

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：62615

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24300040

研究課題名(和文)アナログホールを克服する不正コピー防止技術の研究

研究課題名(英文)Research on unauthorized copying prevention for overcoming analog-hole problems

研究代表者

越前 功 (ECHIZEN, Isao)

国立情報学研究所・コンテンツ科学研究系・教授

研究者番号：30462188

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,900,000円

研究成果の概要(和文)：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確立した。本方式は、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、赤外線鏡面反射特性を利用したフィルタ検出方式を検討した。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た。

研究成果の概要(英文)：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. Testing using the prototype implementation demonstrated that it can effectively prevent the unauthorized copying of displays by completely corrupting the recorded content.

研究分野：情報セキュリティ

キーワード：著作権保護・コンテンツ保護 コンテンツ・アーカイブ

1. 研究開始当初の背景

我々が日々入手・発信する個人情報などのデータや映像・音響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といった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、暗号を用いたデジタル情報の不正コピー防止技術が広く利用されている。しかし、これらのデジタル情報はディスプレイ表示によって一旦アナログ化されれば、イメージセンサなどのデバイス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（アナログホール問題）。高品質なイメージセンサを備えたデジタルカメラの普及により、アナログ情報を高品質なまま再デジタル化できる機会は増大しており、アナログホールを経由した情報漏えいや著作権侵害が深刻化している。従来対策に電子透かしを用いた手法がある。これはデータやコンテンツに固有の情報を埋め込み、アナログ化され不正にコピーされたデジタル情報から電子透かしを検出することにより、不正が行われた場所や時間を特定する手法である。しかし従来方式は、不正者によるコピーを心理的に抑止する効果はあるが、不正コピー自体を防止できないという問題があった。

2. 研究の目的

本研究では、既存のデジタル記録機器に新たな機能を追加することなく、ディスプレイ表示によりアナログ化されたデータやコンテンツの不正コピーを無効化するために、人間とデバイスの感度特性の違いを利用することで、人の視覚や聴覚には影響を与えずにデータやコンテンツのコピーを無効化する方式を確立する。期間内の研究目的は以下の2つである。

[目的1] 人間とデバイスの感度特性の違いを利用した盗撮防止方式の確立

人間の視覚とデジタルカメラのイメージセンサとの感度差に着目し、人の視覚には影響を与えずにイメージセンサに反応する近赤外線光源などのノイズ信号源をディスプレイなどの表示装置側に組み込むことで、デジタルカメラにより撮影・録音したデータやコンテンツの品質を劣化させる方式を検討する。検討内容を試作し、多様な盗撮環境に対応したデータ・コンテンツの盗撮防止システムの有効性を評価する。

[目的2] ノイズ信号の除去攻撃を検知する盗撮検知方式の確立

盗撮者がノイズ信号を除去するフィルタを（赤外カット・赤外吸収フィルタ等）をデジタルカメラに装着することで、盗撮防止システムのノイズ信号を除去しながら盗撮することが想定される。本研究では、近赤外線ノイズの除去攻撃に対しては、赤外カット・赤外吸収フィルタによる近赤外線の鏡面反射特性に着目し、表示装置側でフィルタの赤外鏡面反射を検知することで、当該攻撃をリア

ルタイムに検知する方式を検討する。検討内容を試作し、多様な盗撮環境における近赤外線ノイズの除去攻撃の検知性能を評価する。評価結果に基づいて、盗撮防止とノイズ除去攻撃を同時に実現する盗撮防止システムを開発する。

3. 研究の方法

以下では、2章で述べた[目的1]および[目的2]を実現するための研究方法をそれぞれ[方法1]および[方法2]として詳述する。

[方法1] 人間とデバイスの感度特性の違いを利用した盗撮防止方式

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。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。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。

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、我々が過去に検討してきた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、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確立した。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確立した。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1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。

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設置可能	既存のディスプレイに設置可能
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

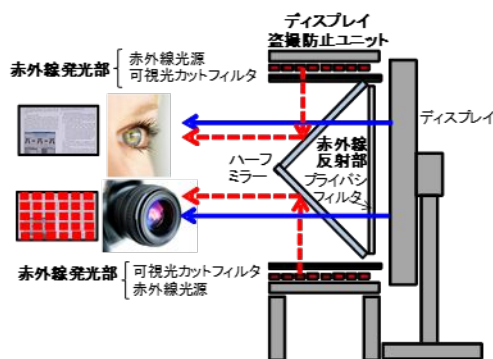


図1 ディスプレイ盗撮防止方式の概要

[方法2] ノイズ信号の除去攻撃を検知する盗撮検知方式

先に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確立した。

図2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。

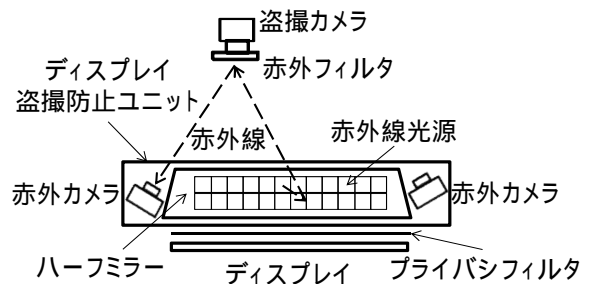


図2 赤外フィルタ検出方式

**4. 研究成果
ディスプレイ盗撮防止ユニットの実装**

3章で述べた[方法1]および[方法2]による方式をディスプレイ盗撮防止ユニットとして実装した。図3に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3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。各機能の詳細は以下の通りである。



図3 ディスプレイ盗撮防止ユニットの外観

(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、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、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、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。

評価実験

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。

(1) [方式 1] の評価（可読性評価）

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。

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 を参考としているケースがあるため、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。

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に基づき、図 4 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を 2 とした。

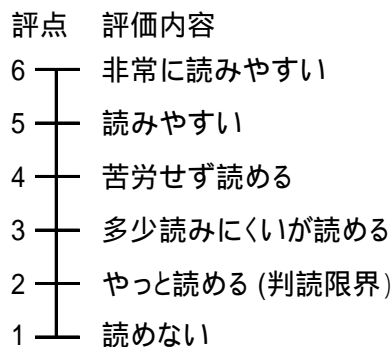


図 4 可読性評価尺度

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際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。評価結果を表2に示す。

表2 可読性評価結果
(a) デジタルカメラ

	論文	論文	論文	論文	論文
	1	2	3	4	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	論文	論文	論文	論文
	1	2	3	4	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	論文	論文	論文	論文
	1	2	3	4	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

(2) [方式2]の評価(フィルタ検出評価) 評価方法

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。表3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)をユニット正面に配置した。

表3 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	(3) 眼鏡	(4) 時計	(5) ネクタ	
	装飾品(動体)	(6) IDカード	(7) ボールペン	イピン	
C	ユーザー	(8) ガラス	(9) ペットボトル	(10) パック	
	持込み物(静体)	コップ	トル	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			

評価結果

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。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。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

I. Echizen, T. Yamada, S. Gohshi, "IR Hiding: Use of Specular Reflection for Short-Wavelength-Pass-Filter Detection to Prevent Re-recording of Screen Images," Transactions on Data Hiding and Multimedia Security, vol. 10, pp. 38-54, Springer (2015) (査読有)

山田隆行, 合志清二, 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", 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.9, pp. 2177-2187, (2013年9月) <論文賞> (査読有)

T. Yamada, S. Gohshi, and I. Echizen, "Preventing unauthorized copying of displayed information by utilizing differences in spectral sensitivity between humans and imaging devices," Proc. of the IEEE International Workshop on Information Forensics and Security (WIFS'12), pp. 145-150, (December 2012) (査読有)

T. Yamada, S. Gohshi, and I. Echizen, "Enhancement of method for preventing unauthorized copying of displayed information using object surface reflection," Proc. of the 11th International Workshop on Digital-Forensics and Watermarking (IWDW 2012), LNCS7809, pp. 184-197, Springer (October 2012) (査読有)

6. 研究組織

(1)研究代表者

越前 功 (ECHIZEN, Isao)

国立情報学研究所・コンテンツ科学研究系・教授

研究者番号: 30462188

(2)研究分担者

合志清一 (GOHSHI, Seiichi)

工学院大学・情報工学部・教授

研究者番号: 40500335

(3)連携研究者

該当なし