

RN-001

撮像位置推定のための盗撮動画像上の特徴点検出法

A Method of Feature Point Detection in Illegally Redistributed Video for Unauthorized Camcorder Position Estimation

宗石 和久*

Kazuhisa Muneishi

岩切 宗利*

Munetoshi Iwakiri

1 まえがき

近年、アナログ形式で提供された映像コンテンツを高性能なデジタル処理装置を用いてデータ化し、ネットワーク上に流通させる不正行為が大きな社会問題になっている [1]. 特に最近では、撮像機器の小型化と高性能化が進んでおり、日本国際映画著作権協会 (JIMCA) と日本映像ソフト協会 (JVA) の調べによると、日本国内で 2003~2007 年において、20 以上の映画作品の盗撮配布が確認されている [2].

盗撮を防止する最も有効な対策は、行為そのものを物理的に不可能にすることである。その実現法として、撮像機器の持ち込み制限が有効である。しかし、実際には人的コストの問題、撮像機器の小型化と高性能化、携帯電話などの情報端末にも撮像機能が実装されている現状から困難である。

そのため、盗撮行為への対策として、これまでは大きく二つの手法が検討されてきた。まず、デジタルコンテンツに密かに情報を埋め込み、著作権保護の補助的な情報として用いる電子透かし技術、情報の開示と非開示を鍵制御する暗号技術、複製回数などを管理するコピー制御技術を含めた DRM (Digital Rights Management) 技術 [3, 4, 5, 6, 7, 8] といった、デジタル技術に基づく対策がある。また、人間の視覚と撮像機器の受光素子それぞれの光スペクトル感度特性 [9] の違いを利用して、撮像コンテンツを損壊させ、無価値にするアナログ的な盗撮防止技術 [10] がある。これらの手法を用いれば、上映場所・上映時刻の情報を盗撮コンテンツに埋め込むこと [11] や、高品質な状態のコンテンツの流出を妨ぐことができる。

さらに盗撮コンテンツから、撮像に用いた座席情報

まで特定できれば、盗撮者を個人レベルまで絞り込むことが可能になるので、盗撮行為に対する抑止力になる。しかし、これまで、盗撮コンテンツから撮像位置を特定する技術は、ほとんど検討されていない。

本研究では、撮像用機材の配置位置に応じて盗撮画像が歪むことを利用し、盗撮者の撮像位置を推定する方式について検討した。本報告では、盗撮被写体上の特徴点を利用して盗撮位置を推定するために必要な特徴点抽出法を提案し、その性能を明らかにする。

2 提案方式

盗撮行為が行われる空間を 3次元モデル [12] として考えると、スクリーン表面が被写体となる。スクリーン表面上の 2次元形状のパターン (基準画像) は、撮像位置に応じて様々な形状に歪む。例えば、図 1(b) に示すとおり、右側の視点②からスクリーン中央の画像を見た場合、右側が大きく、左側が小さくなるように歪む。このとき、3次元的な位置関係がわかっている基準画像上の特徴点の相対的な位置の変化から、撮像によって加わった歪みが求まる。例えば、基準画像の形状と比較して得た上下左右方向の歪みのバランス (分布) から撮像位置の方向がわかる。また、固定倍率のまま、被写体との離隔距離を変えて撮像した場合、遠くから撮像した場合は小さく、近くから撮像すると大きく写る。すなわち、画像上の被写体の大きさから撮像位置と被写体間の離隔距離がわかる。撮像位置の 3次元座標は、距離と方向から一意に定まる。

この方法により盗撮位置を推定するためには、盗撮コンテンツから 3次元位置が既知である特徴点を抽出する必要がある。これには、コンテンツ内の特徴点を利用するのが最も有効であるが、本研究では簡単な工夫により、この技術的課題を解決する方法について検討した。

* 防衛大学校情報工学科 〒 239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20. National Defense Academy, 1-10-20, Hashirimizu, Yokosuka, Kanagawa 239-8686, Japan. g48034@nda.ac.jp

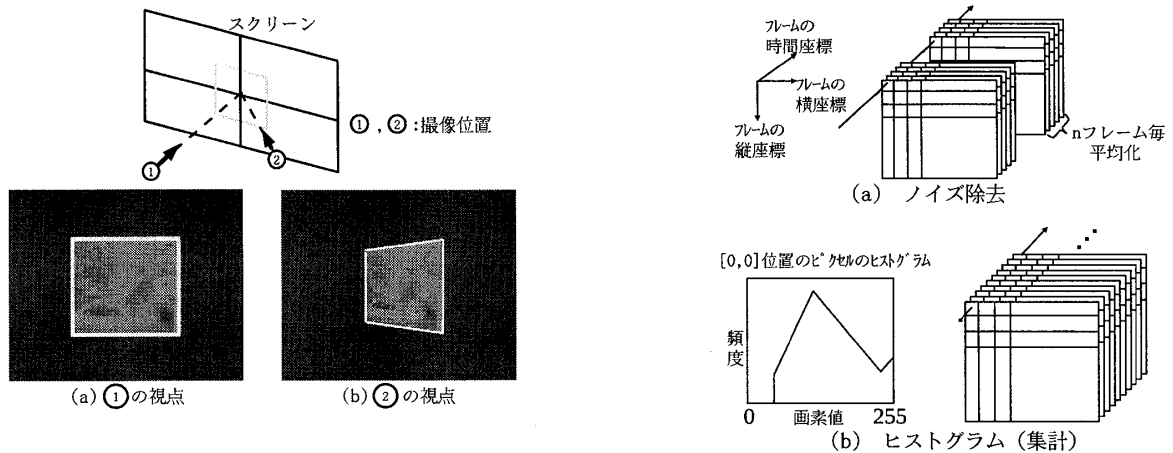


図 1: 撮像位置と歪みの関係

人間の視覚と撮像機器の受光素子それぞれには、特有の光スペクトル感度特性がある。例えば、赤外光は、人の目には見えないが、撮像機器を用いれば確認できる。カメラの位置や姿勢を検出するために、カメラから赤外光を照射し、既知空間内に配置された再帰性反射材の反射光を感知する方式 [13] は、その実現要件から映画館における盗撮位置推定には適さない。赤外線 LED(Light Emitting Diode) を点灯させて、スクリーン上の既定の位置に特徴点を現出させた場合、撮像したコンテンツ内の画素値が常に大きい点(領域)を分析するだけで、赤外線 LED(特徴点)の位置を特定できる。ここでは、画像群から、赤外線 LED の点灯位置を正確に抽出する手法を示す。

2.1 特徴点抽出

赤外光は、視覚に影響を与えないので、常時発光させることができる。赤外線を発光させた領域は、常に一定以上の大きな画素値になるので、取得した全フレームにおいて確認できる。これを利用すれば、次の手順により特徴点(赤外光源の位置)を抽出できる。

(1) 画像取込

コンテンツをスクリーンに投影し、赤外線を発光させた状態で、スクリーンを撮像し続け、コンテンツ開始から終了までに取得した各フレームを静止画像として保存する。各フレーム画像を盗撮により流出した映像コンテンツから得たものとして、以下の手順を示す。

(2) ノイズ除去

本方式では赤外光が目的信号となるので、それ以外

[0,0]最小画素値	[0,1]最小画素値	...	[0,639]最小画素値
[1,0]最小画素値	[1,1]最小画素値	...	[1,639]最小画素値
⋮	⋮	⋮	⋮
[479,0]最小画素値	[479,1]最小画素値	...	[479,639]最小画素値

(c) 特徴点決定(最小画素値検出)

図 2: 処理の概要

の光による信号成分をノイズと定義する。また、スクリーンの微小な揺れや光源の遮断、画面の散らつきなどの外乱によりノイズが発生することもある。図 2(a) に示すとおり、複数フレームの同一座標位置の信号成分(画素値)を、フレーム数 n 枚で平均し、ノイズの影響を抑える。

(3) ヒストグラム

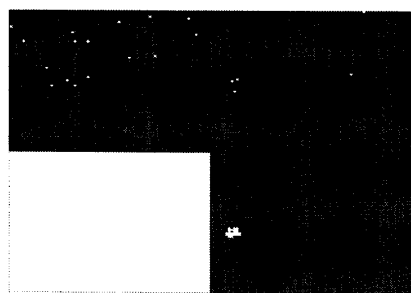
平均化画素値をグレースケールに変換し、図 2(b) のように各座標位置ごとにヒストグラムを求める。

(4) 最小画素値検出

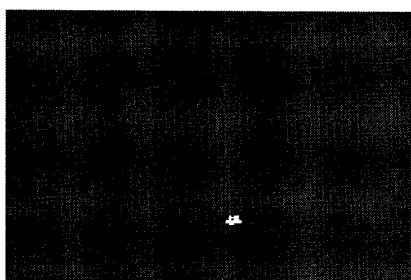
(3) で求めた各ヒストグラムから最小画素値を、各座標位置ごとに調べる(図 2(c) 参照)。

(5) 閾値

取得画像全体に関して、各座標ごとに求めた最小画素値のテーブルを、検出対象の特徴点の大きさに適切なサイズのブロックに分割し、各ブロックごとに大津の判別分析法 [15] を用いて、2 値化のための適切な閾値を決定する。併せて、大津の判別分析法で用いる分離度に着目し、それによって当該ブロックを 2 値化するか否かを定める。全てのブロックを、分離度を考慮せずにそれぞれの閾値で 2 値化処理した画像の一例を図 3(a) に示す。大津の判別分析法では、著名な画素値をもつ領域がない場合(すなわち、画像の分離度



(a) クラス間分離度を考慮しない場合



(b) クラス間分離度を考慮した場合

図 3: 2 値化処理を施した画像

が低いとき), うまく2つのクラスに分割できない. 図3(a)に示すとおり, 一部のブロックは, 著名な画素値をもつ領域がないことから, クラス間の分離度が低く, うまく2値化できていない. 赤外光が発光しているブロックは, 赤外光の光源の領域が常に大きな画素値を持つため, クラス間の分離度が高く, 赤外光の領域のみが白く浮かび上がっている. そこで, 全ブロックの中から相対的にクラス間の分離度が高いものを選び出し, 当該ブロックのみに大津の判別分析法で求めた閾値で2値化することにした. 一方, クラス間の分離度の低いブロックは, 2値化処理から除外し, 全ピクセルを最小画素値とする. 図3(b)に当処理を施した画像の一例を示す.

2.2 撮像位置推定法

2.2.1 座標系

図4は, 本提案方式の説明に用いる撮像位置推定モデルの座標系である. 基準となるワールド座標系は, スクリーン左右を X 軸 (スクリーンを表から見て右が正), スクリーン上下を Y 軸 (上が正), スクリーンから座席の方向を Z 軸とする. また, スクリーン平面の中心を原点として定義する. カメラ座標系は, カメラからスクリーンに向かって左右を X_c 軸 (カメラからスクリーンを見て右が正), 鉛直方向を Y_c 軸 (下が正), スクリーン平面方向を Z_c 軸とし, カメラの

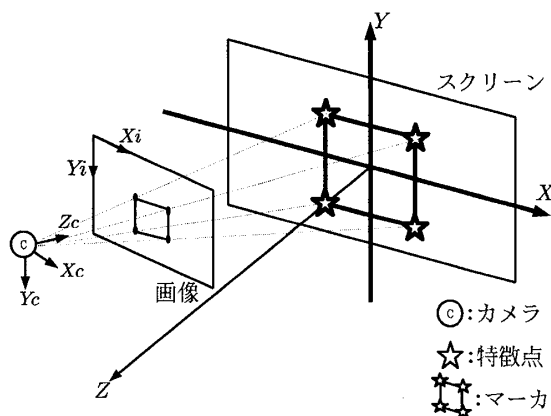


図 4: 座標系

位置を原点とする. 画像座標系は, 左右を X_i , 上下を Y_i とし, 画像左上を原点とする. 特徴点の座標は既知とし, 各配置位置は正方形の各頂点とする. このとき, カメラの回転成分 $r_{11} \sim r_{33}$ および, 平行移動成分 (t_x, t_y, t_z) を用いると,

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

の関係が成り立つ.

2.2.2 映画館内での撮像位置推定

映画館内での盗撮をモデル化し, その撮像位置推定法 [14] について考える. 映画館内の座席は, 図5のように階段上に配置され, 概ね平面を形成しているものとする. また, 盗撮する際のフォーカスポイントは, 図5のようにスクリーン中心に固定されているとする. 図5に示すように, スクリーン平面の中心を原点とした基準ワールド座標系を考え, スクリーン左右を X 軸 (裏から見て左が正), 上下を Y 軸 (上が正), 座席の方向に向かって正になるように Z 軸を定義する. 通常の撮像の場合, スクリーン全体をできるだけ大きく撮るために光学的な拡大 (ズーム) 機能が用いられることが多い. X, Y, Z 軸全てにおいて同一の傾きをもった直線上で盗撮された映像は, ズーム機能によって同一となり, 距離が不定となるが, スクリーンの裏や中空などで盗撮することは不可能もしくは困難である. つまり, 映画館内では, X, Y, Z 軸回りにおける傾き $(\Delta \theta_{x,y,z})$, すなわち式 (1) の回転成

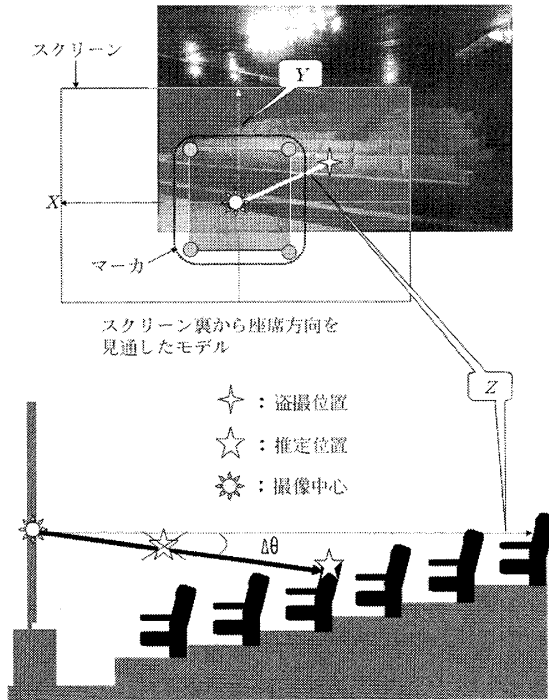


図 5: 映画館における盗撮モデル

分 $r_{11} \sim r_{33}$ がわかれば、盗撮位置（座席）は一意に定まる。

2.2.3 回転行列の算出

図4のカメラ座標系から画像座標系への射影変換を

$$\begin{bmatrix} hx_i \\ hy_i \\ h \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

とする。 h はスカラーである。また、カメラキャリブレーションの変換行列を

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & 0 \\ 0 & P_{22} & P_{23} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

とする。 $P_{11} \sim P_{23}$ はカメラの内部パラメータで、既知とする。式(2)、(3)よりカメラ画像上の座標と実座

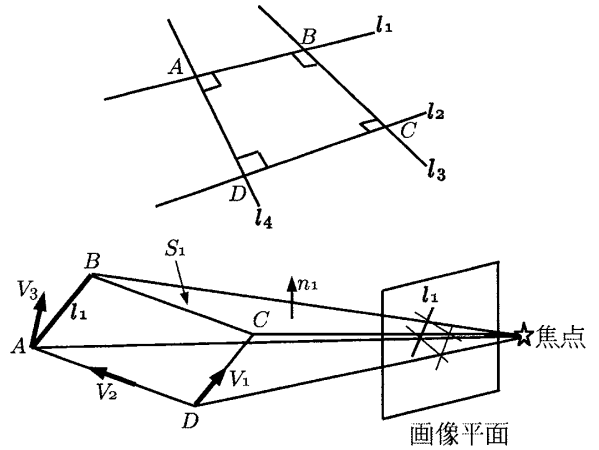


図 6: カメラ回転成分算出モデル

標の関係は、

$$\begin{bmatrix} hx_i \\ hy_i \\ h \\ 1 \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

となる。このとき、カメラ回転成分算出モデルを図6に示す。画像上の特徴点から成る既知図形（マーカ）の4辺を $l_1 \sim l_4$ と定義する。マーカは赤外光領域（特徴点）を各頂点とする正方形で、各辺の長さ（特徴点間の距離）は既知とする。ここで、実数 a, b, c を用いて、マーカの各辺 $l_m (m = 1 \sim 4)$ の関係式は

$$l_m : a_m x_i + b_m y_i + c_m = 0 \quad (5)$$

となる。式(4)、(5)より、画像平面に映ったマーカの辺とカメラの焦点を通る面は

$$S_m : a_m P_{11} X_c + (a_m P_{12} + b_m P_{22}) Y_c + (a_m P_{13} + b_m P_{23} + c_m) Z_c = 0 \quad (6)$$

になる。これより、面 S_m の法線ベクトルは

$$\mathbf{n}_m = \begin{bmatrix} a_m P_{11} \\ a_m P_{12} + b_m P_{22} \\ a_m P_{13} + b_m P_{23} + c_m \end{bmatrix} \quad (7)$$

と表すことができる。マーカにおいて平行関係にある辺同士の法線ベクトルから外積により、空間中のマー

カの辺の方向ベクトルが求まる。例えば、平行関係にある辺 l_1 および l_2 の法線ベクトル \mathbf{n}_1 および \mathbf{n}_2 により、方向ベクトル

$$\mathbf{v}_1 = \mathbf{n}_1 \times \mathbf{n}_2 \quad (8)$$

が得られる。同様に、平行関係にある辺 l_3 および l_4 の法線ベクトル \mathbf{n}_3 および \mathbf{n}_4 により、方向ベクトル \mathbf{v}_2 がわかる。こうして得た方向ベクトル \mathbf{v}_1 および \mathbf{v}_2 から、外積を用いてそれらに直交する方向ベクトル \mathbf{v}_3 を求める。それぞれの方向ベクトルを正規化したものを $\mathbf{V}_1 \sim \mathbf{V}_3$ とすると、回転行列 $r_{11} \sim r_{33}$ は

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{V}_1 & \mathbf{V}_2 & \mathbf{V}_3 \end{bmatrix} \quad (9)$$

のように定まる。

3 実験と考察

本実験では、基礎的な模型実装システムを用いて、提案方式に基づく撮像位置推定が実現できるかどうか確かめた。

3.1 実験環境

本実験システムとして、Linux (Ubuntu 9.04) をインストールしたノートパソコン (DELL 社製 Inspiron1150)、カメラ (ELECOM 社製 UCAM-DLJ200H) を用いた。撮像位置の推定の処理には、ARToolKit[16] を利用した。これを用いれば、マーカ (特徴点で形成される図形) の認識、3次元空間上での座標計算、オブジェクト描画などが容易に実現できる。また、ARToolKit の計算精度を向上させるには、使用機材に適合させるためのキャリブレーションが必要である。キャリブレーション値は、カメラパラメータファイルに書き込まれ、各計算処理の結果に反映される。本実験では、事前にキャリブレーション値を本実験用カメラにあらかじめ適合させた。赤外線 LED (特徴点) には、OptoSupply 社製 OSIR5113A (Peak Wavelength 940nm, 50% Power Angle 30 deg.), 映像の投影には BenQ 社製 MP771 を使用した。赤外線 LED の光の特徴点で形成される正方形のマーカは、スクリーンに対しマーカの大きさが 10% 以上あれば、 6° 以内の計算精度が得られる [17] ことから、一辺 600mm の正方

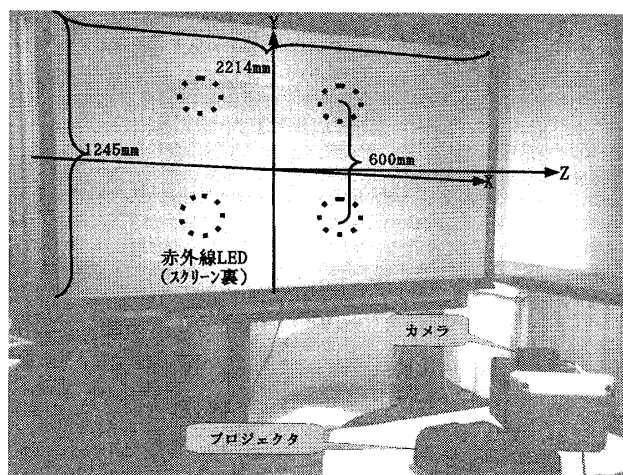


図7: 実験装置

形になるよう配置した。また、プロジェクタの明るさが 3000 ルーメンと強いため、明るさの分布が不均一であることがわかった。そこで、プロジェクタの輝度調整 (デフォルトで 50/100 のところを 30/100) に修正を施し、投影状態の輝度分布を均一にした。映像コンテンツとして、NHK の配布するハイビジョンシステム評価用標準動画画像第2判 No.101, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 114, 115, 125 を順次スクリーン上に投影した。使用したスクリーンは、EASTONE 社製の E2S (100PHD) で、サイズは 1245×2214mm である。実験の際は、赤外線 LED をスクリーンの裏面に配置し、赤外光をスクリーン前面に向けて出力させた。これにより、映像コンテンツを視覚的には全く損壊することなく特徴点を既定の位置に配置できる。また環境光を映画館内の状態にできるだけ近づけるため、実験用暗室内で撮像を行った。実験装置を配置した様子を図7に示す。

3.2 実験方法

3.2.1 撮像位置推定

スクリーン中心をフォーカスし、スクリーン全体が映るようにして、カメラをスクリーンに対して P_a (正面)、 P_b (左)、 P_c (左) の計3箇所 (奥行固定) に設置し、映像コンテンツを投影し赤外線 LED を発光させて撮像を行った。設置座標の実測位置は、表1のとおりである。右側 (X 軸正方向) については、予備実験の結果から、左側の場合と同様であることがわかったので省略した。

表 1: カメラの設置座標 (位置) [mm]

	X	Y	Z
P_a	-70	-185	2440
P_b	-520	-185	2440
P_c	-860	-185	2440

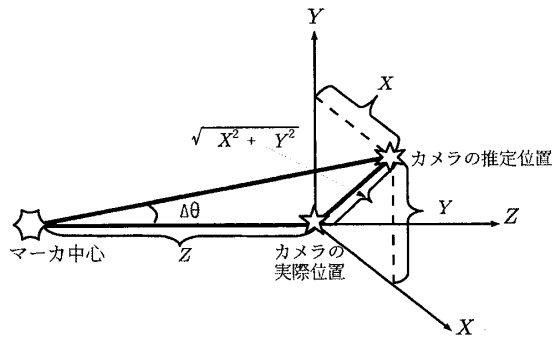


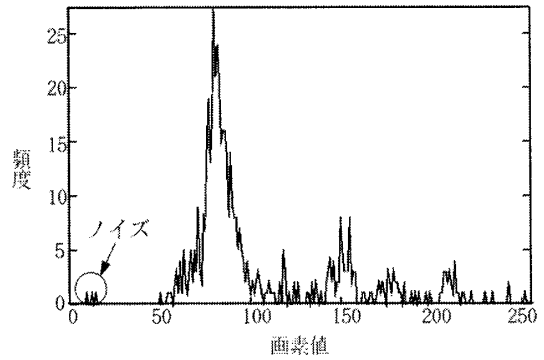
図 8: 実際値と推定値の変位による角度のずれ

また、図8に示すように、カメラの設置座標(実測値)と推定座標から、角度のずれを次式により求めた。

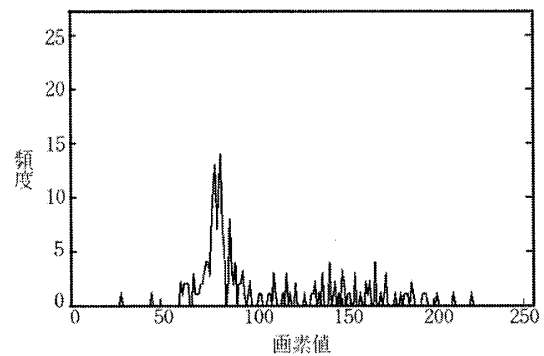
$$\Delta \theta = \arctan(\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} / \Delta Z) \quad (10)$$

3.2.2 特徴点抽出の実験条件

平均化処理(2.1節(2))において、フレーム枚数が少なすぎるとノイズが除去しきれない。フレーム枚数を1から順次増していき、必要なフレーム枚数を調べた。フレーム枚数1の場合と、フレーム枚数5で平均化した場合のヒストグラムを図9に示す。フレーム枚数1の場合、ノイズが除去できないため、画素値が0付近に残存している。フレーム枚数を5まで増すと、0付近からノイズがなくなることがわかった。また、ブロック分割(2.1節(5))の際に、ブロックサイズが小さすぎると処理時間がかかり、赤外光領域までも分割され、逆に大きすぎると、赤外光の面積がブロックに比して小さくなり、クラス間の分離度が小さくなると考えられる。そこで、ブロックサイズを20×20~160×160まで試した。その結果、図10に示すように、20×20では、サイズが小さすぎて赤外光を抽出できず、160×160では赤外光の検出領域が小



(a) フレーム枚数 1



(b) フレーム枚数 5

図 9: フレーム枚数 1, 5 のヒストグラム

さくなり、ロバストでないことがわかった。本実験条件では、ブロックサイズ80×80が最適であることがわかった。2値化における大津の判別分析法の分離度は、赤外光を含むブロックが特に高くなり、上位4つの分離度をもつブロックのみを2値化すれば十分であることがわかった。

3.2.3 評価法

提案方式の精度を検証するため、図11に示す実用の4種類¹のスクリーンタイプ(以下、スクリーンA~D)のサイズと座席数を調べた。本実験では、座席全体から盗撮座席をどの程度絞り込めたか判断するため、座席数をC、カメラ座標と計算で得られた座標との左右のずれをΔX、上下のずれをΔY、座席の縦幅を250mm、横幅を500mmとして、座席の絞込率を

$$L = 100 \times ((\Delta x / 500) \times (\Delta y / 250)) / C \quad (11)$$

により求めた。

¹ <http://www.asahi.com/culture/movie/TKY200710020129.html> (最終確認: 2010.4.21)

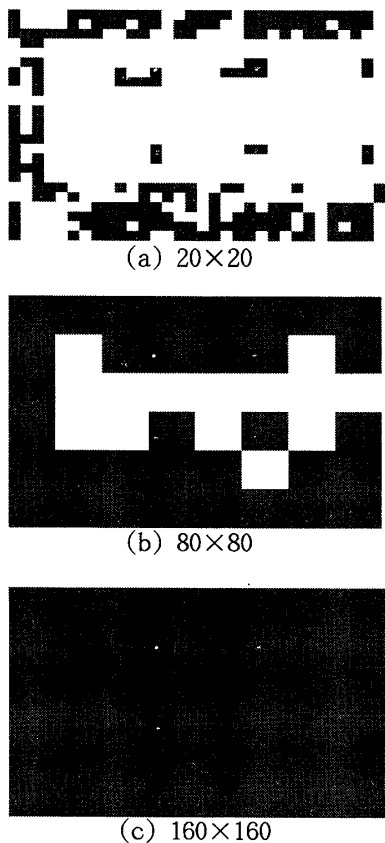


図 10: ブロックサイズ毎2値化された画像

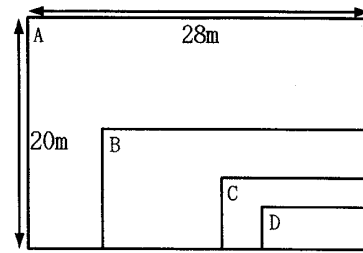
3.3 実験結果

3.3.1 カメラ位置座標の推定値

推定値と実測値の誤差について表2に示す。 P_a においては、 X 軸の誤差が特に大きい。 P_b, P_c に関しては、 P_a の場合の比べ、 X 軸の誤差は少ないが、 Y 軸の誤差が大きくなった。 特に、 P_b の ΔY の値がかなり大きくなっている。 これは、 処理中の量子化誤差の蓄積や、 撮像中のスクリーンの微小な揺らぎなどが原因と考えられる。 また、 本実験では原点から X 軸方向に大きく離れている方が良好な精度が得られる結果となった。 これは、 正面方向である P_a の方が P_b, P_c に比して赤外光領域が大きいため、 光源の推定中心座標の分散が拡がりやすいため、 特徴点位置が1点に定まりにくいことが原因と考えられる。

3.3.2 角度のずれ

式(11)の結果、 P_a, P_b, P_c に関する角度のずれは、 それぞれ、 $2.5^\circ, 4.1^\circ, 1.9^\circ$ となった。 特に P_b の場合は、 ΔY が大きいため他の2つと比してずれが大きい



スクリーンタイプ	縦サイズ	横サイズ	座席数	場所
A	20 m	28 m	446	サントリ-ミュージアム IMAXシアター
B	9.29 m	22.6 m	413	ユナイテッドシネマ 亞洲10番スクリーン
C	5.15 m	12.3 m	267	同1番スクリーン
D	3.16 m	7.55 m	70	同5番スクリーン

図 11: 想定した映画館のスクリーンサイズと座席数

表 2: 推定値及び実測値の誤差 [mm]

	X	Y	Z	ΔX	ΔY
P_a	-149	-129	2440	89	56
P_b	-491	-11	2440	29	174
P_c	-835	-109	2440	25	76

が、本実験では全ての条件で 5.0° 未満のずれに収まった。これは、撮像位置とスクリーンの距離が $5\sim 6$ m 以内なら、撮像位置を1席にまで絞り込める可能性のある値である。

3.3.3 絞込率

4種類のスクリーンタイプにおける絞込率について表3に示す。 P_a と P_b が同程度、 P_c が最も絞り込めた結果となった。 Dタイプのスクリーンでは、全ての方向に関して1つの座席まで絞り込むことができた。本実験の結果、最低でも全体の6%以内まで限定できることがわかった。

4 むすび

本報告は、盗撮動画像上に射影されたスクリーン上の特徴点の位置関係の違いを利用し、盗撮位置を推定する方式の有用性を、実験により示したものである。盗撮に使用した座席を完全に1席まで絞り込むことはできなかったが、少なくとも全席の6%以下まで絞り込めることがわかった。

今後は、アルゴリズム見直しによる算出精度の向上、実スケールの映画館での実証実験、歪み補正への

表 3: 絞込率 (スクリーンタイプ別) [%]

	A	B	C	D
P_a	5.5	2.3	1.1	1.5
P_b	5.6	2.3	1.1	1.5
P_c	2.0	0.8	0.4	0.6

対応などに取り組む予定である。また、本方式では盗撮者が盗撮コンテンツに歪み補正をかけた場合には対応できない。このような、特殊な処理に対する方策についても検討する必要がある。

参考文献

- [1] 画像電子学会: DRM 技術, Advanced Image Seminar 2003(2003).
- [2] 日本映像ソフト協会: JVA REPORT・2007.8, No.123, p.5(2007).
- [3] F.Hartung and F.Ramme: Digital Rights Management and Watermarking of Multimedia Content for M-Commerce Applications, IEEE Communications Magazine, Selected Papers from ISS2000, pp.78-84(2000).
- [4] 山下武士, 納富貞嘉, 宮崎明雄: スクリーンの撮影に対してロバストな電子透かし方式の検討, 2003年暗号と情報セキュリティシンポジウム予稿集, pp.725-730(2003).
- [5] 中村桂介, 岩切宗利, 松井甲子雄: デジタルシアターにおける実時間電子透かし方式に関する一提案, 2003年暗号と情報セキュリティシンポジウム予稿集, 11A-3, pp.807-812(2003).
- [6] D.Kirovski, M.Peinado and F.A.P.Petitcolas: Digital Rights Management for digital cinema, International Symposium on Optical Science and Technology, Security in Imaging(2001).
- [7] S.Emmanuel and M.S.Kankanhalli: A Digital Rights Management Scheme for Broadcast Video, Multimedia Systems 8, pp.444-458(2003).
- [8] E.T.Lin, A.M.Eskicioglu and R.L.Lagendijk, E.J.Delp: Advances in Digital Video Content Protection, Proc. of The IEEE, Vol.93, No.1, pp.171-183(2005).
- [9] 蝦名清志: オプト・デバイスの基礎と応用, CQ 出版社 (2005).
- [10] 岩切宗利, 戸田耕司: 分光感度特性を活かした盗撮妨害方式の提案, 2006年映像メディア処理シンポジウム, I-1.03, pp.13-14(2006).
- [11] 鈴木光義, 山田浩之, 浅井光太郎, 村上篤道, 真島恵吾, 阿部正英, 川又政征: 再撮耐性電子透かしの時空間座標特定方法, 第8回情報科学技術フォーラム, I-033, pp.307-308(2009).
- [12] 藤代一成他: コンピュータグラフィックス, CG-ARTS 協会 (2006).
- [13] 中里、神原、横矢: ウェアラブル拡張現実感のための不可視マーカと赤外線カメラを用いた位置姿勢推定, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.10, No.3, pp.295-304(2005).
- [14] 橋本直: ARToolKit 拡張現実感プログラミング入門, ASCII(2008).
- [15] 奥富正敏他: デジタル画像処理, CG-ARTS 協会 (2006).
- [16] H.Kato, M.Billinghurst: Marker Tracking and HMD Calibration for a video-based Augmented Reality Conferencing System, Proc. 2nd IEEE/ACM Int. Workshop on Augmented Reality(IWAR '99). pp.85-94(1999).
- [17] 宗石和久, 岩切宗利: 盗撮画像上の特徴点を利用した撮像位置推定, 2010年暗号と情報セキュリティシンポジウム, 3F2-3(2010).