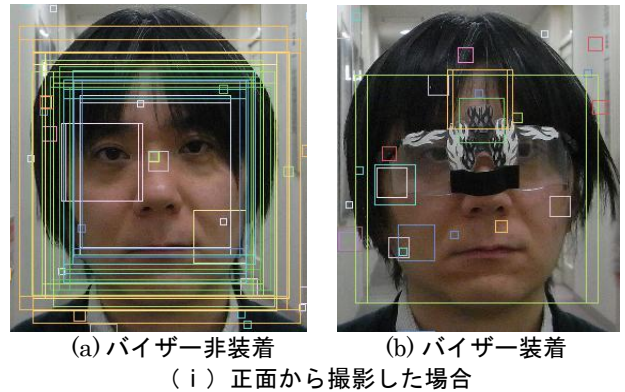
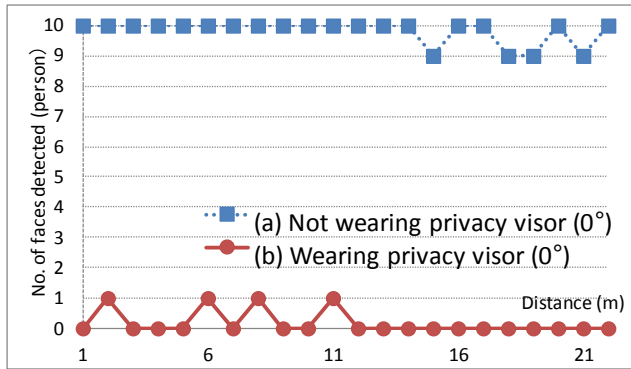
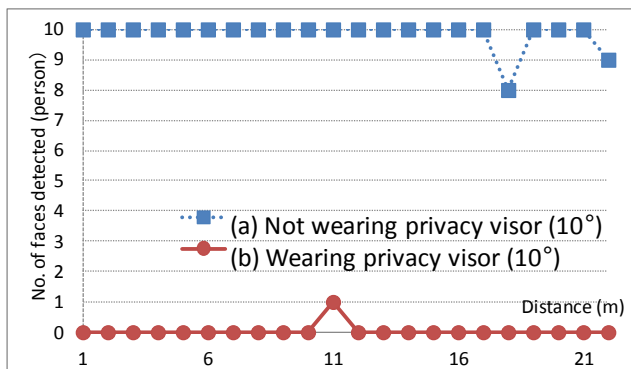


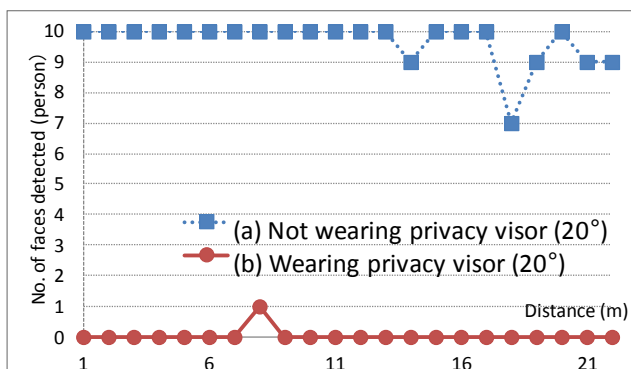
図9 評価画像



(i) 正面から撮影した場合の検出人数



(ii) 斜め(10°)から撮影した場合の検出人数



(iii) 斜め(20°)撮影した場合の検出人数

図10 検出人数

7. むすび

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により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。物理的な顔面の隠ぺいや着色により顔面を変えるとといった従来対策では人対人のコミュニケーションを阻害する。

本論文では、盗撮やデジタル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手法を提案した。提案手法は、電源を必要とせず、光吸収素材と光反射素材を採用したことで、デジタルカメラの感度に依存することはなく、すべてのデジタルカメラにおいて

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により、提案手法がデジタルカメラの写り込み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。

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] Face Recognition Study - FAQ <http://www.heinz.cmu.edu/~acquisti/face-recognition-study-FAQ/>
- [5] GAIA, VEASYBLE <http://www.veasyble.com/index.html>, (2009).
- [6] A. Harvey, CV Dazzle, <http://ahprojects.com/projects/cv-dazzle>, (2010).
- [7] 山田 隆行, 合志 清一, 越前 功, "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", CSS2012 論文集, pp.421-428, (2012).
- [8] 山田 隆行, 合志 清一, 越前 功, "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評価", マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究専門委員会, 電子情報通信学会技術報告, EMM2012-92, pp.7-12, (2013).
- [9] 満倉 靖恵, 福見 稔, 赤松 則男, "唇検出 NN と肌色識別 NN による顔画像検索", 映像情報メディア学会技術報告, Vol.24, No. 39, pp.1-6, (2000).
- [10] P.Viola and M. Jones, "Robust Real-Time Face Detection," International Journal of Computer Vision (IJCV), Vol.57, No.2, pp.134-157, (2004).
- [11] 稲吉 宏明, 栗田 多喜夫, "Viola-Jones 顔検出器の学習時に 2 値化画像を利用した場合の効果", 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.106, No. 606, pp.149-154, (2007).
- [12] 宮原 正典, 青木 政樹, 滝口 哲也, 有木 康雄, "顔表情からの関心度推定に基づく映像コンテンツへのタグging", 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.107, No.384, pp.13-18, (2007).
- [13] 山下 隆義, 井尻 善久, 木下 航一, 川出 雅人, "シャッターチャンス逃さない: 顔の検出・表情の認識技術", 映像情報メディア学会誌, Vol.62, No.5, pp.708-713, (2008).
- [14] 竹内 大悟, 伊東 祐, 山下 淳, 金子 透, "任意姿勢の顔検出と Mean-Shift トラッカによる複数視点人物追跡", 映像情報メディア学会技術報告, Vol.33, No.11, pp.69-72, (2009).
- [15] Rainer Lienhart and Alexander Kuranov and Vadim Pisarevsky, "Empirical Analysis of Detection Cascades of Boosted Classifiers for Rapid Object Detection," DAGM25th Pattern Recognition Symposium, pp.297-304, (2003).
- [16] 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).