

氏 名 山田 隆行

学位(専攻分野) 博士(情報学)

学位記番号 総研大甲第 1558 号

学位授与の日付 平成24年9月28日

学位授与の要件 複合科学研究科 情報学専攻  
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 人間とデバイスの感度差を利用した映像の盗撮妨害方式の研究

論文審査委員 主 査 准教授 越前 功  
教授 曾根原 登  
教授 山田 茂樹  
准教授 相原 健郎  
准教授 新見 道治 九州工業大学

## 論文内容の要旨

我々が日々入手・発信する個人情報や機密情報などのデータや、音楽・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、改ざん、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、不正アクセス対策、アクセス管理、デジタルフォレンジックなど様々なITリスク対策が提案されてきたが、ITリスク対策の従来研究は情報システムとそれらをつなぐネットワークを対象としているため、情報システムを操作する人間が行う不正なコピー、改変、配布などの行為は、高度なセキュリティ対策が情報システムに適用されていても、従来研究では防止できなかった。今後は、犯罪者が多大な時間とコストをかけて情報システムに不正アクセスして情報を不正に入手するよりも、情報システムを操作する人間を買収して、情報を入手するケースが増大すると考えられる。すなわち、情報システムとそれを操作・利用する人間との接点で生じるITリスク（人間系ITリスク）への対策は、情報セキュリティにおける課題だけではなく、我々の情報化社会を守る上での本質的な課題である。

本研究では、上述した人間系ITリスクの中で、データ・コンテンツ流通における人間系ITリスクへの対策を対象とする。具体的には、ディスプレイやスクリーンなどに表示された個人情報や機密情報などのデータ、画像や映像コンテンツを、正当な権限を持つ人間がデジタルカメラで違法に撮影し配布することで生じる情報漏えいや著作権侵害のリスクに着目し、その対策技術を確立することを目的とする。

データ・コンテンツ流通における人間系ITリスクの実例として、著作権保護されたデジタルコンテンツであっても、いったんアナログ出力することで、その後デジタルに変換すれば著作権保護されていない状態になるアナログホール問題(Analog-hole problem)がある。アナログ端子に由来するアナログホールについてはデジタル端子などへの移行などによる対策が進んでいるが、新しいアナログホール問題として映像の盗撮問題がある。既に、映画館で行われる盗撮により海賊版が露店で販売される事案や、映像配信サイトで公開される事案が発生しており早急な措置が求められている。

映像の盗撮に関する従来対策として、電子透かしを用いた方式がある。これは、映像コンテンツに透かしにより固有の情報を埋め込み、盗撮されたコンテンツから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、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、流通した映像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という問題があった。

そこで、人間とデバイスの感度特性の違いに着目し、人の視覚に影響を与えないノイズ信号を用いて、特定の映像コンテンツの撮影を不能にする映像の盗撮妨害方式の研究を行っ

た。一般的にイメージセンサやマイクロフォンなどのデバイスは、人間の視覚や聴覚特性に合わせて設計されるが、デバイスの特性上、完全に一致させることは不可能なため、感度特性に違いが生じる。本盗撮妨害方式は、人間の視覚には影響を与えずにデジタルカメラのイメージセンサにのみ反応するノイズ光を表示装置側から照射することで、通常の映像の視聴には影響を与えずに、映像コンテンツの撮影時にのみ映像の品質を劣化させて、映像の盗撮を無効化する。具体的には、人間の視覚とデジタルカメラのイメージセンサの分光感度特性の違いに着目し、人間の視覚には影響を与えずに撮影映像にのみノイズを重ねる近赤外光源を映像表示装置に組み込むことで、既存の撮影機器に新たな機能を追加することなく、撮影機器による盗撮を妨害する。盗撮妨害方式を映画用 100 インチスクリーンに組み込んだ盗撮妨害システムを開発し、主観評価実験により本方式が有効であることを示した。

盗撮妨害方式は、ノイズ信号として近赤外線を利用しているが、盗撮者が赤外カットフィルタを撮影機器に装着して盗撮を行うと、赤外線によるノイズを除去しながら映像を記録される可能性がある。そこで、赤外カットフィルタによる赤外線ノイズの除去への対策として、赤外カットフィルタの赤外鏡面反射を表示装置側で検知することで、赤外カットフィルタを検知する方式について検討を行った。一般に物体の反射は、鏡面反射と拡散反射から構成されるが、赤外カットフィルタは、高品質によく磨かれた表面を持つため、高い鏡面反射率を持つ。そこで、フィルタからの近赤外鏡面反射を検出するために近赤外領域に高感度を有する赤外カメラを使用し、反射強度や反射領域の形状により赤外カットフィルタをリアルタイムに検知する方式を検討した。先に実装した映画用 100 インチスクリーン向け盗撮妨害システムに組み込み、評価実験により本方式の有効性を確認した。

赤外を除去するフィルタには、赤外線を反射する性質をもつ赤外カットフィルタの他に、赤外線を吸収する性質を持つ赤外吸収フィルタもある。赤外吸収フィルタは、鏡面反射率が低いため近赤外鏡面反射を検知する上記の方式では検知が困難であったが、光を特定方向に集約することでノイズ光源の高出力化を行うという改良を施し、盗撮が行われる確度の高い前面中央部に高い放射強度を得ることにより、赤外吸収フィルタの検知を可能とした。評価実験では、一般の映画館内を想定し、近距離および遠距離にて検知性能の評価を行い改良方式の有効性を評価し、映画館のような広い場所において赤外フィルタを検知可能であることを示した。

本研究で検討した方式は、既に社会問題となっている映像の盗撮に対して、その防止に寄与するものと考えている。また、スクリーン以外の表示装置に適用が可能であり、広範な応用が期待できる。

## 博士論文の審査結果の要旨

出願者、山田隆行氏は、「人間とデバイスの感度差を利用した映像の盗撮妨害方式の研究」と題する論文を提出し、この論文およびその内容に基づく研究発表に基づき博士論文の審査が行われた。本論文は、人間が関与する IT リスクの枠組みにおいて、新たなセキュリティホールを効果的に防止する人間とデバイスの違いを利用した方式の提案とその実験的評価を行い、さらに従来の技術的対策である電子透かしの比較分析により映像の盗撮妨害方式を提案し、その有効性を実験的に評価している。

本論文は、序論から結論までの全 6 章からなる。第 1 章「序論」では、本研究の対象である情報システムと人間との接点で生じる IT リスク（以下、人間系 IT リスクという。）を概観し、正当なユーザによる不正行為や、ユーザの知識不足による意図しない不正行為が新たなセキュリティホールとして顕在化していることを示し、コンテンツ流通形態における人間系 IT リスクの所在を明らかにしている。

第 2 章「デジタルコンテンツの著作権保護技術とアナログホール問題」では、映像や個人情報といったデジタル情報は、著作権侵害や情報漏えいといったリスクを常に抱えており、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が、デジタル情報はスクリーンやディスプレイ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）ことが人間系 IT リスクの実例として述べられている。このような環境において、人間とデバイスの感度特性の違いに着目し、人の視覚に影響を与えないノイズ光源を用いて、撮影映像にノイズを重畳するという手段を用いることにより、既存の撮影機器に新たな機能を追加することなく、特定のコンテンツの撮影を不能にする盗撮妨害技術を確立することが本研究の目的であると述べている。

第 3 章「盗撮妨害方式によるアナログホール問題への対策」では、映画の盗撮問題と従来の対策について述べ、従来の対策では心理的に抑止する効果はあるが、盗撮行為自体を防止できないという問題に対して、“人間とデバイスの感度差を利用した映像の盗撮妨害方式”という新しい技術的対策を提案している。人間の視覚と撮像デバイスの分光感度特性の違いに着目し、人の視覚には影響を与えずに撮影映像にノイズを重畳する波長 870nm の赤外線を映像表示装置に組み込むことで、撮影装置による盗撮を妨害する方式を提案している。提案方式は、既存の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、スクリーンやモニタに表示した映像の盗撮を妨害することができる。提案方式を映画用 100 インチスクリーンに組み込んだ盗撮妨害システムを開発し、評価実験により提案方式が有効であることを示している。

第 4 章「赤外カットフィルタによる妨害除去への対策」では、提案方式を実装した盗撮妨害システムは、人の視覚には影響を与えずに撮影映像にノイズを重畳する光源として赤

外線を利用しているが、盗撮者が赤外カットフィルタを撮影機器に装着して盗撮を行うと、赤外線によるノイズを除去しながら映像を記録される可能性がある。この対策として、赤外カットフィルタの赤外鏡面反射特性を利用し、赤外カットフィルタの反射光を映像表示装置側で検出することで、赤外カットフィルタによる盗撮をリアルタイムで検知する方式を検討した。先に実装した映画用100インチスクリーン向け盗撮妨害システムに組み込み、評価実験により提案方式の有効性を確認している。

第5章「赤外カットフィルタ検知方式の改良」では、赤外線を吸収する性質を持つ赤外吸収フィルタに対して、鏡面反射率が低いため検知が困難という問題に対し、光を特定方向に集約することノイズ光源の一体化を行うという改良を施し、前面中央部に高い放射強度を得ることにより赤外吸収フィルタの検知を可能とした。評価実験では、一般の映画館内を想定し、近距離および遠距離にて検知性能の評価を行い改良方式の有効性を評価し、映画館のような広い場所で検知可能であることを示している。

第6章「結論」では、本研究全体を総括し、新たなアナログホールである映像の盗撮における本研究の意義と今後の展開をまとめている。

本研究の成果は、学術雑誌論文1件、査読付国際会議8件として発表され、学術賞を8件受賞しており、研究内容が国内外で認められていることを示している。

以上の点をもって、本論文は、博士（情報学）の学位論文として十分な価値があるものと認められた。