

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

山田 隆行^{1,a)} 合志 清一² 越前 功^{1,3}

受付日 2012年12月2日, 採録日 2013年6月14日

概要: ディスプレイに表示された情報の盗撮を防止する方式を提案する. 提案方式は, 先に筆者らが提案した人間とデバイスの感度の違いを利用した映画盗撮防止方式を応用し, 人の視覚には影響を与えずにデジタルカメラの撮像デバイスにノイズを付加する赤外線光源とハーフミラーにより構成された盗撮防止ユニットを既存のディスプレイに設置することで, ディスプレイの表示領域全面に赤外線ノイズを付加し, ディスプレイの盗撮を無効化する. さらに, 盗撮者が赤外フィルタ (赤外カットフィルタおよび赤外吸収フィルタ) をカメラに装着して, 赤外線ノイズを除去しながらディスプレイを盗撮する場合を想定し, その対策として, 赤外フィルタの赤外線鏡面反射特性を利用したフィルタ検出方式を提案する. 上述した2つの提案方式を実装したディスプレイ盗撮防止ユニットを用いて, 提案方式の妨害効果と赤外フィルタの検出性能を評価し, 提案方式の有効性を確認した. 提案方式は, 近年問題となっているディスプレイの盗撮による機密情報や個人情報の漏えい防止のほか, 美術品や工場内設備などの実体物の盗撮防止にも適用可能である.

キーワード: 盗撮, 赤外フィルタ, 鏡面反射, 赤外線, フィルタ検出

Method for Preventing Illegal Recording of Displayed Content Based on Differences in Sensory Perception between Humans and Devices

TAKAYUKI YAMADA^{1,a)} SEIICHI GOSHI² ISAO ECHIZEN^{1,3}

Received: December 2, 2012, Accepted: June 14, 2013

Abstract: A method for preventing unauthorized copying of information shown on a display is proposed. The proposed method applies our previously proposed method to prevent unauthorized copying of films by using the difference in sensitivity between human beings and devices. A near-infrared ray unit, which has no effect on human vision, is installed on existing displays to enable the prevention of unauthorized copying of information shown on the display. Also described is an effective countermeasure against the use of a camera fitted with a short wavelength pass filter based on IR specular reflection of the filter. In addition to preventing disclosure of confidential and personal information through the unauthorized copying of displays, an issue in recent years, it is expected that the proposed method will have broad application as a technology for preventing unauthorized copying of works of art, factory equipment and other objects subject to a ban on photography. Testing using the prototype implementation demonstrated that it can effectively prevent the unauthorized copying of displays by completely corrupting the recorded content.

Keywords: illegal recording, short wavelength pass filter, specular reflection, infrared ray, filter detection

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

² 工学院大学
Kogakuin University, Shinjuku, Tokyo 163-8677, Japan

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

a) s5152331@yahoo.co.jp

1. はじめに

政府や企業が扱う機密情報や個人情報などのデジタルデータや, 個人が入手・発信する画像・映像コンテンツといった様々なデジタル情報は, 情報漏えいや著作権侵害などのリスクをつねにかかえている. これらのリスクを回避するために, 暗号を用いた不正コピー防止技術が広く利用

されているが、デジタル情報はディスプレイやスクリーンへの表示によっていったんアナログ化されれば、デジタルカメラを用いてアナログ情報を再度デジタル化できるため、上記の不正コピー防止技術は無効となることが指摘されている（アナログホール問題）[1], [2]。すでに映画館のスクリーンに表示された映像をデジタルカメラで盗撮し、海賊版や動画配信サイト上で違法に販売・公開する著作権侵害の事案が多発しており、映画の盗撮による損害額は国内だけで年間約 180 億円といわれている [3]。また、ディスプレイに表示された情報をデジタルカメラで撮影した盗撮画像による機密情報や個人情報の漏えい事案として、羽田空港管制官による米大統領機（AF1）飛行計画を表示された画面を撮影し、ブログ掲載したことによる機密情報漏えい事案 [4] や、医療施設の職員が患者履歴を表示したディスプレイをデジタルカメラで撮影し、撮影画像を外部への発表資料に許可なく用いる個人情報漏えいの事案 [5] が発生している。さらに、今後の表示装置や撮影装置の性能向上により、盗撮画像の高品質化が進むことが懸念される。

上記問題の対策として、筆者らは先に映画用スクリーンに表示された映画コンテンツの盗撮を防止する方式（スクリーン盗撮防止方式）を提案した [6], [7], [8]。本方式は、人間と撮像デバイスの分光感度特性の違いに着目し、人の視覚に影響を与えずに撮影映像にノイズを付加する赤外線光源を既存の映画用スクリーンの背面に設置することで、デジタルビデオカメラに新たな機能を追加することなく、スクリーンに表示した映像の撮影を妨害することが可能である。

本論文では、ディスプレイに表示された情報の盗撮を防止する方式を提案する。提案方式は、上述したスクリーン盗撮防止方式を応用し、人の視覚に影響を与えない赤外線光源ユニットを既存のディスプレイに設置することで、ディスプレイに表示された情報の盗撮を防止することが可能である。提案方式は、近年問題となっている PC 画面の盗撮による機密情報や個人情報の漏えい防止のほか、美術品や工場内設備などの撮影禁止物の盗撮防止など広範な用途に適用することができる。

以下、2 章では、盗撮防止の従来対策とその課題について述べる。次に 3 章で、ディスプレイ盗撮防止方式について述べ、4 章では、赤外フィルタを用いた盗撮への対策として赤外線鏡面反射を利用した赤外フィルタ検出方式について述べる。5 章では、3 章と 4 章で提案した方式を実装したディスプレイ盗撮防止ユニットについて述べる。6 章では、5 章で実装した盗撮防止ユニットの有効性を検証するため、通常時および盗撮時の可読性の度合いと実体物に適用した場合の妨害度合い、そして、赤外フィルタの検出性能の評価実験を行い、その結果を示す。

2. 従来対策

情報漏えいの技術対策として、これまで暗号を用いた不正コピー防止技術が広く利用されているが、これらの技術は、デジタル情報を印刷や画面表示していったんアナログ化し、表示されたアナログ情報をデジタルカメラで撮影することにより再度デジタル化できるため、従来の不正コピー防止技術は無効である。

これまでスクリーンやモニタに表示された画像や映像の盗撮を抑止するために、電子透かしを用いた方式 [9], [10], [11], [12] や光変調に基づく方式 [13] が提案されている。電子透かしを用いた方式は、画像や映像に固有の情報を電子透かしにより埋め込み、盗撮された画像や映像から透かしを検出することにより、盗撮が行われた映画館やオフィスを特定することを目的としている。しかし、電子透かしを用いた従来方式は、不正者による盗撮行為を心理的に抑止する効果はあるが、デジタルカメラなどの撮影機器による盗撮行為自体を防止できない。また、流通したコンテンツから盗撮された場所や撮影時間が検出できても、映画館やオフィスに相応の設備（監視カメラシステムなど）がなければ、盗撮者の特定は困難である。光変調に基づく方式は、プロジェクタが表示する信号の空間周波数または時間周波数に高周波成分を加えることにより、撮影画像にノイズを付加することを目的としている。しかし、提案方式を検証するための実装および評価実験を行っていないため、ノイズの付加による妨害度合いがどの程度なのか明らかではない。

上述した問題の対策として、本論文では人間とデバイスの感度の違いを用いてディスプレイに表示された情報の盗撮を直接的に防止する方式を提案する。次章では、その詳細について述べる。

3. 人間とデバイスの感度差を利用したディスプレイ盗撮防止方式

3.1 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 380~780 nm である [14]。一方、デジタルカメラに用いられるイメージセンサ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 200~1,100 nm）に感度を有している [15]。図 1 に人間とデジタルカメラの感度の違いを示す。

ディスプレイ盗撮防止方式は、スクリーン盗撮防止方式と同様に、人の視覚には影響を与えずに撮影画像にのみノイズを付加するノイズ光源として赤外線光源を用いることで、デジタルカメラに新たな機能を付加することなく、カメラによる盗撮を無効化することが可能である。

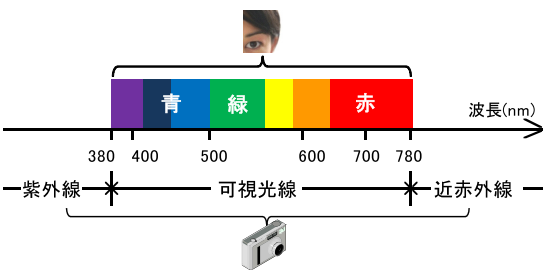


図 1 人間とデジタルカメラの感度
Fig. 1 Perception of human and digital camera.

表 1 盗撮防止方式の技術要件
Table 1 Requirements for each prevention method.

項目	スクリーン盗撮防止方式	ディスプレイ盗撮防止方式
主な保護対象	映画コンテンツ	機密情報、個人情報
主な用途	著作権保護	情報漏えい防止
防止手段	赤外線ノイズによる撮影映像の品質劣化	赤外線ノイズによる撮影情報の可読性低下
適用形態	既存の映画用スクリーン背面に適用可能	既存のディスプレイに適用可能
ノイズ付加 (空間特性)	スクリーン中央部にノイズ付加	ディスプレイ表示領域全面にノイズ付加
ノイズ付加 (時間特性)	Bartley 効果に基づき赤外線ノイズを 10Hz で点滅	静止画撮影も防止するため赤外線ノイズを連続点灯

3.2 技術要件

表 1 にスクリーン盗撮防止方式とディスプレイ盗撮防止方式の技術要件を示す。表に示すように、スクリーン盗撮防止方式は、スクリーンに表示された映画コンテンツの著作権保護が目的であり、スクリーン中央部に赤外線ノイズを付加して、撮影映像の品質を劣化させることで、映画コンテンツの盗撮を無効化している。本方式の主観評価実験により、撮影映像の“妨害が邪魔になる”との結果を得ており [6], [7], [8], 映画コンテンツの著作権侵害への対策として本方式の有効性が確認されている。

一方で、ディスプレイに表示された情報の盗撮は、情報漏えいにつながる可能性があるため、ディスプレイ盗撮防止方式では、ディスプレイの表示領域の全面にノイズを付加する必要がある。また、スクリーン盗撮防止方式では、既存の映画用スクリーンを加工せずに盗撮防止機能を組み込むことが可能であるため、ディスプレイ盗撮防止方式においても、既存のディスプレイを加工せずに当該機能を組み込めることが望ましい。

本論文では、表 1 の技術要件を満たすディスプレイ盗撮防止方式を提案する。具体的には、光の透過特性と反射特性に着目し、ディスプレイからの光を視聴方向へ透過させながら、赤外線光源から照射した赤外線を鏡面反射により

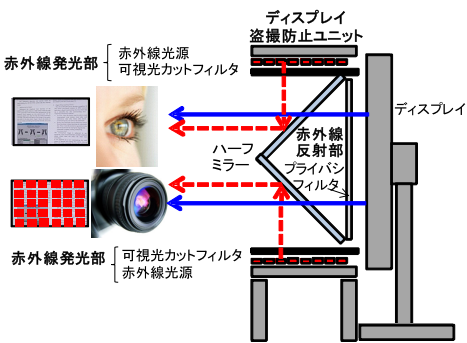


図 2 ディスプレイ盗撮防止方式の概要
Fig. 2 Method for recording prevention of displayed content.

視聴方向へ照射するハーフミラーを用いることで、既存のディスプレイの表示領域の全面に赤外線ノイズを付加し、ディスプレイの盗撮による情報漏えいを防止する方式を提案する。ディスプレイ盗撮防止方式は、赤外線発光部と赤外線反射部から構成されたディスプレイ盗撮防止ユニットで実現することができる。図 2 に示すように赤外線発光部から照射された赤外線ノイズを赤外線反射部で視聴方向へ照射することで、ディスプレイの表示領域前面に赤外線ノイズを付加する。

4. 赤外線鏡面反射を利用した赤外フィルタ検出方式

3 章で述べたディスプレイ盗撮防止方式は、ディスプレイの表示領域全面に赤外線ノイズを付加することにより盗撮防止を実現しているが、盗撮者が赤外フィルタ（赤外カットフィルタおよび赤外吸収フィルタ）をカメラに装着して、赤外線ノイズを除去しながらディスプレイを盗撮することが想定される。そこで、赤外フィルタの赤外線鏡面反射特性を利用することによって、赤外フィルタによる赤外線の反射をディスプレイ側で検出する方式を提案する。

4.1 赤外フィルタ検出方式

赤外フィルタなどの光学フィルタは、滑らかな平面状の鏡面反射物であり、入射した赤外線を 1 方向に反射（鏡面反射）する特性を持つ。一方で、平面状の鏡面反射物以外の反射物は、表面処理や形状が様々であるため、入射した赤外線は様々な方向に反射（拡散反射）する。そこで、赤外フィルタの赤外線鏡面反射を検出することで、カメラに赤外フィルタを装着して盗撮している盗撮者を検出する方式（赤外線フィルタ検出方式）を検討する。盗撮者のカメラに装着された赤外フィルタは、撮影時にディスプレイに向けられるため、ディスプレイから視聴方向に照射された赤外線により、ディスプレイ側で赤外線鏡面反射物として赤外フィルタを検出することができる。

図 3 に赤外フィルタ検出方式の概要を示す。図は、赤外フィルタ検出方式をディスプレイ盗撮防止ユニットに組

み込んだ構成であり、頭上方向から見た構成図となっている。ディスプレイ盗撮防止ユニットの赤外線発光部から照射された赤外線は、盗撮者のカメラに装着された赤外フィルタにより鏡面反射し、ユニットの両端に取り付けられた赤外カメラに鏡面反射物としてとらえられる。赤外カメラでとらえた鏡面反射物は、フィルタ検出アルゴリズムを用いて反射強度と反射面積を解析し、赤外フィルタとして検出される。

4.2 盗撮領域および検出領域

ディスプレイ盗撮防止ユニットに取り付けられたプライバシーフィルタにより、盗撮可能な領域を制限する。これにより、盗撮者がディスプレイを盗撮可能な領域（盗撮領域）は図4の破線で示された領域（G, C, A, B, D, H）となる。赤外発光部から照射された赤外線は、ユニットに取り付けられたハーフミラーに鏡面反射しディスプレイの前方に照射される。盗撮者はディスプレイにカメラを向けて表示情報を撮影するため、ユニットの両端に赤外カメラ1および赤外カメラ2を配置すればよい。図4の実線はユニットの両端に配置した2台の赤外カメラ（赤外カメラ1, 2）の画角を示しており、この実線で構成される点太線で示す領域が赤外フィルタの検出領域（領域（G, C, A, O, B, D, H））となる。図中の領域（O, A, B）は2台のカメラの画角でとらえることができない領域（死角領域）であり、この死角領域をなくすために、2台の赤外カメラ（図中の赤外カメラ3, 4）を赤外カメラ1, 2より内向きになるように設置

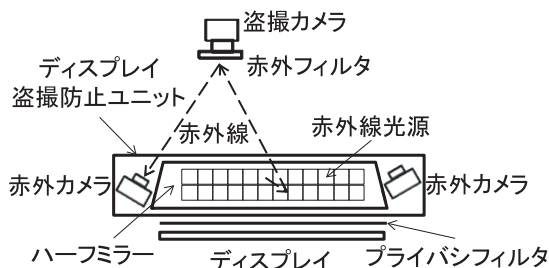


図3 赤外フィルタ検出方式

Fig. 3 Method for short wavelength pass filter detection.

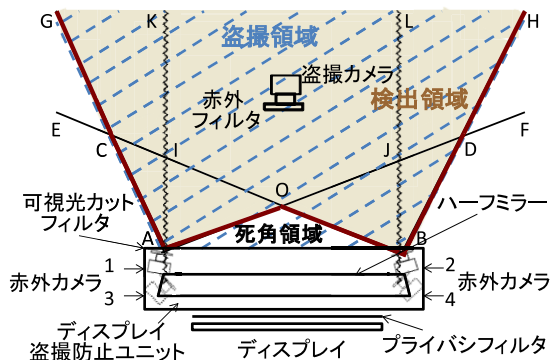


図4 盗撮領域と検出領域

Fig. 4 Illegal recording and detection areas.

する。図4の波線は、赤外カメラ3, 4の画角を示しており、赤外カメラ3, 4の設置により、死角領域を検出領域に含めることができる。上記の赤外カメラの配置により、赤外フィルタ検出方式は、盗撮カメラが領域（O, I, K, L, J）にあるときは4台、領域（O, A, I）,（O, B, J）,（G, C, I, K）,（L, J, D, H）にあるときは3台、領域（O, A, B）,（A, C, I）,（B, D, J）にあるときは2台の赤外カメラにより赤外フィルタに鏡面反射した赤外線をとらえることにより、赤外フィルタを検出することができる。

5. ディスプレイ盗撮防止ユニットの実装

5.1 概要

図5に提案方式を実装したディスプレイ盗撮防止ユニットの外観を示す。実装した盗撮防止ユニットは、図5に示すように、既存のディスプレイの前面に設置するため、ディスプレイの通常の視聴には影響を与えない。一方、デジタルカメラでこのユニットを設置したディスプレイを撮影すると、ディスプレイの表示領域の全面に赤外線によるノイズが付加されるため、ディスプレイに表示された情報の可読性が低下する。また、ユニット内部の両端に設置している4台の赤外カメラにより、盗撮者のカメラに取り付けられた赤外フィルタを検出する。

盗撮者が盗撮防止ユニットをディスプレイから取り外して盗撮する可能性があるが、この対策として、ディスプレイと盗撮防止ユニットを接着することや、盗撮防止ユニットを取り外す際に生じる振動を感知して警告音を発生するセンサアームをユニットに取り付けるといった対応が考えられる。本ユニットは管理者が監視可能な居室内に設置し、管理者はユニットからの警告音（赤外フィルタの検出 and/or 盗撮者によるユニット取り外し）をつねに受信できる環境にあることを想定している。管理者がユニットからの警告音を受信した場合には、該当ユーザの持ち物検査などにより盗撮事実の有無を確認する。

5.2 構成

図2に示すように、本ユニットは、赤外線発光部と赤外

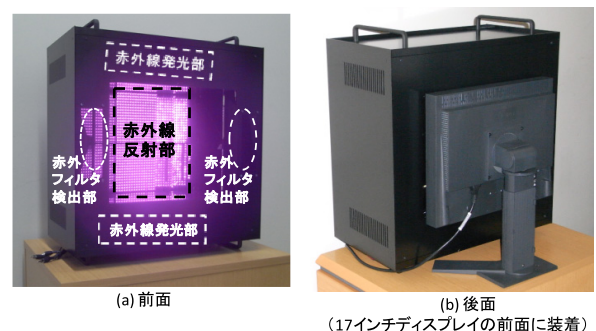


図5 ディスプレイ盗撮防止ユニットの外観

Fig. 5 Overview of prototype unit.

線反射部およびフィルタ検出部から構成される。各機能の詳細は以下のとおりである。

(1) 赤外線発光部

赤外線発光部は、盗撮防止ユニットの上部と下部にあり、赤外 LED を集積した赤外 LED パネルと赤外 LED の持つ可視域成分をカットする可視光カットフィルタで構成される。赤外 LED パネルは、上部と下部にそれぞれ 4 枚ずつ設置しており、各パネルは、ピーク波長 870 nm の反射型赤外 LED が 224 個で構成されている。すなわち、盗撮防止ユニット全体で $224 \times 8 = 1,792$ 個の赤外 LED を用いている。赤外 LED の可視域成分をカットするために、可視光カットフィルタを赤外パネル上に設置し、通常視聴における赤外線ノイズの視覚劣化を抑えている。具体的には、視覚に影響を及ぼす可視域の上限 780 nm 付近の波長成分を可視光カットフィルタ（カットオン波長 850 nm）によりカットする。

(2) 赤外線反射部

赤外線反射部は、盗撮防止ユニットの中央部にあり、ハーフミラーとプライバシフィルタで構成される。ハーフミラーは、ディスプレイからの光を透過する一方で、赤外線発光部から照射した赤外線を鏡面反射するため、ディスプレイの通常の視聴を妨げずに、ディスプレイの表示領域全面に赤外線ノイズを付加することが可能である。ハーフミラーの透過率と反射率は、ディスプレイの見やすさと赤外線ノイズの強さに影響するため、ディスプレイ盗撮防止ユニットでは、予備実験によりディスプレイの裸眼での見やすさと撮影時の妨害度合いを評価し、透過率 20%、反射率 80% のハーフミラーを用いることとした。プライバシフィルタは、盗撮防止ユニットから照射される赤外線の放射角を超える領域（たとえば斜めからディスプレイを視聴する場合など）に対して、物理的に視聴を制御するために用いられる。本盗撮防止ユニットでは、赤外線発光部の赤外 LED の放射角を考慮して、視野角 60° のプライバシフィルタを用いることとした。

(3) 赤外フィルタ検出部

赤外線発光部から照射される赤外線ノイズを赤外フィルタの検出にも利用するため、検出用の光源は必要としない。フィルタ検出部は、図 4 に示す 4 台の赤外カメラと、解析用の PC から構成される。これらの赤外カメラによる映像は、図 6 に示すフィルタ検出アルゴリズムを実装した PC によって解析され、赤外フィルタによる鏡面反射を検出する。

5.3 フィルタ検出アルゴリズム

図 3 に示すように赤外カメラから取得した映像の赤外線反射を解析して、赤外フィルタを検出する。赤外フィルタを検出するための手順を以下に示す。

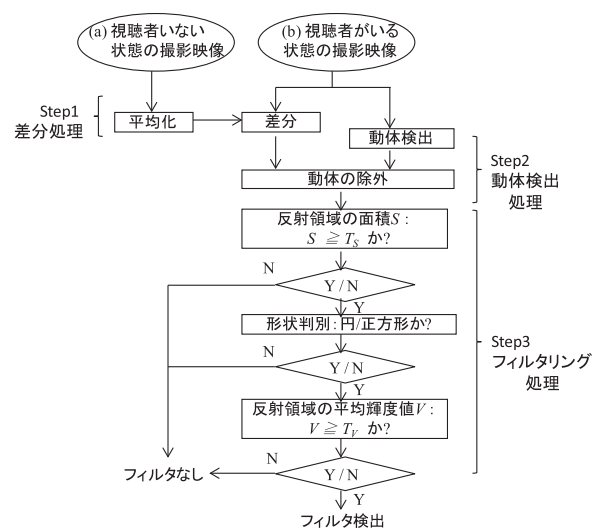


図 6 フィルタ検出アルゴリズム

Fig. 6 Filter detection algorithm.

Step1: 室内に最初からある反射物の除外（差分処理）

室内に最初からある反射物の除外には下の 2 種類の映像を入力映像とし、

(a) 室内に視聴者がいない状態で撮影した映像

(b) 室内に視聴者がいる状態で撮影した映像

映像 (a) と映像 (b) の各映像フレームと差分処理を行うことで、映像 (b) の室内反射物の影響を除外する。

Step2: 動きをともなう反射物の除外（動体検出処理）

映像 (b) に対して動き検出処理により、動きをともなう反射物を検出対象から除外する。この時点で映像 (b) には、室内反射物ではない（人為的に持ち込まれ、一定時間静止状態にある）鏡面反射物が残っている。

Step3: 検出対象の絞り込み（フィルタリング処理）

映像 (b) の反射物の面積と座標を測定し、反射領域の面積 S がしきい値 T_s 以上、形状が円または正方形、そして反射領域の平均輝度値 V がしきい値 T_v 以上であれば、当該反射領域に赤外フィルタであると判定し、反射領域の座標を赤外フィルタの検出位置として出力する。

上の手順により、赤外線光源から照射された赤外線がディスプレイに向け一定時間固定された盗撮カメラに付けられた赤外フィルタにより鏡面反射した赤外線をユニット内部に設置した赤外カメラにより検出することが可能である。

6. 評価実験

本章では、5 章で実装したディスプレイ盗撮防止ユニットを用いて、ディスプレイに表示された情報を異なる 2 種類のデジタルカメラで撮影した場合の可読性の度合いおよび実体物に適用した場合の妨害度合いを主観評価により評価し、赤外フィルタの検出能力を評価物体の検出により評価した。

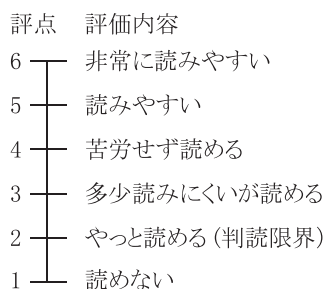


図 7 可読性評価尺度

Fig. 7 Measure of legibility.

6.1 可読性評価

6.1.1 評価方法

盗撮防止ユニットを設置した 17 インチ液晶ディスプレイに評価用の文章を表示し、評価者が (A) 表示された文字情報を評価者が直接見た場合、(B) デジタルカメラで撮影した文字情報を評価者が見た場合について、文字の可読性を主観評価実験により評価した。

6.1.2 文字情報の可読性

液晶ディスプレイに表示した文字情報の可読性を評価するために、液晶ディスプレイに適切な文字を表示する必要がある。液晶ディスプレイなどの発光体での可読文字サイズに関する規格は現在存在しないが、液晶テレビに表示されるデータ放送や電子番組表などの文字情報は、可読性に配慮するため、紙面などの印刷物の文字情報の可読性に関する規格 JIS S0032 [16] を参考としているケースがあるため [17]、本論文では、この規格に基づいて液晶ディスプレイに表示する文字サイズを決定した。上記の規格は、若年者から高齢者まで任意の年齢の評価者が、様々な環境下（視距離や表示輝度や表示フォントなど）で、読むことができる最小文字サイズを推定する手法を規定しているため、本論文の評価実験では、20 代の評価者を対象として、盗撮防止ユニットを設置した液晶ディスプレイの標準的な視距離や表示輝度などの条件から液晶ディスプレイに表示する文字サイズを決定した。

6.1.3 可読性の評価

評価サンプルとして明朝体文字サイズ 12 ポイントで記述された文字間隔や行間など書式の異なる 5 種類の日本語論文を評価者から 1 m の距離にある 17 インチ液晶ディスプレイに表示し、20 代の学生 5 人に評価させた。

可読性の評価尺度については、文章の読みやすさの主観評価実験に関する文献 [18], [19] のに基づき、図 7 に示す評価尺度（連続値）を用い、5 人の評価者の評点の平均を評価値とした。このとき、可読性の限界を示す判読限界 [19] を 2 とした。表 2 に評価実験で利用した可読性評価環境を示す。

表 2 可読性評価環境

Table 2 Evaluation environment for legibility.

ディスプレイ	17 インチ液晶ディスプレイ（最大輝度 250 cd/m ² ）
盗撮防止ユニット	赤外線発光部：赤外 LED（ピーク波長：870 nm；使用個数：1,792 個；放射角：±14°）、可視光カットフィルタ（カットオン波長：850 nm） 赤外線反射部：ハーフミラー（透過率：20%；反射率：80%）、プライバシーフィルタ（視野角：60°；透過率：80%） 赤外フィルタ検出部：赤外カメラ
評価サンプル	日本語論文 5 種（文字サイズ 12 ポイント）
撮影機器	デジタルカメラ（CMOS）(1/3.2 型、総画素数 1,030 万画素) カメラ付き携帯電話（CCD）（有効画素数 1,210 万画素）
評価者	学生 5 名（20 代、矯正視力 1.0 以上）
視距離	1 m

6.1.4 評価結果

(A) ディスプレイに表示された文字情報を直接見た場合：

すべての論文において評価者 5 人の評点はすべて 6（“非常に読みやすい”）となり、盗撮防止ユニットの赤外線ノイズは知覚されることはなかった。この結果は、盗撮防止ユニットに用いている可視光カットフィルタが、赤外 LED による視覚劣化を効果的に防止していることを示すものであり、ディスプレイの通常の視聴において、本盗撮防止ユニットは実用に値する可能性を満たしていると考えられる。

(B) カメラで撮影した文字情報を見た場合：

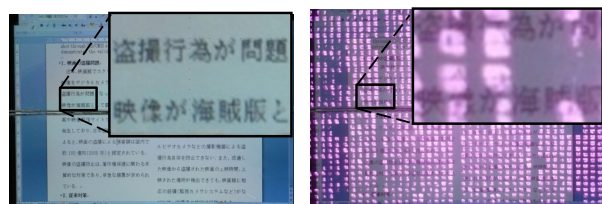
評価にはデジタルカメラとカメラ付き携帯電話 2 種類のカメラを使用した。カメラ撮影により文字情報の可読性がどの程度低下するか評価するために、盗撮防止ユニットの妨害効果がない場合についても評価を行った。撮影画像を図 8、評価結果を表 3 に示す。以下にカメラごとの評価結果の詳細を述べる。

(ア) デジタルカメラ

表 3(a) に示すように、盗撮防止ユニットの妨害効果がない場合（ノイズなし）の評価値は、すべての論文サンプルで 5（“読みやすい”）以上であり、カメラ撮影による文字情報の可読性低下はほとんど見られなかった。盗撮防止ユニットの妨害効果がある場合（ノイズあり）には、すべての論文サンプルで評価値が 2（“やつと読める”：判読限界）未満となり、撮影された文字情報が判読できないという結果となった。この結果は、盗撮防止ユニットがデジタルカメラを用いたディスプレイの盗撮防止による情報漏えいを効果的に防止していることを示すものである。

(イ) カメラ付き携帯電話

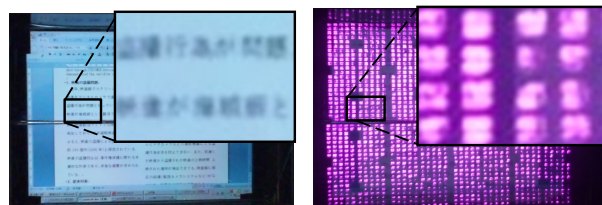
カメラ付き携帯電話の撮像素子はデジタルカメラの撮像



ノイズなし ノイズあり

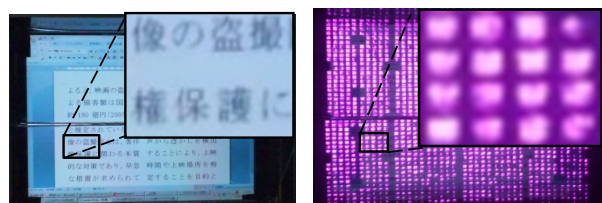
文字サイズ 12 pt

(a) デジタルカメラ



ノイズなし ノイズあり

文字サイズ 12 pt



ノイズなし ノイズあり

文字サイズ 24 pt

(b) カメラ付き携帯電話

図 8 撮影画像 (ディスプレイ)

Fig. 8 Captured image (display).

表 3 可読性評価結果

Table 3 Result of legibility.

(a) デジタルカメラ

	論文 1	論文 2	論文 3	論文 4	論文 5
ノイズなし	6.00	6.00	5.80	5.80	5.16
ノイズあり	1.25	1.45	1.52	1.05	1.25

(b) カメラ付き携帯電話

文字サイズ 12pt

	論文 1	論文 2	論文 3	論文 4	論文 5
ノイズなし	2.14	1.62	2.10	1.34	1.66
ノイズあり	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

文字サイズ 24pt

	論文 1	論文 2	論文 3	論文 4	論文 5
ノイズなし	4.76	4.78	4.80	4.80	4.58
ノイズあり	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

素子より小さいため、カメラ付き携帯電話の撮影画像の画質は、一般的にデジタルカメラよりも悪くなる。このため、12ポイントの文字サイズでは、カメラ撮影により文字のつぶれが生じ、表 3(b) に示すように、盗撮防止ユニットの妨害効果がない場合 (ノイズなし) の評価値は、全論文サ

評点 評価内容

5	妨害が全く認められない
4	妨害がわかるが気にならない
3	妨害が気になるが邪魔にならない
2	妨害が邪魔になる
1	妨害が非常に邪魔になる

図 9 妨害評価尺度

Fig. 9 Measure of disturbance.

ンプルのうち 3 つのサンプルで評価値が 2 (“やっと読める”: 判読限界) 未満となった。そこで、文字サイズを 2 倍の 24 ポイントとして同様の評価を行ったところ、すべての論文サンプルで評価値は 4 (“苦勞せずに読める”) 以上となった。2 つの文字サイズのいずれにおいても、盗撮防止ユニットの妨害効果がある場合 (ノイズあり) の評価値は、すべて 1 (“読めない”) となった。これは、カメラ付き携帯電話には一般的にコスト削減や軽量化のために、撮像素子に赤外カットフィルタが付けられておらず、このため高い妨害効果が得られたものと考えられる。デジタルカメラのケースと同様に、本盗撮防止ユニットは、カメラ付き携帯電話を用いたディスプレイ盗撮による情報漏えいについても効果的に防止していると考えられる。

6.2 実体物の盗撮防止の検討

盗撮防止ユニットは、ディスプレイに表示された機密情報や個人情報の漏えい防止用途だけではなく、美術品や工場内設備などの実体物の盗撮防止用途にも適用可能である。盗撮防止ユニットが実体物の盗撮防止に有効であることを示すために、6.1 節の可読性評価に用いた 2 種類のデジタルカメラ (CMOS) とカメラ付き携帯電話 (CCD) を用いて、通常の観賞時および盗撮時における妨害度合いを 20 代の学生 15 人による主観評価により実施した。

6.2.1 評価方法

実体物として 2 種類 (船の模型、人形) の実体物を評価者から 1 m の距離に用意し、実体物の前面に盗撮防止ユニットを設置したうえで、(a) 実体物を評価者が直接見た場合、(b) デジタルカメラで撮影した画像を評価者が見た場合について、ノイズがない状態と比較したノイズがある状態での妨害度合いを ITU-R BT.500 [20] で規定された二重刺激法により主観評価を行った。二重刺激法の概要を下記に示す。
Step1: 評価者にノイズがない状態の実体物 (または撮影画像) を提示後、ノイズがある状態の実体物 (または撮影画像) を提示。

Step2: 評価者は、ノイズがない状態と比較して、ノイズがある状態での妨害度合いを図 9 の妨害評価尺度より選択し、評点を与える。

Step3: 上の Step1 と Step2 を (a), (b) の場合について 15

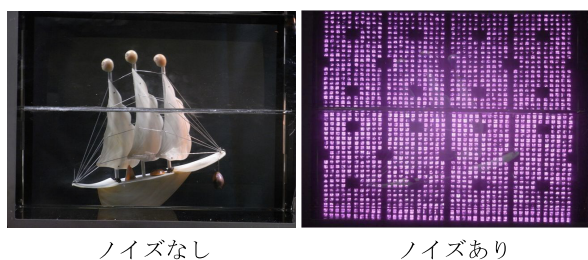


図 10 実体物への妨害効果 (デジタルカメラ (CMOS))

Fig. 10 Interference effect for actual object (digital camera (CMOS)).

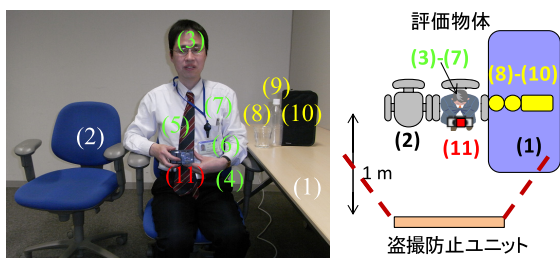


図 11 評価環境

Fig. 11 Evaluation environment.

人の評価者に対して行い、15 人の評価者の評点の平均値を評価値とする。

6.2.2 評価結果

評価結果は、通常の観賞に影響を与えることなく、評価者や実体物、カメラの種類によらずつねに実体物の盗撮を妨害可能であるということを示すものである。

以下に評価結果の詳細を述べる。

(a) 実体物を評価者が直接見た場合

評価者 15 人の評点はすべての実体物で 5 (“妨害がまったく認められない”) であった。本ケースは、観客が美術館などにおいて実体物を観賞する場合であり、評価結果は、盗撮防止ユニットが通常の鑑賞に影響を与えないことを示している。

(b) デジタルカメラで撮影した画像を評価者が見た場合

2 種類のカメラとも評価者 15 人の評点はすべての実体物で 1 (“妨害が非常に邪魔になる”) であった。図 10 に実体物 (船の模型) をデジタルカメラ (CMOS) により撮影した画像を示す。評価結果より、盗撮防止ユニットは実体物の盗撮を効果的に妨害可能であることが分かる。

6.3 フィルタ検出評価

6.3.1 評価方法

図 11 に示すように盗撮防止ユニットから 1m の距離に評価物体を置き、赤外フィルタ検出能力を評価した。評価者とユニットとの距離については、後述のケース 1 (死角領域外) とケース 2 (死角領域内) の評価において、それぞれ 1m, 0.2m とした。表 4 に示すように評価物体を 4 つのグループに分類し、盗撮者が赤外フィルタを付けたデ

表 4 評価物体

Table 4 Evaluation objects.

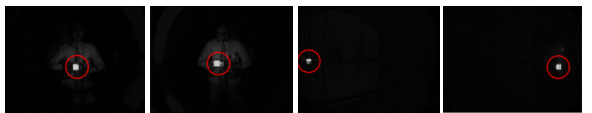
	種類	評価物体		
A	室内設備	(1) 机	(2) 椅子	
B	ユーザー装飾品 (動体)	(3) 眼鏡	(4) 時計	(5) ネクタイ
		(6) ID カード	(7) ボールペン	
C	ユーザー持ち込み物(静体)	(8) ガラスコップ	(9) ペットボトル	(10) バック
D	盗撮者持ち込み物	(11) 赤外フィルタを付けたデジタルカメラ		

ジタルカメラ (グループ D) を図の位置に配置した。

評価者はデジタルカメラを手に抱え画面全体を撮影できるようにディスプレイに向けた。このとき、ハーフミラーから反射する赤外線によって、赤外カメラがとらえた画像の輝度値が飽和するため、減光フィルタを用いてデジタルカメラに入射する赤外線の光量を $1/800$ に減少させた。反射領域の平均輝度値のしきい値 T_v については、6 種類の値 (30, 40, 50, 60, 70, 80) により False Negative (赤外フィルタを赤外フィルタでないと誤検出) と False Positive (赤外フィルタではないものを赤外フィルタであると誤検出) についての予備評価を行い、誤検出の可能性が最も低くなるしきい値 $T_v = 60$ に設定した (予備評価の詳細は付録 A を参照のこと)。また、反射領域の面積のしきい値 T_s については、ディスプレイを盗撮可能な最大距離を 3m と仮定し、盗撮領域の任意の場所にある赤外吸収フィルタを検出できるしきい値 $T_s = 40$ に設定した。フィルタ検出アルゴリズムを実行した PC の性能は、CPU: Intel Core2 Duo 2.67 GHz, Memory: 2.00 GB, OS: Windows 7 であった。

6.3.2 評価結果

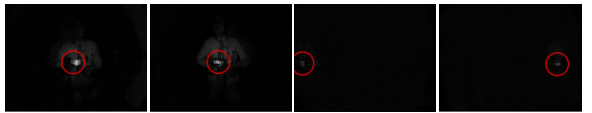
盗撮領域における死角領域の内と外において、赤外フィルタ (赤外カットフィルタおよび赤外吸収フィルタ) の検出結果は以下に示すように得られた。部屋に最初からある室内設備 (グループ A) は、フィルタ検出アルゴリズムの差分処理 (Step1) により、ユーザ装飾品 (グループ B) はフィルタ検出アルゴリズムの動体検出処理 (Step2) によって検出対象から除外された。次にフィルタ検出アルゴリズムのフィルタリングによる絞り込み処理 (Step3) により、ユーザ持ち込み物 (グループ C) と盗撮者持ち込み物 (グループ D) が区別され、盗撮者持ち込み物である赤外フィルタが検出された。本評価では、盗撮者ではない一般のユーザが、滑らかな平面状の鏡面反射物をディスプレイに向けて固定することはないという前提に基づいて、ユーザ持ち込み物 (グループ C) を選定した。ディスプレイに向けて一定時間固定された滑らかな平面状の鏡面反射物を赤



(a) 赤外カメラ 1 (b) 赤外カメラ 2 (c) 赤外カメラ 3 (d) 赤外カメラ 4

図 12 ケース 1 赤外カットフィルタの結果

Fig. 12 Evaluation results for IR-cut filter in Case 1.



(a) 赤外カメラ 1 (b) 赤外カメラ 2 (c) 赤外カメラ 3 (d) 赤外カメラ 4

図 13 ケース 1 赤外吸収フィルタの結果

Fig. 13 Evaluation results for IR-absorption in Case 1.

外フィルタとして検出する赤外フィルタ検出方式は、Step3の絞り込み処理により、ユーザ持ち込み物（グループC）を盗撮者持ち込み物（グループD）として誤検出することなく、盗撮者持ち込み物である赤外フィルタのみを検出可能である。

赤外フィルタを検出した場合には、映像の反射領域が赤丸で囲まれ、警告音が鳴る。検出に要した時間は1秒以内であった。

ケース 1：評価者が死角領域外の場合

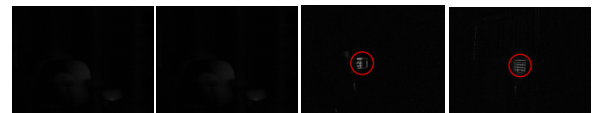
4.2節で述べたように、死角領域外では、評価者の盗撮カメラの位置により検出可能な赤外カメラの台数が異なるが、ここでは、4台すべてのカメラで赤外フィルタを検出可能な領域（図4の領域（O, I, K, L, J））内に評価者がいる場合を想定して赤外フィルタの検出評価を行った。

(1) 赤外カットフィルタを装着した場合

本ケースでは、4台すべての赤外カメラ（赤外カメラ1～4）で赤外カットフィルタのみを検出できることが望ましい。赤外カットフィルタの検出結果を図12に示す。赤外カットフィルタは、その性質上、高い赤外線反射率を有しているため、赤外カメラの撮影画像における反射領域の輝度値の平均は高く、他の反射物と容易に区別することができる。反射領域の平均輝度値は、赤外カメラ1～4の順にそれぞれ、219, 234, 204, そして205であり、いずれもしきい値 $T_V (= 60)$ 以上であった。図12に示すように4台すべての赤外カメラで赤外カットフィルタのみを検出しており、期待される結果が得られた。

(2) 赤外吸収フィルタを装着した場合

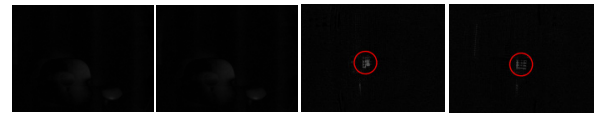
本ケースでは、4台すべての赤外カメラ（赤外カメラ1～4）で赤外吸収フィルタのみを検出できることが望ましい。赤外吸収フィルタの検出結果を図13に示す。赤外吸収フィルタは、ガラス中に混合した光吸収物質により透過波長を制御する光学フィルタであることから、赤外カメラで撮影した画像の輝度値は赤外カットフィルタに比べて小さくガラスの反射率（約10% [21]）と同等であった。反射



(a) 赤外カメラ 1 (b) 赤外カメラ 2 (c) 赤外カメラ 3 (d) 赤外カメラ 4

図 14 ケース 2 赤外カットフィルタの結果

Fig. 14 Evaluation results for IR-cut filter in Case 2.



(a) 赤外カメラ 1 (b) 赤外カメラ 2 (c) 赤外カメラ 3 (d) 赤外カメラ 4

図 15 ケース 2 赤外吸収フィルタの結果

Fig. 15 Evaluation results for IR-absorption in Case 2.

領域の平均輝度値は、赤外カメラ1～4の順にそれぞれ、201, 194, 67, そして84であったが、いずれもしきい値 $T_V (= 60)$ 以上であった。図13に示すように4台すべての赤外カメラで赤外吸収フィルタのみを検出しており、期待される結果が得られた。

ケース 2：評価者が死角領域内の場合

(1) 赤外カットフィルタを装着した場合

本ケースでは、死角領域内を検出可能な2台のカメラ（赤外カメラ3, 4）で赤外カットフィルタのみを検出できることが望ましい。赤外カットフィルタの検出結果を図14に示す。ケース1での評価結果と同様に、赤外カットフィルタは、その性質上、高い赤外線反射率を有しているため、他の反射物と容易に区別することができる。反射領域の平均輝度値は、赤外カメラ3, 4の順にそれぞれ、164, 153であり、いずれもしきい値 $T_V (= 60)$ 以上であった。図14が示すように赤外カメラ3, 4で赤外カットフィルタのみを検出しており、期待される結果が得られた。

(2) 赤外吸収フィルタを装着した場合

本ケースでは、死角領域内を検出可能な2台のカメラ（赤外カメラ3, 4）で赤外吸収フィルタのみを検出できることが望ましい。赤外吸収フィルタの検出結果を図15に示す。赤外吸収フィルタの反射率はガラスと同程度であるため、背景差分後の反射領域の平均輝度値は赤外カットフィルタに比べて小さく、赤外カメラ3, 4の順にそれぞれ、115, 113であったが、いずれもしきい値 $T_V (= 60)$ 以上であった。図15が示すように赤外カメラ3, 4で赤外吸収フィルタのみを検出しており、期待される結果が得られた。

7. おわりに

市販のカメラは、小型・高性能化しており、ディスプレイの盗撮による被害はより深刻になることが予想される。電子透かしを用いた既存の技術対策では、盗撮を抑止することはできても直接防止することはできなかった。本論文では、光の透過特性と反射特性に着目し、赤外線発光部と

赤外線反射部で構成される盗撮防止ユニットを既存のディスプレイに設置することで、ディスプレイの盗撮による情報漏えいを防止することができることを示した。また、赤外を除去する赤外フィルタへの対策として、盗撮者のカメラに付けられた赤外フィルタは、赤外フィルタからの鏡面反射を利用することにより盗撮防止ユニット内部にある検出用赤外カメラによって検出可能であることを示した。

今後、検出用赤外カメラによるステレオ画像から拡張ユニットと赤外フィルタ間の距離を計測する方法を実装することを検討している。

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] MPAA: Applauds Digital Content Security Act, available from <http://www.technewsworld.com/rsstory/47939.html>.
- [2] Haber, S., Horne, B.G., Pato, J., Sander, T. and Tarjan, R.E.: If Piracy Is the Problem, Is DRM the Answer?, *Digital Right Management*, Becker, E. et al. (Eds.), LNCS2770, pp.224–233 (2003).
- [3] 映画館に行こう！実行委員会：映画盗撮防止法 Q&A, 入手先 <http://www.eiren.org/tousatuboushi.html>.
- [4] msn 産経ニュース, 入手先 <http://sankei.jp.msn.com/affairs/news/110910/crm11091001370003-n1.htm>.
- [5] インターネットプライバシー研究所, 入手先 <http://jtrustc.co.jp/pnews/readnews.php?logno=200804>.
- [6] 山田隆行, 合志清一, 越前 功：人間とデバイスの感度差を利用した映像の盗撮防止方式, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.2, pp.877–889 (2011).
- [7] Yamada, T., Gohshi, S. and Echizen, I.: IR Hiding: Method to Prevent Re-shooting Videos based on Sensory, *Proc. 9th International Workshop on Digital Watermarking (IWDW 2010)*, LNCS 6526, pp.280–292 (2010).
- [8] Yamada, T., Gohshi, S. and Echizen, I.: Preventing re-recording based on difference between sensory perceptions of humans and devices, *Proc. 2010 IEEE 17th International Conference on Image Processing (ICIP2010)*, pp.993–996 (2010).
- [9] Haitisma, J. and Kaler, T.: A watermarking Scheme for Digital Cinema, *Proc. International Conference on Image Processing*, Vol.2, pp.487–489 (2001).
- [10] 合志清一, 真島恵吾, 中村晴幸, 山田浩之, 藤井亮介, 伊藤浩, 鈴木光義, 高井重典, 谷愉佳里：再撮耐性を有する電子透かし, 放送技術, Vol.61, No.5, pp.107–112 (2008).
- [11] 中村晴幸, 合志清一, 藤井亮介, 伊藤 浩, 鈴木光義, 高井重典, 谷愉佳里：CRT 盗撮画像に耐性を有する電子透かし, 映像情報メディア学会誌, Vol.60, No.11, pp.1778–1788 (2006).
- [12] Nakashima, Y., Tachibana, R. and Babaguchi, N.: Watermarked Movie Soundtrack Finds the Position of the Camcorder in Theater, *IEEE Trans. Multimedia*, Vol.11, No.3, pp.443–454 (2009).
- [13] Bourdon, P., Thiebaud, S. and Doyen, D.: A theoretical analysis of spatial/temporal modulation-based systems for prevention of illegal recordings in movie theaters, *Proc. SPIE Security, Forensics, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents X*, Vol.6819

(2008).

- [14] 高木幹夫, 下田陽久 (編)：新編 画像ハンドブック, 東京大学出版会 (2004).
- [15] 米本和也：CCD/CMOS イメージ・センサの基礎と応用, CQ 出版社 (2003).
- [16] 日本工業標準調査会 JIS S0032, 入手先 (<http://www.jisc.go.jp/>).
- [17] 山根伸啓：液晶テレビにおける視認性と可読性, 東芝レビュー, Vol.65, No.2, pp.11–14 (2010).
- [18] 原口 健, 岡嶋克典, 鈴木敬明：有彩色背景上に表示された有彩色文章の可読性の定量化, 映像情報メディア学会誌, Vol.63, No.3, pp.323–330 (2009).
- [19] 伊藤克三, 大野治代, 佐藤隆二：文章の読みやすさに基づく照明の評価法に関する研究, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 計画系, Vol.17, No.414, pp.53–56 (1977).
- [20] Rec. ITU-R BT.500-11: Method for the subjective assessment of the quality of television pictures (2002).
- [21] 足永靖信, 伊藤大輔, 藤本哲夫：建築窓ガラス用フィルムの分光特性に関する調査, 日本建築学会技術報告集, Vol.14, No.28, pp.487–490 (2008).

付 録

A.1 反射領域の平均輝度値のしきい値 T_v の設定

本論文では、適正なしきい値を設定するために、表 4 に示す評価物体を用いて 6 種類のしきい値 T_v (30, 40, 50, 60, 70, 80) により (1) False Negative (赤外フィルタを赤外フィルタでないと誤検出) についての評価および、(2) False Positive (赤外フィルタではないものを赤外フィルタであると誤検出) についての評価を行った。

以下の (1), (2) について評価の概要を示す。

(1) False Negative についての評価

6 種類のしきい値について、4 台の赤外カメラすべてにおいて赤外フィルタが検出可能であるかどうか評価したところ、赤外カットフィルタについては、6 種類のしきい値のすべてにおいて False Negative となることはなかった。しかしながら、赤外吸収フィルタについては、しきい値 T_v を 70, 80 とした場合に、一部の赤外カメラにおいて False Negative となり検出できなかった。この結果が示すように、しきい値 T_v が適正な値より大きい場合には、False Negative の要因となる。したがって、しきい値 T_v を、30, 40, 50, 60 に設定する必要がある。

(2) False Positive についての評価

4 台の赤外カメラの検出箇所について、検出箇所を示す

表 A-1 赤外フィルタ以外の検出箇所の総数* (検出距離：1 m)

Table A-1 Total number of a detection except an infrared filter (Detection distance: 1 m).

しきい値	30	40	50	60	70	80
総数*	12	3	2	0	0	0

※ 4 台の赤外カメラによる同一物体の複数回検出を含むのべ数 (評価物体以外の領域を含む)

赤丸が赤外フィルタ以外の箇所を特定し、4 台の赤外カメラにおける当該箇所の総数を調べたところ、表 A.1 に示す結果が得られた。表の結果が示すように、しきい値 T_v を 60 未満に設定すると、赤外フィルタ以外の検出箇所が現れ、False Positive となった。これはしきい値を下げることによって赤外フィルタよりも反射率の低い物体を検出するようになったことによるものである。また、しきい値を 30 まで下げると、入力信号のノイズにより評価物体以外の領域まで誤検出するようになった。

以上の (1), (2) の評価結果より、本評価環境においては、しきい値 T_v を誤検出の可能性が最も低くなると考えられる $T_v = 60$ に設定した。



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。