

NAIST-IS-MT9951075

修士論文

複数の全方位画像センサを用いた移動物体の 存在領域推定に基づく遠隔監視システム

寺沢 征彦

2001年2月9日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 情報システム学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
修士(工学)授与の要件として提出した修士論文である。

寺沢 征彦

審査委員： 横矢 直和 教授
小笠原 司 教授
竹村 治雄 助教授

複数の全方位画像センサを用いた移動物体の 存在領域推定に基づく遠隔監視システム*

寺沢 征彦

内容梗概

カメラを使った遠隔監視システムにおいて、注目物体の位置を知ることは重要な要素である。しかし従来のシステムには一般のテレビカメラが広く利用されており、画角が狭いため環境を広範囲に動く複数の物体位置を全て求めることは困難である。そこで周囲 360° の画像を一度に取得できる全方位画像センサを使用する方法が考えられる。このセンサを使うことにより環境を広範囲に監視できる。しかし複数のセンサを用いて三角測量により点として求めた物体の位置には誤差の影響が大きいという問題がある。またセンサ位置を結んだ直線 (ベースライン) 方向の位置推定は非常に不安定である。

そこで本研究では、全方位画像センサを 3 台使い、注目物体の存在領域を推定する手法を提案する。提案手法はセンサから見える物体の方位角の範囲を使うことにより、誤差の影響を存在領域の大きさとして反映することができる。また 3 台のセンサから得られる冗長な情報により、ベースライン方向に存在する物体の位置も安定して推定できる。

本研究で提案した手法を用いて構築した遠隔監視システムは、環境を自由に動く 3 人の人物の位置を約 0.1 秒の更新間隔で推定できた。また全方位画像センサの一部を平面透視投影画像に変換・提示することにより、3 視点から注目する人物の確認ができた。よって環境を広範囲に監視し実時間で注目物体の位置推定が可能な本手法は、遠隔監視に対して有効な手段であると言える。

*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報システム学専攻 修士論文, NAIST-IS-MT9951075, 2001 年 2 月 9 日.

キーワード

遠隔監視システム, 全方位画像センサ, 方位角範囲, 存在領域推定

A Remote Surveillance System Estimating Areas of Moving Objects Using Omnidirectional Sensors*

Masahiko Terazawa

Abstract

Recently demands for remote surveillance by camera are increasing. One of important factors in a remote surveillance system is to estimate positions of interesting objects. But, it is difficult to detect positions of the objects that freely move around in a wide environment. This fact suggests an approach that uses omnidirectional sensors. However, representing object's location as a point is not accurate and contains an error when the object is large enough. When the object is close to or on the baseline of multiple omnidirectional sensors, it is difficult to make precise estimation of its position.

This paper proposes a method to represent an object's position as a domain or area where the object is most likely located. This method can take an error into consideration using an object's directional range and can stably estimate its position using three omnidirectional sensors.

A surveillance system has been constructed using the proposed method. The system effectively tracks multiple objects in the environment and presents perspective images of objects viewed from the positions of sensors with the speed of 10 frames per second. These results show the possibility of a real-time surveillance system.

*Master's Thesis, Department of Information Systems, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-MT9951075, February 9, 2001.

Keywords:

remote surveillance system, omnidirectional image sensor, directional range,
object area estimation

目次

1. はじめに	1
1.1 従来の遠隔監視システム	1
1.2 本研究の方針と概要	5
2. 注目物体の存在領域推定とその方向の画像提示	7
2.1 全方位画像センサ HyperOmni Vision	8
2.2 センサの初期設定	9
2.3 全方位画像からの注目物体の検出	10
2.3.1 背景差分による注目物体の検出	11
2.3.2 画像中での注目物体の領域抽出	12
2.3.3 注目物体の方位角範囲導出	15
2.4 多角形領域の辺導出による存在領域推定	15
2.4.1 直線の媒介変数表現による交点座標の導出	17
2.4.2 注目物体の存在領域の決定	18
2.5 注目物体方向の画像提示	25
3. 遠隔監視システムの構築	26
3.1 システム構成	26
3.2 人物の位置推定実験	26
3.2.1 実験の設定	26
3.2.2 実験結果	27
3.2.3 考察	36
4. おわりに	37
謝辞	39
参考文献	40

目 次

1	通常カメラと全方位カメラの位置推定可能範囲の比較	3
2	全方位カメラを使った三角測量による位置推定の問題点	3
3	全方位画像センサと回転カメラを組み合わせたシステム [19]	4
4	全方位差分画像における物体の方位角範囲	5
5	注目物体の存在領域	7
6	HyperOmni Vision の外観と光学系	8
7	全方位画像と透視投影画像	9
8	ローカル座標系と世界座標系の角度のずれ	10
9	背景, 入力, 差分画像	13
10	2 値画像	14
11	極座標変換によるヒストグラムの作成	14
12	ヒストグラムにおけるノイズ除去及び方位角範囲の導出	16
13	直線の媒介変数表現	17
14	1 つの物体の存在領域	19
15	物体がベースライン方向に付近に存在する場合	21
16	物体がセンサ付近に存在する場合	21
17	媒介変数範囲が存在しない場合	22
18	センサ間の媒介変数範囲の交わり方	22
19	誤り領域の発生条件	24
20	画像変形を用いた平面透視投影画像への変換	25
21	遠隔監視システムの概要	27
22	実験環境	28
23	実験 1 での人物の移動ルート	28
24	実験 1 での入力全方位画像	29
25	実験 1 で得られた二値画像	30
26	実験 1 で提示した平面透視投影画像	31
27	実験 1 で推定した存在領域の連続 CG	32
28	実験 1 で推定した存在領域の CG(15 フレーム間隔)	32

29	実験 2 で提示した平面透視投影画像と推定領域の CG	34
30	推定した存在領域の大きさの比較	35

1. はじめに

近年, カメラなどの画像センサを使った遠隔地の監視に対する要求が高まっている [1]. 遠隔監視システムを使用する用途として, 銀行での防犯やスーパーでの市場調査, 交差点での交通量把握などがあげられる. 遠隔監視システムにおいて要求される機能として,

- 環境を常に広範囲にわたって監視する
- 注目する物体あるいはその物体の異常状態を検出する
- 注目する物体の行動を追跡及び分析する

といった処理を自動で行える技術があげられる. センサで取得した画像に対し画像処理を行うことにより自動で監視できるこのようなシステムは, 監視者の負担軽減や監視能力の向上に有効な手段である [2, 3]. 本研究では上に挙げた 3 つの機能を同時に満たすために, 環境全体を自由に動く複数の物体の位置を全て同時に推定することを目標とする.

本章ではまず 1.1 節で従来の遠隔監視システムとその問題点, 1.2 節では本研究で提案する注目物体の位置推定手法の概要について述べる.

1.1 従来の遠隔監視システム

遠隔地の監視カメラには一般的に CCD カメラが使われている. しかし従来の CCD カメラには, 標準レンズ¹が取り付けられたものが多く, 画角が狭く撮像視野が制限されるため, 環境全体を監視できない. そのため環境内を広範囲にわたって動く複数の物体の位置をすべて知ることができない.

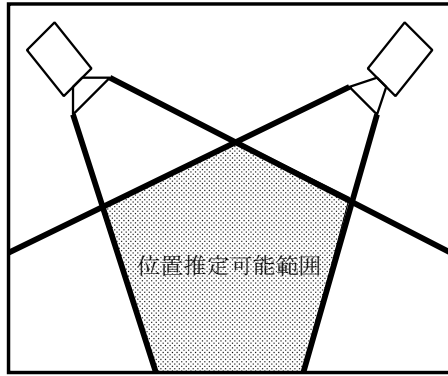
この問題の解決策として可動カメラを手動もしくは自動的にカメラを回転させる方法がある. しかし監視者が物体の動きに合わせて手動で回転させる場合, 常に画像を注視している必要があり監視者の負担になる. そのため監視者の疲労や不注意により注目していた物体を見失ってしまう可能性がある.

¹画角 30-45 度程度のレンズ

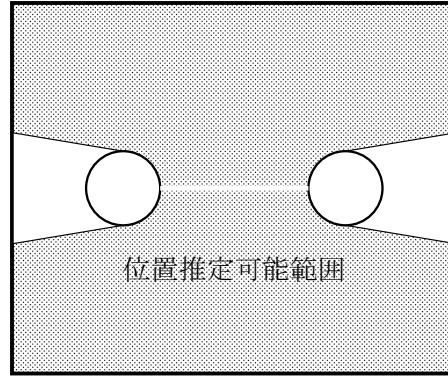
一方、物体の動く方向を時系列差分やオプティカルフローなどの画像処理により予測し自動的にカメラを回転させる場合、一つの物体を監視することが出来る [4, 5, 6]. しかし一台のカメラでは環境全体の画像を一度に取得することはできないため、現在写っている物体の動く方向しか予測できず、複数の物体を同時に監視することができない. 可動カメラを複数台使うことによって複数の物体を同時に監視することができるが、最低でも物体数以上のカメラが必要となり、監視する物体が増えるにしたがって連携制御が困難になる. また物体の位置推定を行うには物体が2台以上のカメラに写っている必要があり、さらに多くのカメラが必要となる.

別の解決策として固定カメラを複数使う方法がある [7, 8, 9, 10, 11]. しかしこの方法でも複数の回転カメラを使う方法同様、カメラ間の連携制御が困難であるという問題が存在する. 加えて、自由に移動する物体の位置推定をロバストに行うためには死角を減らす必要があり、複数の回転カメラを使う方法と比べ多くのカメラが必要となる. また同一の注目物体の追跡もカメラを切替えながら行う必要があり、さらに連携制御が困難となる.

もう一つの解決策として通常のカメラではなく、全方位画像センサを使用する方法が考えられる [12]. 全方位画像センサとは周囲 360° の画像を一度に取得できるセンサである [13]. このセンサを使うことにより、通常のカメラに比べ少ない台数で環境全体を監視することができる. また回転カメラと違い、カメラの可動制御を行う必要がなく扱いやすい. これまでに、全方位画像センサを2台使用し、背景差分により移動物体を検出し、三角測量により位置推定を行い追跡する研究が行なわれている [14]. 同じ台数の通常カメラを使う方法と比べ、この手法はほとんど死角なく物体の位置を推定することができる (図1参照). しかし三角測量による位置推定では、図2(a)のように物体がベースライン (両センサの位置を結んだ直線) 付近に存在する場合、物体の方位角の導出誤差による推定位置の誤差が大きく、推定結果が不安定になる. さらに物体の方位角とベースライン方向が完全に一致すると、三角測量を行うことができない. また障害物などによる部分的なオクルージョンや物体の向きなどによる物体の方位角の導出ずれにより推定位置がずれるという問題もある.



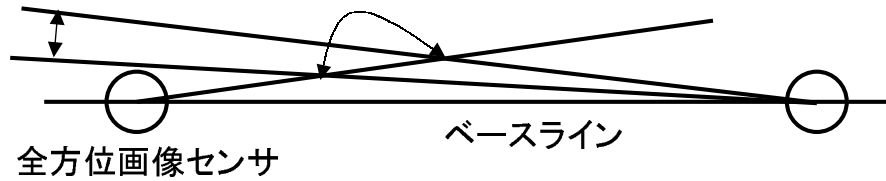
(a) 通常カメラ 2 台による
位置推定可能範囲



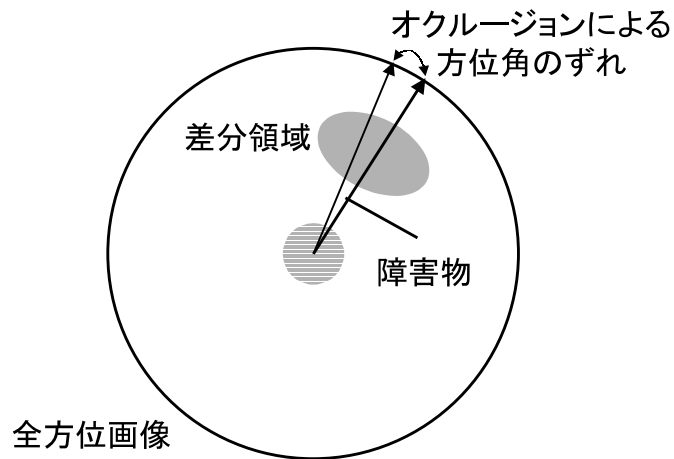
(b) 全方位カメラ 2 台による
位置推定可能範囲

図 1 通常カメラと全方位カメラの位置推定可能範囲の比較

小さな方位角のずれ 大きな推定位置のずれ



(a) 物体がベースライン方向に存在する場合



(b) 部分的オクルージョンが発生する場合

図 2 全方位カメラを使った三角測量による位置推定の問題点

一方、十河らは注目物体を人物と限定し、その位置を一定の大きさの円として推定する手法を提案している [15]. しかし円の大きさは経験的に求めた値であり、様々な大きさの物体の位置を推定するのは困難である. さらに円の中心は三角測量により求めるので、先に述べた文献 [14] の方法と同様の問題が起こる.

全方位画像が幾何学的にゆがんでいるため、図 3 のように全方位画像センサと回転カメラを両方使う方法も提案されている [16, 17, 18, 19]. この方法では全方位画像センサで物体の方位角を導出し、回転カメラをその方向に向けて監視することができる. そのため全方位画像センサのみを使用した方法に比べ、解像度の高い画像を監視者に提示することができる. しかし全方位画像センサと回転カメラという異なるカメラ間での連携が必要になる. さらに位置推定を行うことができない. また一台のセンサから 360° あらゆる方向の画像を提示できるという全方位画像センサの特徴がなく、複数の物体の追跡画像を提示するには物体数以上の回転カメラが必要になる.



図 3 全方位画像センサと回転カメラを組み合わせたシステム [19]

1.2 本研究の方針と概要

複数の全方位画像センサを用いた複数物体の位置推定において、前節で述べたようなベースライン方向での不安定性とオクルージョンなどによる推定位置のずれという2つの問題に対して、本研究では2次元的な存在領域として物体の位置推定を行う手法を提案する [20, 21]. 物体の存在領域は、図4のように背景差分領域から見える物体の方位角の範囲を使って求めるので、センサで抽出される物体の角度情報の導出誤差がそのまま反映され、様々な大きさの物体の位置推定が可能である.

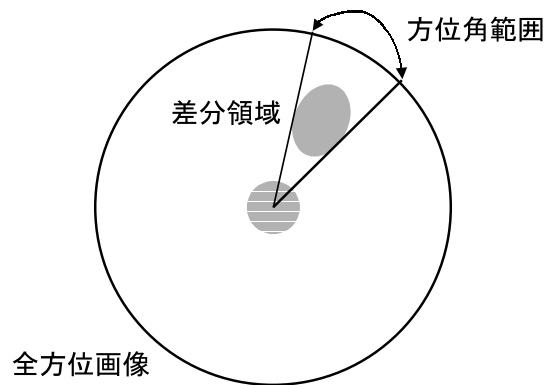


図4 全方位差分画像における物体の方位角範囲

また一直線上に並ばないように配置した3台の全方位画像センサから2台のセンサを選んでできる各ベースライン方向での推定結果の不安定性をもう1台のセンサで補うことにより、安定して位置推定を行うことができる.

複数の物体が存在する場合、同一物体の画像を提示するために物体毎に角度情報を対応付ける必要がある. 文献 [14] の手法では前フレームでの位置情報や現フレームでの色情報など付加的な情報を使わなければならない. それに比べ、提案手法では抽出した物体領域自身の角度情報のみを使った対応付けが可能である.

また本研究では入力全方位画像の一部を平面透視投影画像に変換して提示することにより、注目物体の確認をすることができる. 提示する平面透視投影画像は通常カメラで撮影した画像に比べ解像度が低いという欠点を持つが、高速で移動

する物体も常に確認することができる。物体が複数存在する場合でも、それぞれの方向の画像を切り出して変換することにより、どの物体の画像も生成可能である。

以下、2章では存在領域の推定手法とその方向の画像提示について述べる。3章では提案手法を用いて構築した遠隔監視システムの構成及び人物の追跡実験について述べる。4章では本研究のまとめと今後の課題について述べる。

2. 注目物体の存在領域推定とその方向の画像提示

本研究では, 注目物体を監視環境に新たに現れ移動する物体とする. ここで注目物体の存在領域推定を行う前提として以下の条件を設定する.

- 全方位画像センサを 3 台使用する (同一直線上に並ばないように配置)
- 各センサから他の 2 センサが写っている
- 3 センサ全てに注目物体が写っている

以上の前提条件のもと, 図 5 のように各センサの位置からのばした方位角範囲が 3 つ同時に重なる多角形領域を注目物体の存在領域として求める. ここで方位角範囲とは各センサから見て注目物体が存在する方位角の範囲を指す.

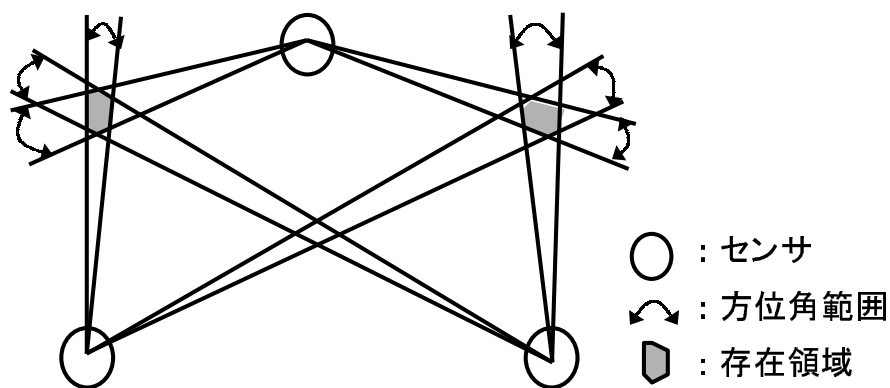


図 5 注目物体の存在領域

本章ではまず本研究で使用した全方位画像センサ HyperOmni Vision について述べる. 続いて, 提案手法を

- センサの初期設定
- 全方位画像からの移動物体の検出
- 注目物体の存在領域推定

の 3 つの処理に分けて述べる. 最後に注目物体方向の画像提示について述べる.

2.1 全方位画像センサ HyperOmni Vision

本研究で使用した全方位画像センサ HyperOmni Vision は、図 6(a) に示すように鉛直下向きに設置した双曲面ミラーとその下に鉛直上向きに設置した CCD ビデオカメラから構成される。このとき、ミラーの焦点 O_M 及びカメラのレンズ中心 O_C は各々二葉双曲面が持つ二つの焦点 $(0, 0, +c)$, $(0, 0, -c)$ に位置し、画像面 xy は XY 平面に平行でカメラのレンズ中心 O_C からカメラの焦点距離 f だけ離れた平面とする (図 6(b) 参照)。ミラー面とその焦点 O_M , カメラのレンズ中心 O_C は式 (1) で表される。なお a , b は双曲面の形状を定義する定数である。

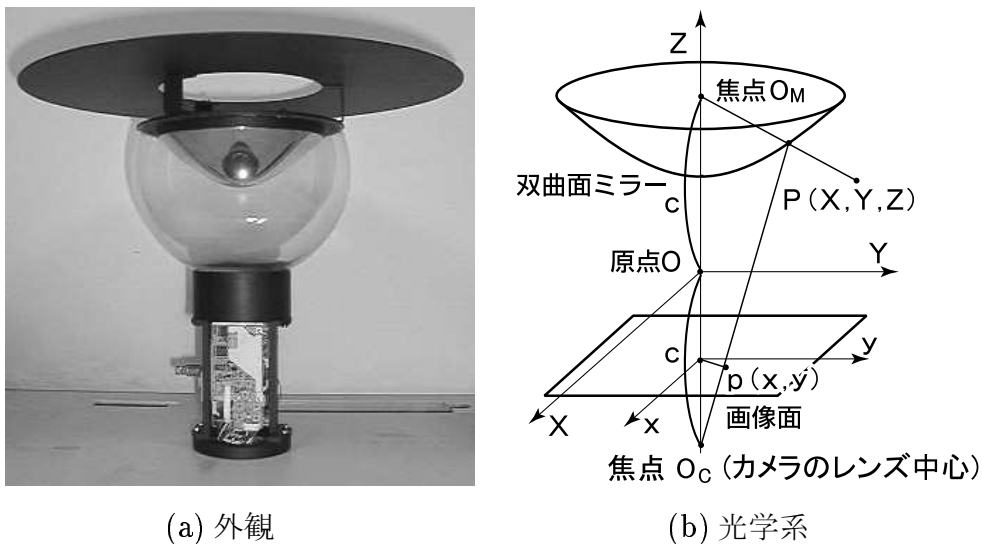


図 6 HyperOmni Vision の外観と光学系

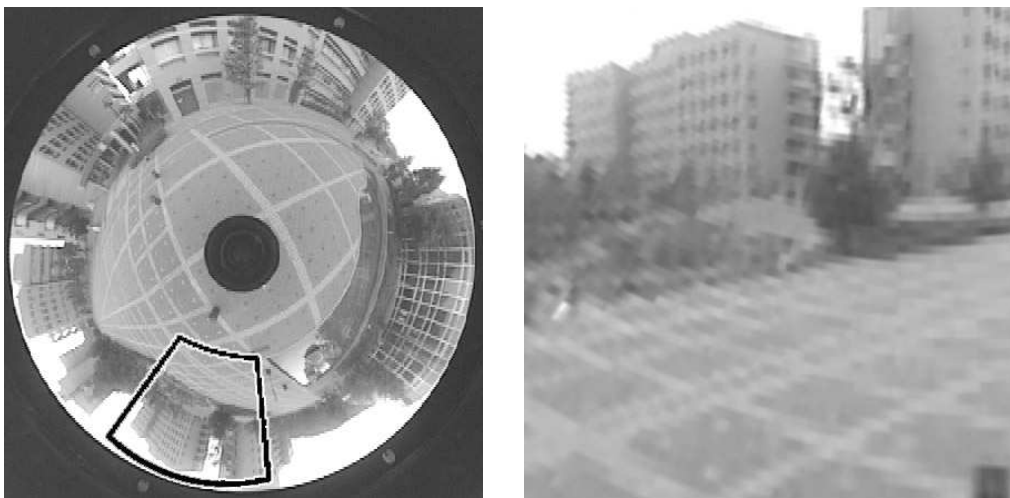
$$\begin{aligned}
 \text{ミラー面} & \quad \frac{X^2 + Y^2}{a^2} - \frac{Z^2}{b^2} = -1 (Z > 0) \\
 \text{ミラーの焦点 } O_M & \quad (0, 0, +c) \\
 \text{カメラの視点 } O_C & \quad (0, 0, -c) \\
 \text{(レンズ中心)} & \quad (c = \sqrt{a^2 + b^2})
 \end{aligned} \tag{1}$$

空間中の任意の点 $P(X, Y, Z)$ に対する画像上での写像点を $p(x, y)$ とした時、点 P の方位角 θ は式 (2) で表される。

$$\tan \theta = Y/X = y/x \tag{2}$$

即ち Y/X で定まる点 P の方位角 θ は, y/x で定まる写像点 p の方位角 θ を算出することで得られる. この様に 360 度パノラマ状の領域内にある対象物体の方位角 θ が, その物体の画像面上の写像の方位として直接現われる.

また, HyperOmni Vision の入力画像は双曲面ミラーの内側の焦点 O_M を投影中心とした双曲面への一点中心投影画像であるため, 入力画像 (図 7(a)) の一部を O_M から見た一般の平面透視投影画像 (図 7(b)) に変換できる. 本研究ではこの特徴を使い, 注目物体方向の平面透視投影画像を作成・提示し物体の確認を行う.



(a) 全方位画像

(b) 平面透視投影画像

図 7 全方位画像と透視投影画像

2.2 センサの初期設定

センサの初期情報として, 3 台のセンサの環境中での位置 (世界座標系における位置) を求める. ここで世界座標とは環境のある 1 点 (床面の角など) を原点とし各軸を床面に平行にのばした 2 次元座標を指す. 各センサは三脚に載せ, カメラのレンズ中心とミラーの焦点を結んだ軸 (図 6(b)) における Z 軸) が床面と垂直になるように設置する. また実測により各センサを目線の高さに一致させる. そして 2 つのセンサの位置を実測する. この情報と各センサから見える互いのセンサ

の方向から、三角測量により残り1つのセンサの位置を求める。

また、全方位画像から導出する方位角範囲の値を世界座標系での値に統一するため、各センサでのローカル座標系と世界座標系との角度のずれを求める。そこで1つのセンサの向きを全方位画像の座標系(ローカル座標系)と世界座標系が一致するよう手動で合わせ、他の2センサのローカル座標系と世界座標系の角度のずれを各センサから見える互いのセンサの方向から計算する(図8参照)。

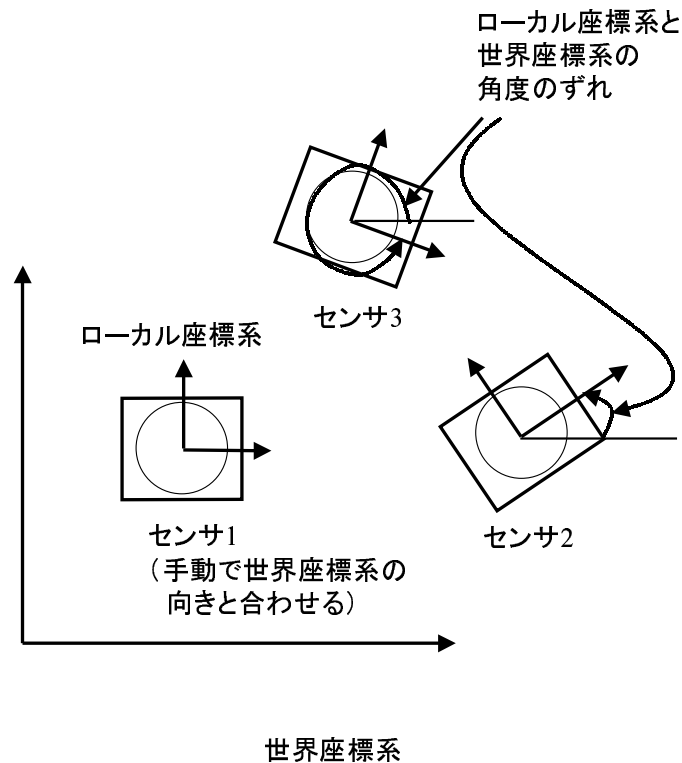


図8 ローカル座標系と世界座標系の角度のずれ

2.3 全方位画像からの注目物体の検出

監視環境内に物体が現れた場合、その物体が写った全方位画像が得られる。このとき注目物体の存在領域を推定するにあたって、全方位画像から注目物体を検出し、その方位角範囲を求める。以下、

- 背景差分による注目物体の検出
- 画像中の注目物体の領域抽出
- 注目物体の方位角範囲の導出

の順に述べる。

2.3.1 背景差分による注目物体の検出

まず注目物体の写った全方位画像から注目物体の存在を検出する。画像から注目物体を検出する手法として、オプティカルフローによる検出 [23, 24], テンプレートマッチングによる検出 [25], 背景差分による検出 [26] という 3 種類の手法が考えられる。

オプティカルフローによって検出を行う場合、画像から注目物体の領域のみを正確に分離するには膨大な計算量が必要となり、監視システムのような実時間性の要求される処理に適用するには問題がある。また静止している物体が検出できないという問題もある。

テンプレートマッチングによる検出手法の場合、確実に注目物体を検出するには物体の向きなどを考慮して作成した多数のテンプレートを一つ一つ入力画像に対してマッチングする必要がある、オプティカルフローによる手法同様、計算量が膨大になる。さらに全方位画像という円形に歪んだ画像を処理対象とするため、テンプレートの作成に工夫が必要となる。

一方、背景差分による検出手法の場合、画像上に現れる全ての明度変化を検出するため背景領域で明度変化の起こるような環境では誤検出が発生するが、上記の 2 つの手法と比べ簡単で計算量が少なく、実時間性の必要な処理に適した手法であると考えられる。またオプティカルフローを使った手法と違い静止している物体も検出可能であり、さらにテンプレートマッチングを使った手法と比べ検出精度に関して物体の向きなどを考慮する必要がないという長所がある。そこで本研究では文献 [14] や [15] と同様、背景差分によって全方位画像から注目物体の検出を行う。

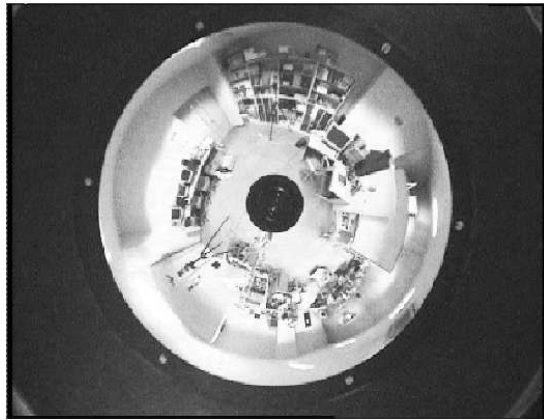
まず 3 台の全方位画像センサにおいて, 注目物体の存在しない静止環境での全方位画像を背景画像として取得する (図 9(a)). そして入力される画像 (図 9(b)) と背景画像との差分をとることによって, 図 9(c) に示すような画像を生成する. 以上により, 全方位画像から注目物体が検出できる.

2.3.2 画像中での注目物体の領域抽出

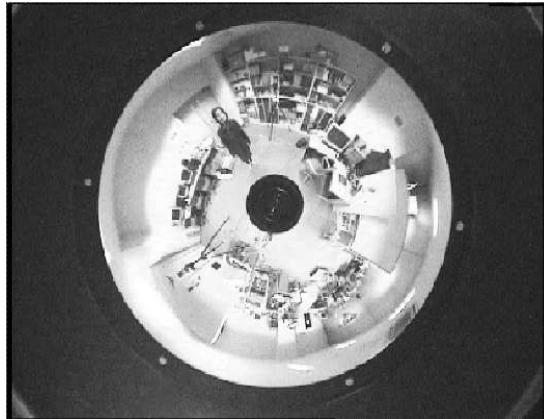
差分画像に対して固定閾値を用いた 2 値化処理により生成した 2 値画像から, その物体の画像中での領域を抽出する. しかし固定閾値による 2 値化処理のみ行った 2 値画像には, 図 10 のように物体領域の他に照明の微妙な変化によるノイズや, 物体の色と背景の色が近いことによる物体の写る領域の欠落等が発生する.

そこで図 11 に示すように, 全方位画像において直交座標から画像の中心を原点とする極座標 (r, θ) に変換し, θ 軸への射影により θ 軸方向に作成したヒストグラムからノイズの削除や画素の欠落部分に対する補正を行う. 図 11 のヒストグラムにおいて, 横軸が角度 θ を, 縦軸が角度 θ 方向に存在する画素数を表す. 極座標の θ 軸方向におけるヒストグラムは差分画像に含まれるノイズを反映しているので, 物体の領域との分割を行うことができる. さらに領域分割における計算量が少なく実時間性を保つことが可能であると考えられる. ヒストグラムからのノイズ除去は具体的に以下の手順で行う.

- (1) まず, ヒストグラムの平滑化を行なう. ある角度 θ_α の画素数の値を前後 2 度を含む計 5 度の画素数の平均値に変更する. 全ての角度に対してこの処理を行うことにより, 物体の一部の色が背景の色と近い場合に発生する画素の欠落を原因とする物体の写る領域の分割をある程度ふせぐことができる.
- (2) 次に, θ 方向の画素数に対して固定閾値を設定し, その値以下の画素数の切捨てを行なう. この処理により, 背景における不必要な変化成分によるノイズを削除することができる.
- (3) 最後に, 前後の画素数が 0 となる孤立点の削除を行う. ある角度 θ_β において, 前後の画素数が 0 となり θ_β の画素数が正となる場合, θ_β の画素数を



(a) 背景画像



(b) 入力画像



(c) 差分画像

図 9 背景, 入力, 差分画像

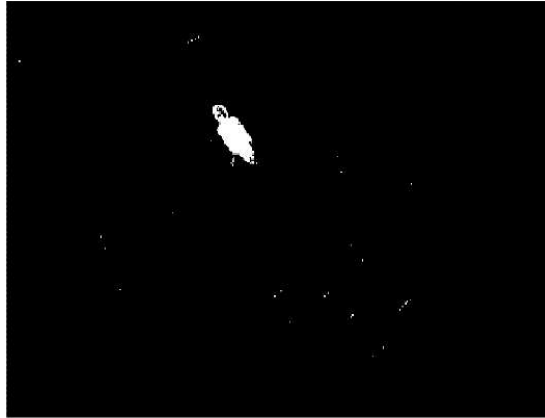


図 10 2 値画像

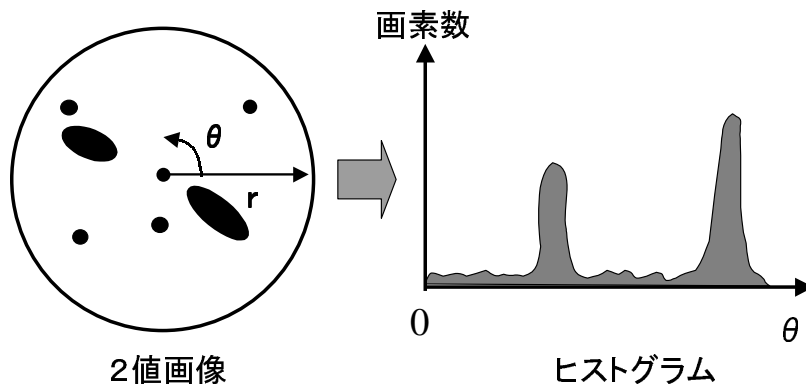


図 11 極座標変換によるヒストグラムの作成

0 とする. 全ての角度に対してこの処理を行うことにより, 照明の微小な変化による θ 軸方向に長いノイズを削除することができる.

以上の処理により, 物体領域の画素数のみを持つヒストグラムが作成できる (図 12 参照).

2.3.3 注目物体の方位角範囲導出

作成した 2 値画像の射影ヒストグラムから物体の方位角範囲を求める. 一つの注目物体は図 12 のようにヒストグラムにおいて 0 より大きい値を持つ一つの連続した部分を形成すると仮定し, ヒストグラム中から抽出される各々の連続部分に対してその両端の θ 値 ($\theta_{min}, \theta_{max}$) を求める. 物体が 0° を含む方向に存在する場合, 360° の部分と 0° の部分をつなげた一つの連続部分を形成すると考え, θ 値を求める. 求めた θ 値はローカル座標系での値であるので, 3.1 節で求めたローカル座標系と世界座標系の角度のずれを用い世界座標系での値に変換し, 注目物体の方位角範囲とする.

2.4 多角形領域の辺導出による存在領域推定

本節では注目物体の存在する多角形領域の各辺を導出し, それを連結する手法について述べる. この処理を行うことにより注目物体の存在領域を求めることができる. 多角形領域の辺導出のために, 各頂点の世界座標を求める必要がある. 本研究ではセンサから方位角範囲の両端の角度方向にのばした直線を媒介変数を用いて表現することにより, 交点の世界座標を求める. 媒介変数はセンサからの距離を表すので, 同一直線上に存在する複数の交点の媒介変数の大小関係によって多角形領域の辺を求めることができる. 以下, 注目物体の存在領域推定手法を直線の媒介変数表現による交点座標の導出, 辺の連結による多角形領域の決定という 2 つの過程に分けて述べる.

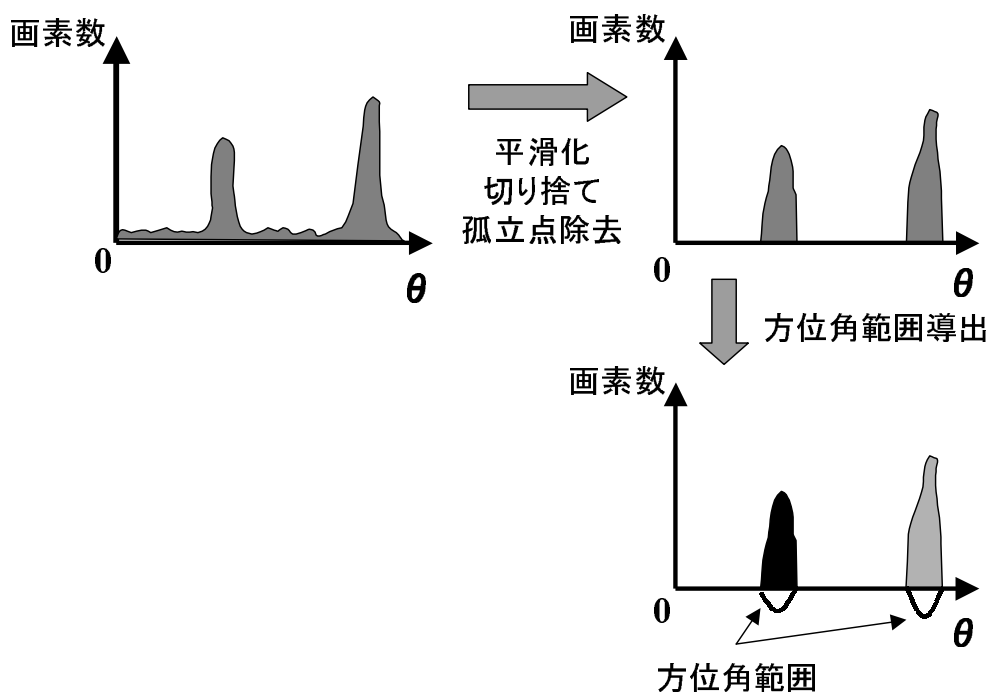


図 12 ヒストグラムにおけるノイズ除去及び方位角範囲の導出

2.4.1 直線の媒介変数表現による交点座標の導出

まず各センサから方位角範囲の両端の角度方向にのばした直線を媒介変数により表現する. センサからのばした直線上に存在する点の座標値は, 世界座標系でのセンサの位置ベクトル (センサの座標値と同値) と方位角範囲の両端の角度に対応する単位ベクトル及び媒介変数を用いて.

$$\begin{aligned} & (\text{直線上に存在する点の座標値}) = \\ & (\text{センサの座標値}) + (\text{単位ベクトル}) \times (\text{媒介変数}) \end{aligned} \quad (3)$$

と求めることができる.

以下では, 3つのうち2つのセンサから1本ずつ選択した2本の直線に対して, その交点に対応する2つの媒介変数の値を求めることを考える. 交点の座標値は, 図13のようにセンサの位置ベクトルをそれぞれ $\vec{S}_1(S_{x1}, S_{y1})$, $\vec{S}_2(S_{x2}, S_{y2})$, 直線の単位ベクトルをそれぞれ $\vec{V}_1(V_{x1}, V_{y1})$, $\vec{V}_2(V_{x2}, V_{y2})$, 媒介変数をそれぞれ M_1 , M_2 とすると, 式(4)で表現できる.

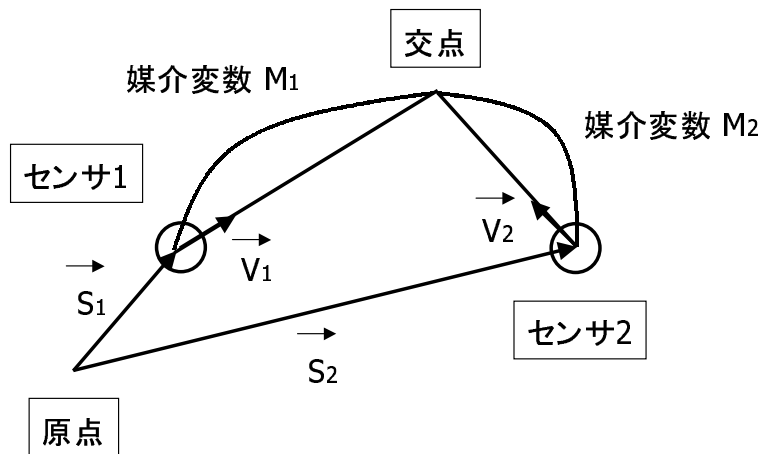


図13 直線の媒介変数表現

$$\begin{aligned}
(\text{交点の } x \text{ 座標値}) &= S_{x1} + V_{x1} \cdot M_1 \\
&= S_{x2} + V_{x2} \cdot M_2 \\
(\text{交点の } y \text{ 座標値}) &= S_{y1} + V_{y1} \cdot M_1 \\
&= S_{y2} + V_{y2} \cdot M_2
\end{aligned} \tag{4}$$

以上の式より, 2つの媒介変数の値は式(5)で求めることができる.

$$\begin{aligned}
M_1 &= \frac{(S_{x2} - S_{x1}) \cdot V_{y2} - (S_{y2} - S_{y1}) \cdot V_{x2}}{V_{x1} \cdot V_{y2} - V_{y1} \cdot V_{x2}} \\
M_2 &= \frac{(S_{x1} - S_{x2}) \cdot V_{y1} - (S_{y1} - S_{y2}) \cdot V_{x1}}{V_{x2} \cdot V_{y1} - V_{y2} \cdot V_{x1}}
\end{aligned} \tag{5}$$

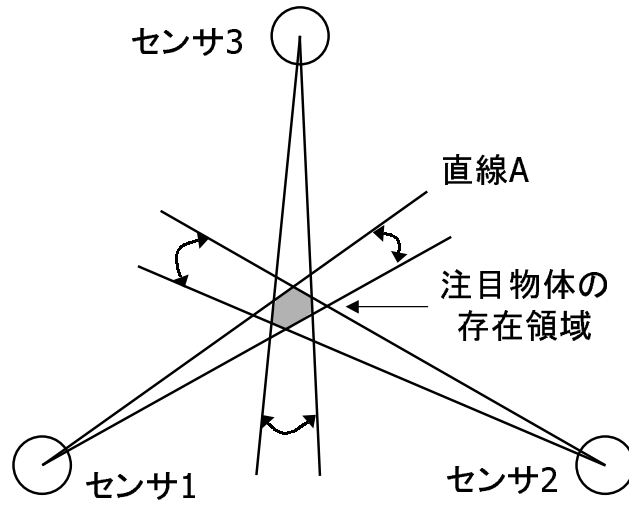
異なるセンサからののばした全ての2直線について以上の処理を行い, 各交点における媒介変数の値を求める.

2.4.2 注目物体の存在領域の決定

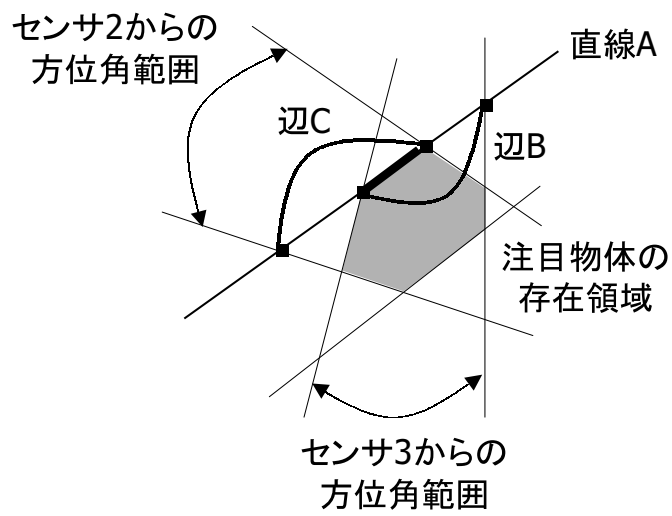
次に, 求めた交点から注目物体の存在領域を構成する辺を導出し, その辺を連結することにより存在領域を決定する. 説明を簡単にするため, まず図14のように物体が一つだけ存在する場合を考える.

図14(a)においてセンサ1の方位角範囲の一端方向にのばした直線Aに注目すると, 直線A上には他の2つのセンサからののばした直線との交点が計4つ存在する. ここで図14(b)のように直線Aとセンサ2, 3から方位角範囲の両端の角度方向にのばした直線との交点によってできる辺をB, Cとすると, 直線A上に存在する存在領域を構成する辺は辺BとCの重なる部分(図14(b)の太線)となる. そこで両端点の媒介変数により直線A上で辺B, Cの取りうる媒介変数の範囲を求め, その重なり判定により存在領域を構成する辺の両端点の媒介変数を求める. 最後に全ての直線に対して求めた辺を連結することにより, 存在領域を一つの閉じた領域として求める.

以下, 注目物体の存在領域の決定方法を各方位角範囲に対応する媒介変数の範囲の導出と多角形領域の辺の連結の2つの過程に分けて述べる



(a) 全体図



(b) 拡大図

図 14 1つの物体の存在領域

方位角範囲に対応する媒介変数の範囲の導出

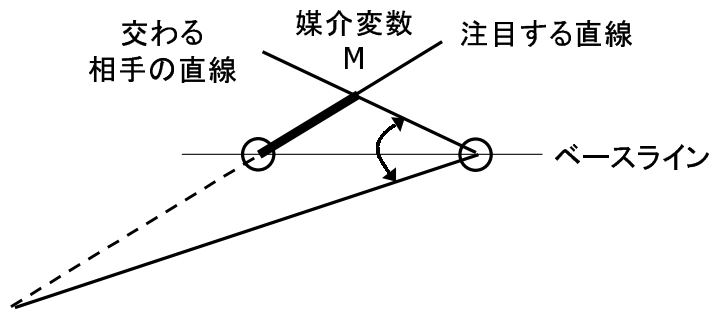
まず交点の媒介変数の大小関係により、注目する直線上における物体の方位角範囲に対応する媒介変数の範囲を求める。図 14のように物体がベースライン方向に存在せず、さらにセンサから離れて存在する場合、媒介変数範囲の両端値は方位角範囲の両端方向にのぼした他のセンサからの直線との交点の値となる。

しかし、図 15のように物体がベースライン方向に存在する場合、媒介変数の範囲は 0 から M (図 15(a)の太線)、もしくは M から ∞ (図 15(b)の太線)となる。また、図 16のように物体がベースライン方向ではなくセンサの近くに存在し広い方位角範囲が導出される場合、媒介変数の範囲は M から ∞ (図 16の太線)となる。ここで図 15、図 16において媒介変数が M である点は、交わる相手の直線の媒介変数が正である。逆に注目する直線における媒介変数が正であっても、図 17のように交わる相手の直線における媒介変数が負になる場合、媒介変数範囲は存在しない。ここから、注目する直線、交わる相手の直線に対応する媒介変数のうちどちらか一方でも負になる点は媒介変数の範囲に含まれず、結果としてその交点は存在領域の辺にも含まれないということが言える。つまり自分、相手両方の直線の媒介変数の値の正負を考慮して、媒介変数の範囲を求める必要がある。

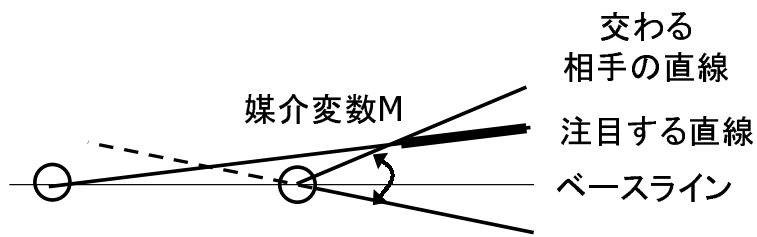
次に存在領域(多角形領域)の辺となる線分を求める。注目する直線において、他の 2 センサ間の媒介変数範囲の関係は 3 種類存在する(図 18)。図 18(a) または (b) のように交わる場合、注目する直線上に存在領域の辺が存在し、両端点の媒介変数値 M_1, M_2 を求める。図 18(c) のように媒介変数範囲が交わらない場合、存在領域の辺は注目する直線上には存在しない。

多角形領域の辺の連結

求めた辺を連結することにより、注目物体の存在領域を決定する。図 14 のように物体が一つしか存在しない場合、求めた辺は全て同一物体の多角形領域を構成し、簡単に連結できる。しかし物体が複数存在する場合、求めた辺を物体毎に連結する必要がある。ここで連結する辺は同一点を端点とし



(a) センサ間の内側に存在する場合



(b) センサ間の外側に存在する場合

図 15 物体がベースライン方向に付近に存在する場合

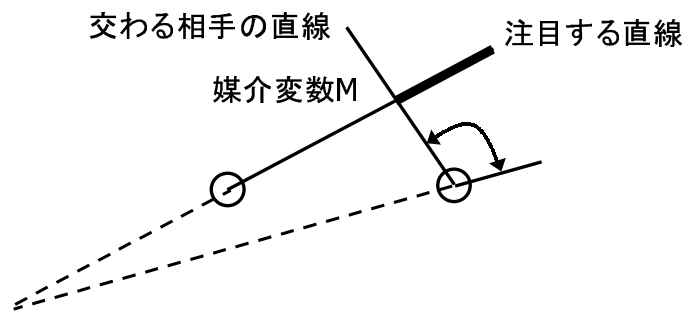


図 16 物体がセンサ付近に存在する場合

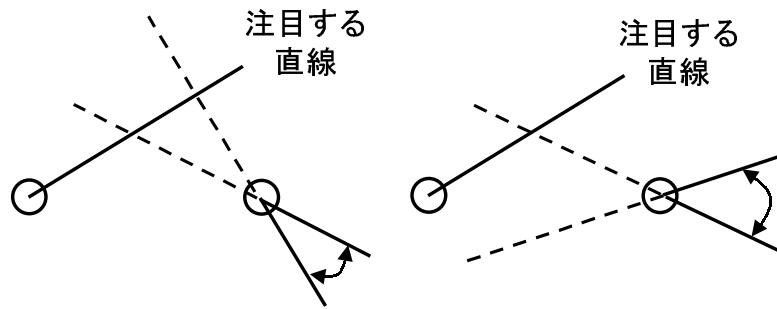


図 17 媒介変数範囲が存在しない場合

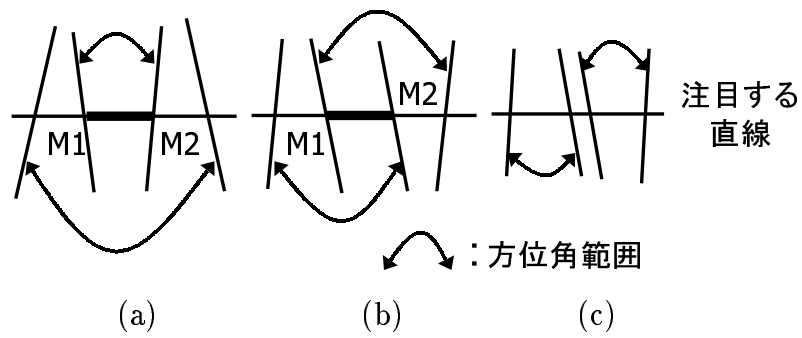
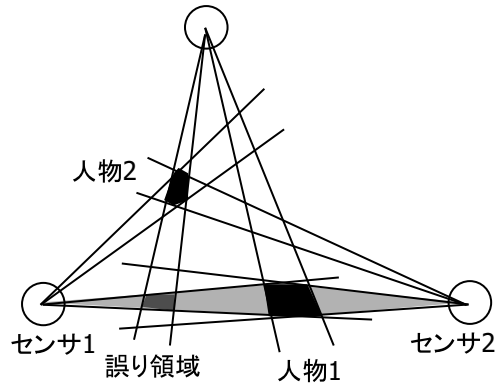


図 18 センサ間の媒介変数範囲の交わり方

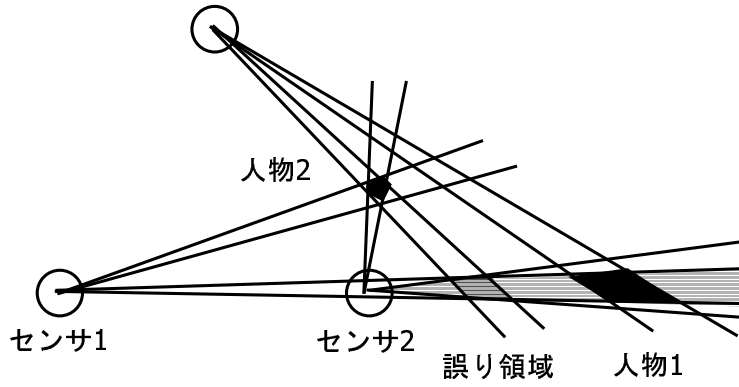
て共有しているので、センサからのぼした直線に対してラベル付けを行い、共有する点において交わる 2 直線 (注目する直線及び交わる相手の直線) のラベルをもとに辺を順次連結することができる。

また複数物体が図 19 のような位置関係で存在すると、物体の存在しない領域が誤って抽出される。図 19(a), (b) の場合、誤り領域がベースライン方向に発生する。これはセンサ 1 と 2 で抽出した人物 1 の方位角範囲の重なる部分 (図 19(a), (b) の灰色の部分) が大きく、この部分とセンサ 3 で抽出した人物 2 の方位角範囲が重なるためである。図 19(c) の誤り領域は、3 人の人物の特殊な位置関係によって発生する。しかし誤り領域は、その辺の導出に使用した 3 センサ全ての方角範囲を他の領域の辺導出に使用しており、この条件をもとに削除できる。

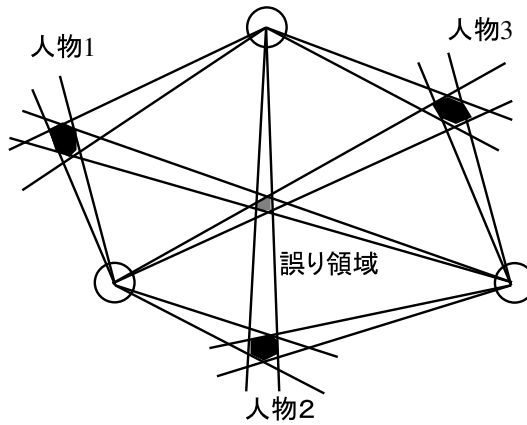
以上の処理により環境内に存在する全ての物体の存在領域が求まる。



(a) ベースライン方向 (センサ間の内側) に発生する場合



(b) ベースライン方向 (センサ間の外側) に発生する場合



(c) 特殊な位置関係により発生する場合

図 19 誤り領域の発生条件

2.5 注目物体方向の画像提示

求めた存在領域毎に導出に使用した方位角範囲を 3 センサ間で対応付け, それに対応する背景差分領域の重心座標を求める. そして入力全方位画像から重心座標を中心とする一定領域を切り出し, 2 章で説明したような平面透視投影画像に変換し, 注目物体方向の画像提示を行う.

このとき, 切り出す領域の全画素について変換計算を行うと, 計算量が膨大になりシステムの実時間性が損なわれてしまう. そこで本研究では格子分割による画像変形手法を採用した [12]. この手法は, 図 20 のように切り出す領域を格子に区切りその格子点のみソフトウェアにより正確な対応計算を行い, 格子の内部の画素についてはハードウェアのテクスチャマッピング機能を用いた画像変形により計算する. この手法により全方位画像から高速に平面透視投影画像に変換できる.

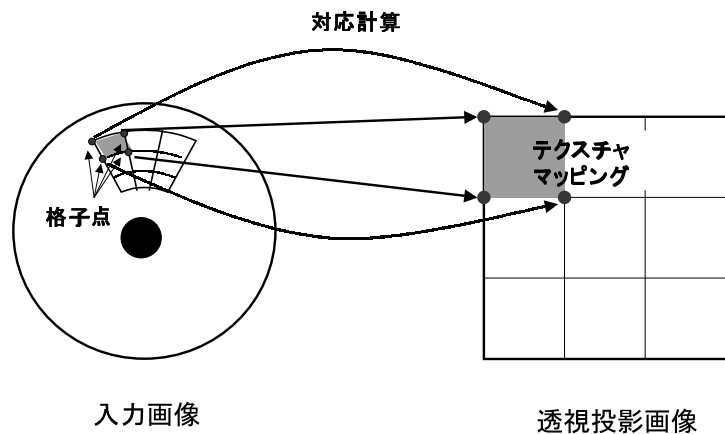


図 20 画像変形を用いた平面透視投影画像への変換

以上の処理により, 3 枚の入力全方位画像から作成した 3 枚の平面投影画像を監視者に提示することができ, 3 視点から注目物体を確認することができる.

3. 遠隔監視システムの構築

本章では, 本研究で提案した手法を用いて遠隔監視システムのプロトタイプを構築し, 行った人物の位置推定実験について述べる. 以下, 5.1 節で構築したシステムの構成について述べる. 5.2 節で人物の位置推定実験について, 設定, 結果, 考察の順に述べる.

3.1 システム構成

構築した遠隔監視システムは, 同一直線上にない 3 台の全方位画像センサで取得される全方位画像を処理計算機に入力し, 提案手法を用いて物体の位置推定を行うものである. システムの概要を図 21 に示す. システム構成として全方位画像センサに HyperOmni Vision Ver.2A を, 処理計算機に SGI 社の ONYX2 Infinite Reality 2 を使用した. 3 台の HyperOmni Vision で取得した全方位画像は S 端子ケーブルで繋がった AD 変換器を通して処理計算機に時間同期をとって入力される. 提案手法は一部並列化し, 背景差分, 二値化処理に 10CPU, 各平面透視投影画像の生成処理に 1CPU, その他の処理に 1CPU 使用した.

全方位画像センサを 3 台用いて構築した遠隔監視システムは, 常に環境を広範囲にわたって監視することが可能である. また複数の移動物体の位置を同時に推定可能である. さらに注目物体方向の平面透視投影画像を提示し 3 視点から確認することができる.

3.2 人物の位置推定実験

構築したシステムを使い, 人物の位置推定実験を 2 種類行った. 以下, 実験の設定, 結果について述べ, その結果から考察を行う.

3.2.1 実験の設定

監視環境として $920\text{cm} \times 920\text{cm}$ の大きさの実験室, 注目物体として環境内に自由に動く人物を設定した. 実験室は正方形の形をしているので, 床面の角の 1 頂点を原点としこの点を含む 2 辺を x 軸, y 軸とする座標を世界座標とした. そ

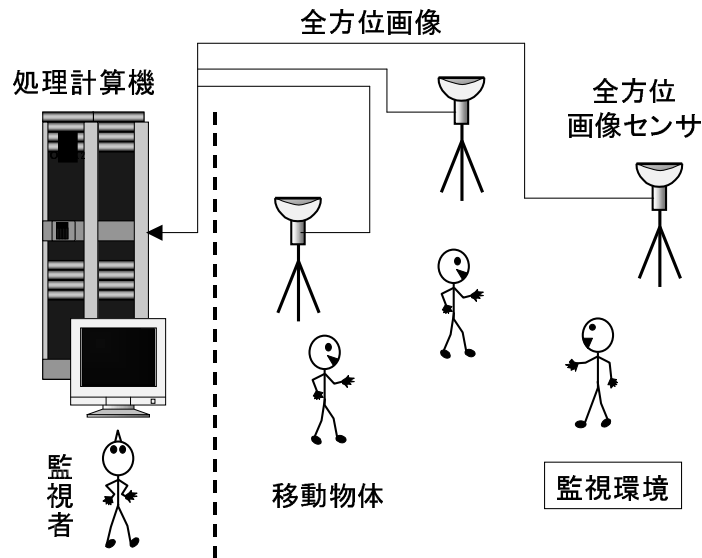


図 21 遠隔監視システムの概要

して 3 台のセンサを (48cm, 270cm), (471cm, 297cm), (281cm, 559cm) の位置に配置した. また床面からセンサのミラー焦点までの高さを 180cm とした. 実験環境を図 22 に示す. 人物はドア, または室内に設置した監視者スペース (障害物によりセンサから完全に隠蔽) から監視環境に入り, 自由に移動した.

3.2.2 実験結果

まず実験 1 として, 1 人の人物の位置推定実験を行った. 人物は約 50cm/s の速度で設定したルートを 60 秒間歩いた. 移動ルートは図 23 の太線に示すように, 世界座標において (373, 557), (373, 173), (176, 173), (176, 449), (373, 449), (608, 727) の各点を順に直線で結んだものとした. 図 23 において小さな正方形はセンサの位置, 外枠は監視環境を表す. 1 人の人物は約 0.1 秒の更新間隔で追跡することができた. 入力した全方位画像を図 24 に, 生成した二値画像を図 25 に, 提示した平面透視投影画像を図 26 に 5 秒間隔で示す. また推定した全ての存在領域を描画した CG を図 27 に, 15 フレームおきに描画した CG を図 28 に示す. 図 23 と同様, 図 27, 28 において小さな正方形はセンサの位置, 外枠は監視環境を表す.

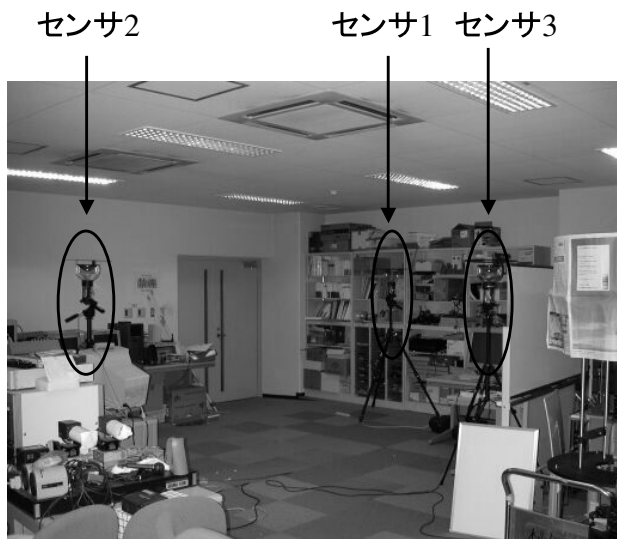


図 22 実験環境

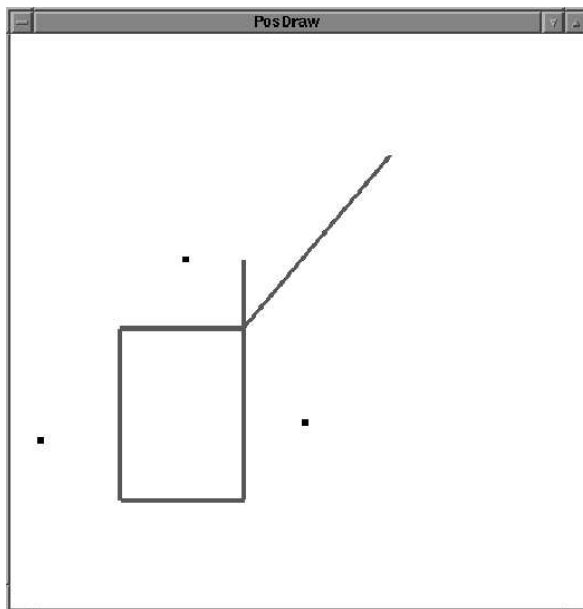
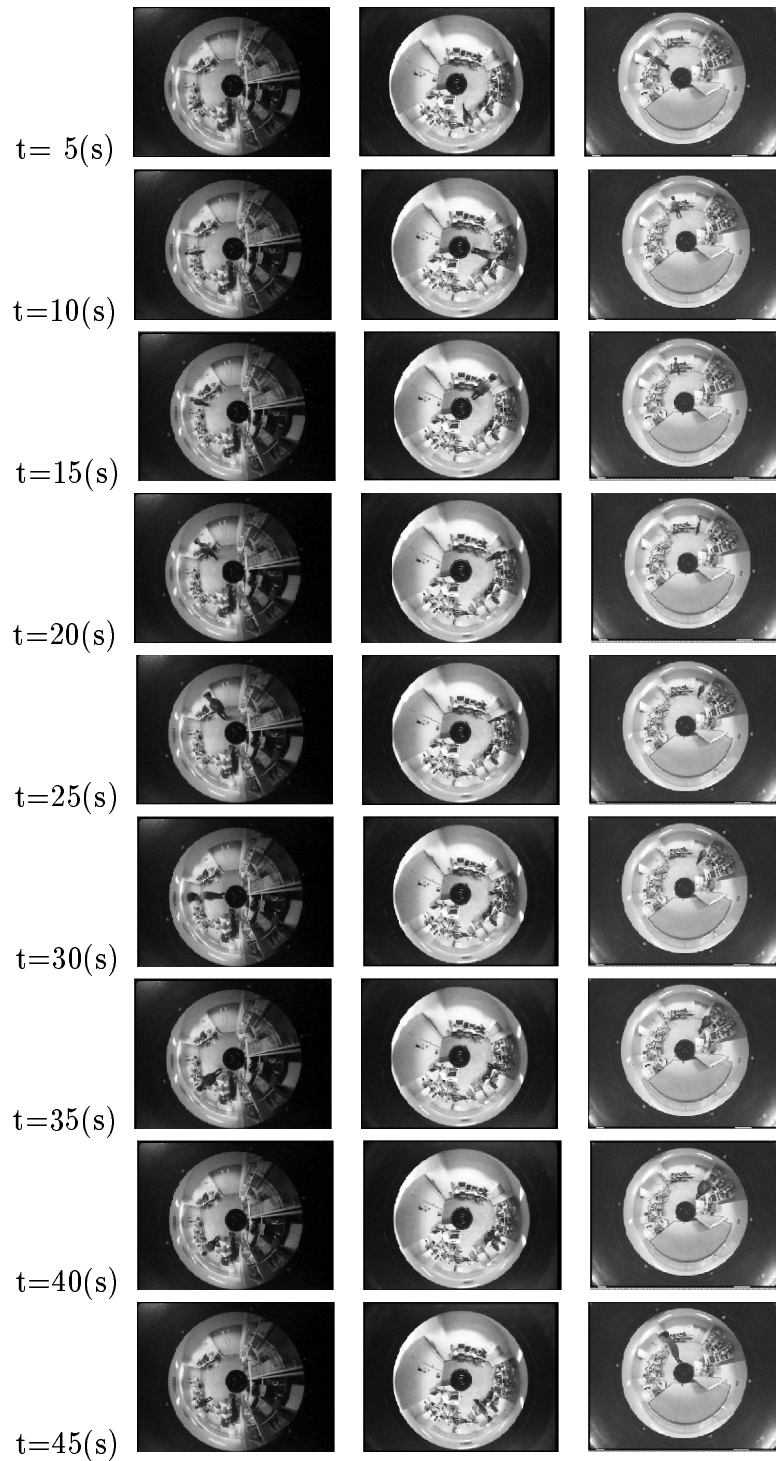


図 23 実験 1 での人物の移動ルート



センサ 1 センサ 2 センサ 3

図 24 実験 1 での入力全方位画像

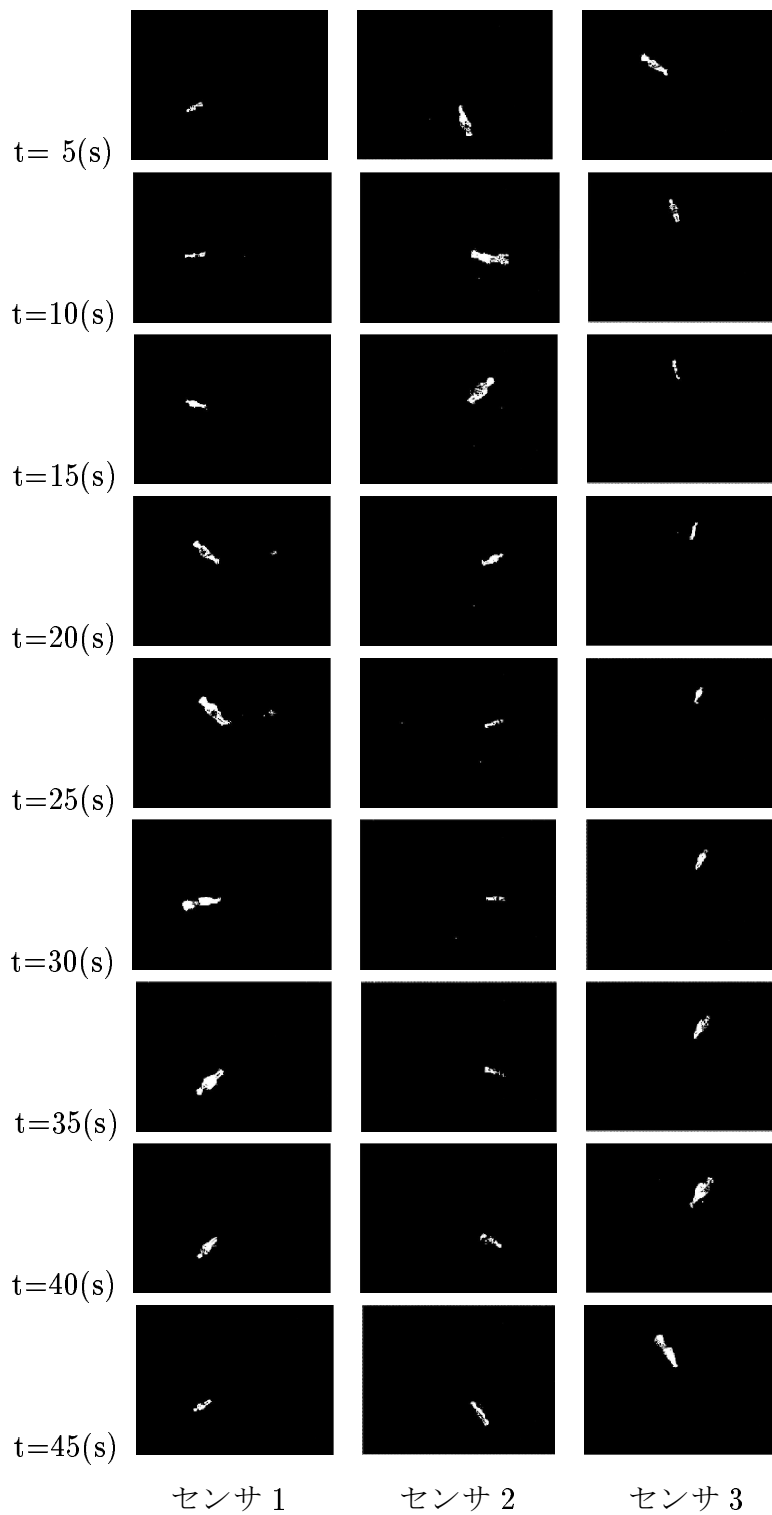
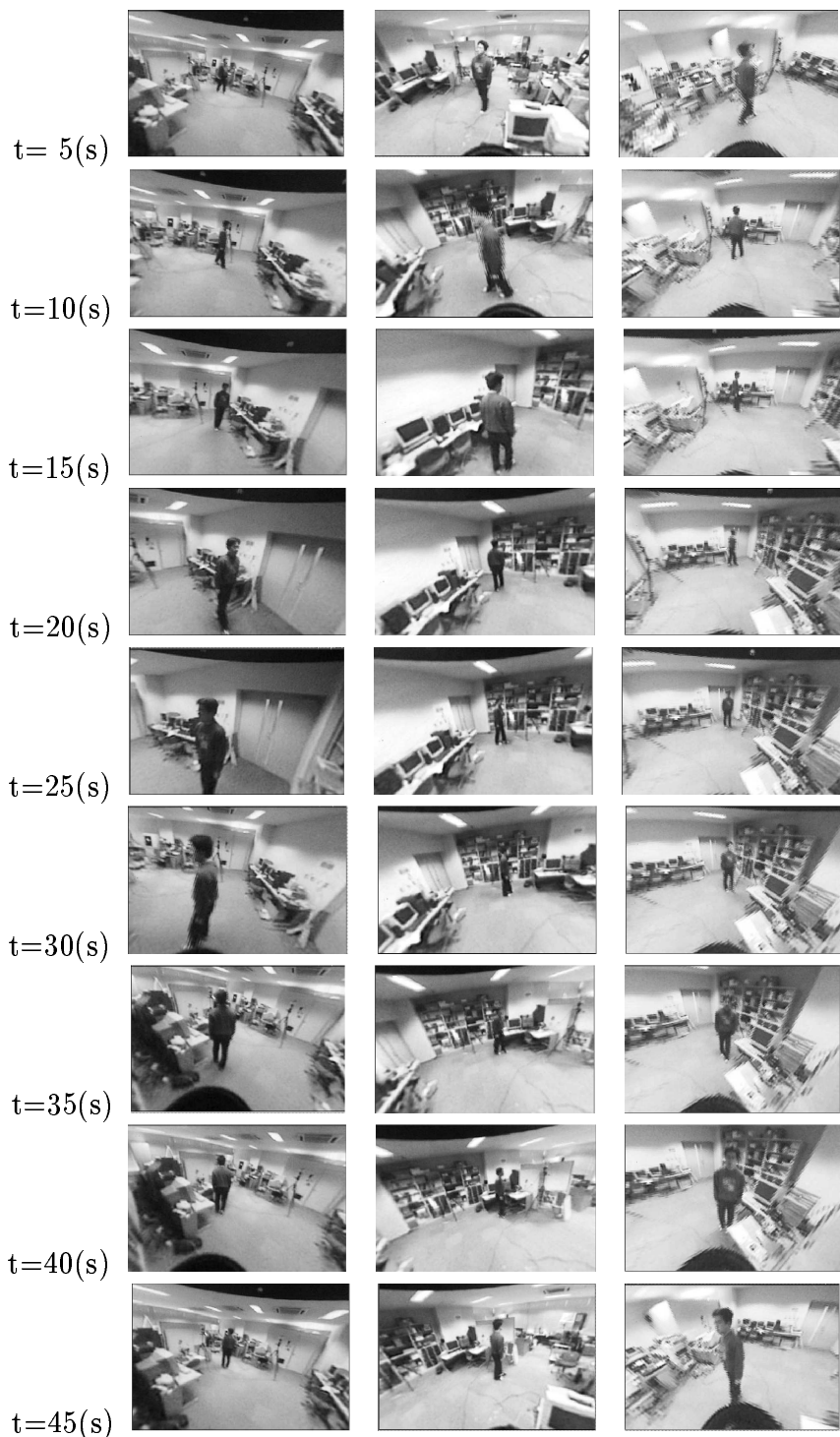


図 25 実験 1 で得られた二値画像



センサ 1

センサ 2

センサ 3

図 26 実験 1 で提示した平面透視投影画像

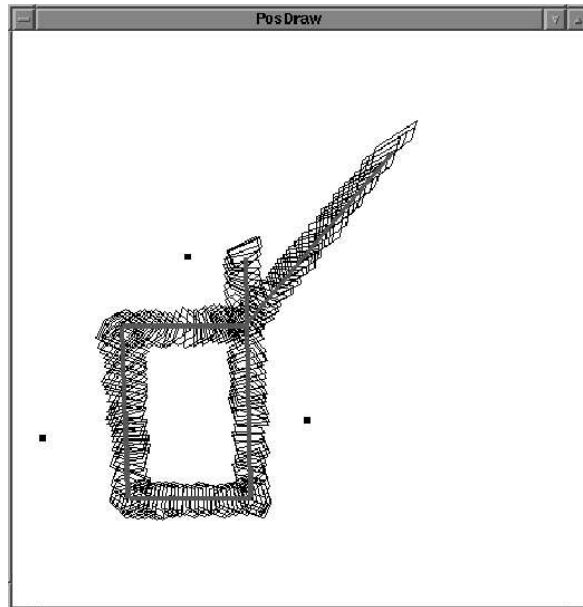


図 27 実験 1 で推定した存在領域の連続 CG

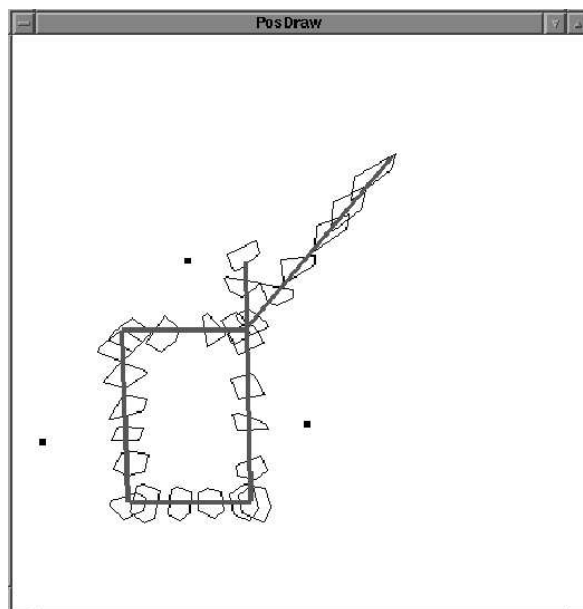


図 28 実験 1 で推定した存在領域の CG(15 フレーム間隔)

次に実験 2 として, 3 人の人物の位置推定実験を行った. 3 人の人物は適当な速度 (上限 100cm/s) で自由に移動した. センサの位置, 監視環境の大きさは実験 1 と同じにした. 3 人の人物は約 0.1 秒の更新間隔で追跡することができた. 適当に選択した 5 つの処理フレームでの実験結果を図 29 に示す. 図 29 において左からセンサ 1, 2, 3 の入力全方位画像から作成した平面透視投影画像, 推定領域の CG を示す. 推定領域の CG は図 26 同様, 小さな正方形がセンサの位置, 外枠が監視環境を表す. またフレーム 1 ~ 5 とは選択した 5 つの処理フレームを指す.

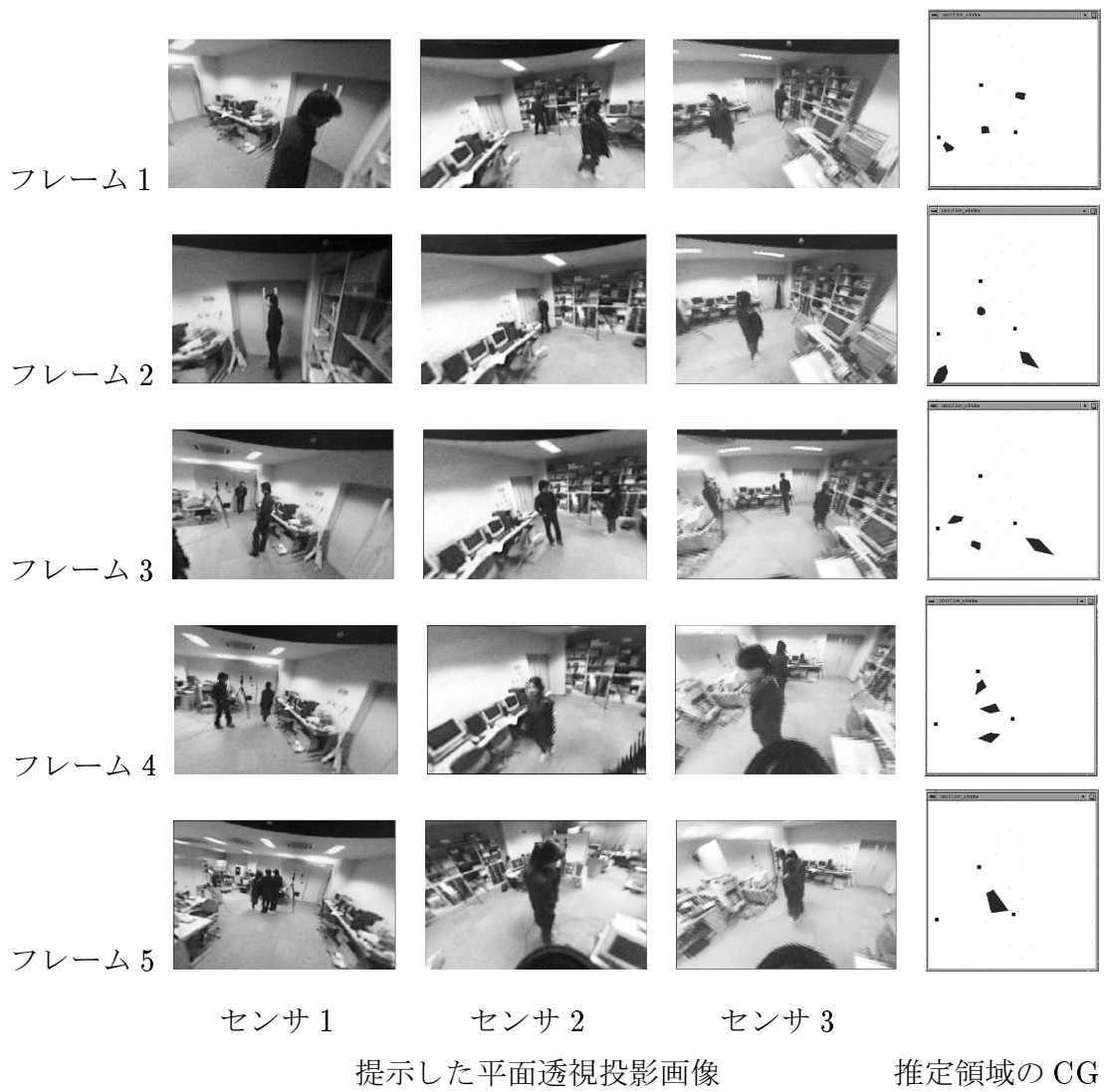


図 29 実験 2 で提示した平面透視投影画像と推定領域の CG

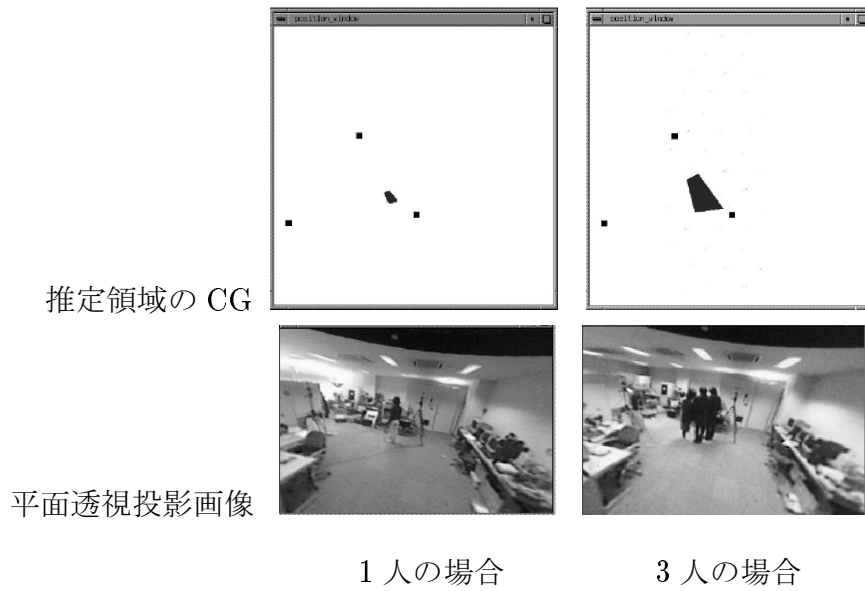


図 30 推定した存在領域の大きさの比較

3.2.3 考察

実験1の結果から考察を行った。まず図27から設定した移動ルートに沿って人物の存在領域が推定できていることが確認できる。さらに図28から多角形領域の形や大きさが人物の存在する場所に応じて変化していることが確認でき、このことから推定した存在領域は方位角範囲の導出誤差を反映しているといえる。例えば3つのセンサから遠い、ルートの最終地点では存在領域が細長く大きな領域として推定さ、推定結果の信頼度が低いと言える。また図26から人物方向の透視投影を作成・提示できていることが確認でき、人物が一人しか存在しない合い場合、フレーム間で人物を追跡できていることがわかる。

しかし壁に近付くとそこに人物の影が大きく写り込み、背景差分でその部分が抽出され、存在領域が大きく抽出される場合があった。また人物の方位角範囲と別に影のみの方角範囲が抽出され、結果として影の存在領域が別に推定される場合があった。

次に実験2の結果から考察を行った。図29より3人の人物の存在領域が同時に推定でき、同じ処理フレームにおいて同一人物方向の平面透視投影画像が作成・提示できていることが確認できる。人物が複数存在する場合、図29のフレーム4の推定領域のCGからわかるように、センサ3からは3人の人物が一直線上に存在するため、人物間でオクルージョンが発生する。しかし、センサ3の平面透視投影画像で確認できない人物がセンサ1や2の平面透視投影画像から確認できる。また、フレーム5の平面透視投影画像から3人の人物が同じ位置に固まって存在することが確認できる。同じ位置に存在する1人の人物と固まって存在する3人の人物との存在領域の大きさを比較すると、図30から3人の場合の方が大きく推定されていることが確認でき、物体の大きさを存在領域の大きさに反映できていると言える。このように3視点から物体を確認できる本手法は、遠隔監視において有効な手法であると考えられる。

以上のように、提案手法を用いて構築した遠隔監視システムは監視環境内に存在する複数の人物の位置推定が可能であり、さらに3視点から注目人物の確認が可能であり、今回の実験のように照明条件などによる背景の変化が少ない室内を監視する場合、有効なシステムであると考えられる。

4. おわりに

本研究では、複数の全方位画像センサを用いた遠隔監視システムにおいて、注目物体の存在領域推定手法を提案した。提案手法において、背景差分により全方位画像中での物体の領域を自動抽出し、そこから導出した方位角範囲をもとに物体の存在する 2 次元的な領域を推定できた。また全方位画像センサを 3 台使うことにより、2 つのセンサの組合せによってできる各ベースライン方向に存在する物体の位置も安定して推定することができた。さらにセンサ間で対応付けられた方位角範囲をもとに全方位画像の一部を平面透視投影画像に変換し提示することにより、3 視点から注目物体の確認ができた。

以上より、本研究で提案する手法は遠隔監視システムにおいて有効な手法であると考えられる。

さらに有効な遠隔監視システムを構築するために、今後の課題として以下の 3 つがあげられる。

[1] 最適な提示画像の選択と提示

遠隔監視システムにおいて注目物体を多視点から確認することは非常に有効な手段である。しかし環境中に存在する全ての物体を把握する場合、物体毎に 3 視点からの追跡画像を提示すると提示数が膨大になり監視者にわかりづらい。そこで 3 枚の平面透視投影画像から確認に最適な画像を一枚選びその画像のみ提示することにより、監視者に分かりやすくなると考えられる。物体から最も近い位置に存在するセンサ、物体の移動方向に最も相対しており物体を正面から確認できるセンサ、物体から離れた位置に存在し周りの状況を確認できるセンサのうちどれを選択するかは、状況によって変化すると考えられる。

[2] 背景画像の更新

本研究では背景差分を用いて移動物体の検出を行なっているが、その際に使用する背景画像は最初を取得したものを使い続けることになっている。しかしこの方法では、屋外環境などにおいて照明条件の変化により背景全体に変化が生じた場合、移動物体を検出できなくなる可能性がある。そこで背景画像を定期的に更

新することによって、照明条件の変化などに対してもロバストに注目物体を検出することができると考えられる。

[3] フレーム間での存在領域の対応付けによる同一人物の追跡

本研究ではフレーム間で物体の存在領域が未対応であり、あるセンサのヒストグラムにおいて θ 方向に最初に検出した方位角範囲について対応する物体の平面透視投影画像を提示している。その結果、物体の位置関係により画像に提示される物体が変更される場合が多く、監視者にとってわかりづらい。そのため、前フレームと現フレームの位置関係によりフレーム間で存在領域を対応付け、物体の位置にかかわらず同一物体の画像を提示し続ける必要がある。一般的な対応付けの手法としてフレーム間で最も近い領域を対応付ける方法が考えられるが、物体が交差する場合に対応付けできないという問題がある。この問題については今後検討していく必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、その全過程において暖かく御指導、御鞭撻を頂いたソフトウェア基礎講座 横矢 直和教授に心より感謝申し上げます。

また、副指導教官として御指導、御鞭撻を頂いたロボティクス講座 小笠原 司教授、ならびにソフトウェア基礎講座 竹村 治雄助教授に心より感謝申し上げます。

そして、本研究を進めるにあたり、御助言や研究環境の整備等で多大な御協力を頂いたソフトウェア基礎講座 山澤 一誠助手に心より感謝申し上げます。

さらに、多くの御助言を頂いたソフトウェア基礎講座の 佐藤 哲氏、神原 誠之氏、松宮 雅俊氏、町田 貴史氏の先輩方、二年間苦楽を共に過ごしてきた同輩方、一年間ではありますが様々な面で支えて頂いた後輩方に心より感謝申し上げます。

最後に、日々の研究室での生活を支えて頂いたソフトウェア基礎講座元事務補佐員 福永 博美女史、現事務補佐員 北川 知代女史に心より感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 元木: “モニタリング技術,” テレビ誌, Vol.49, No.3, pp.260–283, 1995.
- [2] 増田: “セキュリティのための画像処理,” 信学誌, Vol.5, No.6, pp.591–595, 1992.
- [3] 大和, 佐藤: “人物自動監視のための画像処理,” 画像ラボ, Vol.3, No.3, pp.15–19, 1994.
- [4] T. Uhlin, P. Nordlund, A. Maki, and J.O. Eklundh: “Towards an active visual observer,” *Proc. of ICCV'95*, pp.679–686, 1995.
- [5] S. Rougeaux and Y. Kuniyoshi: “Velocity and disparity cues for robust real-time binocular tracking,” *Proc. of CVPR'97*, pp.1–6, 1997.
- [6] 村瀬, 和田, 松山: “回転を伴うカメラによる移動物体の検出,” 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU'98), Vol.I, pp.425–430, 1998.
- [7] Q. Cai and J.K. Aggarwal: “Tracking human motion using multiple cameras,” *Proc. of ICPR'96*, pp.68–72, 1996.
- [8] T.J. Olson and F.Z. Brill: “Moving object detection and event recognition algorithms for smart camras,” DARPA Image Understanding Workshop, Vol.1, pp.159–175, 1997.
- [9] T. Mori, Y. Kamisuwa, H. Mizoguchi, and T. Sato: “Action recognition system based on human finder and human tracker,” *Conf. of IROS'97*, pp.1334–1341, 1997.
- [10] T. Kanade, T. Collins, A.J. Lipton, P. Anandan, P. Burt, and L. Wixson: “Cooperative multi-sensor video surveillance,” DARPA Image Understanding Workshop, Vol.1, pp.115–122, 1998.

- [11] 中澤, 加藤, 井口: “分散カメラシステムによる人物の追跡,” 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU'98), Vol.II, pp.1-6, 1998.
- [12] Y. Onoe, K. Yamazawa, H. Takemura, and N. Yokoya: “Telepresence by real-time view-dependent image generation from omnidirectional video streams,” *Computer Vision and Image Understanding*, Vol.71, No.2, pp.399-406, 1992.
- [13] S.K. Nayar: “Catadioptric Omnidirectional Camera,” *Proc. of CVPR'97*, pp.484-488, 1997.
- [14] 三木, 山澤, 竹村, 横矢: “複数の全方位画像センサを用いた遠隔監視システム,” 信学技報, PRMU98-177, 1999.
- [15] 十河, 石黒, M.M. Trivedi: “複数の全方位画像センサによる実時間人間追跡システム,” 信学論, Vol.J83-D-II, No.12, pp.2567-2577, 2000.
- [16] Q. Huang, Y. Cui, S. Samarasekera, and M. Greiffenhagen: “Auto cameraman via collaborative sensing agents,” *Proc. of ACCV'98*, pp.418-425, 1998.
- [17] 金春, 八木, 矢内田: “全方位視ロボットと両眼視ロボットの連携による人物の発見と注視,” 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU'98), Vol.II, pp.7-12, 1998.
- [18] D. Gutchess and A. K. Jain: “Automatic surveillance using omnidirectional and active cameras,” *Proc. of ACCV2000*, pp.228-233, 2000.
- [19] “Combined Omnidirectional and Pan/Tilt/Zoom System,” Research Project in Omnidirectional Surveillance,
<http://www.cs.columbia.edu/CAVE/VSAM/projects/>.
- [20] 寺沢, 山澤, 竹村, 横矢: “3 台の全方位画像センサを使った重なり判定による位置推定,” 2000 信学ソ大, D-12-58, pp.245, 2000.

- [21] 寺沢, 山澤, 竹村, 横矢: “複数の全方位画像センサを用いた遠隔監視システムにおける複数移動物体の存在領域推定,” 信学技報, PRMU2000-195, 2001.
- [22] 山澤, 八木, 谷内田: “移動ロボットのための全方位視覚センサ HyperOmni Vision の提案,” 信学論, Vol.J79-D-II, No.5, pp.698-707, 1996.
- [23] 長井, 久野, 白井: “時空間情報に基づく侵入者監視システム,” 信学技報, PRU95-204, 1996.
- [24] 二宮, 太田: “オプティカルフローによる移動物体の検知,” 信学技報, PRMU97-28, 1997.
- [25] D.M. Gavrila and V. Philomin: “Real-time object detection for ”smart” vehicles,” *Proc. of ICCV'99*, pp.87-93, 1996.
- [26] 村上, 菊地: “画像処理を用いた侵入者検知装置 – MP30,” 信学技報, IE95-51, 1995.