

## 装着型全方位監視に向けて - 小型センサの試作と動物体検出法の提案 -

東 はるか 向川 康博 八木 康史

大阪大学 産業科学研究所

〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1

Email: {azuma, mukaigaw, yagi}@am.sanken.osaka-u.ac.jp

**概要** 本論文では装着型全方位監視の実現に向けて、小型センサとそれを用いた動物体検出法を提案する。装着型全方位監視とは、人を中心として効率的に監視を行う方法である。提案する動物体検出法では、動物体の特徴点の動きに規則性があることに注目して揺れ補正と動物体検出を同時に行う。あらかじめ移動方向についての参照マップを作成しておくことで、対応点探索を行うことなく高速に動物体を検出する。特徴点の動きの規則性を解析し、シミュレーション実験により動物体を検出できることを確認した。また、複数の放物面鏡と双曲面鏡を組み合わせた複眼全方位センサを新たに試作した。このセンサは光学系を工夫することにより、従来のセンサよりも小型・軽量を実現している。

## Toward Omni-directional Surveillance: A Wearable Sensor and a Method for Moving Object Detection

Haruka AZUMA Yasuhiro MUKAIGAWA Yasushi YAGI

Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University

8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047, JAPAN

Email: {azuma, mukaigaw, yagi}@am.sanken.osaka-u.ac.jp

**Abstract** In this paper, we propose a surveillance system using a wearable omni-directional sensor. Detecting moving objects is one of the main functions of the system. In this method, feature points which have a similar motion are classified into one group. This method leads to a simple calculation because only feature points are used to estimate the difference between two frames. In addition, a look-up table of translation is made in advance to improve the calculation speed. The effectiveness of this method is confirmed in the experiments using simulated images. We also present a small sensor, which is composed of a hyperbolic mirror and multiple paraboloidal mirrors. The mirrors enable us to calculate an approximate distance to an object in all directions. The sensor is easy to wear since it's smaller than previous ones.

### 1 はじめに

現在、我々の安全な生活を守るために様々な場所に監視カメラが設置されている。しかし人が通る全ての場所にカメラを設置することは難しく、死角が多く存在する。そこで、装着型全方位監視の実現を考える。装着型全方位監視では、装着型のセンサを用いてユーザの全周囲について危険をリアルタイムに監視する。人を中心に監視を行うため、従来の固定監視カメラよりも効率的である。

装着型全方位監視システムに適したセンサとして、複数の全方位ミラーとカメラを組み合わせた複眼全方位センサが提案されている [1][2]。複眼全方位センサとは、単一のカメラで全方位の画像が得られ、また複数の視点を持つため狭基線長ステレオ視の機能を有す

る視覚センサである。

複眼全方位センサを用いた装置型監視システムとして、近接物体を音声で通知する装着型防犯アラーム [3] が提案されている。このシステムは、サーバ等を必要とせず、単体での作動を実現したものの、装置の小型化が十分ではなかった。また、警告を発する対象を距離のみで判定しており、動きの検出をしていなかった。一般に危険物体は動いている場合が多いので、物体の動きを検出できれば実用性の高い機能が実現できると考えられる。

センサは人に装着するため、物体の動きを検出するためにはセンサの揺れを補正しなければならない。複眼全方位センサを用いた揺れ補正のために、Thanh[4]らは画像の特徴点を遠近に分離して利用することでセ

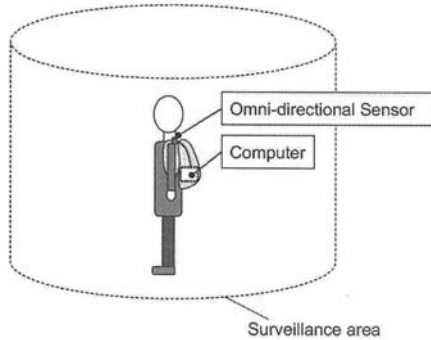


図 1: 装着型全方位監視のシステム構成

ンサの回転・並進の動きを別々に推測する揺れ補正の手法を提案した。しかしこの手法ではシーンは静止していると仮定しており、動物物が存在する場合の影響については考慮されていない。

そこで、本研究では同じ動物物の特徴点はシーン中で規則性のある動きをすることを利用し、動物物の特徴点を揺れ補正の処理に用いる。本手法では、動物物の特徴点の動きを考慮してフレーム間の特徴点のずれを投票形式で集計し、揺れ補正と同時に動物物を検出する。さらに、双曲面鏡と複数の放物面鏡の構成を工夫することで、従来よりも小型で軽量の複眼全方位センサを提案する。

## 2 装着型全方位監視システム

### 2.1 システム構成

装着型全方位監視を実現するシステムは、図1のような構成が考えられる。ユーザは肩などにセンサを装着し、センサから得られたデータはユーザのかばん等に収納した小型コンピュータで処理される。処理の結果、ユーザの周囲に危険物が発見されれば、わかりやすい形でユーザに通知する。

システムに必要な機能性として、以下のものが考えられる。

- センサが装着しやすいように小型で軽量であること
- ユーザの全周囲を死角なく監視できること
- ネットワークインフラのない環境でも単体で動作すること
- 危険をリアルタイムに通知できること

本論文ではこれらの要件を満たすシステムの実現に向け、動物物検出と小型センサの提案を行う。

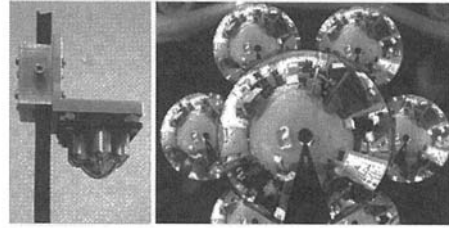
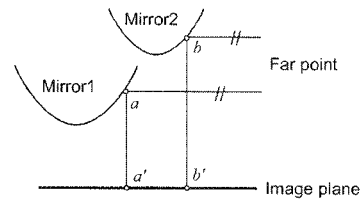
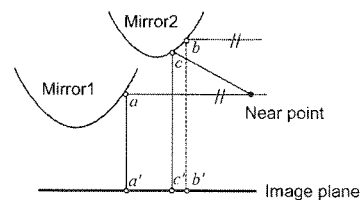


図 2: 7 個の放物面鏡で構成されている複眼全方位センサと撮影された画像の例 [1]



(a) 無限遠にある点からの光線



(b) 近接する点からの光線

図 3: 光線の軌跡

### 2.2 複眼全方位センサ

装着型全方位監視での利用が提案されている複眼全方位センサは、複数の曲面ミラーと単一のカメラで構成されている。それぞれのミラーを視点とした狭基線長ステレオ視の機能を有するので、全方位について物体までの大まかな距離推定が可能である。例として、合計7個の放物面鏡で構成される複眼全方位センサ [1] のミラー部と得られる画像の例を図2に示す。

複眼全方位センサを用いて距離推定を行う原理は、無限遠からの光は平行であるという性質に基づく。ある点が無限遠にある場合、図3(a)のように、鏡上の点  $a, b$  で反射した光線は、それぞれ画像平面上の点  $a', b'$  に投影される。一方、近接した点からの光線については、図3(b)のように、鏡面上の点  $c$  で反射して  $c'$  に投影される。すなわち、それぞれのミラーで対応する場所の輝度値を比較することで、遠近を判定できる。

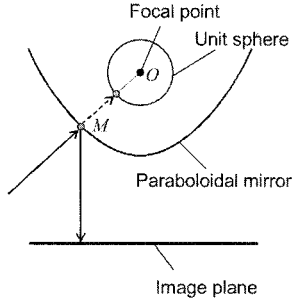


図 4: 単位球面上へのマッピング

### 3 動物体検出法

#### 3.1 動物体検出の流れ

本章では、センサの揺れを補正し、同時に動物体を検出する方法について説明する。装着型全方位監視システムではリアルタイムでの適切な危険の通知が求められるため、処理が高速なアルゴリズムが必要となる。動物体検出の手法として、これまでに背景差分や対応点探索による方法が提案されている。しかし背景差分法は、固定カメラを対象としているので、本システムのようにユーザがセンサを装着する場合は利用できない。また対応点探索では、物体の動きを厳密に求めることができるが計算コストが高く、単純に動物体の検出を目的とする本システムには適していない。そこで本論文では、センサの揺れが含まれる画像における特徴点のみを用いた高速な動物体検出法を提案する。

センサの動きは回転と並進に分けることができる。画像にはこれらの2種類の動きの影響が含まれるが、遠方の物体については並進の動きの影響がほとんど現れないことがわかっている。よって物体までの距離推定が可能な複眼全方位センサにおいては、回転は遠方の物体を用いて、並進は近傍の物体を用いて2種類の動きを別々に推定する方法をとることができる[4]。この方法では、回転と並進を同時に推定するよりも問題が単純となる。以降では、遠方の特徴点を利用してセンサ回転を推定し、同時に遠方の動物体を検出する手法について述べる。

#### (1) 特徴点の遠近分離とマッピング

本手法では、時刻  $t-1$  と  $t$  の連続する2フレームの画像を利用する。まず、それぞれの画像から特徴点を抽出し、センサの視点を中心とした単位球面上にマッピングする。放物面鏡で構成された全方位センサを利用する場合は、センサから得られる画像と単位球面の対応は図4のようになる。このとき画像平面から放物面鏡への垂線と放物面鏡との交点を  $M$ 、放物面鏡の焦点を  $O$  とすると、 $O$  を中心とした単位球面と直線  $OM$  の交点が求める点となる。センサが単一視点で、なおかつ内部パラメータが既知であれば、マッ

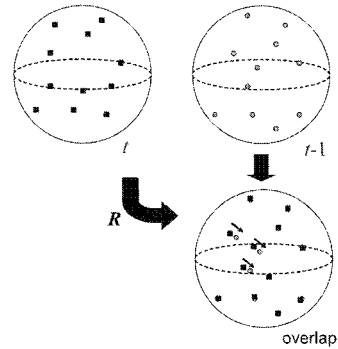


図 5: 移動に規則性のある動物体の特徴点

ングは一意に定まる。単位球面へのマッピングを行うことで、センサの種類に関係なく特徴点を扱うことができる。

#### (2) 回転行列の算出

次に、2つのフレームよりそれぞれ特徴点を2点ずつランダムに選出し、これらの対応関係からセンサの回転を算出する。球面上の回転は  $3 \times 3$  の行列  $R$  で表すことができる。選出した2つの点を  $P$  と  $Q$  とすると、以下の式が成り立つ。

$$\begin{aligned} P[t] &= R P[t-1], \\ Q[t] &= R Q[t-1], \\ n[t] &= R n[t-1] \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $P$ 、 $Q$  は単位球面の中心  $O$  を起点とした3次元ベクトル、 $n$  は外積  $n = P \times Q$  である。これらの式から、回転行列  $R$  は以下の式で求められる。

$$R = [P[t] \ Q[t] \ n[t]][P[t-1] \ Q[t-1] \ n[t-1]]^{-1} \quad (2)$$

選択した特徴点がいずれも静止物体上のもので、かつ対応関係が正しい場合、 $R$  はセンサの回転を正しく表現する回転行列となる。

#### (3) 回転行列の評価

ランダムに選択した特徴点によって求めた  $R$  でフレーム  $t$  の全特徴点を回転させ、フレーム  $t-1$  の特徴点とのずれを調べることで算出した回転行列を評価する。まず算出した回転行列  $R$  が正しい場合の特徴点の挙動について考える。静止物体の特徴点はシーン中で静止しており、フレーム間で位置は変化しない。一方、動物体の特徴点はセンサが静止していても、フレーム間で位置にずれが生じている。ここで、単一動物体の特徴点にはずれの方向や距離に規則性があると考えられる。例えば図5のように物体が右下に移動し

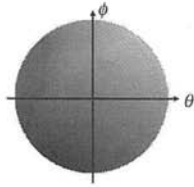


図 6: 参照マップの特徴点周辺の色

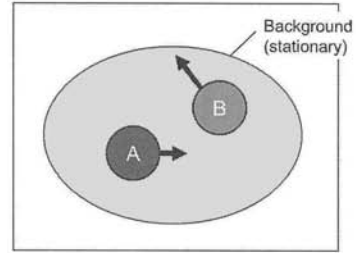


図 7: シーンの例

ている場合、この物体の特徴点は全てフレーム間で右下方向にほぼ同一の距離だけずれる。よって、センサの揺れを補正した場合、フレーム間でずれが生じていない特徴点を静止物体、複数の特徴点に規則性のあるずれが見られれば、それらを単一の動物体のものであると分類できる。物体の動きの状態には静止しているか動いているかの2種類しか存在しない。したがって回転行列が正しければ、フレーム  $t$  の特徴点は静止物体か動物体のいずれかに分類できる。

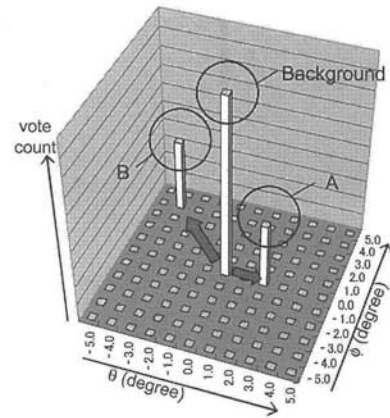
### 3.2 参照マップの作成

$R$ によって回転させたフレーム  $t$  の特徴点とフレーム  $t-1$  の特徴点とのずれより分類を行い、分類可能な特徴点の個数で  $R$  の評価を行う。特徴点のフレーム間でのずれを計算するためには、 $t-1$  と  $t$  の特徴点全ての組み合わせについて距離を求める必要があり、計算量が多く実時間で処理が難しい。しかし実際に必要となるのはフレーム  $t-1$  の特徴点の近傍にあるフレーム  $t$  の特徴点の情報のみである。そこで、フレーム  $t-1$  の特徴点の位置についての参照マップをあらかじめ作成しておき、計算速度の向上を図る。参照マップはカラー画像で作成し、横方向と縦方向をそれぞれ  $\theta$  と  $\phi$  に対応させる。参照マップには、フレーム  $t-1$  の各特徴点を中心とした領域に図6のような色をつける。画像のRGBのうち赤 (R) で  $\theta$  方向、緑 (G) で  $\phi$  方向のずれを保持している。参照マップでフレーム  $t$  特徴点の位置に対応する箇所の色を参照するだけで、どちらの方向にどれだけずれているのかという情報が得られる。

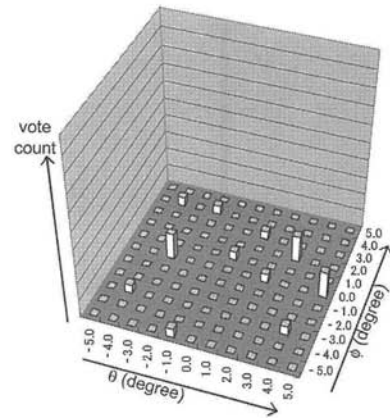
このずれの算出方法では、フレーム間で最も近接した特徴点に対応している特徴点であると仮定しているが、対応点でない特徴点が領域に存在することもある。しかし連続するフレーム間では物体の移動がごく僅かであると考えられるため、対象領域に入った点が領域中心の点の対応点である可能性が高い。また、もし間違った点が  $P[t-1]$  の周辺に存在した場合でも、特徴点は投票で全体的に評価されるため、最終的な動物体検出の結果には大きく影響を与えないと考えられる。

### 3.3 特徴点の分類と回転の評価

参照マップを用いて求めた個々の特徴点のずれを単一の投票空間で集計し、票の分布による分類で回転行



(a) 回転行列が正しい場合の投票結果



(b) 回転行列が正しくない場合の投票結果

図 8: 投票結果の例

列  $R$  の評価を行う。例として、2つの動物体 A と B と、背景として静止物体が存在する図7のようなシー

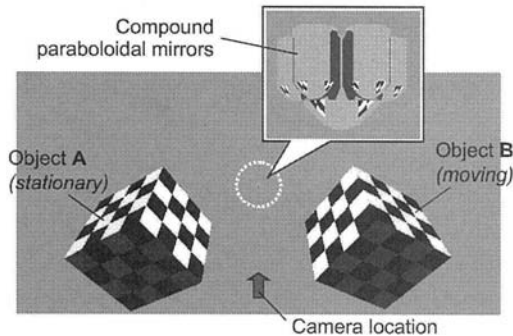


図 9: シミュレーション実験で想定するシーン

ンを考える。まず、算出した回転行列  $R$  が正しい場合について考える。このとき、特徴点のずれには3つの種類があり、投票結果は図 8(a) のように三つのばらつきを持つ。投票空間の中央の票は背景の静止物体の特徴点によるもので、中央からずれた場所の票は物体 A と B の特徴点によるものである。 $R$  が正しい場合、このように票が特定の場所に集中するので、その投票場所によって特徴点を分類できる。一方、選出した特徴点がそれぞれ対応しておらず回転行列  $R$  が正しくない場合には、投票結果は図 8(b) のようになる。投票空間において投票場所にばらつきがあり、票が集中しない。

このように、投票空間における票の分布によって、特徴点の分類ができる場合とできない場合がある。分類できる特徴点の個数が最も高くなるような  $R$  を求め、センサの正しい回転とする。また、そのような  $R$  の投票空間で動物体に分類された特徴点が検出すべき対象となっている。本手法はフレーム間の特徴点のずれの情報を集積的に扱い、センサの回転と物体の動きの検出を同時に実現している。

## 4 実験

### 4.1 シミュレーション環境

提案する動物体検出法を評価するために、シミュレーション実験を行った。実験に用いる画像は、3D-CG の作成ソフトウェアである POV-Ray により生成した。POV-Ray ではレイトレーシング法で画像が生成されるため、鏡面での反射を含めて正確なシーン描写が可能である。

シミュレーションでは、図 9 のようなシーンを想定する。シーン中に2つの立方体 A と B、また図 2 で示した複眼全方位センサを配置する。センサの中央のミラーは直径 25.8mm、周辺のミラーは直径 6.5mm である。センサでは平行投影系で画像が得られる。なお、レイトレーシング時にはカメラ自体は描画していない。立方体は A、B ともに一辺 1m であり、特徴点の抽出

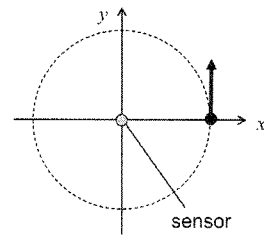


図 10: 物体 B の移動方向

を安定にするため、チェッカーパターンのテクスチャを持たせる。画像サイズは  $901 \times 901$  である。本実験では、生成した2枚の画像を時刻  $t-1$  と  $t$  のそれぞれのフレームの画像とし、それらの特徴点を利用して動物体検出を行う。

### 4.2 実験結果

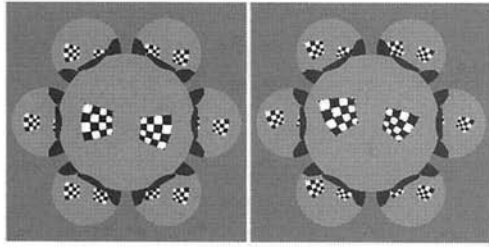
#### 4.2.1 動物体検出

まず、物体 A と物体 B をいずれもセンサから 1m の距離に配置する。2 フレーム間に複眼全方位センサが  $x$  軸を中心に 30 度回転し、立方体 B が 7cm 並進移動する場合についての動物体検出過程を図 11 に、検出結果を図 12 に示す。物体 B の移動方向を図 10 に示す。

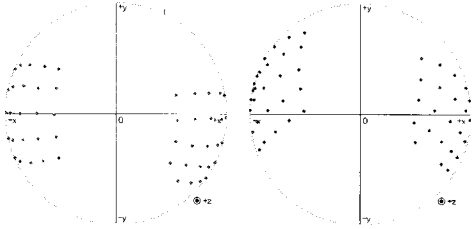
図 11(a), (b) はそれぞれ時刻  $t-1$  と  $t$  にセンサから得られた画像で、特徴点をそれぞれ赤と青で示している。左の物体が静止している立方体 A、右の物体が並進移動をしている立方体 B である。特徴点を単位球面上にマッピングした結果は図 11(c), (d) のようになる。センサが回転しているため、特徴点の位置は大きく異なっている。フレーム  $t-1$  の特徴点より作成された参照マップを図 11(e) に示す。フレーム  $t-1$  と  $t$  からそれぞれランダムに 2 点ずつ選択して回転行列を求め、経験的に以下の要件を満たすものを正しい回転行列とした。

- 投票空間中央の票が 10 票以上
- 中央の票を除いて  $3 \times 3$  のマスの総計が最も多いものの票数と中央の票の和が 20 以上 30 以下
- 中央の票を除いた票の分散が 3.0 以上

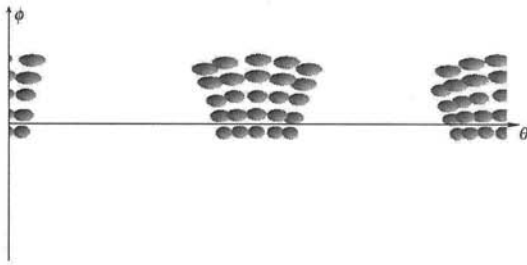
これらの要件により選出された回転行列による投票結果を図 12(a) に示す。 $t-1$  の特徴点と得られた回転行列で回転させた  $t$  の特徴点を重ね合わせた結果を図 12(b) に、投票空間によって得られた  $t$  の特徴点の  $t-1$  とのずれを直線で示したものを図 12(c) に示す。これらの結果から  $t$  の特徴点を静止物体と動物体に分類した結果を静止物体をグレー、動物体を黒で示したものが図 12(d) である。左の物体の特徴点を静止物体、



(a) 特徴点抽出結果 (フレーム  $t-1$ )      (b) 特徴点抽出結果 (フレーム  $t$ )



(c) マッピング結果 (フレーム  $t-1$ )      (d) マッピング結果 (フレーム  $t$ )



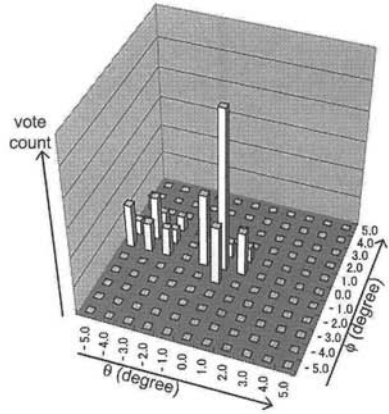
(e) 参照マップ

図 11: 動物体検出の処理過程

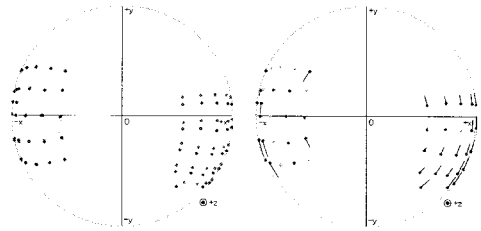
右の物体の特徴点が動物体にはほぼ正しく分類されることが確認できる。

#### 4.2.2 移動距離と検出能力

次に、立方体 B の移動距離を変化させて動物体検出能力の評価を行う。立方体 B の移動距離を  $1\text{cm}$  から  $10\text{cm}$  まで変化させて、回転推定の正しさと特徴点の分類の正誤率を調べた結果を図 13 に示す。  $2\text{cm}$  と  $3\text{cm}$  の移動距離では要件を満たす回転が存在せず特徴点の分類が不可能であった。回転が正しく求められた場合について、特徴点を移動によって正しく分類されたもの、間違っ分類されたもの、どちらにも分類されなかったものの 3 種類の比率を調べた。  $4\text{cm}$  と  $5\text{cm}$  の移動距離では、間違っ分類された特徴点は存在しておらず、正しく分類された特徴点が全体の半数以上

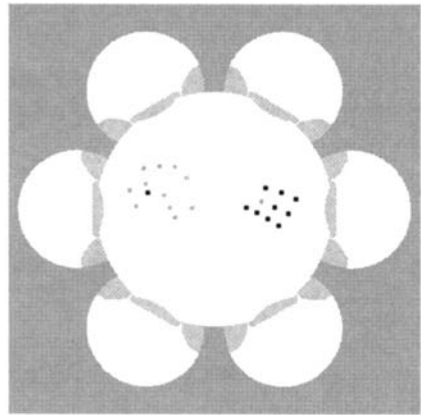


(a) 投票結果



(b) 特徴点の重ね合わせ

(c) 特徴点のずれ



(d) 動物体検出結果

図 12: 検出結果

となっている。  $6\text{cm}$  から  $10\text{cm}$  までの移動距離では、間違っ分類された特徴点が存在するものの、正しく分類された特徴点の割合の方が上回っている。一方、  $1\text{cm}$  の移動距離では正しい回転が求められておらず、間違っ分類された特徴点の割合が正しく分類された特徴点の割合を上回っている。これは動物体の移動距離が小さいため静止物体との区別がつかなかったため

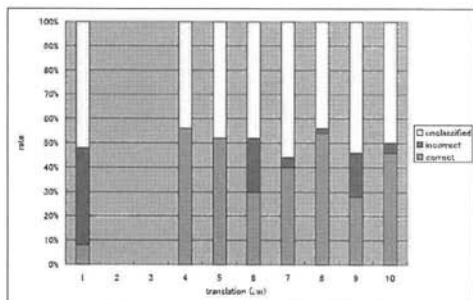


図 13: 物体の移動距離と検出能力

であると考えられる。

動物を検出できた移動距離  $4\text{cm} \sim 10\text{cm}$  の場合について、実世界の物体の動きとの対応について考える。センサのフレームレートを  $30\text{fps}$  とした場合、2フレーム間の移動距離  $4\text{cm} \sim 10\text{cm}$  は  $1.2\text{m/s} \sim 3\text{m/s}$  に対応する。人間の歩行速度が約  $5\text{km/h} = 1.3\text{m/s}$  であるので、おおよそ人間と同様の速さで移動する物体の検出が可能である。

## 5 小型センサ

本章では、装着型全方位監視に向けて制作した小型複眼全方位センサについて述べる。実際に試作した複眼全方位センサとその装着例を図 15 に、その光路を図 14 に示す。センサのミラー部は、1つの凹型放物面鏡と4つの凸型放物面鏡、さらに1つの凸型双曲面鏡を組み合わせたものである。凸型放物面鏡は、視線を遮らないよう一部が切り取られている。複眼全方位センサの寸法は高さが約  $50\text{mm}$ 、直径が約  $40\text{mm}$  である。また中央の凹型放物面鏡の直径は約  $25\text{mm}$ 、最下部に位置する4つの凸型放物面鏡の直径は  $8.9\text{mm}$  である。なお、この4つの凸型放物面鏡は縦横比がカメラのイメージセンサと同様の4対3になるように取り付けられているが、これはカメラの撮像素子を最大限利用するためである。また、センサによって得られた画像を図 16 に示す。現時点ではアライメントが完全ではなく実際にシステムで利用できる画像は得られていないが、今後このセンサを利用してシステムを開発する予定である。

## 6 まとめ

本論文では、装着型全方位監視に向けて、動物検出法と小型センサを提案した。ある時刻のフレームの特徴点の周囲に投票空間を設け、次のフレームの特徴点とのずれを全点について集計することで、対応点探索を行わない動物検出を実現した。また1フレームの特徴点による投票空間の分布を参照マップとして保持することで、ずれの評価値の計算量が減少した。シ

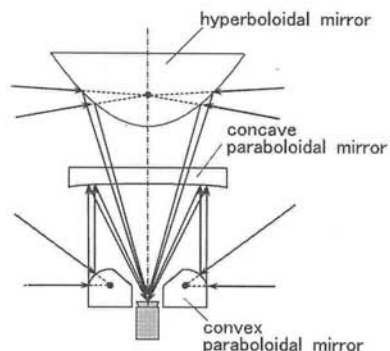


図 14: 制作した複眼全方位センサの光路



(a) センサのミラー部

(b) 装着例

図 15: 制作した複眼全方位センサ

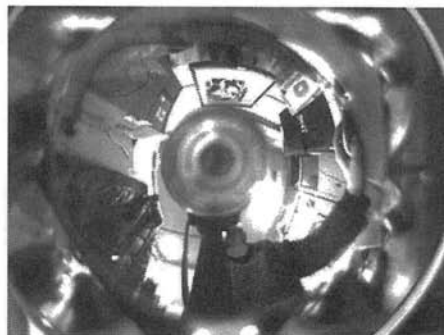


図 16: センサで得られた画像

ミュレーションによって生成したシーンの画像を用いた実験により、提案手法で静止物体と動物体を分離できることを確認した。また、全方位監視に利用できるセンサとして、全方位を一度に監視でき、かつステレオ視の機能を有する複眼全方位センサを設計、試作した。試作したセンサは、放物面鏡と双曲面鏡で構成さ

れている。従来のセンサよりも小型であり、樹脂成形したことで重量も軽減された。

今後の課題は、試作した複眼全方位センサを用いて装着可能な防犯システムを実際に制作し、本論文で提案した動物体検出アルゴリズムを実装することである。また、アルゴリズムにおいて重要である投票の結果をさらに解析し、センサの回転移動推定と動物体検出を安定化させることが必要である。

## 参考文献

- [1] 小嶋 裕一郎, 武井 和也, 佐川 立昌, 越後 富夫, 八木 康史: “接近物体検出のための階層化複眼全方位画像を用いた距離計測”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2006), pp.1096-1101, 7月, 2006.
- [2] 栗田 尚樹, 佐川 立昌, 越後 富夫, 八木 康史: “全方位物体検出のための複合球面鏡ステレオ”, 第3回情報科学技術フォーラム, 9月, 2004.
- [3] 向川 康博, 西岡 潔郁, 八木康史: “複眼全方位センサを用いた装着型防犯アラームの開発”, 画像の認識・理解シンポジウム論文集 (MIRU2006), pp.722-727, 7月, 2006.
- [4] T.N.Thanh, H.Nagahara, R.Sagawa, Y.Mukaigawa, M.Yachida, Y.Yagi: “Robust and Real-time Estimation of Camera Rotation with Translation-invariant Features”, 情処研報 CVIM 157, Jan.2007.