

1. 講演論文

「人間とデバイスの感度の違いを利用した映像の盗撮防止技術」

国立情報学研究所・准教授 越前 功

日時：2010年10月8日(金)

会場：長崎大学文教キャンパス総合教育研究棟2階（午前：多目的ホール、午後：207番教室）

共同主催：長崎大学 情報メディア基盤センター

電子情報通信学会 マルチメディア情報ハイディング研究会

電子情報通信学会 マルチメディア情報ハイディング研究会 招待講演 13:00～13:45

講演内容

我々が日々入手・発信する映像や個人情報といった様々なデジタル情報は、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、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）。本講演では、このアナログホール問題を克服する基本技術として、スクリーンに表示した映像をデジタルカメラで違法に撮影する盗撮行為を防止する方式について紹介した。従来方式として、電子透かしを用いて盗撮映像から盗撮された場所や時間を特定する手法があるが、盗撮行為自体を防止できなかった。提案方式は、人間の視覚とデジタルカメラの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付加する近赤外光源を表示装置側に組み込むことで、既存のデジタルカメラに新たな機能を追加せずに、スクリーンの盗撮を無効化することを特徴とする。提案方式で用いる近赤外光源は、裸眼による視覚的劣化を防止しながら撮影時のノイズ効果を向上することが求められるが、赤外LEDへの短波長カットフィルタの適用とBartley効果による光源点滅により上記の要件を達成した。また、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防止システムを開発し、主観評価実験を通じて提案方式の有効性を示した。提案方式は報道発表後、新聞、テレビ、インターネット等の国内外のメディアに幅広く取り上げられ、世界的な関心の高さを示している。また、提案方式は、映画館スクリーンでの盗撮防止用途のほか、デジタルサイネージ向け液晶/LEDディスプレイなどの様々な表示媒体の著作権保護や情報漏えい対策に役立つ技術として期待されている。

講演資料

人間とデバイスの感度の違いを利用した映像の盗撮防止技術

国立情報学研究所 越前 功


第11回マルチメディア情報ハイディング研究会 招待講演
2010/10/8 @長崎大学

人間とデバイスの感度の違いを利用した 映像の盗撮防止技術

国立情報学研究所
越前 功
iechizen@nii.ac.jp

略歴

- ◆ 1997年-2007年: 日立製作所システム開発研究所
Mission: 不正コピー防止技術の研究開発
 - 電子透かし技術の研究開発
 - 動画、画像(カラー／二値画像)電子透かしアルゴリズムの開発
 - DVD用動画電子透かし技術の標準化活動
 - 製品化実績
 - 動画・画像用電子透かしソフトウェア
 - 紙文書情報漏えい防止システム“電子透かしプリントソリューション”
 - PC上で実行可能なリアルタイム動画電子透かし埋め込みシステム
- ◆ 2007年-現在: 国立情報学研究所
現在のミッション: コンテンツセキュリティ全般



2




この研究のきっかけ： コンテンツ(データ)流通の問題

- セキュリティ対策：cyber worldとphysical worldでそれぞれ独立に適用
 - 例) コンテンツ保護：cyber world
 - 例) 財産管理, 持出し管理：physical world

- Cyber/physical間を遷移するコンテンツ (データ)
 - 例) Wordファイル→印刷→スキャン
 - 例) 構内掲示物→撮影→印刷

- Cyber/physical境界におけるセキュリティ対策の不備
 - アナログホール問題
 - 印刷文書の持出し→スキャン→配信による情報漏えい
 - モニタ画面の撮影→配信による著作権侵害

- **本研究の目的：Cyber/physical境界における効果的なセキュリティ対策の構築**

アナログホール問題


- 元々は、デジタル機器のアナログ出力端子のセキュリティ問題を指す
 - デジタル出力端子へのリプレースにより問題はほぼ解消

アナログホール問題の再燃



- ディスプレーやカメラの普及・高画質化
 - ⇒ディスプレイの撮影による情報の漏えい, 著作権の侵害
 - 映画スクリーンの撮影→海賊版DVDの販売, 映像投稿サイトへのアップロード
 - PC画面の撮影→個人情報の漏えい

- プリンターの普及・高機能化
 - ⇒印刷文書・画像の不正な持ち出しによる情報の漏えい
 - 情報漏えい事件の約半数が紙媒体経由 (日本ネットワークセキュリティ協会調査)



映画の盗撮とは

- 映画館で上映中の映画をビデオカメラ等で隠し撮りする行為
 
- 隠し撮り手口
 - 座席のカップホルダーの上に固定
 - 前座席の背もたれと背もたれの上に挟む
- 最近盗撮された主な映画
 - 崖の上のポニョ：公開後2週間で中国の動画共有サイトに流出 (2008/7)
 - エヴァンゲリオン新劇場版：公開後3週間で中国の動画共有サイトに流出 (2009/6)
 - ハリー・ポッターと謎のプリンス：ファイル共有ソフト「シェア」で海外で盗撮された映画が流出(2009/8)
- 映画業界の損失
 - 海賊版による映画業界への年間損失額：30億ドル（米国映画協会調べ）
 - 映画の盗撮による損害額：国内で約180億円（日本国際映画著作権協会調べ，2005年）

5

参考：デジタル万引き

- 書店，コンビニでの書籍・雑誌の撮影
 - 窃盗罪の適用は困難（情報は財物ではないため）
 - 著作権法に違反？
- 映画館での映画の撮影

映画の盗撮の防止に関する法律（2007年8月施行）

 - 私的使用を目的とした録画・録音もNG
 - 映画の盗撮防止のための措置（盗撮防止のための努力規定）



6

映画業界の対策

- 盗撮防止キャンペーンの実施
「NO MORE 映画泥棒！」上映
- 手荷物検査、巡回・監視の強化



- 啓蒙による効果は高いが、観客に不快感を与える
- 映画館従業員の人手不足に加え、
スタッフはアルバイトが多いため対策には限界がある

7

法律による対策

「映画の盗撮の防止に関する法律」(2007年8月施行)

- 10年以下の懲役もしくは、1000万円以下の罰金
- 私的使用を目的とした録画・録音もNG
- 映画の盗撮防止のための措置(盗撮防止のための努力規定)

『映画産業の関係事業者は、映画の盗撮を防止するための措置を講ずるよう努めなければならない』

- 盗撮防止のための努力規定は、法律による対策の限界を示している
- 法律施行後から現在まで1件の検挙もなく、
依然として盗撮は行われている



8

技術的対策

DRM (デジタル著作権管理)などの不正コピー防止技術

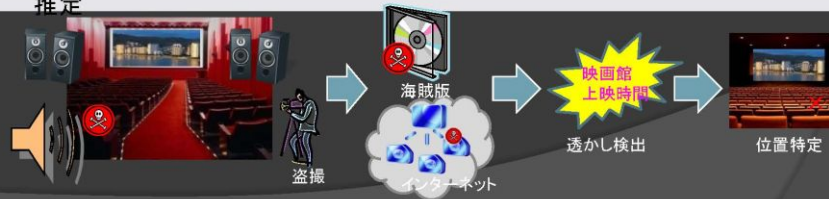
- デジタルコンテンツが対象
 - スクリーンやモニタに表示されたアナログコンテンツは対象外
- 盗撮への対策とならない



電子透かしによる盗撮抑止技術(1)

◎ 音響透かしを用いた盗撮位置の推定[Nakashima 2009]

- 館内の複数のスピーカーから出力する個々の音源に異なる情報を埋め込み
- 音声コンテンツに埋め込まれた個々の透かし情報の強度を解析し、盗撮位置を推定



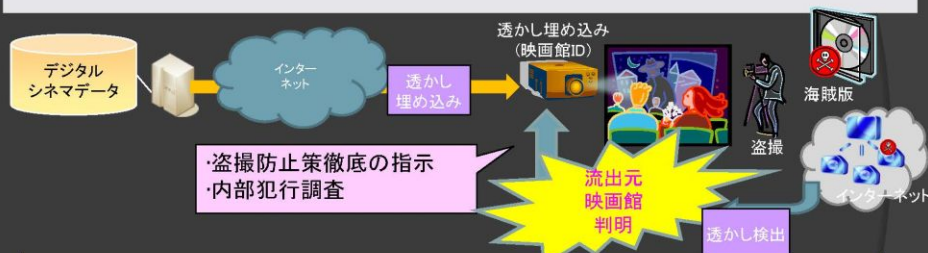
9

技術的対策

電子透かしによる盗撮抑止技術(2)

• 動画電子透かしを用いた盗撮映画館の特定 [Haitsma 2001, 中村2006]

- 映画作品に映画館IDを電子透かしにより埋め込み
- 映像コンテンツから電子透かしを検出、盗撮映画館/盗撮時間を特定



- 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、撮影機器による録画を直接的に“防止”できない
- コンテンツに対して透かし埋め込みと検出の処理が必要
- 流出場所/時間を特定できたとしても、盗撮者の特定は困難

➡ 盗撮行為を直接的に防止する方式の提案

10

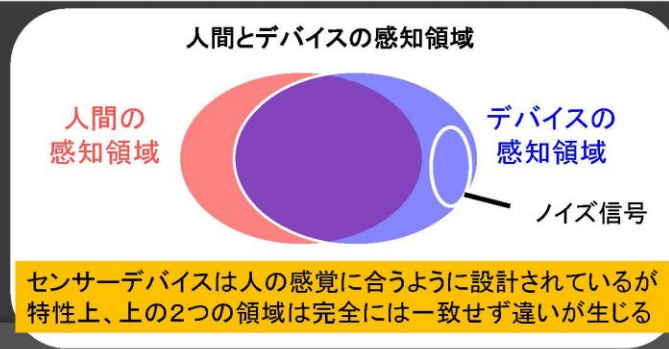
盗撮防止方式の目的と手段

◎ 目的

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防止技術の確立

◎ 手段

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

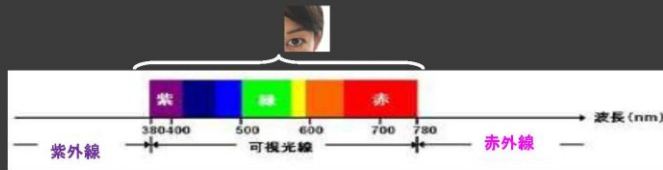


11

ノイズ信号の選定

ノイズ信号として光に着目

- 人間の目の可視域: 380nm~780nm (国際照明委員会: CIE)
- CCD, CMOSイメージセンサ: 感度維持のために可視域よりも広い範囲 約200nm~1100nmに感度を持つ



紫外線: 長時間の利用は、皮膚、目、免疫系への疾患の恐れ

赤外線: リモコン、暖房器具等幅広く利用されている

- 赤外光源: レーザ, キセノン, ハロゲン...

- 安全性(*)...ノイズ光源は目に入る
 - 放射角...映画館のどこの位置でも妨害可能
 - 発熱...光源のコンパクト・高寿命化を図る
- 近赤外LEDをノイズ光源として採用



近赤外LED

(*) 2006年7月 LEDをIECレーザー安全規格(IEC60825-1)から除外決定、一般光源と同等の扱い

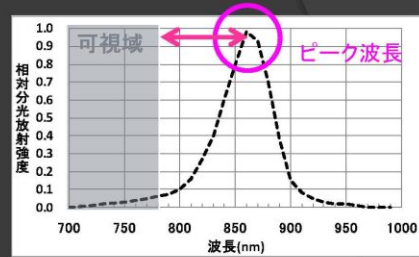
12

近赤外LEDの波長特性

ノイズ効果と視覚劣化

- イメージセンサCCD, CMOSの感度
可視域に近づくほど高くなる
- 近赤外LEDピーク波長と可視域上限の差
 - 小さい→ノイズ効果大, 視覚劣化大
 - 大きい→ノイズ効果小, 視覚劣化小

→視覚劣化小でノイズ効果大を目指す



ノイズ効果予備評価

- 近赤外LED5種(波長780, 810, 850, 870, 940nm)を用い裸眼に対する視覚劣化と2種のデジタルビデオカメラに対するノイズ効果を評価



赤外LED(波長870nm)

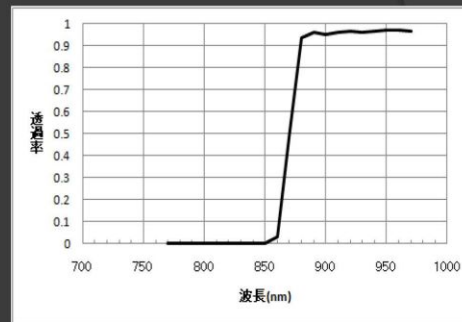
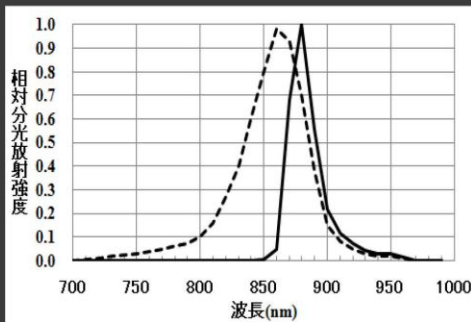
- 裸眼による視覚劣化が少なく, デジタルビデオカメラによるノイズ効果高い
→ただし, 僅かにある視覚劣化対策が必要

13

視覚劣化対策: 短波長カットフィルタの適用

近赤外LED (870nm)
正規分布状のスペクトル幅を持つ光源

短波長カットフィルタ
カットオン波長(透過率50%の波長)870nm



短波長カットフィルタがない場合と付けた場合の赤外LED(波長870nm)相対放射強度分布

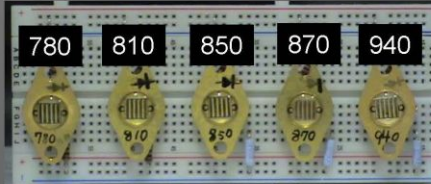
短波長カットフィルタ(カットオン波長870nm)



ピーク波長をほとんど移動せず目に知覚される可視域成分をカットし、ビデオカメラに反応する赤外成分を残す

14

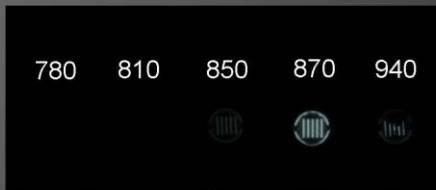
短波長カットフィルタ(カットオン波長870nm)装着したときの5種類の赤外線LED(ピーク波長780, 810, 850, 870, 940nm)の波長とノイズ効果の関係



(a) LED配置



(c) 出力3W



(b) 出力1W

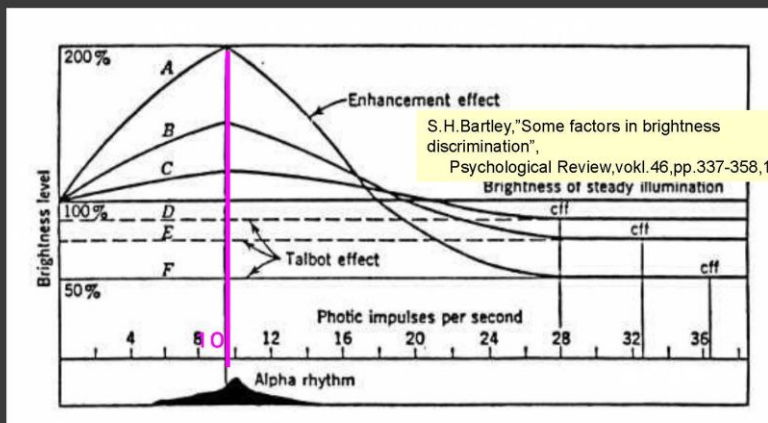


(d) 出力6W

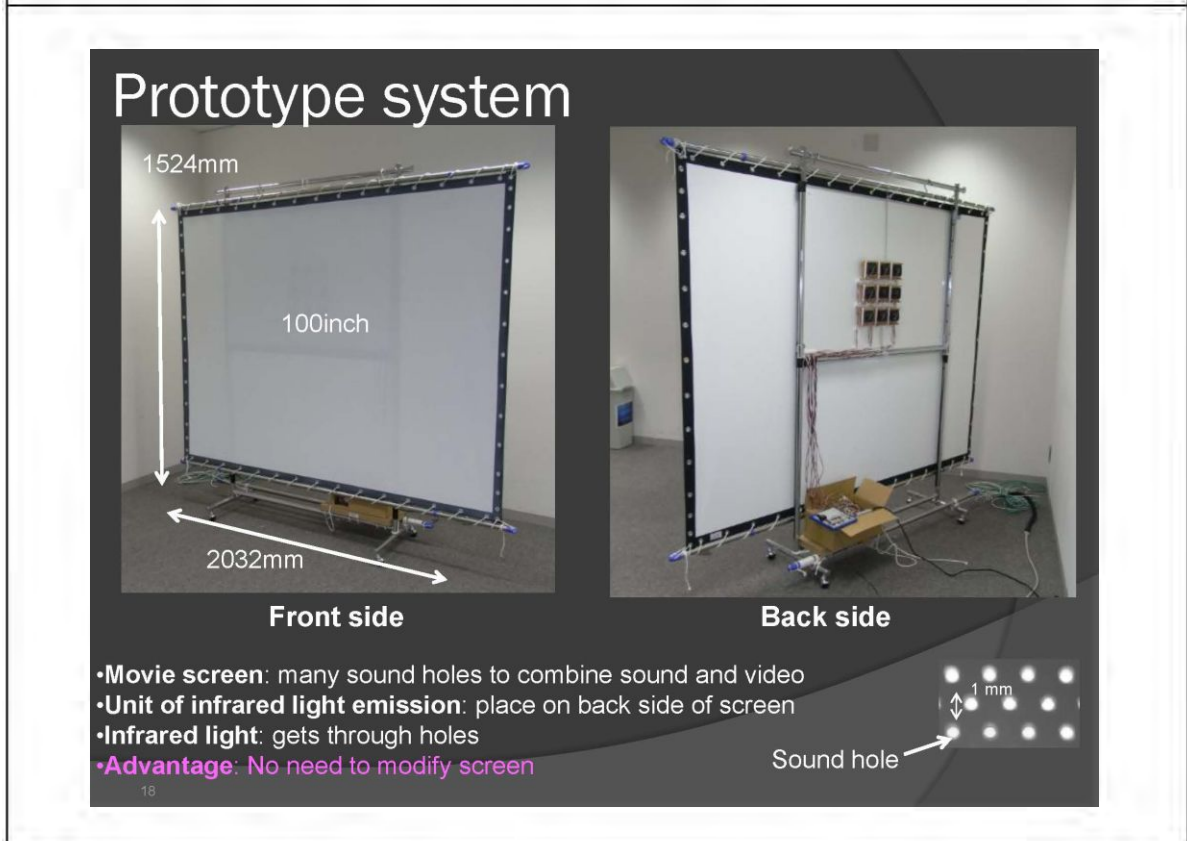
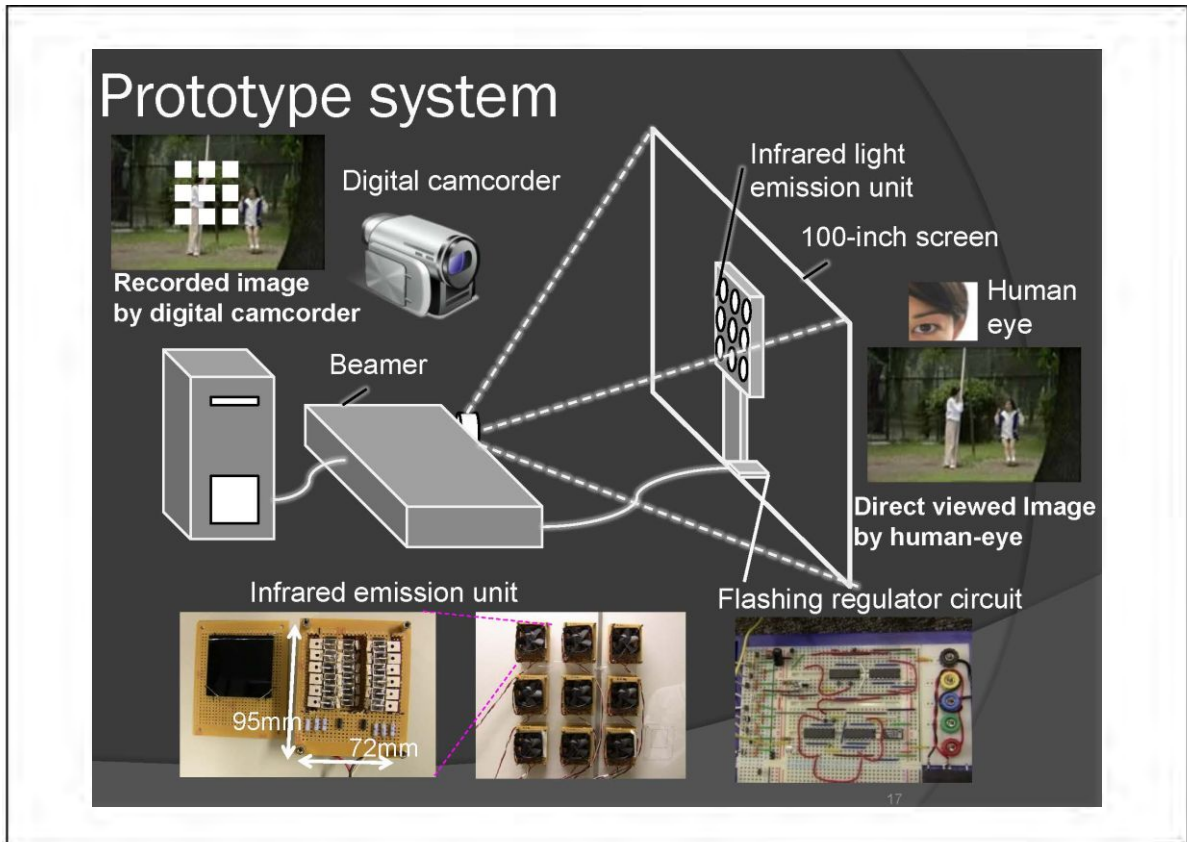
Bartley効果による妨害度合の向上

Bartley効果:

断続光(フリッカー光)の周波数が10Hz程度の場合に断続光の絶対的強さより、明るく見える人間の視覚効果



➡ 妨害度合の主観評価
光源が断続光(フリッカー光)の場合のBartley効果の検証



Demo : shot video



赤外LEDの安全性

LEDがレーザ安全規格の適用対象となる(1993/11)

光ファイバ通信のレーザ安全規格であるIEC 60825-2の制定に伴い、レーザ安全規格IEC 825(当時)が改定され、IEC 60825-1として改正



レーザ安全規格であるIEC 60825-1からLEDを適用除外する決定(2004/10)

2004年10月、スイスのバルベラで開催されたIEC/TC 76(レーザ安全)会議において決定、IEC 62471として規格化



一般光源と同等の安全基準

20

赤外LEDの安全性

- レーザー光源
 - 波長と位相が揃った非拡散光
 - 安全基準(JIS6802)は、10cmの距離から直視した場合を想定
- LED光源
 - 拡散光のため距離の二乗で減衰
 - 本装置に適用したLED(放射角28°)を1mの距離から直視しても、クラス1(目で直接見ても安全)に該当



レーザー機器のクラス分け

クラス	クラス分け概要	警告ラベル
1	出力は0.39μW以下 予知できる条件の下では安全なレーザー。	不要
1M	出力は0.39μW以下(波長:302.5nm~4000nm) 予知できる合理的な条件の下で、レンズ系を用いてレーザー光を観察しなければ安全(裸眼は安全)	必要
2	可視光で出力は1mW以下(波長:400~700nm)。 瞬きなどの目の嫌悪反応により安全。	不要
2M	可視光で出力は1mW以下(波長:400~700nm)。 レンズ系を用いて観察することがなく、瞬きなどの目の嫌悪反応ができれば安全。レーザーの放射レベルはクラス2と同じ	必要
3R	出力はクラス2(可視光の場合)またはクラス1(不可視光の場合)の出力の5倍以下	必要
3B	出力は0.5W以下 直接または鏡面反射した光を見たり触れたりすると危険	必要
4	高出力(0.5Wを超えるレベル) 直接または鏡面反射した光だけでなく散乱光も危険。これらは皮膚障害、火災を発生させる危険もある	必要

21

システム評価

下の2つのケースについて通常のスクリーンに対する提案システム(盗撮防止機能を持つスクリーン)の妨害度合を主観評価により実施

ケースA : 投影映像を評価者が直接見た場合



観客がスクリーンに投影された映像を鑑賞する場合を想定
→ノイズ光源が知覚されないことが望ましい

ケースB : 盗撮映像を評価者が見た場合



2種類のデジタルビデオカメラ(CMOS, CCD)と1種類のカメラ付き携帯(CMOS)により撮影した映像の妨害度合いを評価
→ノイズ光源による妨害効果が高いことが望ましい

Bartley効果の検証

提案システムの点滅周波数5種類:0(全点灯),5,10,15,20Hz

22

ITUによる主観評価方法

• 広く認知・活用されている映像の主観評価方法

- 国際電気通信連合 無線通信部門 (ITU-R)による評価
放送を意図した高品質な映像を対象
- 国際電気通信連合 電気通信標準化部門 (ITU-T)による評価
ビデオフォンやビデオ会議などのマルチメディア通信向けの映像を対象

• ITU-Rの主観評価

- 単一刺激連続品質評価(SSCQE)法
- 二重刺激連続品質尺度(DSCQS)法
- 二重刺激妨害尺度(DSIS)法

映像の(わずかな)品質劣化を
評価する方法
(妨害に対する品質評価はない)
映像への妨害度合いを評価する方法

•主観評価方法の手順:ITU-R BT.500で規定

•観視条件:ITU-R BT.710,1129, 評価映像:ITU-R BT.1210で規定

23

評価環境

スクリーン	100インチ映画用ホワイトサウンドスクリーン
プロジェクタ	デジタルプロジェクタ(1000ANSIルーメン)
評価映像	(社)映像情報メディア学会監修 システム評価用標準動画像6サンプル
撮影機材	CMOSデジタルビデオカメラ(1/3.2型CMOS, 有効画素:207万画素) CCDデジタルビデオカメラ(1/6型CCD, 有効画素:69万画素) CCDデジタルカメラ(1/3.2型CCD, 有効画素:1000万画素) カメラ付き携帯電話(CMOS, 有効画素:8万画素)
点滅周波数	・全点灯 ・4種類の点滅周波数(5,10,15,20Hz)
評価者	非専門家15名

評価者: ITU-R BT.500-11で規定(15名以上の非専門家)

観視条件:ITU-R BT.710及びBT.1129等を参照

24

評価映像 (ITU-R BT. 1210)



(a) プランコ[Swinging]



(b) フラミンゴ[Flamingoes]



(c) 苔と石仏[Buddhist Images]



(d) 走る自動車[Driving]



(e) 朝の摩天楼[Skyscrapers]



(f) 垂直ロール[View from Sky with credits]

映像情報メディア学会監修の評価映像の中から同勧告が規定する4種類以上の映像としてカメラのズームイン、カメラのパン、被写体のゆっくりした動きと早い動き、映画特有のスーパ(字幕)への影響を考慮して6種類の異なる映像を選択

25

二重刺激妨害尺度法評価手順 (ITU-R BT.500)


Step1. 評価者に従来システムの投影映像を提示した後、提案システムの投影映像を提示。

Step2. 評価者は、従来システムの投影映像に対する提案システムの投影映像の妨害の度合を下の表に従い、評点に置き換える。

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

Step3. 上のStep1とStep2を15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。

26




評価結果: ケースA

ケースA: 投影映像を評価者が直接見た場合

主観評価の結果, 評価した6種類の評価映像において, 評価者15人全員の評点は5(“妨害が全く認められない”)であり, 提案システムのノイズ光源は知覚されなかった。

通常の視聴において画質劣化は生じない

27

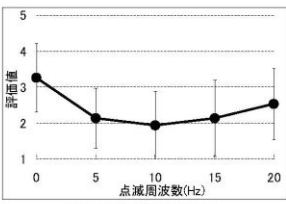


評価結果: ケースB (CMOSデジタルビデオカメラ)

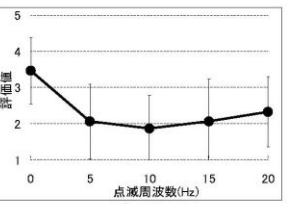
妨害効果

↓

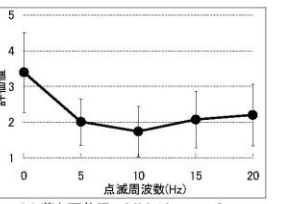
高



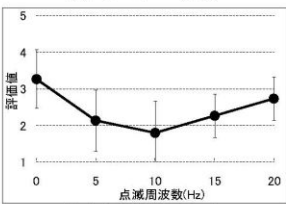
(a) ブランコ[Swinging]



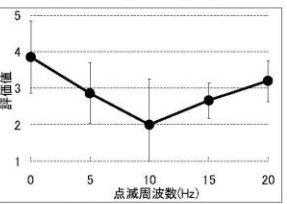
(b) フラミンゴ [Flamingoes]



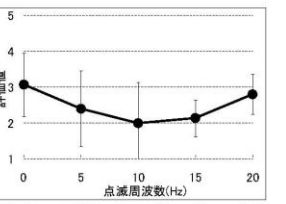
(c) 苔と石仏[Buddhist Images]




(d) 走る自動車[Driving]



(e) 朝の摩天楼[Skyscrapers]

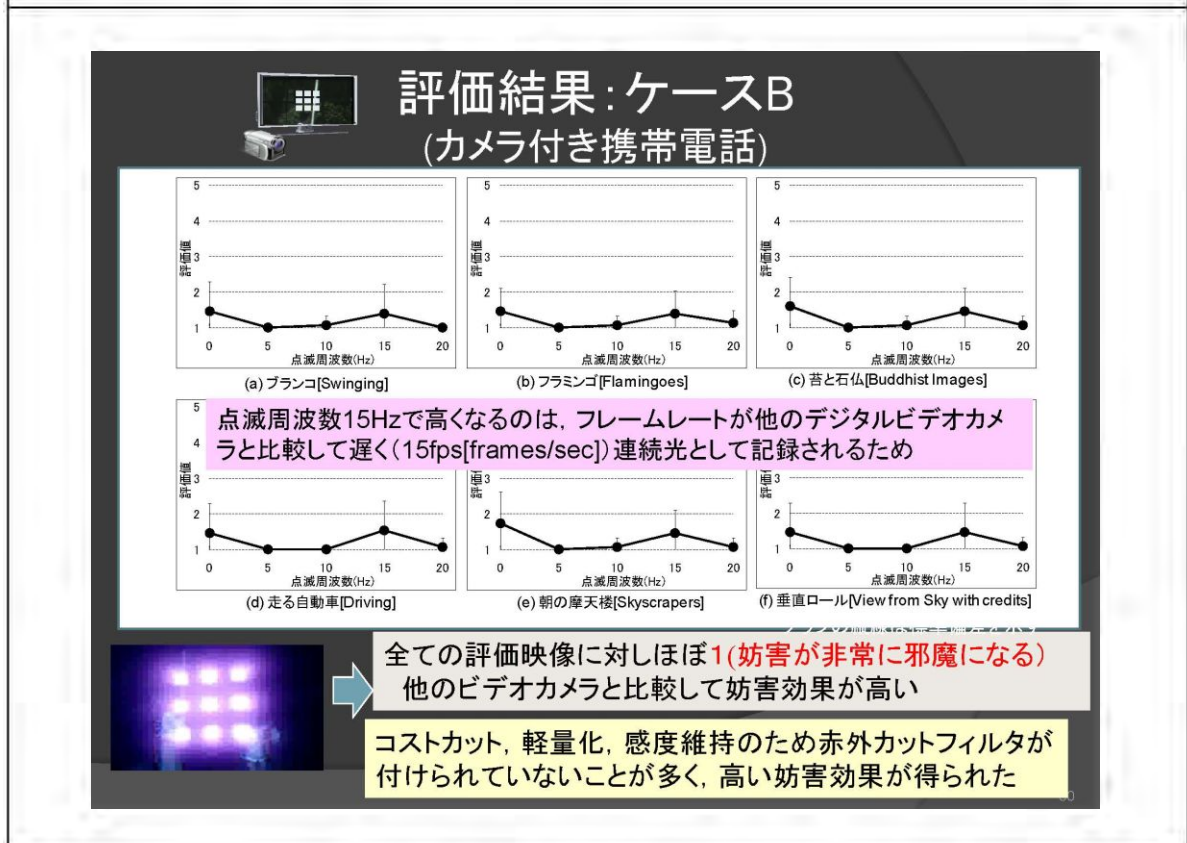
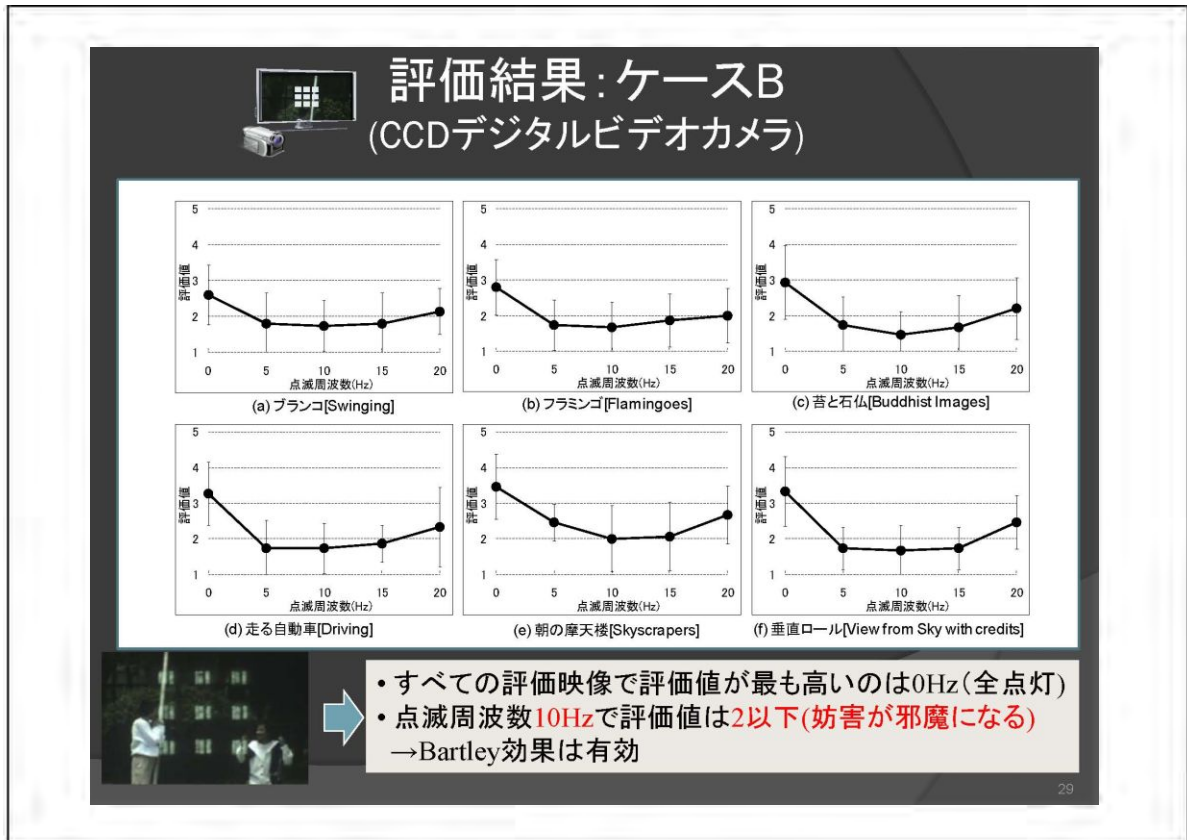


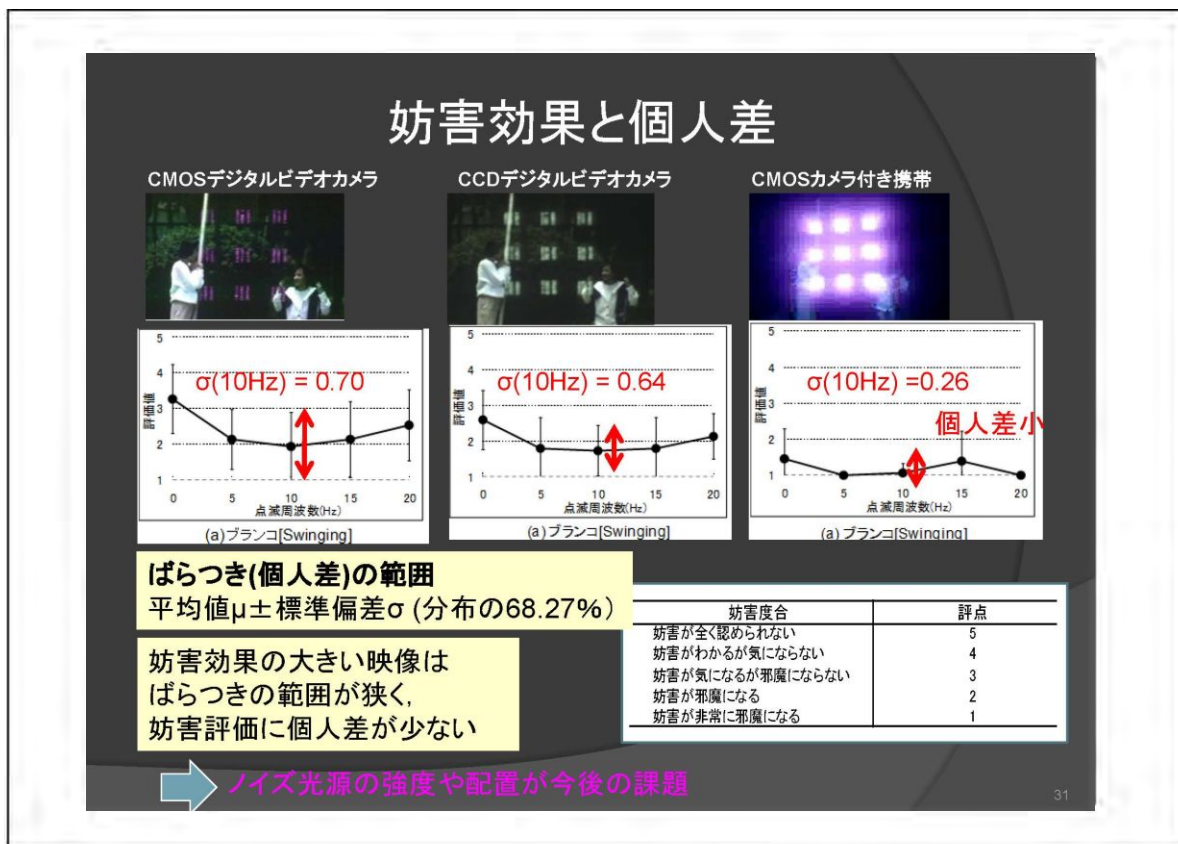
(f) 垂直ロール[View from Sky with credits]



- すべての評価映像で評価値が最も高いのは0Hz(全点灯)
- 点滅周波数10Hzで評価値は2以下(妨害が邪魔になる)
- Bartley効果は有効

28





- ## 活動の公表状況
- 報道発表
 - 国立情報学研究所ニュースリリース, 2009/9/17
 - TV放送
 - NHK :
 - 6時のニュース『“映画の盗撮防止” 技術 開発』 (09/9/17)
 - ニュース7『映画の“盗撮” 防止へ新技術開発』 (09/9/17)
 - おはよう日本『中継: 映画の盗撮を防ぐ技術が誕生』 (09/9/28)
 - スタジオパーク 暮らしの中のニュース解説『映画盗撮を完全防止?!』 (09/10/1)
 - NHK WORLD :
 - Techno-Frontiers: Fighting Film Piracy(09/11/4, 09/12/29)
 - テレビ東京
 - ワールドビジネスサテライト トレンドたまご, 『映画の盗撮防止』 (09/9/29)

今後の課題

妨害効果の向上

少ない光源で効果的(視覚的妨害大, 攻撃コスト大, 個人差の無い)な手法の研究



多様な表示装置への適用

ペーパレス化により, 機密情報・個人情報画面が表示される機会が増大
 正当な利用者による画面の盗撮も今後増大?



赤外カットフィルタ攻撃への対策

35

赤外カットフィルタ攻撃への対策

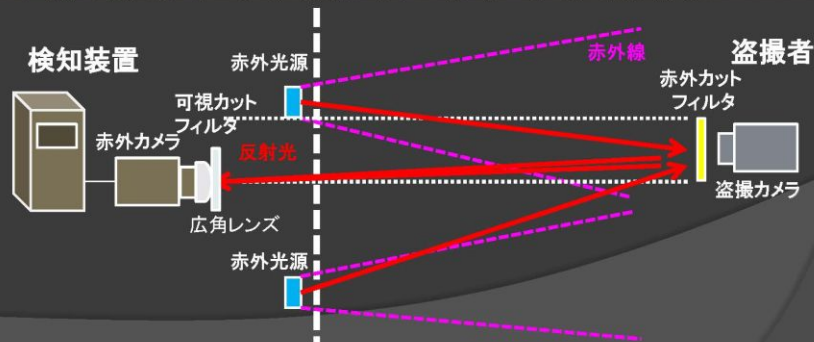
赤外カットフィルタ攻撃

- 赤外カットフィルタをカメラに付けて盗撮を行う方法
- カメラによっては赤外ノイズを除去しながら盗撮される可能性がある

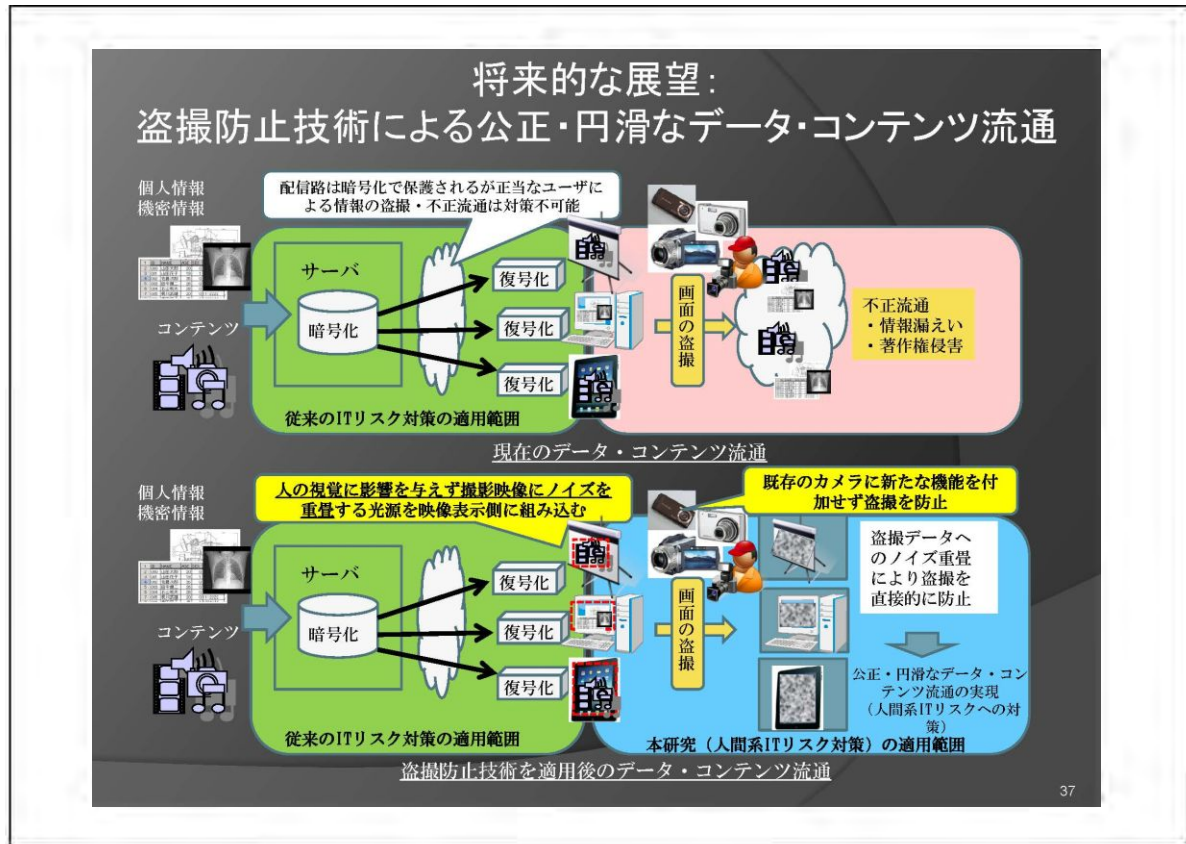


赤外鏡面反射特性を用いた赤外カットフィルタ攻撃への対策:

赤外カットフィルタの赤外鏡面反射特性を利用し, 赤外線反射光を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検知



36



活動の公表状況(つづき)

● 新聞記事（主要分のみ）

- 日本経済新聞
 - 朝刊15面 “国立情報学研究所・シャープ新技術 映画館での盗撮防
げ LED光照射 海賊版見にくく”，(09/9/18)
- 朝日新聞
 - 朝刊37面 “映画盗撮防止 期待の装置 目に見えずカメラに映る光
出す”，(09/9/18)
 - 朝刊2面 “ひと = 映画の盗撮を防ぐ装置をつくった 越前功さん”，
(09/10/20)
- 毎日新聞
 - 夕刊12面 “映画盗撮防止に光 国立情報学研究所 妨害技術を開
発”，(09/9/18)
- 日経産業新聞
 - 朝刊10面 “国立情報学研究所とシャープが技術 盗撮映画、画質低
める LED照射、映像にノイズ”，(09/9/18)

33

まとめ

映画の盗撮問題

国内外で映画事業者の損失大、盗撮対策が重要

従来対策

法律による対策，電子透かしによる技術的対策
→撮影機器による盗撮行為を直接的に防止できない

人間とデバイスの感度の違いを用いた盗撮防止方式

ノイズ光源として近赤外線を利用し盗撮映像を無効化
撮影機器に機能を加えずに画面の盗撮を直接的に防止

盗撮防止方式の映画用スクリーンへの適用

映画用スクリーン向けプロトタイプの開発
主観評価実験により，妨害効果を確認

34