

推薦論文

# 人間とデバイスの感度の違いを利用した 撮影画像からの顔検出防止手法

山田 隆行<sup>1,a)</sup> 合志 清一<sup>2</sup> 越前 功<sup>1,3</sup>

受付日 2013年4月30日, 採録日 2013年10月9日

**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手法を提案する. 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着用することで, 人の視覚に違和感を与えずに, 撮影された画像からの人物の同定を不能にする手法を提案する. 提案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)を用いて10名の被験者による顔検出の評価実験を行った結果, プライバシーバイザーが被験者の顔を効果的に未検出にできることを確認した.

**キーワード:** 写りこみ, プライバシー侵害, 顔認識, ウェアラブルデバイス, 近赤外線

## Method for Preventing Unauthorized Face Image Detection Based on Differences in Sensory Perception between Humans and Devices

TAKAYUKI YAMADA<sup>1,a)</sup> SEIICHI GOSHI<sup>2</sup> ISAO ECHIZEN<sup>1,3</sup>

Received: April 30, 2013, Accepted: October 9, 2013

**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.

**Keywords:** unintentional capture, privacy invasion, face recognition, wearable devices, infrared

### 1. はじめに

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

<sup>1</sup> 国立情報学研究所  
National Institute of Informatics, Chiyoda, Tokyo 101-8430, Japan

<sup>2</sup> 工学院大学  
Kogakuin University, Shinjuku, Tokyo 163-8677, Japan

<sup>3</sup> 総合研究大学院大学  
Graduate University for Advanced Studies, Chiyoda, Tokyo 101-8430, Japan

a) s5152331@yahoo.co.jp

本論文の内容は2012年10月のコンピュータセキュリティシンポジウム2012にて報告され, 同プログラム委員長により情報処理学会論文誌ジャーナルへの掲載が推薦された論文である.

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こ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, 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, 撮影された画像からの人物の同定を不能にする手法を提案する.

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された画像からの顔検出防止手法について述べ, 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.

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手法を提案する. 具体的には, 筆者らが過去に提案した盗撮防止技術 [7], [8] 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のみ反応する近赤外線を用いて人間の顔面から照射することによって, 人の視覚に影響を与えず, カメラの撮像デバイスのみノイズとして記録されることにより, 被撮影者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

近年, 計算機で顔画像を認識する研究が進み, 人物の追跡や計数などに広く利用されている [9], [10]. 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 [11], [12], [13] (Viola-Jones 法) が, その処理速度および性能の良さから広く利用されている [14]. 2008 年のメーカー別デジタルカメラ国内総出荷台数シェア [15] によると, デジタルカメラの出荷台数の上位 7 社が全体のシェアの 93% を占めているが, 上記 7 社のデジタルカメラの関連特許に Viola-Jones 法の論文 [11], [12], [13] が引用されている [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22]. 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ることにより強判別器を構成し, 構成した強判別器を複数連結して顔検出を行う手法である.

### 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 つの異なる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 に示すように入力画像から切り出した検出領域に対して, Haar-like 特徴の位置と大きさを変化させながら Haar-like 特徴量を算出する. 具体的には, Haar-like 特徴の赤い矩形領域  $r_1$  における平均輝度値

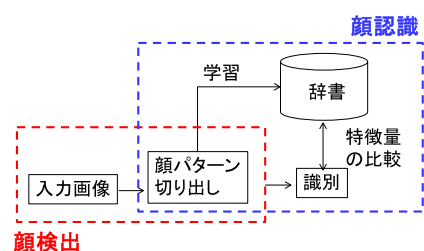


図 1 顔検出と顔認識

Fig. 1 Face detection and face recognition.

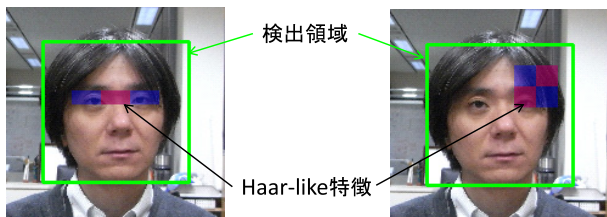


図 2 Haar-like 特徴を用いた特徴量の算出

Fig. 2 Example of Haar-like features in detection area.

を  $s(r_1)$ , 青い矩形領域  $r_2$  の平均輝度を  $s(r_2)$  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.

### 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  $x$ , Haar-like 特徴のインデックスを  $j$ ,  $x$  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,  $\theta_j$  はしきい値,  $p_j$  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.

次に, 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合せを構成する手法に AdaBoost がある [23]. 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  $T$  個の弱判別器を選択する.

### 3.3 強判別器と Cascade 構成

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  $\alpha$ , 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.

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

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すべ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

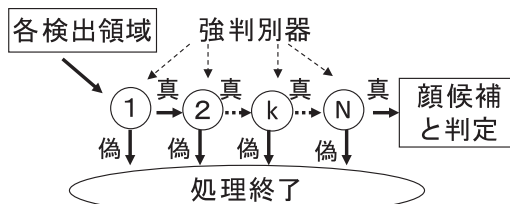


図 3 強判別器の連結構成 (Cascade 構成)

Fig. 3 Cascade architecture of strong classifiers.

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 3 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, 1 番目の強判別器 ( $k = 1$ ) から順に “真” か “偽” の判別を行い, 検出領域が 1 番目の強判別器 ( $k = 1$ ) 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 1 番目の強判別器 ( $k = 1$ ) で “真” と判別された場合には, 2 番目の強判別器 ( $k = 2$ ) に処理が引き継がれる. すべての強判別器で “真” 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. すべ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) 検出領域の数が  $M$  個以上ある場合, 当該領域に顔があると判定し, すべ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. 人間とデバイスの感度の違いを利用した撮影画像からの顔検出防止手法

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 [7], [8] 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線を用いて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線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: Commission Internationale de l'Éclairage) が規定する視

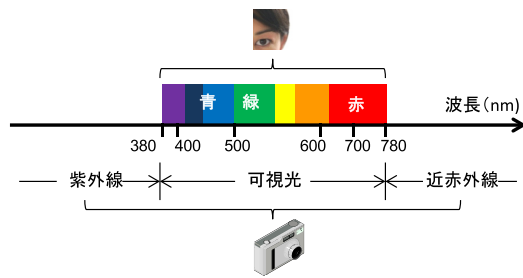


図 4 人間とデジタルカメラの感度

Fig. 4 Perception of human and digital camera.

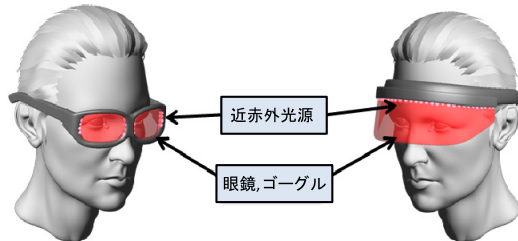


図 5 プライバシーバイザーの概要

Fig. 5 Outline of privacy visor.

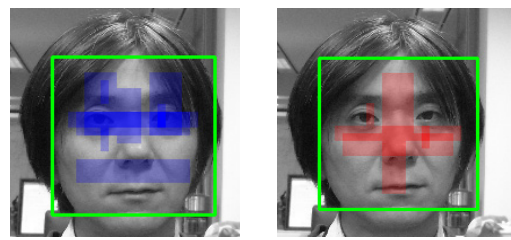
覚の分光感度特性（等色関数）によれば，人間の目の可視域は波長 380～780 nm である [24]．一方，デジタルカメラに用いられる撮像デバイスは暗所での感度維持のために可視域よりも広い波長域（約 200 nm～1,100 nm）に感度を有している [25]．図 4 に人間とデジタルカメラの感度の違いを示す．

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を用いて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，顔検出を經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線源をノイズ光源として組み込むことで実現可能である．本論文では，近赤外線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．

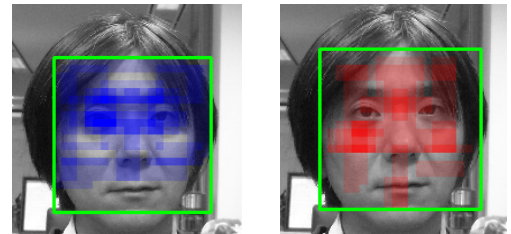
#### 4.2 ノイズ光源の配置

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，ノイズ光源として近赤外線源を顔面の適切な領域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 Haar-like 特徴を分析することで，顔面のどの領域に近赤外線源を配置することが適切か検討した．

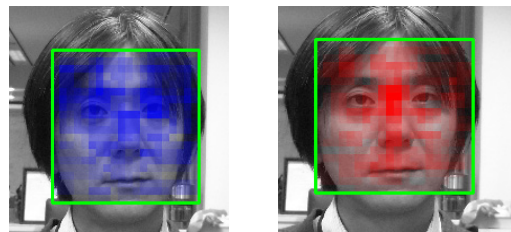
具体的には，まず，5,000 枚の顔画像と 3,000 枚の非顔画像を用いた学習サンプル [26] を用いて，AdaBoost により顔検出に有効な Haar-like 特徴を選択する．次に，選択



(a) 1 番目( $k=1$ )の強判別器を用いた結果 (6 特徴)



(b) 2 番目( $k=2$ )の強判別器を用いた結果 (18 特徴)



(c) 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 Haar-like 特徴の重ね合わせ

Fig. 6 Superposition of Haar-like features on detection area.

した Haar-like 特徴の青い矩形領域を顔画像の検出領域に重ね合わせるにより，顔の輝度値の小さい領域を特定する．同様に，Haar-like 特徴の赤い矩形領域を入力画像の検出領域に重ね合わせるにより，顔の輝度値の大きい領域を特定する．図 6(a) は 1 番目の強判別器 ( $k=1$ )，図 6(b) は 2 番目の強判別器 ( $k=2$ )，そして，図 6(c) は 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．図中の青い領域（顔の輝度値の小さい領域）は，両目および両眼の周辺と鼻筋の周辺に集中しており，赤い領域（顔の輝度値の大きい領域）は，鼻筋と両眼下に集中している．青と赤の領域は，強判別器の番号 ( $k$ ) が大きくなると検出領域全体に広がっていく（図 6(c)）．これは，Viola-Jones 法では，検出処理の早い段階で，画像内の非顔領域を顔候補から排除するために，番号の小さい強判別器は顔の大まかな特徴に基づいて判別し，番号の大きい強判別器は顔の細かい特徴に基づいて判別するためである．顔検出を失敗させるためには，顔画像の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．近赤外線源により付加されるノイズは，撮影画像の暗い領域を明るくする効果があることから，顔検出を失敗させるため

には、青い領域に近赤外線源を配置するのが効果的である。本論文では、近赤外線源を眼鏡やゴーグルに組み込むことを想定しているため、近赤外線源の配置が視界の妨げにならないことを考慮した結果、プライバシーバイザーに取り付ける近赤外線源の配置を両眼の周辺と鼻筋の周辺とした。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のゴーグルに近赤外線LEDを取り付けている。プライバシーバイザーの近赤外線LEDを点灯した場合には、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、顔検出ができなくなる。一方、プライバシーバイザーの外観はゴーグル形状であるため、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。図8にプライバシーバイザーを顔面に着用した例を示す。

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

### 5.2 構成

#### 5.2.1 近赤外線LED

近赤外線LEDの特性として、近赤外線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、人間の目に近赤外線が知覚されやすくなる。逆に照射出力



図7 プライバシーバイザーの外観

Fig. 7 Overview of prototype privacy visor.

表1 プライバシーバイザーの仕様

Table 1 Specifications of prototype privacy visor.

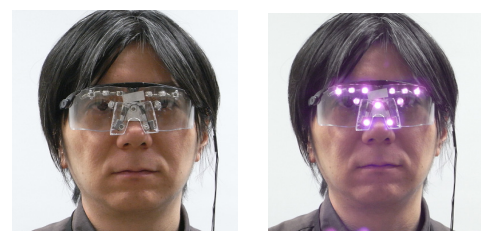
近赤外線LED	レンズ付きチップ型：11個，ピーク波長：870 nm，放射強度：600 mW/sr，放射角： $\pm 15^\circ$ ，定格電流：1 A，定格消費電力：2.1 W
ゴーグル	フレーム材料：プラスチック，レンズ：ポリカーボネート
電源	リチウムイオン電池 (3.7 V×3)：2,000m A/h

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、近赤外線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、近赤外線LEDの基本種別(砲弾型、反射型、レンズ付きチップ型)、ピーク波長、スペクトル幅などの条件変えながら、人間の目による知覚度合いと近赤外線LEDの撮影角度・距離における撮像デバイスのノイズ効果についての予備評価を行い、表1に示すピーク波長870nmのレンズ付きチップ型近赤外線LEDを採用した。

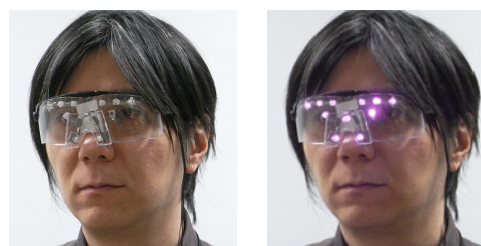
プライバシーバイザーは、近赤外線LED発光のために高い消費電力(22.2W)を必要とする。文献[27]によると一般的なLEDの発光効率、1年に30lm/W強の向上を目指しているが、230lm/Wが物理限界と考えられている[27]。プライバシーバイザーで使用した近赤外線LEDの発光効率は157lm/Wであることから、全光束は、3,485.4(=157×22.2)lmとなる。今後、73(=230-157)lm/Wの発光効率向上の余地があり、これは3年で達成可能であると考えられ、3年後に発光効率が230lm/Wの近赤外線LEDを使用して3,485.4lmの光束を維持した場合に必要な消費電力は、15.2W(=3,485.4/230)と見積もることができる。しかしながら、携帯性を考慮すると可能な限り低い消費電力となるように改良していくことが求められる。

#### 5.2.2 ゴーグル

近赤外線LEDの人体への着用には着脱が容易な市販のゴーグルを採用した。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、顔面上の赤外線源の配置が重要な課題となる。近赤外線LEDの配置(位置や個数)に



(a) 正面(ノイズなし) (b) 正面(ノイズあり)



(c) 斜め方向(ノイズなし) (d) 斜め方向(ノイズあり)

図8 プライバシーバイザーの着用例

Fig. 8 Wearing of prototype privacy visor.

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 個の近赤外線 LED (鼻筋の周辺: 2 個, 両眼の周辺: 9 個 (瞼の両側: 6 個, 瞳の両側: 2 個, 眉間: 1 個)) を取り付けている。写りこみは顔の正面方向からだけでなく斜め方向からも生じるため、顔の斜め方向からも写りこみを防止する必要がある。そこで、ゴーグルの最上部に取り付けた瞼の両側 3 列 6 個の近赤外線 LED については、レンズ面の法線方向に配置することとし、着用者の正面方向に対して各列の近赤外線 LED がそれぞれ 0°, 20°, 30° となるように近赤外線 LED を取り付けた。

## 6. 評価実験

本章では、プライバシーバイザーの着用が対人印象に及ぼす影響、およびプライバシーバイザーの着用による顔検出の妨害効果についての評価実験について述べる。

### 6.1 対人印象に及ぼす影響の評価

5 章で実装したプライバシーバイザーの着用が対人印象にどのような影響を与えるか、SD 法 (Semantic Differential scale method) [28] を用いて評価実験を行った。

#### 6.1.1 概要

人対人のコミュニケーションは通常、言語情報、聴覚情報、視覚情報の 3 つの要素から形成され、その中でも顔の表情、身振り、手ぶりなどの視覚情報が最も印象の形成に重要であると考えられている [29]。そこで、プライバシーバイザーが視覚的にどのような影響を与えるのか、SD 法を用いて定量的に評価を行った。

#### 6.1.2 評価方法

SD 法の評価方法 [28] に従って、下記の条件で評価を実施した。

##### (1) 被験者

被験者は、大学院生 10 名 (男性: 7 名, 女性: 3 名, 平均年齢: 31.4 歳) とした。

##### (2) 評価映像

デジタルビデオカメラ (1/2.88-inch CMOS: 有効画素数約 665 万画素) を用いて、被撮影者 (30 代 男性 1 名) を表 2 に示す 4 つの着用条件の下で撮影した。すべての条件下において被撮影者を正面 1 m の距離から各 10 秒間撮影し、計 4 種類の評価映像を撮影した。また、すべての条件下において、被撮影者にはあらかじめ用意した口述原稿 (日本語 50 文字) を視線、表情、口の動き、頷き、身振り

表 2 被写体の着用条件

Table 2 Conditions of subjects.

(I)	何も着用しない(未着用)
(II)	眼鏡着用(フレーム色:黒)
(III)	サングラス着用(レンズ色:黒)
(IV)	プライバシーバイザー着用

を交えながら音読してもらい、撮影を行った。

##### (3) 形容詞対の選定

SD 法に用いる形容詞対は、特定の形容詞とその反対の意味を持つ形容詞とを組み合わせたものである。形容詞対の選定については、心理学の領域で使用頻度の高い形容詞対を調査した文献 [30] に基づき選定した。文献 [30] は形容詞対の候補に対して、心理学を構成する 9 つの領域 (人格, 社会, 教育, 芸術, 言語, 知覚, 環境, 生理, その他) において使用頻度を算出し、各領域において高い使用頻度を示す形容詞対を選定するとともに、心理学の全領域で使用頻度の高い形容詞対 (68 組) を選定している。本評価では、知覚領域において高い使用頻度を示す形容詞対の中から上位 8 組の形容詞対を選定した。さらに、対人印象に及ぼす影響を評価するために、予備実験により対人印象を表す形容詞対を 4 組追加し、最終的に表 3 に示す 12 組の形容詞対を選定した。

##### (4) 評価手順

上述の 4 種類の評価映像を被験者 10 名にランダムに提示し、被験者は表 3 に示す 12 種類の形容詞対を用いて、各評価映像の印象を主観的に評価した。具体的には形容詞対のそれぞれに対して、被験者は -3 から +3 までの 7 段階評価尺度により評点を与え、評価語と評点は “とても (-3)”, “かなり (-2)”, “やや (-1)”, “どちらでもない (0)”, “やや (+1)”, “かなり (+2)”, “とても (+3)” とした。評価語内の正値は表 3 の形容詞対の左側の形容詞に対応し、負値は右側の形容詞に対応しており、0 は上記 2 つの形容詞のどちらの印象も持たないことを示している。評価手順を下記に示す。

**Step1.** 被験者に 4 種類の評価映像の 1 つをランダムに提示する。

**Step2.** 被験者は、12 種類の形容詞対を用いて、提示された評価映像の印象を 7 段階評価尺度により評価

表 3 本評価で使用する形容詞対

Table 3 Adjective pairs adopted in this evaluation.

番号	形容詞対
(1)	地味な — 派手な
(2)	かたい — やわらかい
(3)	暗い — 明るい
(4)	冷たい — 暖かい
(5)	弱い — 強い
(6)	鈍い — 鋭い
(7)	重い — 軽い
(8)	悪い — 良い
(9)	親しみにくい — 親しみやすい
(10)	無責任な — 責任感のある
(11)	こわい — やさしい
(12)	下品な — 上品な

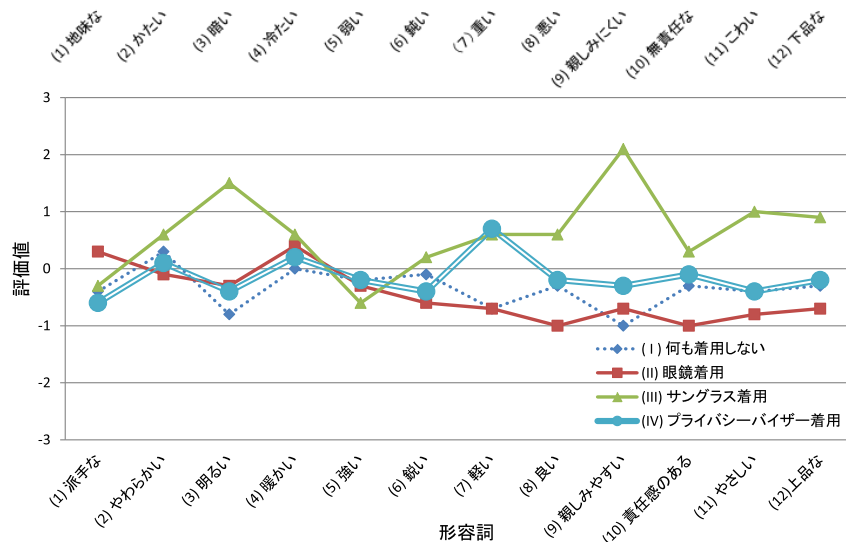


図 9 コミュニケーションに及ぼす影響の評価結果

Fig. 9 Evaluation results of the impact on the communication.

する。

**Step3.** Step1 と Step2 をすべての評価映像で繰り返す。

**Step4.** 上の Step1 から Step3 を 10 名の被験者に対して行い、10 名の被験者の評点の平均値を評価値とする。

### 6.1.3 評価結果

4 つの着用条件における評価結果を図 9 に示す。図の横軸は 12 種類の形容詞対を表し、縦軸は評価値を表す。図の中で評価値が -1 以下または +1 以上である形容詞に着目すると、(I) 何も着用しない場合 (未着用時) には、“(9) 親しみやすい” が -1 (やや) 以下であり、(II) 眼鏡着用時には、“(8) 良い” が -1 (やや) 以下、“(10) 責任感のある” が -1 (やや) 以下であった。また、(III) サングラス着用時は、“(9) 親しみにくい” が +2 (かなり) 以上であり、“(3) 暗い”、“(11) かわいい” が +1 (やや) 以上であった。一方、(IV) プライバシーバイザー着用時は、評価値が -1 以下または +1 以上となる形容詞は見つからなかった。これは、プライバシーバイザー着用時は他の着用条件と比べて、特定の形容詞による印象を与えにくいことを示している。また、(IV) プライバシーバイザー着用時の評価値と (I) 未着用時、および (II) 眼鏡着用時の評価値を比較すると、12 種類の形容詞対のうち 11 種類の形容詞対において評価値の差分の絶対値 ( $|(IV) \text{ の評価値} - (I) \text{ の評価値}|$ ,  $|(IV) \text{ の評価値} - (II) \text{ の評価値}|$ ) が 1 未満であった。一方、“(7) 重い-軽い” の形容詞対において評価値の差分が 1 以上であり、(IV) の評価値は他の評価値と比べて“重い”印象を持たれていることが判明した。以上より、プライバシーバイザーの着用は、未着用時および眼鏡着用時の印象と比較すると、若干“重い”印象を与えるものの、大きく印象を変えることはなく、人対人のコミュニケーションに支障を与えることはないと考えられる。

## 6.2 妨害効果の評価

デジタルカメラによる撮影画像の写りこみを効果的に防止することを示すために、プライバシーバイザーを着用した 10 名の被験者をデジタルカメラ (1/2.3-inch CCD: 有効画素数約 1,000 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。

### 6.2.1 評価方法

妨害効果を評価する入力画像を作成するために、10 名の被験者 (20~30 代) を 1m~22m (1m 単位) の距離において正面と斜め方向 (10°, 20°) から撮影を行った。このとき写りこむ被写体の条件を (a) プライバシーバイザー非着用、(b) プライバシーバイザー着用 (ノイズなし)、(c) プライバシーバイザー着用 (ノイズあり) とした。本評価では、Haar-like 特徴を用いた強判別器の連結構造に基づく Open CV ライブラリの顔検出 API [31] を使用した。このとき、正面から撮影した 5,000 枚の顔画像と 3,000 枚の非顔画像を用いて教師付き学習済みの Cascade 構成 (弱判別器の総数: 1,047, 強判別器の連結数: 20) を適用した。入力画像のサイズを縦 2,448 pixel, 横 3,264 pixel とし、検出領域のサイズを 1 辺が 20 pixel から入力画像の短辺である 2,448 pixel まで増分を 2 pixel とした正方領域とし、検出領域の位置をずらしながら入力画像のすべての領域を走査した。Open CV による顔検出では、すべ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 (内包関係にある異なるサイズの) 検出領域の数が 2 個以上である場合、当該領域に顔があると判定され顔が検出される。

### 6.2.2 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 10 に示す。図

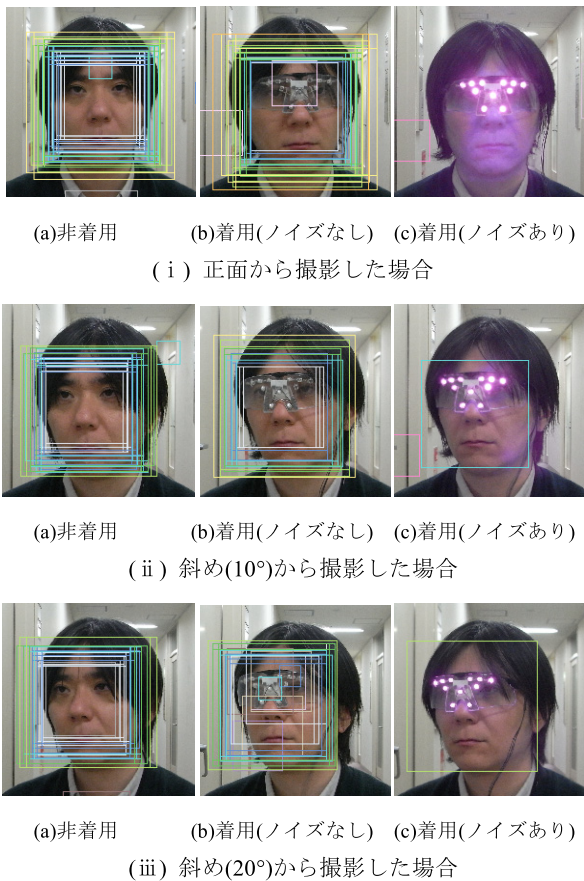


図 10 検出結果 (撮影距離 1 m)  
 Fig. 10 Result of face detection (taken from 1 m).

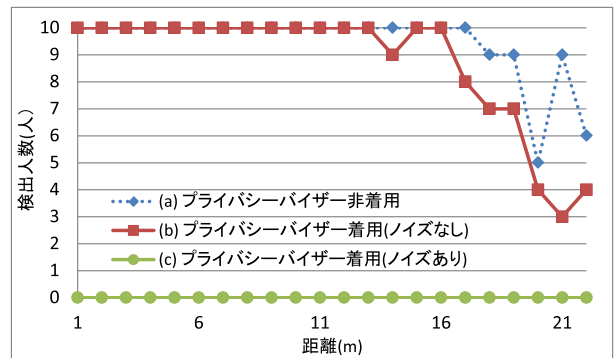
中における正方形の異なる色は異なるサイズの顔候補を表している。図 10 (i) (a), 10 (ii) (a), 10 (iii) (a), および図 10 (i) (b), 10 (ii) (b), 10 (iii) (b) に示すように、プライバシーバイザーを着用していない場合、およびプライバシーバイザーを着用しているがノイズがない場合には、顔候補が多数検出され、(内包関係にある異なるサイズの) 検出領域の数が 2 個以上であるため、顔として検出された。一方、図 10 (i) (c), 10 (ii) (c), 10 (iii) (c) に示すように、プライバシーバイザーを着用し、かつノイズがある場合には、(内包関係にある異なるサイズの) 検出領域の数が 2 個未満であるため、顔として検出されることはなかった。プライバシーバイザーの形状による効果は限定的であり、ノイズによる妨害効果が高いことが分かる。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 11 に示すグラフに表示した。検出人数の全体的な傾向は、いずれの撮影角度においても検出人数は、条件 (c), (b), (a) の順に増加し、条件 (c) では検出されることはなかった。

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こ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。

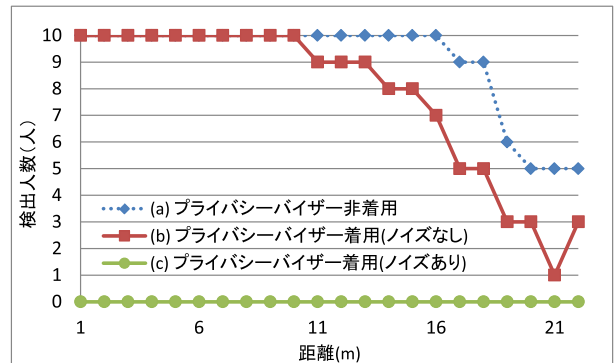
以下に評価結果の詳細を述べる。

(i) 正面から撮影した場合

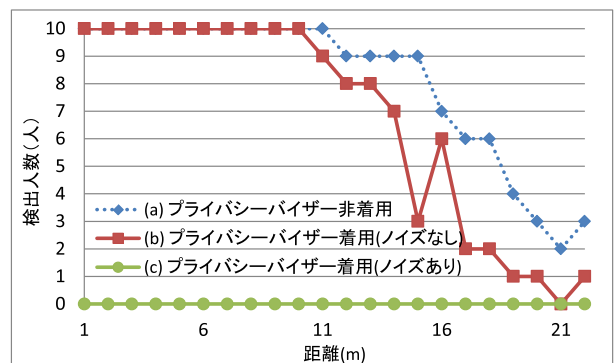
顔検出は、一般的に正面から撮影された被写体を検出す



(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°)から撮影した場合の検出人数

図 11 検出人数

Fig. 11 Number of faces detected.

ることを想定しているため、カメラと被写体との距離が近いほど、また被写体の向きが正面に近いほど検出精度は向上する。条件 (a) または (b) の場合は距離が 16 m までのほぼすべての被験者が検出された。距離が 16 m を超えると、検出人数は低下するが、斜めから撮影した 2 つの場合に比べて緩やかに低下する。条件 (c) の場合には、評価したすべての距離において検出人数は 0 人であった。

(ii) 斜め 10° から撮影した場合

条件 (a) または (b) の場合は距離が 10 m までのすべての被験者が検出された。距離が 10 m を超えると、検出人数は低下する。上記の (i) と同様に、条件 (c) の場合には、評価したすべての距離において検出人数は 0 人であった。

(iii) 斜め 20° から撮影した場合

条件 (a) または (b) の場合は距離が 10 m までのすべての



被験者が検出された。距離が 10m を超えると、他の 2 つの場合と比べて検出人数は急速に低下する。上記の (i) および (ii) と同様に、条件 (c) の場合には、評価したすべての距離において検出人数は 0 人であった。図 6 に示すように、顔検出には、両眼の周辺と鼻筋の周辺の領域が重要である。斜めから撮影した場合、これら顔の特徴を示す領域が撮影の影になる。本評価実験では斜め方向からの撮影として 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検出では、撮影角度の上限は 30° とすることが多い [32]。

## 7. おわりに

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ろ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だけに反応する近赤外線を人間の顔面から照射することで、撮影された画像から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着用して行った評価実験により、提案手法が撮影された画像から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。また、提案手法は Viola-Jones 法による顔検出を妨害することを目的としているが、Viola-Jones 法以外の手法であっても、顔面の輝度値変化に基づく特徴量を用いた顔検出手法 [33], [34], [35] であれば、提案手法により原理的に顔検出を失敗させることが可能である。一方で、顔の輪郭特徴を用いた顔検出手法 [36], [37] に対しては、提案手法による効果はないと考えられるため、顔の輪郭周辺に近赤外光源を配置するといった対応が必要になる。

提案手法の悪用に関しては、防犯カメラを用いた犯罪捜査の場合、カメラに記録された人物の顔面だけでなく、身体的特徴や服装などを確認しながら、他の状況証拠とあわせて犯人を特定することが一般的であるため、犯罪捜査に直接的な支障をきたすことは少ないものと考えられる。

本手法の課題として、近赤外 LED の電源が必要であることと、赤外線カットフィルタが内蔵されたカメラに対してノイズが写り込まないことがあげられる。上記課題への対策として、近赤外 LED の代わりに可視光を反射・吸収する素材（光反射・吸収素材）を用いることで、電源を必要とせず、すべてのカメラに対して顔検出の妨害が可能な手

法を検討することが必要である。一方、光反射・吸収素材を用いたプライバシーバイザーは、人間の視覚とカメラの撮像デバイスを通じた撮像に差がないため、光反射素材と光吸収素材を違和感なくバイザー上に配置することが課題となる。上記の課題についても今後の検討が必要である。

謝辞 本論文は、総合研究大学院大学学融合推進センターの助成を受けたものである。

## 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] Face Recognition Study - FAQ, available from <http://www.heinz.cmu.edu/~acquisti/face-recognition-study-FAQ/>.
- [5] GAIA, VEASYBLE (2009), available from <http://www.veasyble.com/index.html>.
- [6] Harvey, A.: CV Dazzle (2010), available from <http://ahprojects.com/projects/cv-dazzle>.
- [7] 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).
- [8] 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).
- [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] 小林貴訓, 杉村大輔, 平澤宏祐, 鈴木直彦, 鹿毛裕史, 佐藤洋一, 杉本晃宏: パーティクルフィルタとカスケード型識別器の統合による人物三次元追跡, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J90-D, No.8, pp.2049-2059 (2007).
- [11] Viola, P. and Jones, M.: Rapid Object Detection Using a Boosted Cascade of Simple Features, *Proc. Computer Vision and Pattern Recognition 2001 (CVPR 2001)*, pp.I-511-I-518 (2001).
- [12] Shakhnarovich, G., Viola, P. and Moghaddam, B.: A Unified Learning Framework for Real Time Face Detection and Classification, *Proc. Automatic Face and Gesture Recognition 2002 (FG2002)*, p.8 (2002).
- [13] Viola, P. and Jones, M.: Robust Real-Time Face Detection, *International Journal of Computer Vision (IJCV)*, Vol.57, No.2, pp.134-157 (2004).
- [14] 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).
- [15] 平成 24 年度委託調査報告書: 我が国電機・電子企業が抱える経営課題及び今後の方向性に関する調査研究, 経済産業省, 入手先 [http://www.meti.go.jp/meti\\_lib/report/2013fy/E003081.pdf](http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2013fy/E003081.pdf).
- [16] キヤノン株式会社 (出願人): 情報処理装置及び情報処理方法, 特開 2010-165046 (2010 年公開).
- [17] ソニー株式会社 (出願人): 画像処理装置及び画像処理方法, 並びにコンピュータ・プログラム, 特開 2009-15614 (2009 年公開).

- [18] 株式会社ニコン (出願人): 撮像装置, 特開 2009-200900 (2009 年公開).
- [19] Samsung Electronics (出願人): Method and apparatus for detecting objects, 米国公開特許, US20100284622 A1 (2010 年公開).
- [20] 富士フイルム株式会社 (出願人): デジタル画像データの制約条件付きスペクトル・クラスタリングを実施するための方法および装置, 特開 2007-272890 (2007 年公開).
- [21] オリンパス株式会社 (出願人): 撮像装置及び撮像プログラム, 特開 2009-206628 (2009 年公開).
- [22] パナソニック株式会社 (出願人): 撮影装置, 受信装置, 及び, 画像配信システム, 特開 2011-9899 (2011 年公開).
- [23] Freund, Y. and Schapire, R.: A Decision-theoretic Generalization of Online Learning and an Application to Boosting, *Journal of Computer and System Sciences*, Vol.55, pp.119-139 (1997).
- [24] CIE (Commission Internationale de l'Éclairage), available from <http://www.cie.co.at/>.
- [25] 米本和也: CCD/CMOS イメージ・センサの基礎と応用, CQ 出版社 (2003).
- [26] Lienhart, R. and Pisarevsky, A.: Empirical Analysis of Detection Cascades of Boosted Classifiers for Rapid Object Detection, *DAGM 25th Pattern Recognition Symposium*, pp.297-304 (2003).
- [27] 日本 LED ライティング: LED 照明技術に関する情報, 入手先 <http://www.nled.jp/info/technique.html>.
- [28] 和田有史, 續木大介, 山口拓人, 木村 敦, 山田 寛, 野口 薫, 大山 正: SD 法を用いた視覚研究: 知覚属性と感情効果の研究を例として, 日本視覚学会誌「VISION」, Vol.15, No.3, pp.179-188 (2003).
- [29] Mehrabian, A.: *Nonverbal Communication*, Aldine, Atherton/Chicago, New York (1972).
- [30] 井上正明, 小林利宣: 日本における SD 法による研究分野とその形容詞対評価尺度構成の概観, 教育心理学研究, Vol.33, No.3, pp.253-260 (1985).
- [31] Open CV documentation: Cascade Classification, available from [http://docs.opencv.org/modules/objdetect/doc/cascade\\_classification.html](http://docs.opencv.org/modules/objdetect/doc/cascade_classification.html).
- [32] 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).
- [33] Baluja, S., Sahami, M. and Rowley, H.A.: Efficient Face Orientation Discrimination, *Proc. International Conference on Image Processing 2004 (ICIP 2004)*, pp.589-592 (2004).
- [34] Jin, H., Liu, Q., Lu, H. and Tong, X.: Face Detection Using Improved LBP Under Bayesian Framework, *Proc. IEEE Symposium on Multi-Agent Security and Survivability*, pp.306-309 (2004).
- [35] Wang, X., Han, T.X. and Yan, S.: An HOG-LBP Human Detector with Partial Occlusion Handling, *Proc. International Conference on Computer Vision 2009 (ICCV 2009)*, pp.32-39 (2009).
- [36] Opelt, A., Pinz, A. and Zisserman, A.: A Boundary-fragment-model for Object Detection, *Proc. ECCV 2006*, pp.575-588 (2006).
- [37] Shotton, J., Blake, A. and Cipolla, R.: Contour-based Learning for Object Detection, *Proc. International Conference on Computer Vision*, pp.503-510 (2005).

#### 推薦文

本研究は, カメラへの写りこみによるプライバシー侵害を防止する方法として, 被撮影者が, プライバシーバイ

ザーを装着することにより, カメラの撮像デバイスの感度特性の違いを利用して被撮影者の同定を困難にするものである. 現時点では, 実用性の点ではクリアすべき課題は数点あるものの, バイザーを用いて顔の周囲を隠蔽するなど, 着眼点が面白く, 新しい試みとして今後発展する可能性が高い内容であるため, 推薦したい.

(コンピュータセキュリティシンポジウム 2012  
プログラム委員長 高木 剛)



山田 隆行 (正会員)

2012 年総合研究大学院大学複合科学研究科情報学専攻博士後期課程修了. 同年国立情報学研究所共同研究員. 情報セキュリティの研究に従事. 博士(情報学). 2010 年辻井重男セキュリティ学生論文賞(情報セキュリティ学生賞), 映像情報メディア学会藤尾フロンティア賞, 画像電子学会画像電子技術賞各受賞.



合志 清一

1981 年早稲田大学大学院理工学研究科博士前期課程修了. 同年 NHK 入局. 1984 年より NHK 放送技術研究所において, 映像信号のデジタル信号処理, 伝送, 番組応用, 電子透かしの研究に従事. 2008 年より(株)シャープにおいて, 次世代テレビの研究開発に従事. 現在, 工学院大学情報学部情報デザイン学科教授. 博士(工学). 1985 年, 1999 年放送文化基金技術賞, 1997 年映像情報メディア学会進歩賞, 2010 年画像電子学会画像電子技術賞, 2008 年映像情報メディア学会船井賞, 2010 年映像情報メディア学会藤尾フロンティア賞各受賞. 電子情報通信学会, 映像情報メディア学会, 画像電子学会各会員.



越前 功 (正会員)

1997年東京工業大学大学院理工学研究科修士課程修了(応用物理学)。同年日立製作所入社,システム開発研究所を経て,2007年より国立情報学研究所コンテンツ科学研究系准教授。同年総合研究大学院大学複合科学研究科

情報学専攻准教授を兼務。2010年ドイツ・フライブルグ大学客員教授。2011年ドイツ・マルティン・ルター大学(ハレ大学)客員教授。コンテンツセキュリティの教育研究に従事。博士(工学)。2005年本学会論文賞,2006年IEEE IHH-MSP06, Best Paper Award, 2010年映像情報メディア学会藤尾フロンティア賞,画像電子学会画像電子技術賞,2011年本学会長尾真記念特別賞各受賞。IEEE, ACM, 電子情報通信学会,映像情報メディア学会,画像電子学会各会員。