

ディスプレイに表示されたデジタル情報の盗撮を無効化する盗撮防止方式の確立

代表研究者

越前 功

国立情報学研究所・コンテンツ科学研究系・准教授

1 研究調査の要旨

ディスプレイに表示されたデジタル情報の盗撮を防止する方式を確立する。人間の視覚と撮像デバイスの感度特性の違いに着目し、既存の撮影機器に新たな機能を追加せずに撮影時にノイズを付加する方式を検討する。

2 研究背景

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等のリスクを常に抱えている。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一旦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]。既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[6-8]。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画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。

本研究では、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検討した。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、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と妨害度合、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。

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 380～780nm である[9]．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 nm～1100 nm）に感度を有している[10]．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．

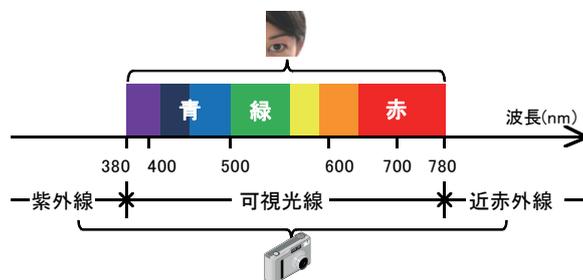


図 1 人間とデジタルカメラの感度

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[6-8]，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むことが望ましい．

表 1 盗撮防止方式の技術要件

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

本研究では，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しながら，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．

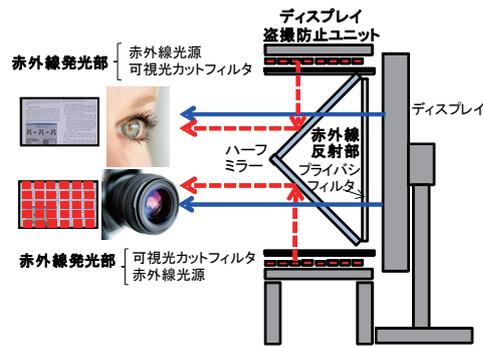


図 2 ディスプレイ盗撮防止方式の概要

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、入射した赤外線を一方向に反射（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捉えられる。赤外カメラで捉えた鏡面反射物は、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。

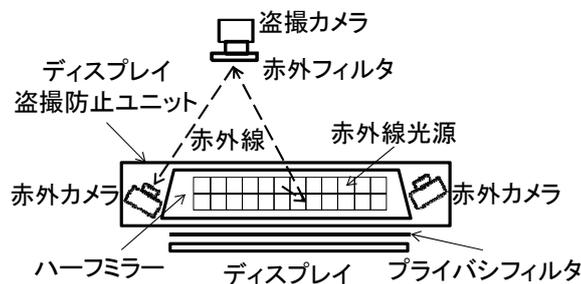


図 3 赤外フィルタ検出方式

4-2 盗撮領域及び検出領域

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捉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つかめることにより、赤外フィルタを検出することができる。

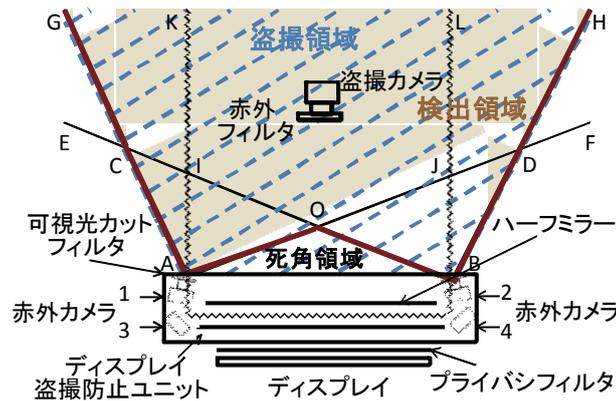


図 4 盗撮領域と検出領域

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ーアラ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）を常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、該当ユーザー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線反射部及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通りである。

(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 のも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 870nm 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 $224 \times 8 = 1792$ 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 780nm 付近の波長成分を可視光カットフ

フィルタ（カットオン波長 850nm）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ー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。プライバシーフィルタは、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（例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° のプライバシー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。

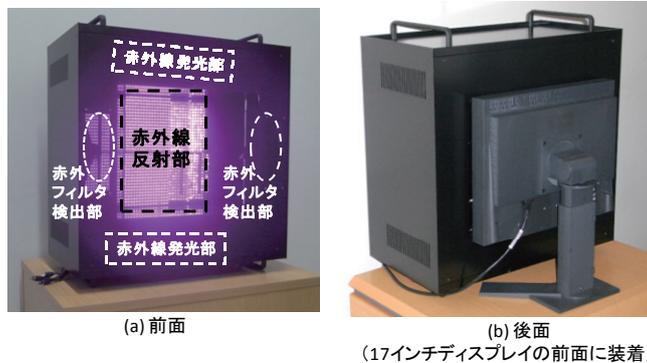


図 5 ディスプレイ盗撮防止ユニットの外観

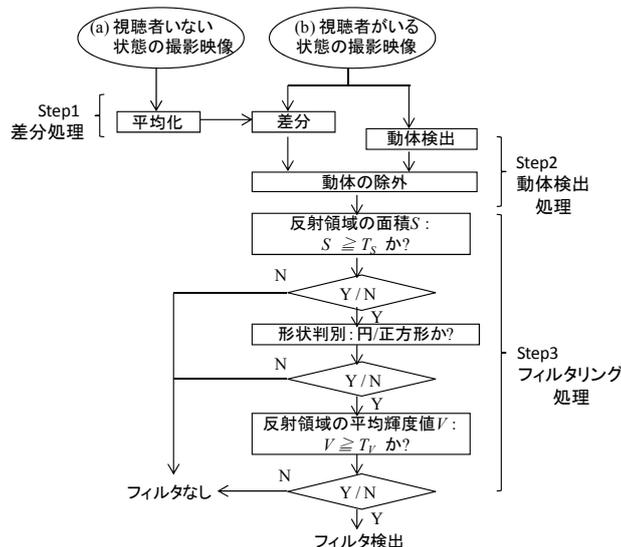


図 6 フィルタ検出アルゴリズム

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。

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: 動きを伴う反射物の除外 (動体検出処理)

映像(b)に対して動き検出処理により、動きを伴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及び実体物に適用した場合の妨害度合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。

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 [11]を参考としているケースがあるため[12]、本研究では、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、本研究の評価実験では、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等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 1m 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 [13,14]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[14]を 2 とした。表 2 に評価実験で使用した可読性評価環境を示す。

評点	評価内容
6	非常に読みやすい
5	読みやすい
4	苦勞せず読める
3	多少読みにくいが読める
2	やっと読める(判読限界)
1	読めない

図 7 可読性評価尺度

表 2 可読性評価環境

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: 1792 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 1030 万画素)
	カメラ付き携帯電話 (CCD) (有効画素数 1210 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:

全ての論文において評価者 5 人の評点は全て 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

妨害効果が無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無い場合 (ノイズなし) の評価値は, 全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殆ど見られなかった. 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, 全ての論文サンプルで評価値が 2 (“やっと読める”: 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無い場合 (ノイズな

し)の評価値は、全論文サンプルのうち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、全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、全て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。

表3 可読性評価結果

(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

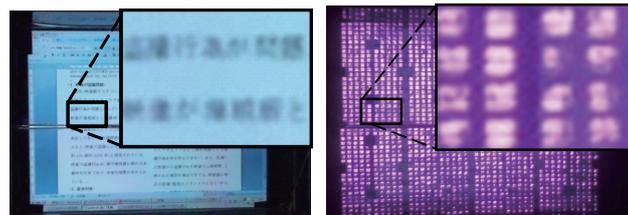


ノイズなし

ノイズあり

文字サイズ 12 pt

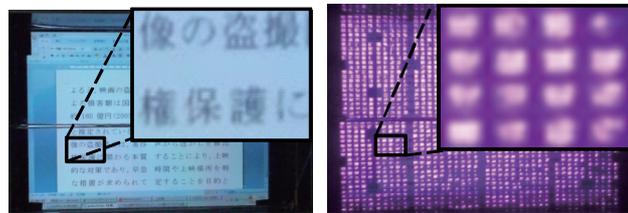
(a) デジタルカメラ



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

6-2 フィルタ検出評価

6-2-1 評価方法

図9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、赤外カメラが捉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して誤検出）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。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 2.67GHz, Memory: 2.00GB, OS: Windows 7 であった。

表4 評価物体

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)ネクタイピン (6) IDカード (7) ボールペン
C ユーザー持込み物(静体)	(8) ガラスコップ (9) ペットボトル (10) バック
D 盗撮者持込み物	(11) 赤外フィルタを付けたデジタルカメラ

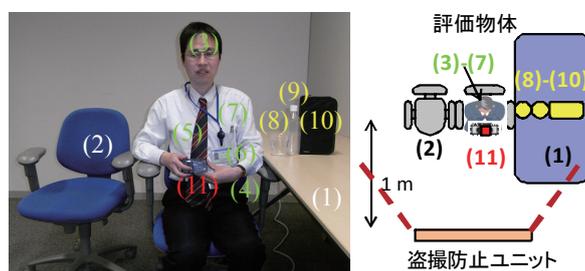


図9 評価環境

6-2-2 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及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、ユーザー装飾品（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、ユーザー持込み物（グループ C）と盗撮者持込み物（グループ D）が区別され、盗撮者持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ーが、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、ユーザー持込み物（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、ユーザー持込み物（グループ C）を盗撮者持込み物（グループ D）として誤検出することなく、盗撮者持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 台全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 台全ての赤外カメラ（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 10 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 10 に示すように 4 台全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 台全ての赤外カメラ（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 11 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% [16])と同等であった。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、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 11 に示すように 4 台全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。

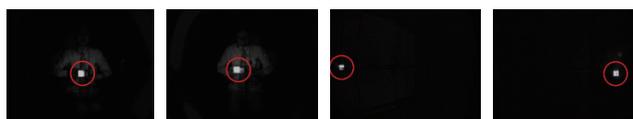
ケース 2：評価者が死角領域内の場合

(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 12 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 12 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 13 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 13 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。



(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 10 ケース 1 赤外カットフィルタの結果



(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 11 ケース 1 赤外吸収フィルタの結果



(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2 赤外カットフィルタの結果



(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2 赤外吸収フィルタの結果

7 まとめ

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。本研究では、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。

【参考文献】

- 1)MPAA: Applauds Digital Content Security Act, <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?", Becker et al.(eds), Digital Right Management, 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", <http://www.eiren.org/tousatuboushi.html>
- 4)msn 産経ニュース, <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, <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, in Proceedings of the 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, in Proceedings of the 2010 IEEE 17th International Conference on Image Processing (ICIP2010), pp.993 –996 (2010).
- 9)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).
- 10) 米本和也,: CCD/CMOS イメージ・センサの基礎と応用 , CQ 出版社 (2003).
- 11) 日本工業標準調査会 JIS S0032, <http://www.jisc.go.jp/>
- 12) 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).
- 13) 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).
- 14) 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).
- 15) Rec. ITU-R BT.500-11: Method for the subjective assessment of the quality of television pictures (2002).

- 16) 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).

〈 発 表 資 料 〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
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	情報処理学会論文誌 Vol.54, No.9, 11 pages (採択済み)	2013年9月