

## 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<sup>†</sup> 合志 清一<sup>‡</sup> 越前 功<sup>¶</sup>

<sup>†</sup> 総合研究大学院大学 複合科学研究科

<sup>‡</sup> 工学院大学 情報学部

<sup>¶</sup> 国立情報学研究所 コンテンツ科学研究系

**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、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近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近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。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態物の盗撮防止にも適用可能である。主観評価実験により実装した盗撮防止ユニットの妨害効果を評価し、提案方式の有効性を確認した。

### Method for preventing illegal recording of displayed content based on differences in sensory perception between humans and devices

Takayuki Yamada<sup>†</sup> Seiichi Gohshi<sup>‡</sup> Isao Echizen<sup>¶</sup>

<sup>†</sup> Graduate University for Advanced Studies

<sup>‡</sup> Kogakuin University

<sup>¶</sup> National Institute of Informatics

**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. 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.

#### 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に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、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も発生している[4]。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。

上記問題への対策として、筆者らは、スクリーンに表示された映画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[5-8]。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近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盗撮を防止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近赤外線光源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、盗撮防止の従来技術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、提案方式を実装し

たディスプレイ盗撮防止ユニットについて述べる。5章では、4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、評価実験を行い、その結果を示す。

## 2. 従来技術

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一旦アナログ化し、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映像の盗撮を抑止するために、電子透かしを用いた方式が提案されている[1,2,9,10]。これらの技術は、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。

## 3. 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

### 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。

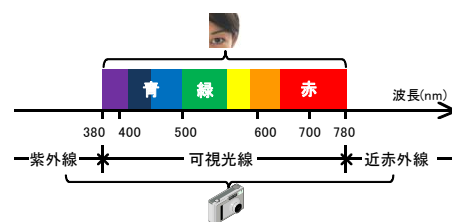


図1 人間とデジタルカメラの感度

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 200nm~1100nm)に感度を有している[8]. 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近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.

### 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近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[5, 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むことが望ましい.

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しながら、近赤外線光源から照射した近赤外線を鏡面反射して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近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.

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	近赤外線ノイズによる撮影映像の品質劣化	近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の全面にノイズ付加
ノイズ付加(時間特性)	Bartley 効果に基づき近赤外線ノイズを 10Hz で点滅	静止画撮影も防止するため近赤外線ノイズを連続点灯

## 4. ディスプレイ盗撮防止ユニットの実装

### 4.1 概要

図 2 に提案方式を実装した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近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.



図 2 ディスプレイ盗撮防止ユニットの外観

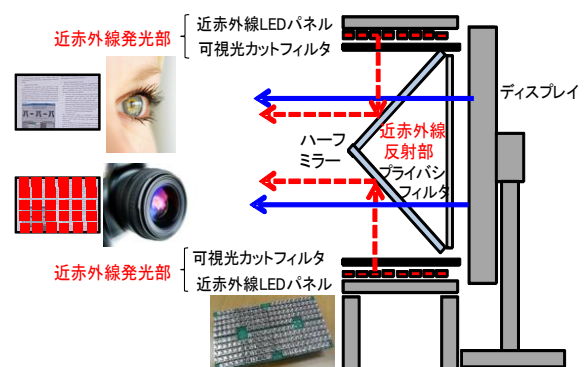


図 3 ディスプレイ盗撮防止ユニットの構成

## 4.2 構成

ディスプレイ盗撮防止ユニットの構成を図 3 に示す。図に示すように、本ユニットは、近赤外線発光部と近赤外線反射部から構成される。各機能の詳細は以下の通りである。

### 近赤外線発光部

近赤外線発光部は、盗撮防止ユニットの上部と下部にあり、近赤外線 LED を集積した近赤外線 LED パネルと近赤外線 LED の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。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 の反射型近赤外線 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  $224 \times 8 = 1792$  個の近赤外線 LED を用いている。可視光カットフィルタは、近赤外線パネル上に設置することで、近赤外線 LED の可視域成分をカットし、通常視聴における近赤外線ノイズの視覚劣化を抑える働きをする。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。

### 近赤外線反射部

近赤外線反射部は、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、近赤外線発光部から照射した近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近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近赤外線ノイズの強さに影響するため、本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近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、近赤外線発光部の近赤外線 LED の放射角を考慮して、視野角  $60^\circ$  のプライバ

シフィルタを用いることとした。

## 5. 評価実験

本章では、4 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を主観評価により評価した。

### 5.1 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、(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<sup>1</sup>。

#### 5.1.1 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。その結果、文字サイズは、明朝体の場合、12 ポイントとなった。

#### 5.1.2 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

<sup>1</sup> 本論文で行う可読性評価は、見やすさ、弁別しやすさなどに基づいて判断した文章の視覚的な読みやすさの評価であり、文章の意味及び理解度の分かりやすさに関する評価ではない。

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。

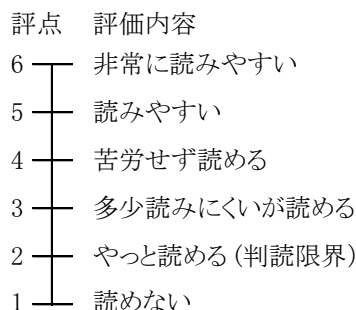


図 4 可読性の評価尺度

表 2 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 <sup>2</sup> )
盗撮防止ユニット	近赤外線 LED (ピーク波長 870 nm, 1792 個使用), 可視光カットフィルタ (カットオン波長 850 nm), ハーフミラー (透過率 20%), プライバシフィルタ (視野角 60°, 透過率 80%)
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	1m

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 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 [14] を 2 とした。表 2 に評価実験で使った評価環境を示す。

## 5.2 評価結果

### (a) 評価者が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近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、近赤外線 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) 評価者が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 5、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、撮像素子に近赤外線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。

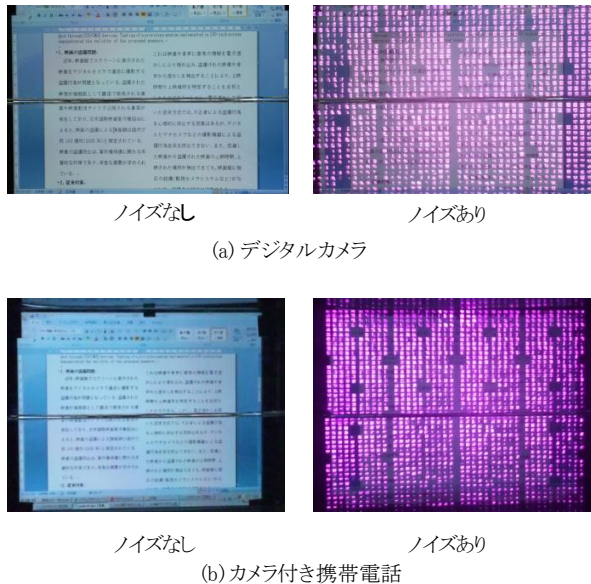


図 5 撮影画像

表 3 評価結果

(a) デジタルカメラ

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		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

## 6. むすび

低価格で高性能な撮影機器が入手できるようになり、今後は、ディスプレイの盗撮による情報漏えいや著作権侵害などの不正行為が増加することが予想される。提案方式は、光の透過特性と反射特性に着目し、近赤外線発光部と近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。また、本盗撮防止ユニットの背面に実態物を設置することで、実態物の盗撮防止にも適用が可能である。今後の課題として、盗撮者が近赤外線カットフィルタを用いて盗撮を行った場合の対策と、盗撮防止ユニットの薄型化が挙げられる。

## 参考文献

- 1 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.
- 2 J. Haitsma and T. Kaler, “A Watermarking Scheme for Digital Cinema”, Proc. International Conference on Image Processing, vol. 2, pp.487-489, 2001.
- 3 日本映画著作権協会(JIMCA)  
<http://www.jimca.co.jp/jimca/index.html>
- 4 インターネットプライバシー研究所 済生会宇都宮病院, 機関紙に患者の個人情報に写った写真掲載  
<http://jitrustc.co.jp/pnews/readnews.php?logno=200804>
- 5 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.
- 6 山田隆行, 合志清一, 越前功, “映像盗撮防止方式における赤外カットフィルタ攻撃への対策”, CSS2010 論文集, pp.67-72, 2010.
- 7 T. Yamada, S. Gohshi, and I. Echizen, “Preventing re-recording based on difference between sensory perceptions of humans and devices,” Proc. of the 17th International Conference on Image Processing (ICIP 2010), pp. 993-996, 2010.
- 8 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, 2010.
- 9 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.
- 10 Y. Nakashima, R. Tachibana, and N. Babaguchi, “Watermarked Movie Soundtrack Finds the Position of the Camcorder in Theater”, IEEE Trans. On Multimedia, vol.11, no.3, pp.443-454, 2009.
- 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.