

# 移動ロボットを用いた屋内監視巡回システム

## Indoor room patrolling system using a mobile robot

竹下 勉 大矢 晃久 油田 信一

Tsutomu TAKESHITA , Akihisa OHYA , Shin'ichi YUTA

筑波大学 システム情報工学研究科

Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

E-mail: benben@roboken.cs.tsukuba.ac.jp

### Abstract

本研究ではロボットを用いることで、美術館等の監視を自動化するシステムを考案した。監視対象は主に展示物で、その方法には画像比較を用いた。ロボットは巡回を行いながら展示物の画像を取得し、予め所持している正常時の画像と比較することで監視を行う。このようにロボットを用いることで、監視カメラのような死角も無くすることができる。現在は、絵画のような平面的な展示物に対して、異常の検知を行っている。本稿では、巡回時に、正常時の画像を得たのと同じ位置・姿勢から見た画像を取得する方法について述べる。

## 1 研究の背景と目的

美術館や博物館において屋内の警備を行うことは、不審者の侵入や展示物の盗難を早期発見、または抑止するために必要不可欠なことである。しかし、監視巡回のような単純作業の繰り返しを人間に行わせるのはコストがかかってしまう。そこで筆者らは、移動ロボットを用いて自動化することができれば効率的であると考えた。従来も巡回ロボットを用いた例は有るが、それらは赤外線センサー等を用いて、不審者の侵入を検知するための装置が中心である [1][2][3][4]。そこで本研究では、展示物の盗難や破損を対象とした、屋内監視巡回ロボットシステムを開発することにした。そのための手法としては、展示物の傷なども発見できるよう、画像を用いて比較することとした。

## 2 監視巡回システム

### 2.1 システムの概要

目標としているシステムの概要を図 1 に示す。まず準備としてロボットにカメラを取り付けておき、事前に屋内を巡回して、展示物の正常時の画像（以下、基準

画像と呼ぶ）を保持しておく。次に、巡回監視を行うときには巡回ルートに従って走行をする。そして、基準画像を撮影した時と同じ位置まで移動をし、再び画像（以下、検査画像と呼ぶ）を撮影する。この検査画像を基準画像と見比べて、もし異なっている部分があれば異常とみなし、監視センターに通知する。なお、本研究で検知目標とした異常の定義は、展示物のすり代わりや破損、盗難である。

以上のようなシステムを実現するためには、以下の要素が必要である。

1. 基準画像を撮影した位置から撮影した検査画像を取得する。
  - (a) 画像処理とオドメトリ（車輪の回転量による自己位置推定法）を用いて、なるべく正確な位置まで移動する。
  - (b) ロボットの移動ではどうしても残る微小な誤差を画像修正により取り除く。
2. 取得した画像を基準画像と比較する。

本稿では次章以降、上記 1. の実現方法について詳しく述べる。なお、巡回直後に得られる画像を巡回後画像、位置修正後に得られる画像を位置修正後画像、画像修正まで行った画像を検査画像と呼ぶことにする。

## 3 ロボットの位置修正

ロボットはまずオドメトリにより、大まかに目標位置まで移動する。その後画像を利用してさらに位置修正をする。ロボットの目標位置からのずれは、展示物の縁辺を利用して求める。

### 3.1 位置ずれの算出方法

初めに、図 2 中の、 $a_1$  ( $a_2$ ) を求める方法について述べる。 $a_1$  ( $a_2$ ) は図 2(a) に示すように、展示物の縦の縁辺に対して、カメラから下ろした垂線の長さを表したものである。まず、次節で述べる方法で画像中の

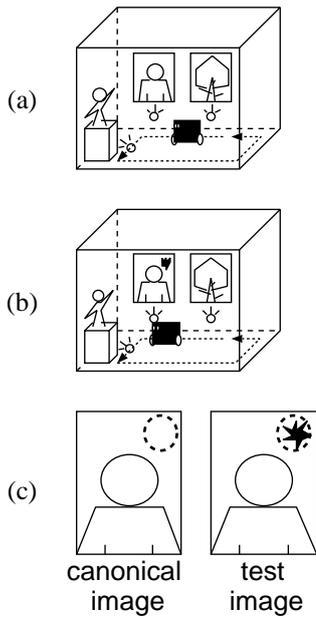


図1 屋内監視巡回システムの動作の流れ ( (a) 基準画像の取得、(b) 巡回時における検査画像の取得、(c) 画像比較 )

展示物の四隅の座標 (四隅座標と呼ぶ) を求め、左右の縦縁辺の長さ (ピクセル数) を導出し、それぞれ  $h_1$ 、 $h_2$  とする。 $a_1$  ( $a_2$ ) は、カメラの焦点距離  $F$  を使って図 2(a) の関係から以下のように求める。但し、 $d$  は展示物の縦縁辺の実際の長さであり、これは予め測定しておくものとする。

$$a_1 = \frac{Fd}{h_1}, \quad a_2 = \frac{Fd}{h_2} \quad (1)$$

次に、位置  $(x, y, ang)$  を求める方法について述べる。まず、先述の  $a_1$ 、 $a_2$  を使って  $b_1$ 、 $b_2$  を求める。式 (2) 中の  $p_1$ 、 $p_2$  は画像中の展示物の縦縁辺から画像の中心までの距離である。

$$b_1 = \frac{a_1 p_1}{F}, \quad b_2 = \frac{a_2 p_2}{F} \quad (2)$$

まず、展示物に対して座標系を図 2(a) のように定める。同図は、ロボットが  $(x, y, ang)$  の位置姿勢をとっている時の状態を表している。カメラはロボットの中心に、進行方向に対して左  $90^\circ$  の方向に向けて取り付けられている。これらを使って  $ang$  が求まる。

$$ang = \tan^{-1}\left(\frac{a_1 - a_2}{b_1 + b_2}\right) \quad (3)$$

$ang1$ 、 $ang2$  は、それぞれ次式のように表されるので、

$$ang1 = \tan^{-1}\left(\frac{b_1}{a_1}\right), \quad ang2 = \frac{\pi}{2} - (ang + ang1) \quad (4)$$

最終的に  $x$ 、 $y$  は次式のように求めることができる。

$$x = \sqrt{a_1^2 + b_1^2} \cos(ang2), \quad y = -\sqrt{a_1^2 + b_1^2} \sin(ang2) \quad (5)$$

以上のような方法で、巡回画像撮影時のロボット位置を求める。一方、基準画像の撮影時も同様の方法でロボットの位置を求めておく。そして、巡回画像撮影位置から基準画像撮影位置へロボットを移動させる。この操作を、基準画像撮影位置に数ミリ単位の誤差で到達できるまで繰り返し行う。

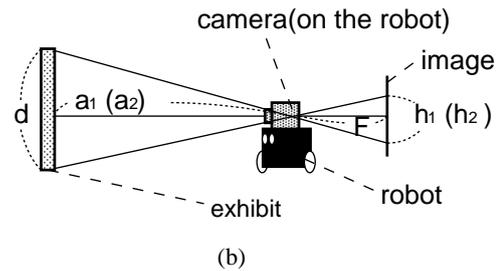
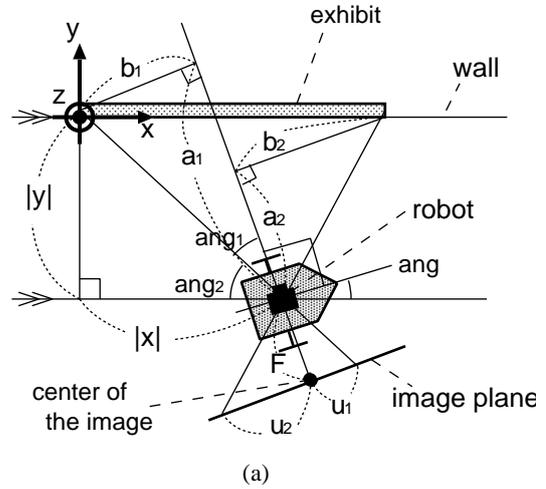


図2 展示物とロボット、カメラの位置関係計算法 ( (a) 上面図、(b) 側面図 )

### 3.2 四隅座標の導出

前節でも述べたように、ロボットの位置を求めるためには、画像中の四隅座標を導出する必要がある。テンプレートとして基準画像中の展示物の四隅 (図 3) を予め登録しておき、巡回時の画像に対してテンプレートマッチング処理を行った。そして、相関値が最も高い座標を出力することで四隅座標を導出した。

## 4 画像の修正

ロボットは、基準画像を取得したのと完全に一致する位置、姿勢に移動する事はできない。わずかに残ってしまう数ミリ、数度の位置誤差による影響を、画像を変形する処理によって除去する。以下にその手順を示す。

1. 基準画像内における画素  $(u, v)$  の世界座標  $(x, y, z)$  を求める。

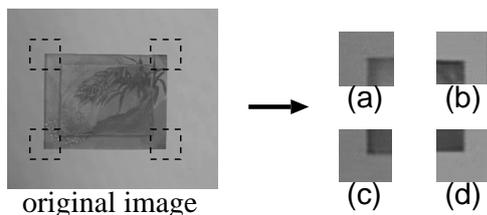


図3 元画像(左)と登録したテンプレート((a)左上、(b)右上、(c)左下、(d)右下)

2. その世界座標に対応する、位置修正後画像内における画素  $(u', v')$  を求める。
3. その  $(u', v')$  の画素値を線形補完して、 $(u, v)$  に相当する画素値を求める。
4. 1. ~ 3. を画像中の全画素について行う。

なお、画像中の画素  $(u, v)$  と世界座標  $(x, y, z)$  の関係は図2に示すとおりであり、前述した方法でロボット的位置、姿勢を求めておけば、 $(u, v)$  と  $(x, y, z)$  は相互に変換可能である。

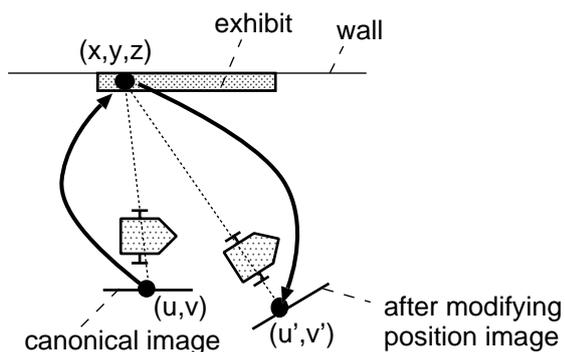


図4 画像修正時におけるロボットと展示物の位置関係

## 5 実験

### 5.1 ロボットシステム

実験に用いたロボットシステムの構成を図5に示す。システムは、移動台車を基本として、カメラと画像処理装置、ノートPCから構成されている。

### 5.2 実験方法

実験は図6に示した方法で行った。まず、図6(a)のようにロボットと展示物を配置し、基準画像を撮影してロボット位置を計算する。次に、同図(b)のように人間が手を使ってロボットを適当な位置に移動する。さらに同図(c)のように、再び画像を撮影してロボットの現在位置を求める。そして、(d)のようにロボットの位

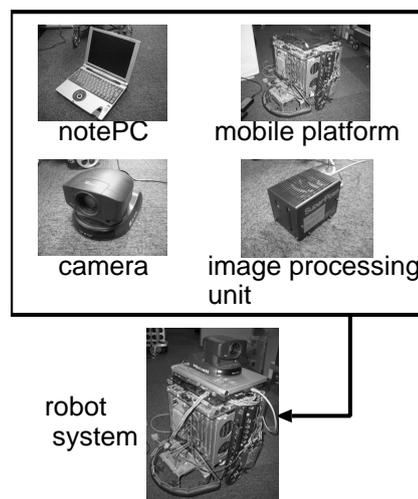


図5 実験用ロボットシステムの構成

置修正をして、基準画像を撮影した位置まで移動を試みる。これを修正が高精度で行われるまで繰り返す。最後に(e)のように、位置の修正だけでは残ってしまう微小な誤差を、画像を変形することで取り除き、検査画像を取得するという流れで実験を行った。

### 5.3 位置修正結果

図7はロボットが位置修正中の各ステップにおいて撮影した画像を、表1はそれらの画像を撮影した時のロボットの座標を示したものである。これより、ロボットが数ミリ、数度の誤差で基準画像を撮影した位置まで近づけていることが分かる。

表1 画像から求めたロボットの位置座標

	位置座標 (x[mm]、y[mm]、ang[deg])
(a) 基準画像撮影時	(148, -654, 0)
(b) 移動後	(-6, -757, -9)
(c) 位置修正(1回)後	(107, -660, -1)
(d) 位置修正(2回)後	(149, -653, 1)

### 5.4 画像修正結果

画像の修正結果を評価するために、図8の(a)は基準画像と位置修正後画像について、(b)は基準画像と検査画像について、RGBそれぞれの差分の絶対値の和を求め、画像として出力したものである。ロボットの位置修正だけでは誤差が大きく残っているが、画像の修正まで行うことで、基準画像との誤差が少ない検査画像を取得することができている。

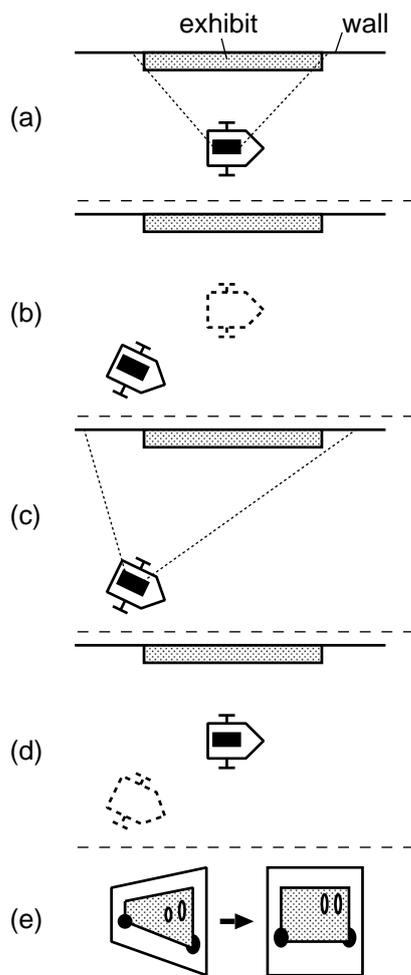


図 6 実験の手順 (a) : 基準画像撮影時、(b) : 手を使って移動後、(c) : 移動後画像撮影時、(d) 位置の修正、(e) 画像の修正)

## 6 まとめと今後の課題

本研究では、展示物の盗難や破損を対象とした、屋内監視巡回ロボットシステムを開発することを目的としている。本稿では、巡回時に、正常時の画像を得たのと同じ位置・姿勢から見た画像を取得する方法について述べた。画像の比較により異常を検出するためには、正常時には基準画像と全く等しい画像が得られなくてはならないが、本稿で述べたように、ロボットの位置修正、画像の修正を行うことにより、基準画像との誤差が少ない検査画像を取得することが出来るようになった。今後は画像の比較により異常を検出する方法を検討すると共に、彫刻などの立体的な物体の異常検知もできるようにしていきたいと考えている。

## 謝辞

絵画の使用を快諾していただいた白鳥美智子氏に感謝します。

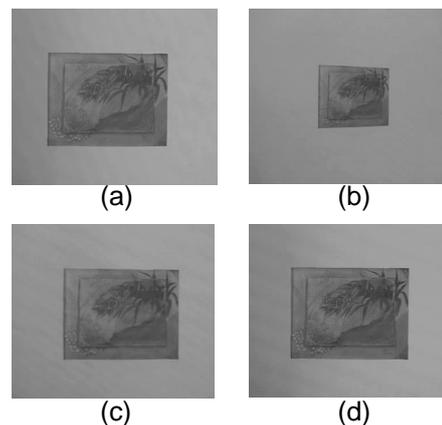


図 7 位置修正中の画像 (a) : 基準画像、(b) : 位置修正前、(c) 位置修正 ( 1 回 ) 後、(d) 位置修正 ( 2 回 ) 後)

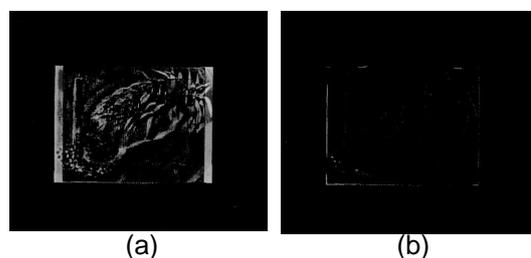


図 8 画像修正結果を示す差分画像 (a) : 基準画像と位置修正後画像の差分、(b) : 基準画像と検査画像の差分)

## 参考文献

- [1] 株式会社テムザック:  
<http://www.tmsuk.co.jp/>
- [2] ALSOK ニュースリリース:  
[http://www.alsok.co.jp/news/press2003/security\\_robo.html](http://www.alsok.co.jp/news/press2003/security_robo.html)
- [3] RoboGuard, a Teleoperated Mobile Security Robot:  
[www.faculty.iu-bremen.de/birk/publications/CEP2002\\_guard.pdf](http://www.faculty.iu-bremen.de/birk/publications/CEP2002_guard.pdf)
- [4] An automated security response robot:  
[www.nosc.mil/robots/pubs/spie3525a.pdf](http://www.nosc.mil/robots/pubs/spie3525a.pdf)
- [5] Camera Calibration Toolbox for Matlab:  
[http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib\\_doc/](http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/)