

NAIST-IS-MT9751101

修士論文

複数の全方位画像センサを用いた遠隔監視システム

三木 隆太郎

1999年2月12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。

三木 隆太郎

指導教官： 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遠隔監視システム*

三木 隆太郎

内容梗概

遠隔地を監視する場合において、監視者の負担軽減とセキュリティ確保を満たした遠隔監視システムへの要求が高まっている。従来の遠隔監視システムの多くは固定の CCD カメラを使用しているため、その監視範囲は狭いものになってしまう。一方、可動カメラを使用した遠隔監視システムも一度に広視野を監視することはできず死角が存在する。

本研究では全方位画像センサを使用した遠隔監視システムの手法を提案し、プロトタイプシステムを構築した。提案手法は常に広視野を監視することが可能であり、さらに 2 台のセンサを利用することにより、対象物の位置推定と対象物の動きに追従した 2 方向からの画像提示による対象物の追跡が可能である。また、監視環境内に複数存在する対象物を、直前の位置と色情報を用いて同時に追跡することが可能であるという特徴を持つ。

本研究で構築したプロトタイプシステムは、実際に監視環境内に存在する 2 人の人物を、0.2 秒の更新間隔で、位置推定と 2 方向からの画像提示による監視・追跡を行なうことができた。常に広範囲を監視・追跡領域とし、複数の対象物にも対応でき、さらにこれらの処理を実時間で行なうことが可能な提案手法は、遠隔監視のための有力な手段を提供すると考えられる。

キーワード

監視システム, 全方位画像センサ, 三角測量, 対象物追跡, 位置推定, 透視投影画像

*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-MT9751101, 1999 年 2 月 12 日.

A Remote Surveillance System Using Omnidirectional Sensors*

Ryutarou Miki

Abstract

In remote visual surveillance, it is required to reduce the burden of surveyor and maintain the security. Conventional remote surveillance systems that use a single CCD camera suffer from a narrow field of view. On the other hand, the remote surveillance systems based on a rotating camera cannot observe the whole environment at once.

This paper presents a method of remote surveillance using omnidirectional image sensors. The proposed method acquires omnidirectional video streams of the whole environment around the sensors. It estimates the position of an intruder and presents its images from two directions in the surveillance area. When multiple intruders are in the surveillance area, the method can track them separately using their positions and color information.

Experiments have proven that a prototype system can survey and monitor intruders with the speed of 5 frames per second. These results show the possibility of a real-time video surveillance and monitoring system.

Keywords:

surveillance system, omnidirectional image sensor, object tracking, triangulation, position estimation, perspective image

*Master's Thesis, Department of Information Systems, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-MT9751101, February 12, 1999.

目次

1. はじめに	1
1.1 遠隔監視システムの従来手法	1
1.2 本研究の概要	4
2. 全方位画像センサ HyperOmni Vision	6
2.1 HyperOmni Vision の構成	6
2.2 HyperOmni Vision の特徴	9
3. 全方位画像からの対象物の検出	11
3.1 対象物の侵入検知	11
3.1.1 侵入検知の方針	11
3.1.2 背景差分を用いた侵入検知	12
3.2 対象物の領域抽出	12
3.2.1 領域抽出の方針	13
3.2.2 極座標変換を用いた領域抽出	15
3.3 対象物の方向導出	16
4. 位置推定と画像提示による対象物の追跡	18
4.1 対象物の位置推定	18
4.1.1 位置推定のための前提条件	18
4.1.2 複数対象領域間の対応付け	19
4.1.3 三角測量による位置推定	24
4.2 対象物に追従した透視投影画像提示	25
5. 遠隔監視システムの構築	27
5.1 システム構成	27
5.2 実験の設定	27
5.3 実験結果	30
5.4 考察	37

6. おわりに	38
6.1 まとめ	38
6.2 今後の課題	38
謝辞	41
参考文献	42

目 次

1	従来システムの位置推定可能範囲	2
2	全方位画像センサとパン/チルト/ズームカメラを用いたシステム	3
3	提案システムの位置推定可能範囲	5
4	HyperOmni Vision の外観と視覚系の構成	6
5	点の射影水平方向	7
6	点の射影鉛直方向	8
7	全方位画像	9
8	全方位画像と平面透視投影画像の関係	10
9	背景画像の取得	13
10	背景差分	13
11	領域分割の失敗例	14
12	極座標変換を用いた領域抽出	15
13	対象物の方向の導出	17
14	全方位画像センサの位置の導出	19
15	複数対象領域間の対応付け	21
16	両センサからの抽出領域の数が異なる場合の対応付け	22
17	カラーヒストグラムのための RGB 空間の分割	24
18	全方位画像センサと対象の位置関係	25
19	格子を用いた透視投影画像への変換	26
20	システム構成	28
21	実験環境	29
22	背景画像	29
23	人物が写ったときの画像	31
24	差分画像	31
25	2 値画像	32
26	極座標ヒストグラム	32
27	人物の 3 次元位置	33
28	人物の画像提示	33

29	実験結果	34
30	両センサの入力画像と 2 値画像	35
31	透視投影画像の提示による人物の追跡	36

表 目 次

1	HyperOmni Vision Ver.2A パラメータ	28
---	---	----

1. はじめに

近年，銀行やコンビニエンスストアなどといったある室内を，カメラなどの画像センサを用いて別の場所から監視する場合に代表される遠隔地の監視への要求 [1, 2] が高まっている．遠隔監視システムにおいては，監視者の負担軽減とセキュリティ確保のために，

- (1) 常に広視野を監視する，
- (2) 注目すべき対象あるいは異常状態を検出する，
- (3) 注目すべき対象の行動を追跡・分析する，

といった機能を自動で行なう技術が要求される．しかし，従来の遠隔監視システムには上の要求のすべてを満たすものは存在しなかった．本章では，1.1 節で遠隔監視システムの従来手法とその問題点，1.2 節で本研究で提案する遠隔監視手法の概要について述べる．

1.1 遠隔監視システムの従来手法

遠隔地の監視においては，遠隔地の情景を獲得するために CCD カメラなどを使用する手法が一般的である．しかし従来は標準レンズ¹などを取り付けたカメラが多く利用されており，観測視野がレンズの画角により制限され，環境全体の画像を同時に取得することが困難である．

この解決策として，監視者が手動でカメラの方向を制御しそのカメラからの画像を得る手法と，入力画像から物体の動きを予想し自動でカメラの方向を制御してそのカメラからの画像を得る手法 [3, 4, 5] がある．前者では監視者が常に撮影された画像を注視しておかなければならない．また，後者では広視野にわたり対象を追跡できるが，環境全体を常に監視することは不可能である．

また，その他の解決策として，複数のカメラを利用する手法 [6, 7] がある．この手法では環境全体を常に監視することが可能になる．しかし，各々のカメラで

¹画角 30-45 度程度のレンズ

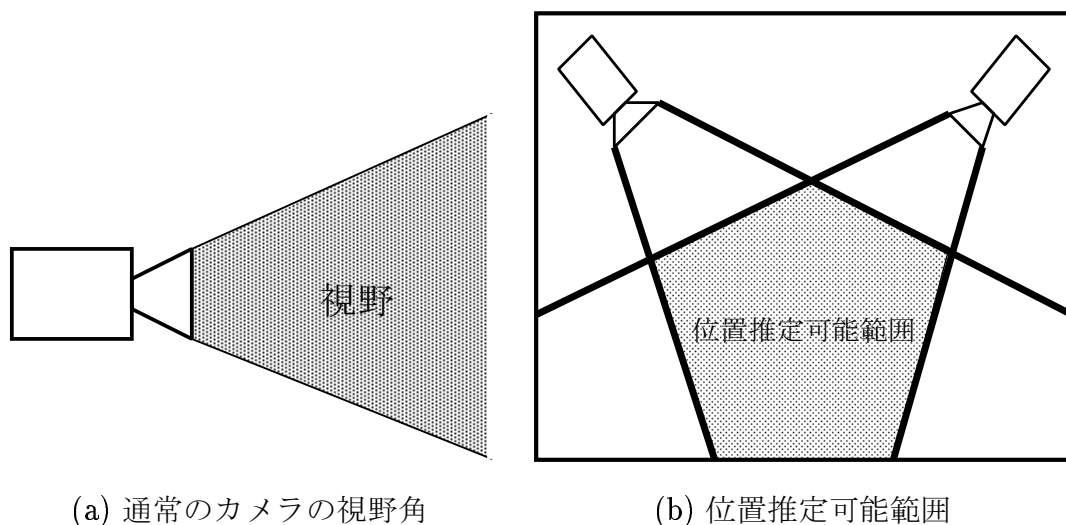


図 1 従来システムの位置推定可能範囲

監視できる範囲は小さいままであるため、注目すべき対象を追跡するには複数のカメラの画像を切り替えながら追跡する必要がある。また、この手法では三角測量により注目すべき対象の位置推定をするときにも問題がある。図 1(a) は通常のカメラとその視野角を上から見た図であり、灰色で示す領域が実際にカメラで監視する領域であるが、図からわかるようにカメラの死角になる部分が多く存在する。図 1(b) はそれを 2 台用いたときの位置推定可能範囲であるが、図からわかるように限られた範囲しか位置推定を行なうことができない。従って環境全体を位置推定可能範囲にしようとする、さらに多くのカメラを必要とする。

近年、これらの問題を解決するために、通常のカメラではなく全方位画像センサを用いた手法 [8] が考えられている。全方位画像センサとはセンサの周囲 360 度の情景を同時に取り込むことが可能な画像センサ [9] である。この手法でも環境全体を常に監視することが可能になる。全方位画像センサは入力画像が幾何学的に歪んでいるため、全方位画像センサの他にもう 1 台通常のカメラを用いて、そのカメラを対象物の追跡・視覚提示用に利用する手法 [10] が提案されている。図 2 に示すように、パン/チルト/ズームを行なうことが出来る可動式のカメラを全方位画像センサの他にもう 1 台用意し、これによって注目すべき対象を追跡し、その

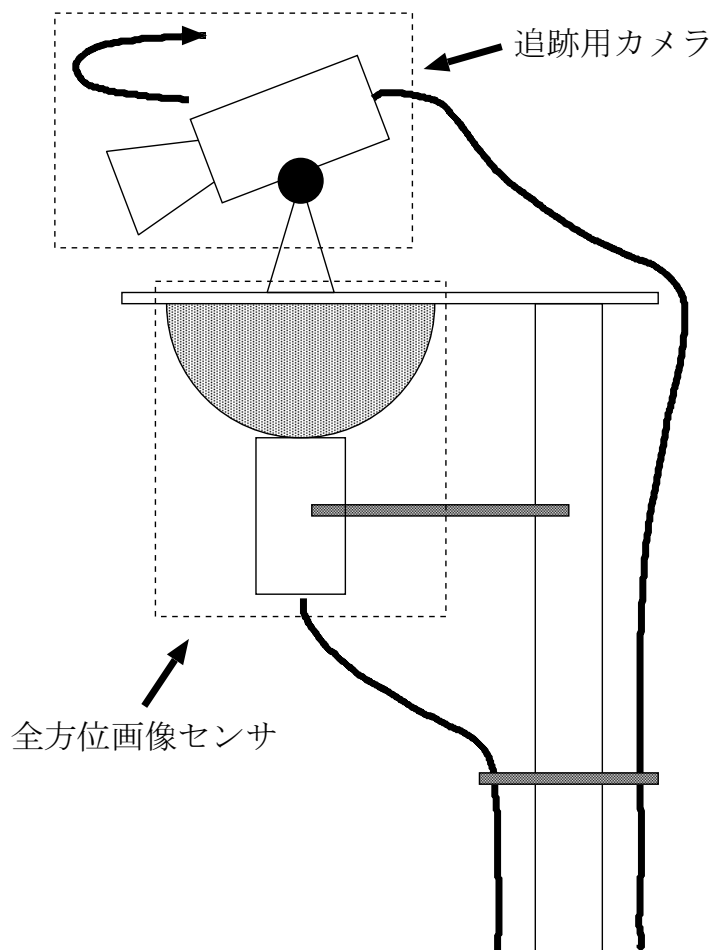


図 2 全方位画像センサとパン/チルト/ズームカメラを用いたシステム

画像を提示するというものである. しかしこの手法は, 追跡用のカメラという新たなハードウェアを追加しなければならないという問題がある. また, 対象の移動に対してカメラの方向を追従させるという機械的な追跡になるため, 対象が高速で移動した場合, カメラの追従が間に合わないことがある. さらに, 複数の対象が監視環境内に存在した場合でも, この手法では 1 つの対象の画像しか提示することができない.

1.2 本研究の概要

カメラを用いた遠隔監視システムにおいて、前節で述べたような広視野にわたり注目すべき対象を監視・追跡する際の問題に対して、本研究では環境全体を常に監視するために固定の全方位画像センサを複数利用する手法を提案する [11, 12].

本研究で提案する手法は固定の全方位画像センサを 2 台使用する。まず、入力画像より注目すべき対象を抽出し、全方位画像センサからの方向を導出する。そして、2 枚の全方位画像から三角測量の原理に基づいて注目すべき対象の位置推定を行ない、さらにそれぞれの全方位画像から対象物方向の透視投影画像を生成することによって、注目すべき対象に追従した 2 方向からの画像提示を行なうことで注目すべき対象を追跡する。ここで、監視環境内に注目すべき対象が複数存在する場合、2 つの全方位画像センサからそれぞれ複数の領域が抽出されることになるので、その複数の領域同士について、領域間の対応付けに直前の位置情報と注目すべき対象の色情報を用いる。なお本研究では、全方位画像センサの中でも、一般のカメラ画像と同様の画像提示が可能なことから、我々の研究室において従来から開発してきた HyperOmni Vision [13] を利用する。

本研究で提案する手法の特徴としては、まず位置推定可能範囲の違いが挙げられる。図 3(a) は全方位画像センサとその視野角を上から見た図であり、灰色で示す領域が実際に全方位画像センサで監視する領域である。図からわかるように水平方向に 360 度全方位の監視領域を持つ。図 3(b) はそれを 2 台用いたときの位置推定可能範囲であるが、図からわかるようにお互いの画像センサの影と両センサの直線上を除く全領域で位置推定を行なうことが原理的に可能であり、前節の図 1 と比較して分かるように、通常のカメラを用いた場合よりも格段に位置推定可能範囲を広くすることができる。従って、1 つの部屋全体を対象の位置推定可能範囲としたい場合、必要なカメラの数が少なく実現できるので、システムの構築が容易になる。

また、本研究では入力全方位画像より透視投影画像を生成し、それを用いて対象物方向の画像提示を行なう手法を用いる。この手法では、入力画像の一部に対する画像変形によって透視投影画像を生成するため、解像度が低いという欠点を持つが、高速で移動する対象でも常に追跡することが可能である。また複数の

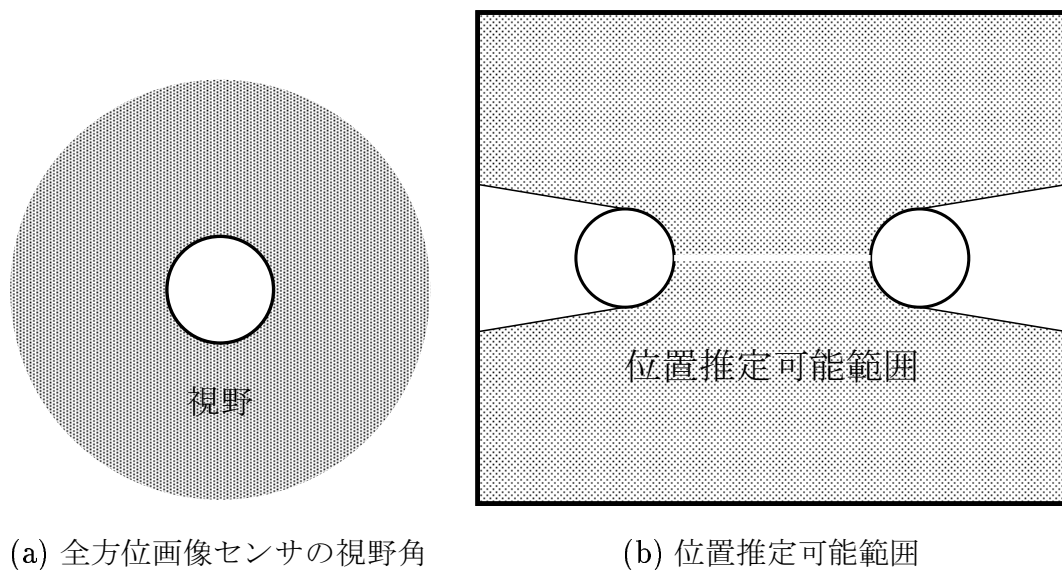


図 3 提案システムの位置推定可能範囲

対象が監視環境内に存在した場合でも、それぞれの方向の画像を変換すればよいので、対象が複数でも追跡することが可能である。

さらに、監視環境内に注目すべき対象が複数存在する場合の複数対象領域間の対応付けについて、本研究では直前の位置情報と注目すべき対象の色情報の 2 段階での対応付けを行なうことによって、様々な状況での対応付けを可能にした。

以下、2 章では本研究で利用した全方位画像センサ **HyperOmni Vision** について述べる。3 章では 2 台の全方位画像センサを用いて監視環境内に存在する注目すべき対象を監視する際の、全方位画像からの対象物の検出手法について述べる。4 章では 2 台の全方位画像センサを用いて監視環境内に存在する注目すべき対象を監視する際の、位置推定と画像提示による対象物の追跡手法について述べる。5 章では本研究で構築した遠隔監視システムと実験結果について述べる。最後に 6 章では、本論文のまとめと今後の課題について述べる。

2. 全方位画像センサ HyperOmni Vision

本章では, 本研究で使用した全方位画像センサ HyperOmni Vision [13] について述べる. まず最初に 2.1 で本センサの構成を示し, 次に 2.2 節で本センサの特徴について簡単に述べる.

2.1 HyperOmni Vision の構成

全方位画像センサ HyperOmni Vision は, 図 4(a) に示すように鉛直下向きに設置した二葉双曲面ミラーとその下に鉛直上向きに設置した CCD カメラから構成される. HyperOmni Vision の視覚系の構成を図 4(b) に示す. ここで, ミ

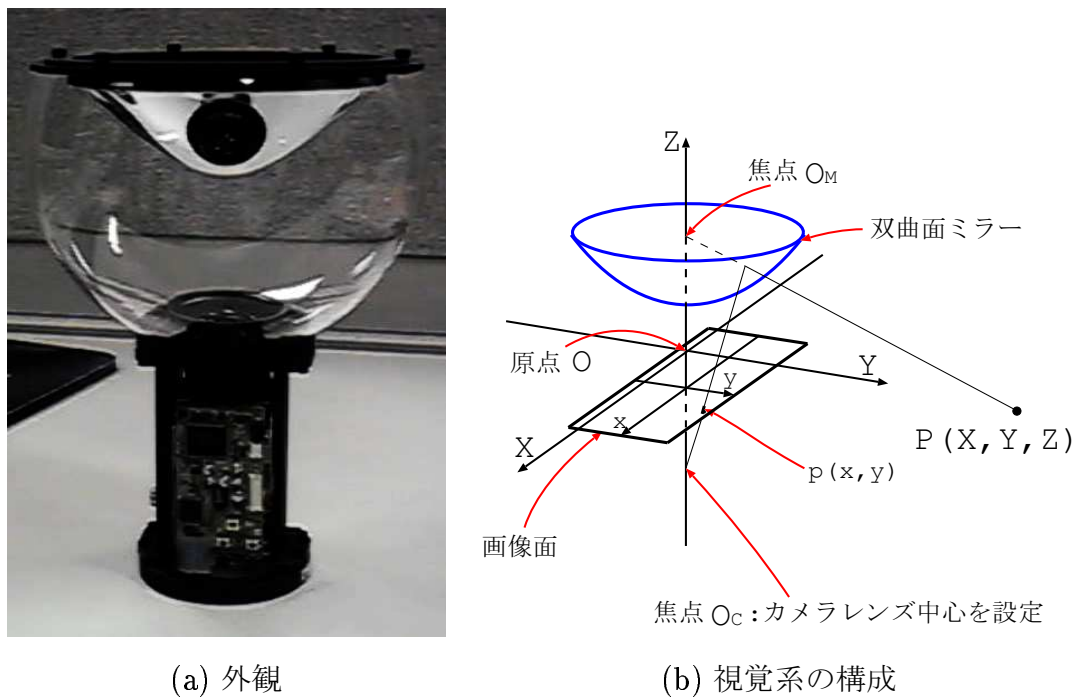


図 4 HyperOmni Vision の外観と視覚系の構成

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

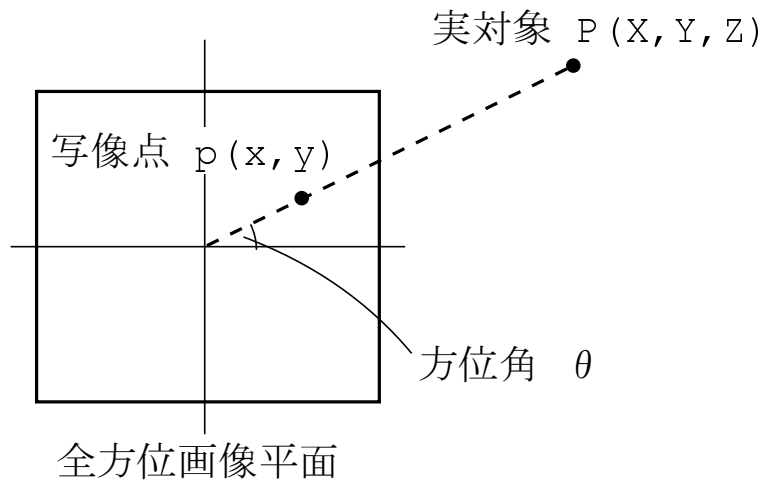


図 5 点の射影水平方向

心 O_C からカメラの焦点距離 f だけ離れた平面とする。ミラー面とその焦点 O_M 、カメラのレンズ中心 O_C は次式で表わされる。

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

ここで a , b は双曲面の形状を定義する定数である。

空間内の任意の点 $P(X, Y, Z)$ 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 は次式で表わされる。

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

即ち Y/X で定まる P の方位角 θ は、図 5 に示されるように、 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。

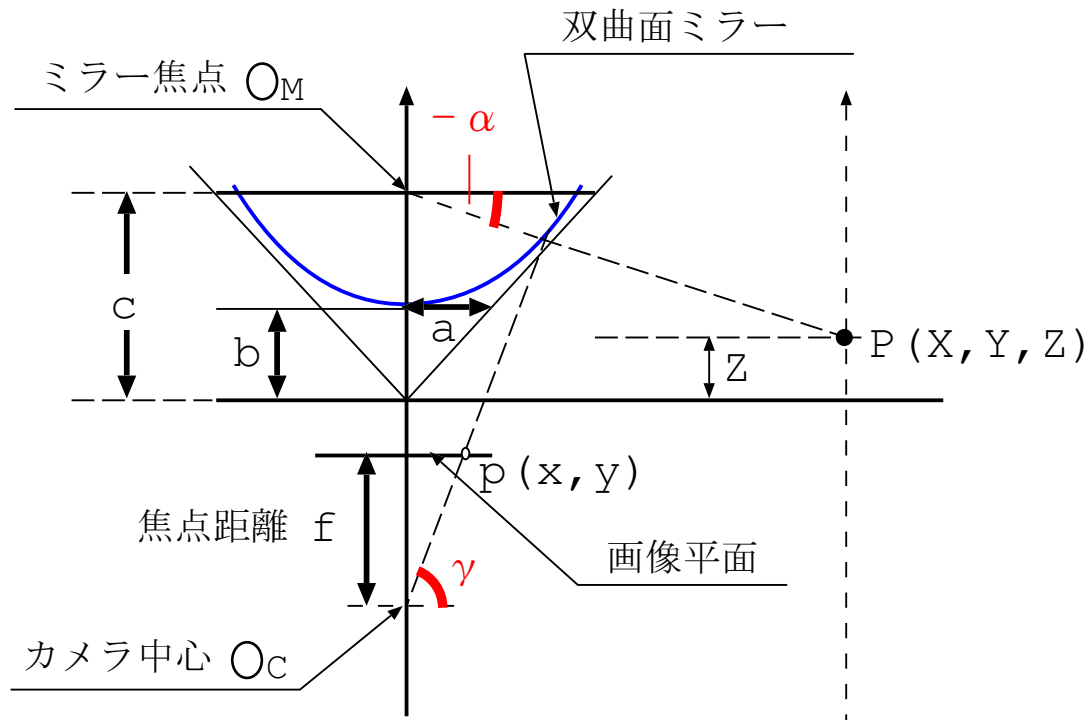


図 6 点の射影鉛直方向

図 6 は点 P と Z 軸を含む画像センサの鉛直断面である．ここで，点 P と写像点 p の間には次式の関係が成り立つ．

$$\begin{aligned}
 Z &= \sqrt{X^2 + Y^2} \tan \alpha + c \\
 \alpha &= \tan^{-1} \frac{(b^2 + c^2) \sin \gamma - 2bc}{(b^2 - c^2) \cos \gamma} \\
 \gamma &= \tan^{-1} \left(\frac{f}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right)
 \end{aligned} \tag{3}$$

即ちミラーの焦点 O_M からの点 P の方位角 θ 及び仰角 α は，写像点 $p(x, y)$ より一意にもとまる．よって 3 次元環境中の点 $P(X, Y, Z)$ と全方位画像上の写像点 $p(x, y)$ の間には次式の関係が成立する．

$$\begin{aligned}
 x &= X \times f \times \frac{(b^2 - c^2)}{(b^2 + c^2)Z - 2bc\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}} \\
 y &= Y \times f \times \frac{(b^2 - c^2)}{(b^2 + c^2)Z - 2bc\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

2.2 HyperOmni Vision の特徴

HyperOmni Vision は, 得られる全方位画像から一般の透視投影画像に変換することが可能であるという特徴を持つ. HyperOmni Vision を用いて得られる全方位画像を図 7に示す.

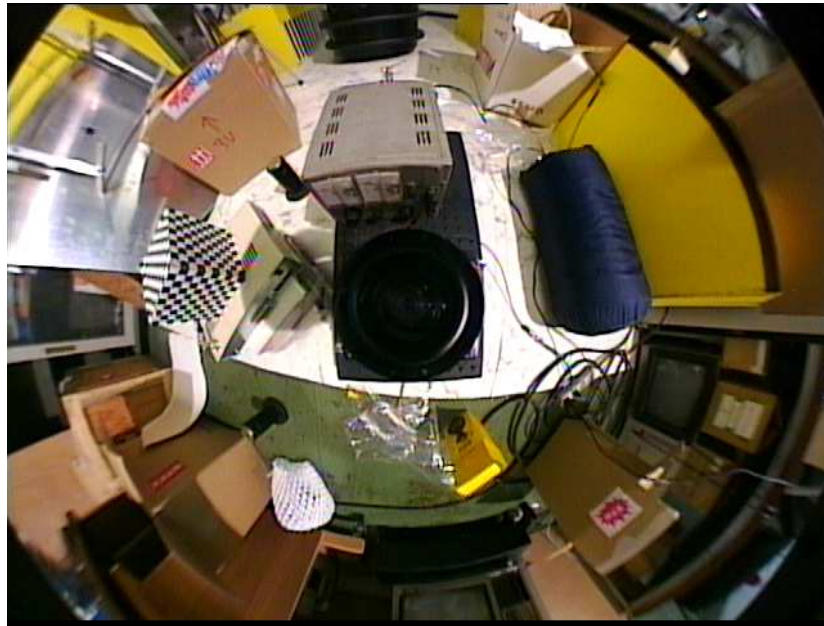
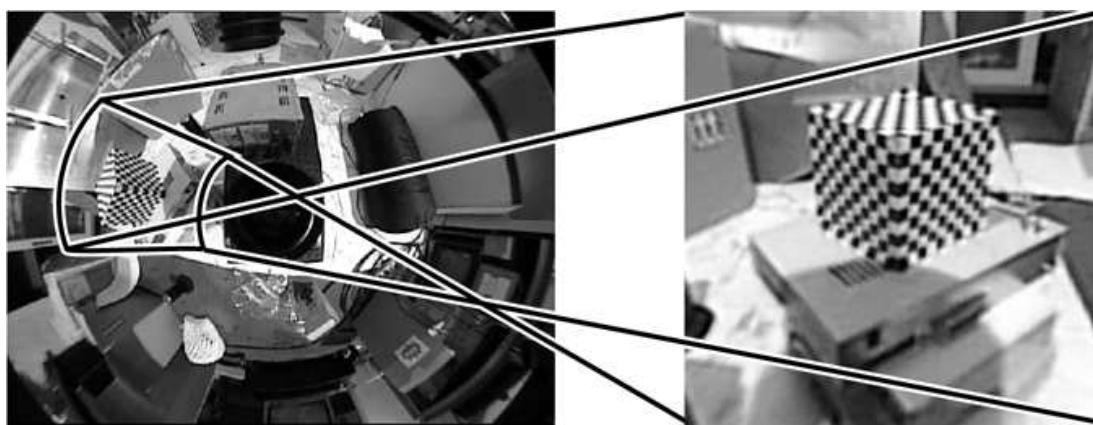


図 7 全方位画像

図 7からわかるように, 全方位画像には周囲 360 度の情報が含まれている. ここで図 6よりミラーの焦点 O_M は固定なため HyperOmni Vision の入力画像は双曲面への 1 点中心投影画像であり, 図 8 (a) に示すような全方位画像から図 8 (b) に示すようなミラーの焦点 O_M から見た一般の平面透視投影画像に変換すること



(a) 全方位画像

(b) 平面透視投影画像

図 8 全方位画像と平面透視投影画像の関係

が可能である．本研究ではこの特徴を用いて追跡対象の画像提示を行なう．

3. 全方位画像からの対象物の検出

注目すべき対象が監視環境内に存在する場合, 対象物が写った全方位画像が得られるが, その全方位画像から対象物を検出する必要がある. 本章では, 全方位画像センサを用いて監視環境内に存在する注目すべき対象を監視する際の, 全方位画像からの対象物の検出手法について述べる.

以下, 3.1 節では全方位画像から対象物の侵入を検知する手法について述べる. 3.2 節では, 対象物の侵入検知を行なった後, その対象物の領域を抽出する手法について述べる. 3.3 節では, 抽出した対象物領域より, 全方位画像センサからの対象物の方向を導出する手法について述べる.

3.1 対象物の侵入検知

入力される全方位画像から対象物の侵入を検知する手法はいくつか考えることができる. 3.1.1 節では, 侵入検知の方針について検討する. 3.1.2 節では, 本研究における背景差分を用いた侵入検知の概要について述べる.

3.1.1 侵入検知の方針

まず最初に, 本研究では注目すべき対象の定義として, 監視環境内に新たに入ってきたもの, もしくは監視環境内で移動した (している) ものとする. 入力される全方位画像から対象物の侵入を検知する手法には, 以下の手法が考えられる.

オプティカルフロー 動物体の画面上での動きを用いて対象物の侵入検知を行なう手法 [14, 15] である. しかしこの手法は, 正確に対象物を分離する精度を保つには膨大な計算量を必要とする. また, 対象物が静止してしまった場合や複数の対象物が存在した場合, この手法は対象物の検知を行なうことができない.

テンプレートマッチング あらかじめ画面上の動物体を切り出してテンプレートとし, 入力画像からそのテンプレートと同じ部分画像を捜し出す手法 [16, 17] である. しかしテンプレートの作成に工夫が必要であり, また対象物の向き

の変化に弱いといった欠点を持つ。さらに入力画像が全方位画像と特殊な画像なために、やはり計算量が膨大な処理になってしまう。

背景差分 あらかじめ対象物の写っていない背景画像を取得しておき、入力画像と背景画像との差分をとることによって、対象物を検知する手法 [1, 18] である。これは最も簡便な手法で、単純な処理なので少ない計算量で行なうことが可能である。また、オプティカルフローと違い対象物を分離しやすく、さらにテンプレートマッチングのような対象物の向きの影響を受けないという長所がある。

本研究では、遠隔監視のためには確実に対象物を検知することができ、それを実時間で行なうことが必要と考え、背景差分を用いた対象物の侵入検知を行なうことにした。

3.1.2 背景差分を用いた侵入検知

まず、2 台の全方位画像センサそれぞれについて、図 9 に示すようにしてあらかじめ対象物の写っていない状態の画像を背景画像として取得する。

監視環境内に対象物が侵入した場合、図 10 左に示すような対象物が写った全方位画像が得られるので、その入力画像とあらかじめ取得していた背景画像（図 9）との差分をとることによって、図 10 右に示すような差分画像を取得する。

この差分画像を固定閾値により 2 値化することで得られる 2 値画像によって対象物の検知を行なう。しかし、この状態で得られる 2 値画像には、対象物以外にも不必要な変化成分や、対象物に小さな穴や細いくぼみが生じるなどのノイズが存在する。

3.2 対象物の領域抽出

前節で述べた方法よりノイズの存在する 2 値画像を得ることができるので、次にその 2 値画像から対象物領域を抽出する。3.2.1 節では、領域抽出の方針について検討する。3.2.2 節では、本研究における極座標変換を利用した領域抽出の方法について述べる。

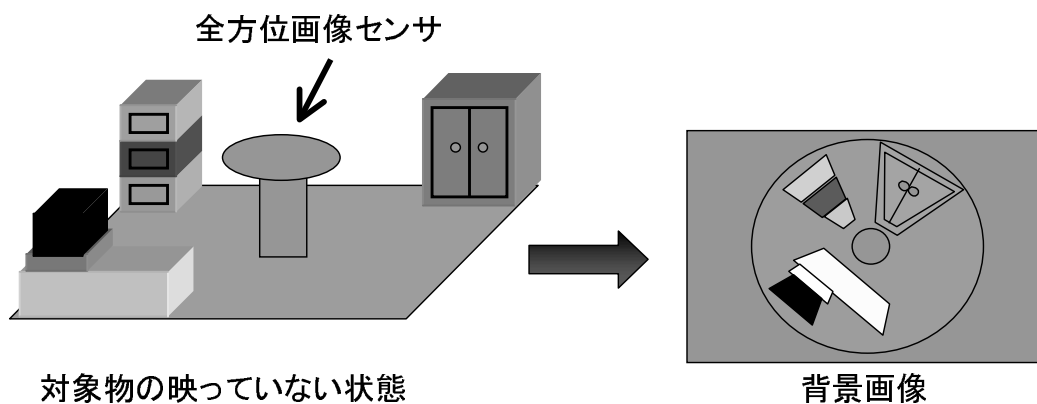


図 9 背景画像の取得

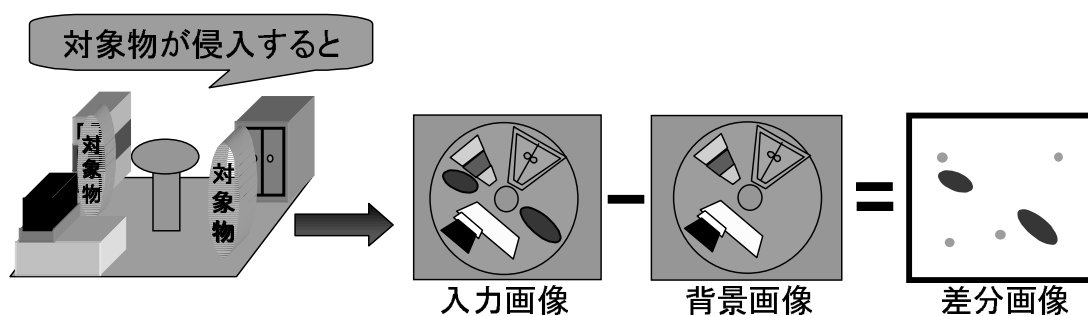


図 10 背景差分

3.2.1 領域抽出の方針

ノイズの存在する 2 値画像から対象物の領域を抽出するには、2 値画像からノイズを除去し、さらに複数存在する領域を分離する必要がある。

2 値画像からノイズを除去する手法として、近傍点を用いた収縮 [19, 20] が挙げられる。収縮は用いる近傍点の数を増やすほどノイズに対するロバスト性も増すが、計算量もそれに比例して増えてしまうので実時間性を保つ上で問題がある。

また複数存在する領域を領域分割する手法として、各領域の連結成分を調べる方法 [21] が挙げられる。しかしこの方法では、図 11の右下の大きな領域のように

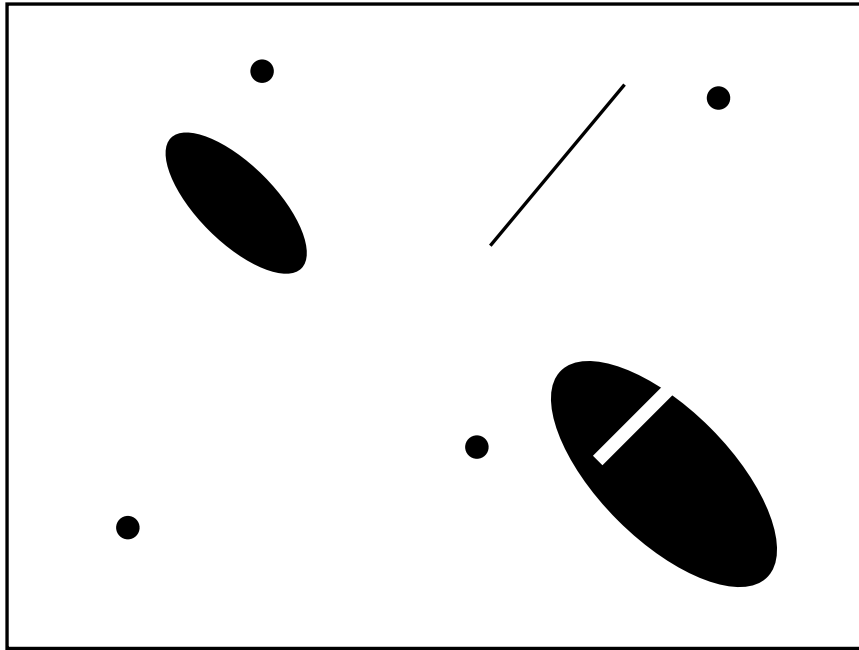


図 11 領域分割の失敗例

ひとつの対象物領域がノイズにより分かれてしまっている場合, ひとつの対象物領域を別々の領域として分割してしまうことになる. また, 図 11 の右上のような入力画像のエッジ部で生じる連結したノイズもひとつの領域として抽出してしまうことになる.

さらに, ノイズを除去し領域を分割するために, 収縮を行なった後に連結成分を調べた場合, 収縮において前で述べたように, 用いる近傍点の数を増やすほどノイズに対するロバスト性が増すが, 近傍点の数を増やすことによって, 図 11 の右下の大きな領域のように対象物領域内に大きなノイズが生じている場合, 収縮を行なわなければひとつの領域だが, 収縮を行なうと 2 つの領域に分離してしまうこととなり, ノイズに対するロバスト性と領域分割の正確性との両立が難しくなる.

そこで本研究では, ノイズに対するロバスト性を保ちながら領域分割を正確に行なうことができ, さらに少ない計算量で行なうことが可能な対象物の領域抽出方法として, 極座標変換を利用した手法を考案した. 次節でその手法について詳しく説明する.

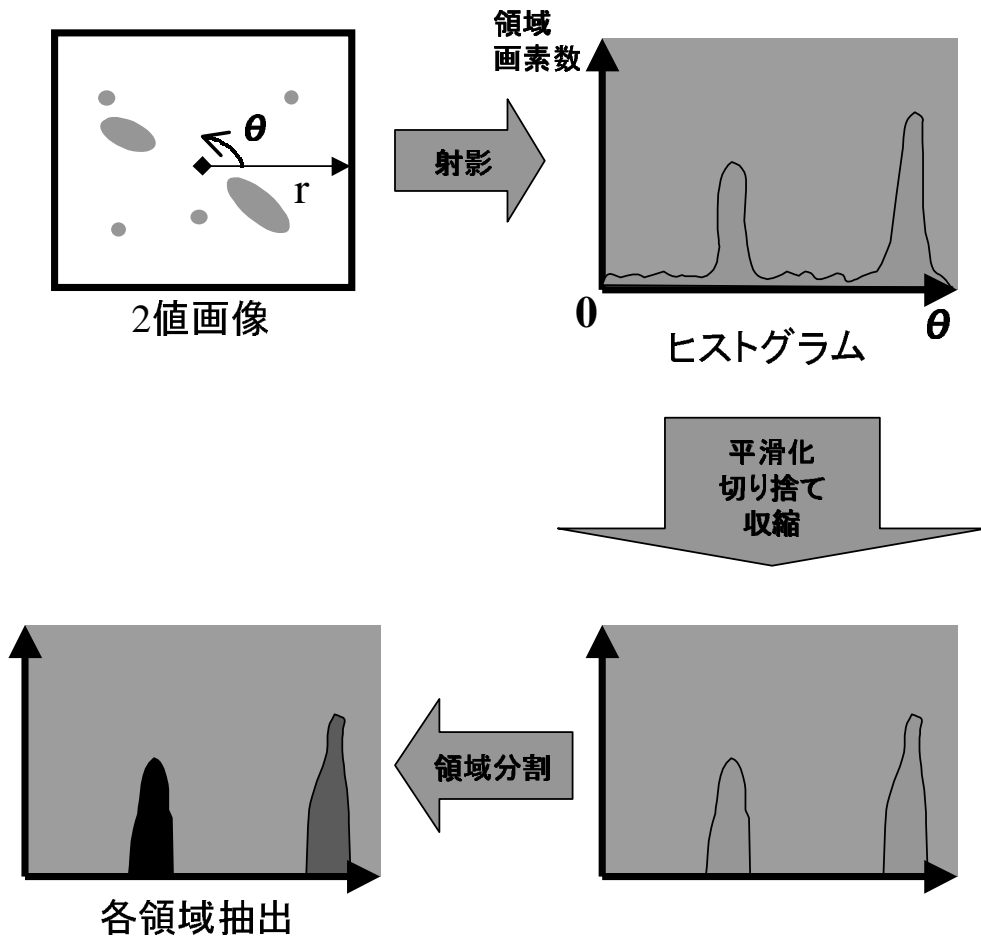


図 12 極座標変換を用いた領域抽出

3.2.2 極座標変換を用いた領域抽出

図 12 左上のように、ノイズの存在する全方位 2 値画像を画像上に写るカメラ中心を原点とした極座標 (r, θ) 変換し、 θ 軸への射影を求めることにより図 12 右上のような極座標方向のヒストグラムを作成する。横軸は角度 θ 、縦軸はその角度に存在する対象物候補画素数である。そして得られた極座標方向のヒストグラムからノイズを除去するために、いくつかの処理を行なう。

まず最初にヒストグラムの平滑化を行なう。ある角度 θ_a において、その近傍 4 点を用いた計 5 点の平均を θ_a の値とする。これを全角度において行なうこと

によって、ヒストグラムを平滑化する。次に固定閾値による切捨てを行なう。固定閾値を設定し、平滑化されたヒストグラムにおいてその閾値以下の値の角度は、その値を切り捨てることにする。これにより、ヒストグラムから固定閾値以下の値は除去される。最後にヒストグラムに収縮を行なう。平滑化、切捨てを行なったヒストグラム中で、値が残っているある角度 θ_b において、その近傍 2 点の両方に値が残っている場合のみ θ_b の値を残し、その他の場合は θ_b の値を切り捨てることにする。これにより、ある一定以下の幅しか持たない領域は除去される。

以上、平滑化・切捨て・収縮を行なうことによって、図 12 右下のようにヒストグラムからノイズを除去する。ノイズが除去されることによって容易に領域を分割することが出来るので、図 12 左下のように領域分割によって極座標方向のヒストグラム上での各対象物領域を抽出する。

3.3 対象物の方向導出

前節で極座標方向のヒストグラム上での各対象物領域を抽出することができたので、その結果から対象物の方向を導出する。抽出領域を構成する全画素の方位角の平均から、図 13 左上に示すように各対象物領域の重心角度を求める。この重心角度より、図 13 右上に示すように 2 値画像内での各領域の重心方向が求まる。この重心方向より、図 13 下に示すように全方位画像センサからの対象物の方向を導出する。

これらの処理を 2 つの全方位画像センサそれぞれについて行なうことにより、両方の全方位画像センサからの対象物の方向を導出する。

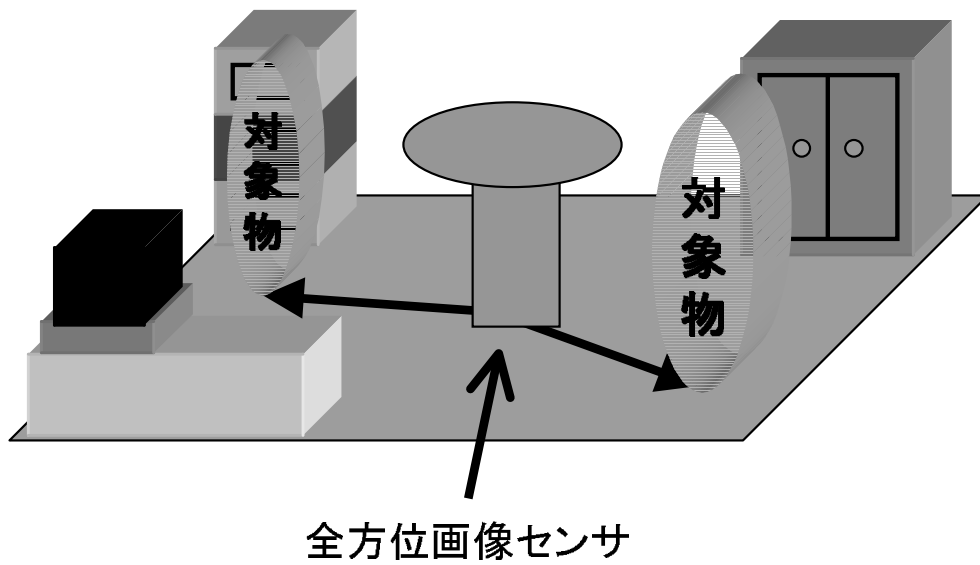
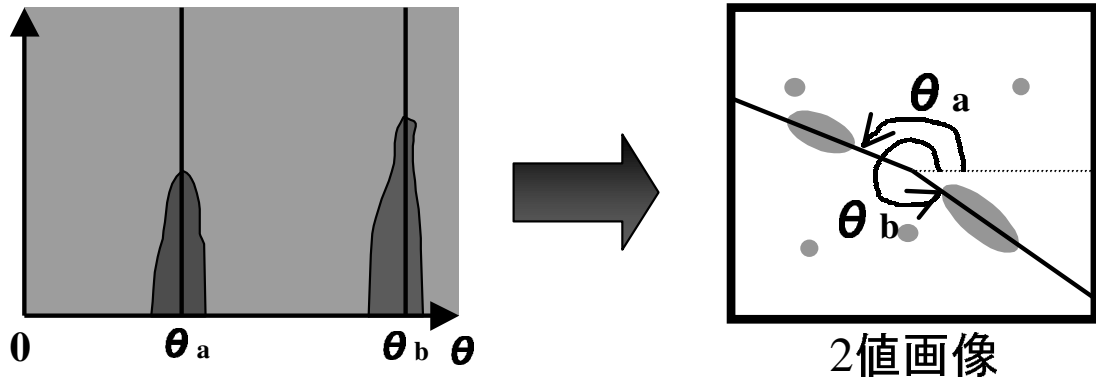


図 13 対象物の方向の導出

4. 位置推定と画像提示による対象物の追跡

対象物の位置推定を連続的に行なうことによって、現在の位置や今までの移動の軌跡を把握することが出来る。また、対象物の動きに追従した方向の透視投影画像を常に提示することによって、対象物およびその付近の環境を映像として把握することが出来る。本章では、対象物の位置推定と対象物に追従した透視投影画像提示による対象物の追跡について述べる。

以下、4.1 節では対象物の位置推定の手法について述べる。4.2 節では、対象物に追従した透視投影画像提示の手法について述べる。

4.1 対象物の位置推定

本研究では位置推定を行なうために、前提条件を設定し、複数対象領域間の対応付けを行なった後、三角測量を用いることによってこれを実現する。

以下、4.1.1 節では位置推定のための前提条件を、4.1.2 節では対象物が複数存在した場合の複数対象領域間の対応付けを、4.1.3 節では三角測量による対象物の位置推定について述べる。

4.1.1 位置推定のための前提条件

本研究では三角測量により位置推定を行なう。その際、対象物の座面上における2次元位置のみを推定し、高さについては重要でないため推定しないとした。全方位画像センサを用いて三角測量を行なうためには、以下の前提条件が必要になる。

- 2つの全方位画像センサの両方に対象物が写っていること。
- 2つの全方位画像センサの位置が既知であること。

そこで、両方の全方位画像センサに対象物が写ったときに位置推定を可能にするため、2つの全方位画像センサの位置を導出しておく必要がある。

まず2台の全方位画像センサを同一平面上に鉛直に固定し、片方のセンサを図14上に示すように監視環境の原点 $(0, 0)$ と定義する。そして、図14中央左に示す

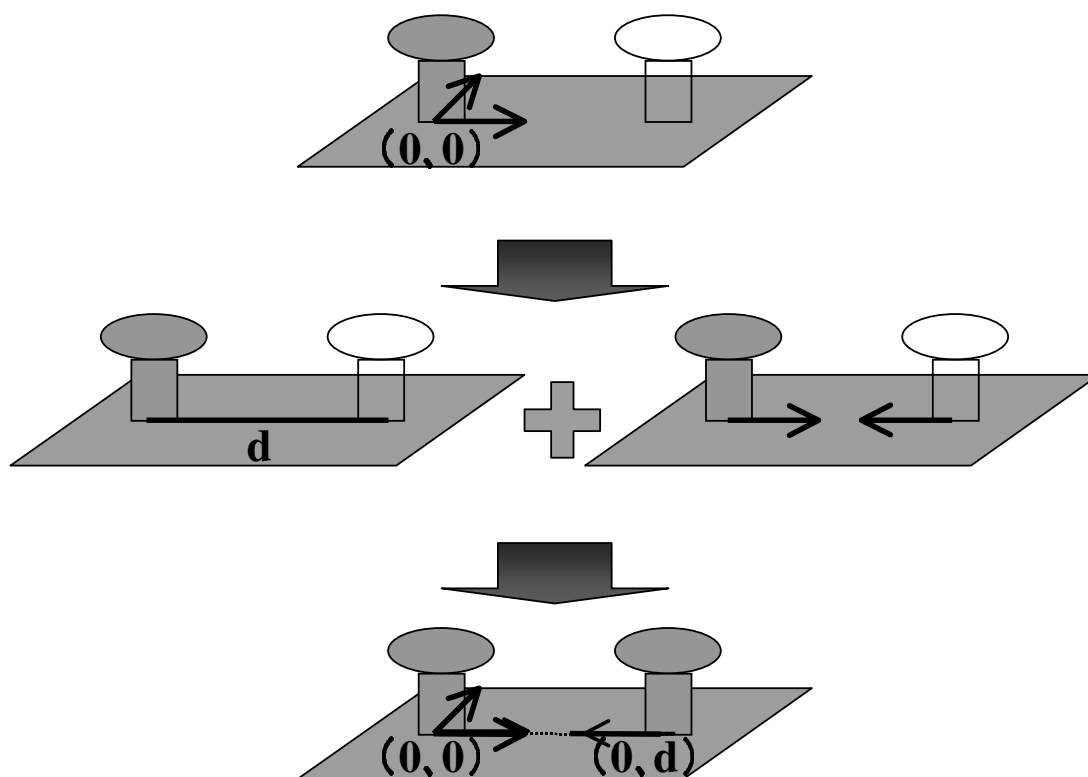


図 14 全方位画像センサの位置の導出

両センサ間の距離の測定と、図 14 中央右に示すお互いのセンサの入力画像に写る相手のセンサの画像上での方向の導出を行なう。センサ間の距離と入力画像上の相手のセンサの方向より、図 14 下に示すもう片方のセンサの座標値を導出する。

4.1.2 複数対象領域間の対応付け

対象物が複数存在した場合、両センサから複数の対象物領域が抽出されるので、どの抽出領域同士が同じ対象物の領域を示したものなのか、両センサの領域間での対応付けを行なう必要がある。本研究では、直前の位置情報を用いた対応付けと、対象領域の色情報から生成するカラーヒストグラムを用いた対応付けの 2 種類の対応付けを行なう。

まず、以下のような場合であれば直前の位置情報を用いた対応付けを行なう。

- (1) 直前の画像と現在の画像、抽出される対象領域の数が両センサ共に等しいとき.
- (2) 直前の画像に比べ、現在の画像から抽出される対象領域の数が両センサで等しいか少ないとき.
- (3) 直前の画像に比べ、現在の画像から抽出される対象領域の数が両センサ共に1つ多いとき.

(1) の場合は、監視環境内にいる対象の数に変化がないと判断する. (2) の場合で、両センサから抽出される領域の数が等しく減ったときは、減った領域の数だけ監視環境内にいる対象の数が減少したと判断する. 対象の位置関係から片方のセンサにおいて複数の対象が見かけ上重なって写ってしまうことにより、両センサから抽出される領域の数が異なる場合は、両センサから抽出される領域の数を比較し、多い方の数を監視環境内にいる対象の数と判断する. (3) の場合は、監視環境内にいる対象の数がひとつ増えたと判断する.

以上のような場合のみ直前の位置情報を用いた対応付けが行なわれる. 従って、2つ以上の対象物が同時に監視環境内に出現することにより、両センサの対象領域が2つ以上増えた場合や、対象の位置関係から複数の対象物が見かけ上重なって1つになっていた領域が離れることにより、片方のセンサのみ対象領域の数が増えた場合などは、直前の位置情報では対応付けが不可能と判断する. そこで、直前の位置情報による対応付けが不可能な場合で、現在の両センサから抽出される対象領域の数が等しい場合のみ、対象領域の色情報から生成するカラーヒストグラムを用いた対応付けを行なう.

しかし、上記の3つの条件に当てはまらず、しかも現在の両センサから抽出される対象領域の数も等しくない場合は、領域間の対応付けを行なうことができないという問題が生じる. この問題については6.2節の今後の課題で詳しく述べるが、新たな対応付けの処理が必要になると考えられる.

[1] 直前の位置情報を用いた対応付け

図15左上に示すように、保持しておいた直前の対象物の位置から、両センサからの画像上での対象物の方向を求める. そしてその方向を、図15右上に示すよう

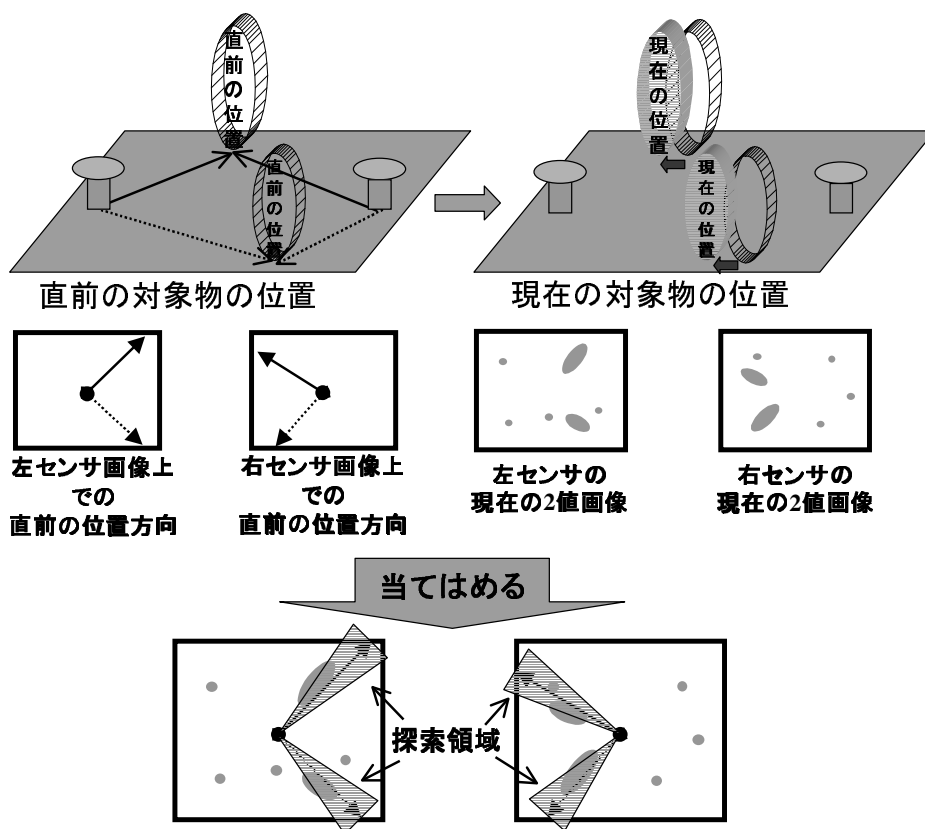


図 15 複数対象領域間の対応付け

に両センサから入力される現在の2値画像に対して、図15下に示すように当てはめる。そして、図15下に示すように直前の位置方向の一定角度付近を探索領域とし、その探索領域の中で最も近い領域同士を同じ対象のものであるとして、対応付けを行なう。これを直前の対象物の位置すべてについて行なうことによって、全領域の対応付けを行なう。

新たに対象物が監視環境内に現れた場合、すなわち両センサから抽出される領域が共にひとつ増えた場合は、両センサから選出されない領域がひとつずつ残るので、それを新たな対象物の領域であると判断し、対応付けを行なう。逆に対象物が減った場合、すなわち両センサから抽出される領域がひとつずつ減った場合は、図15下で示したような探索領域では現在の領域と対応がつかない直前の位置がひ

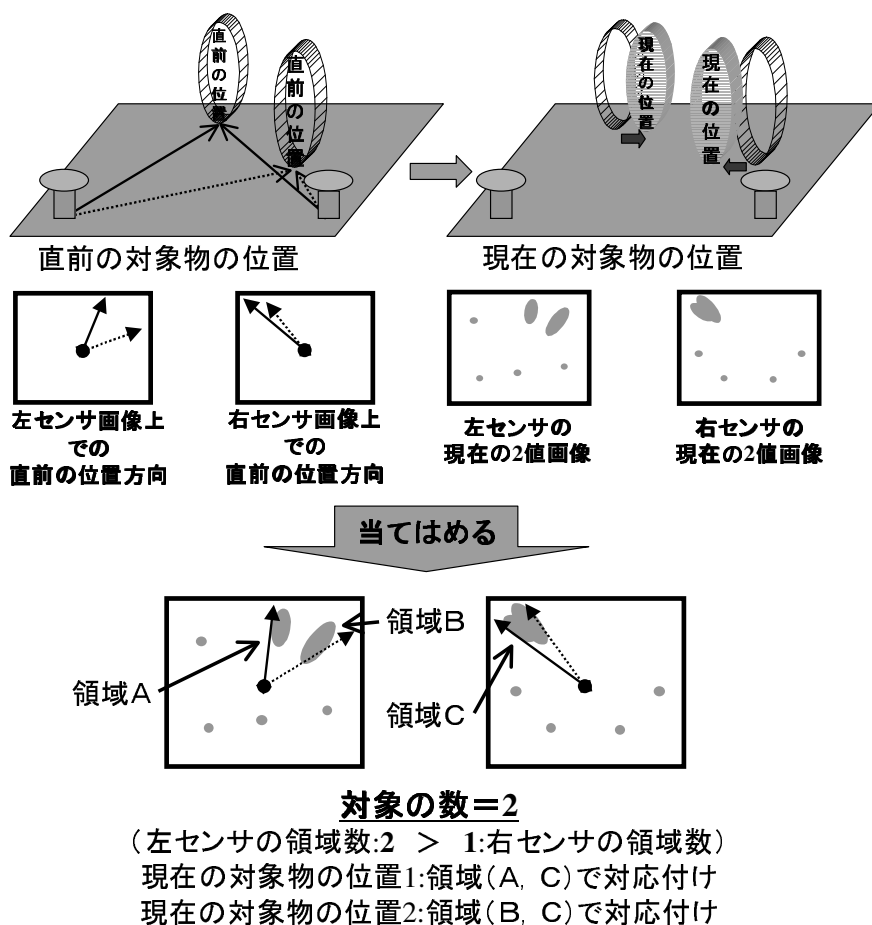


図 16 両センサからの抽出領域の数が異なる場合の対応付け

とつ存在するので、それが存在しなくなった対象物として認識し、対応付けから除外する。対象物の数は変化しないが、対象の位置関係から片方のセンサにおいて二つの領域が見かけ上重なることによって領域の数が減少した場合は、図 16 右上の 2 値画像のように両センサの領域の数が異なってくる。その場合、同様に対応付けを行なうと図 16 中央のように直前の位置に対応する領域が重複することになるが、対象物の数は両センサの領域の数の多い方として認識している（図 16 の場合は下に示す式のように対象物の数は 2 つと認識）ので、同じ領域を複数の領域と対応付けする。

[2] カラーヒストグラムを用いた対応付け

カラーヒストグラムは, 画像検索システム [22, 23] などで採用されている画像特徴のひとつである [24]. カラーヒストグラムを生成する色空間には様々な表色系が提案されているが, 本研究では, 色空間に RGB 空間を採用する. カラーヒストグラムに基づいた画像間の類似度評価は, 一般的に次の3つのステップからなる.

Step 1 色空間 C を n 個のセル c_i に分割する. $C = \{c_i | i = 1, \dots, n\}$

Step 2 色空間 C 中の画像 I のヒストグラムを $\overrightarrow{H_C(I)} = \{pixcnt(I, c_i) | i = 1, \dots, n\}$ とする. ここで, $pixcnt(I, c_i)$ とは, 色空間 C のセル c_i に落ちる I のピクセルの数とする.

Step 3 画像 I と画像 J との類似評価関数 $S(\overrightarrow{H_C(I)}, \overrightarrow{H_C(J)})$ を定義し, S の値で画像間の類似度を決定する.

本研究における対象領域間での類似度計算のアルゴリズムは次のようになる.

- (1) 図 17 に示すように, RGB 空間を R, G, B 軸それぞれ 8 等分し合計 512 セルに分割する.
- (2) 片方の全方位画像センサから導出されたある領域 I に存在する画素の色情報から, 上記の Step 2 の方法に基づいてヒストグラムを生成し, 領域の面積に依存しないヒストグラムにするために領域の面積で割ることによって, 正規化されたカラーヒストグラムを抽出する.
- (3) もう一方の全方位画像センサから導出されたある領域 \tilde{I} に存在する画素の色情報から, 同様に正規化されたカラーヒストグラムを抽出する.
- (4) 類似評価関数 $S = \sum_{j=1}^{512} \min(I_j, \tilde{I}_j)$ を用いて領域間のカラーヒストグラムの類似度 S を導出する [24]. ここで, I_j 及び \tilde{I}_j は, 領域 I , 領域 \tilde{I} から抽出したカラーヒストグラムにおけるセル j の度数を指す.

片方の全方位画像センサから導出されたある領域 I ともう一方の全方位画像センサから導出された全領域 \tilde{I} を評価し, 最も類似度の大きいものを同じ対象の領域であるとして, 領域の対応付けを行なう.

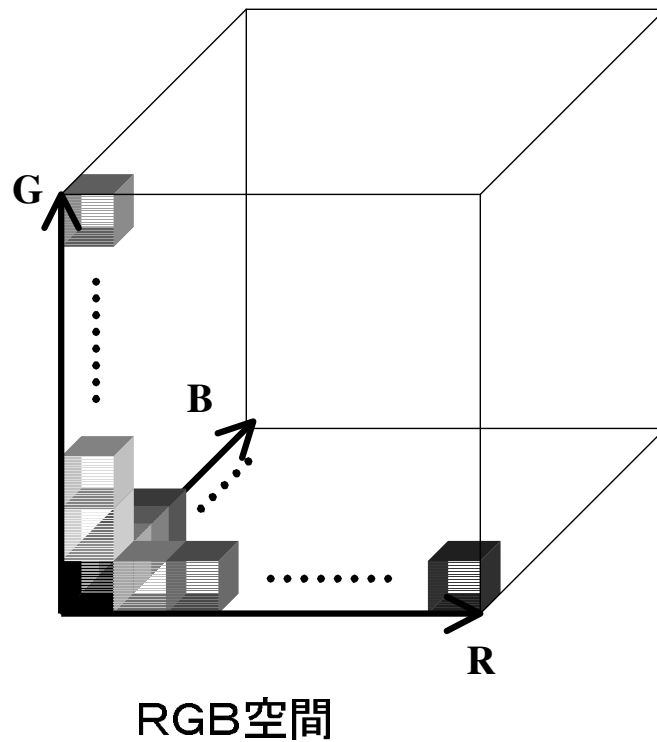


図 17 カラーヒストグラムのための RGB 空間の分割

4.1.3 三角測量による位置推定

4.1.1 節で導出された両全方位画像センサの位置と, 3.3 節で導出された両全方位画像センサからの対象物の方向, さらに 4.1.2 節でそれぞれの対象物方向の対応がとれているので, 図 18 のような全方位画像センサと対象物の位置との 2 次元での関係が得られる. ここで図 18 に示すように, 各々の全方位画像センサからの対象方向 θ_1, θ_2 と 2 つの全方位画像センサ間の距離 d が分かっているので, 対象の位置 (x, y) において以下の式が成り立つ.

$$\begin{aligned}
 y &= x \tan \theta_1 \\
 y &= (x - d) \tan \theta_2
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

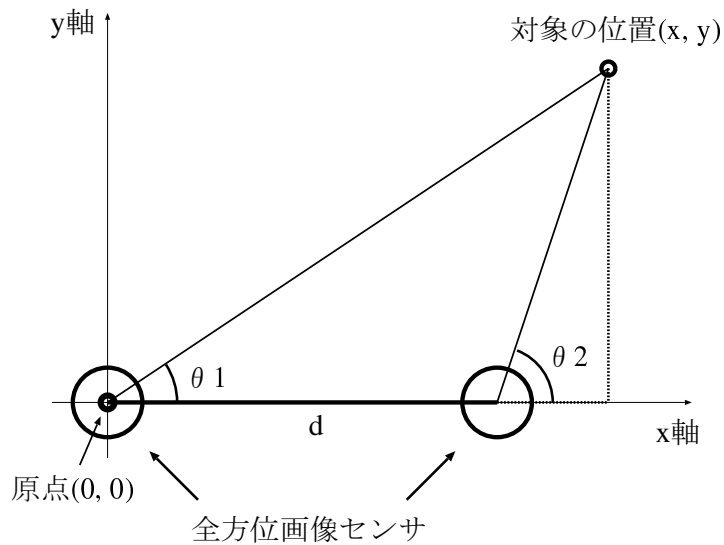


図 18 全方位画像センサと対象の位置関係

この関係式を解くことにより以下の式が導出される.

$$\begin{aligned} x &= \frac{d \tan \theta_2}{(\tan \theta_2 - \tan \theta_1)} \\ y &= x \tan \theta_1 \end{aligned} \quad (6)$$

上の式を用いることにより, 対象物の位置 (x, y) が導出される.

4.2 対象物に追従した透視投影画像提示

3.2.2 節で導出したヒストグラムの抽出領域を構成する全画素の, 全方位画像上での座標値の平均から, 全方位画像上での各対象物領域の重心座標を求める. 次に入力全方位画像から対象物領域の重心座標を中心とした一定の領域を取りだし, 式 4 の関係を用いて透視投影画像に変換する.

このとき, 変換する領域の全画素の対応を計算すると, 計算量が膨大になるため, システムの実時間性が失われてしまう. そこで実時間で透視投影画像に変換するために格子を用いた画像変形 [25] を採用した. 図 19(a) のように変換する領域を格子状に区切り, その格子点 (図 19 の A) ではソフトウェアにより正確な対

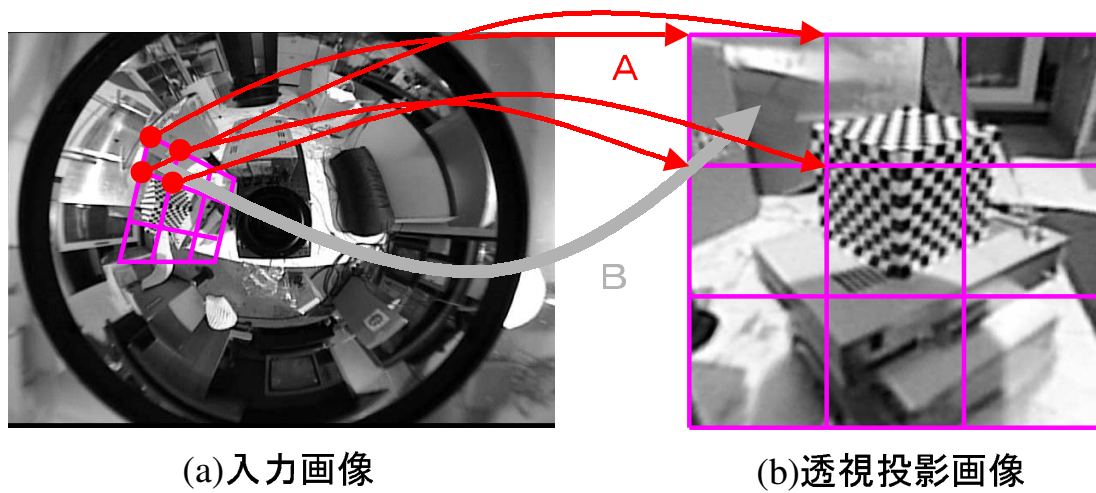


図 19 格子を用いた透視投影画像への変換

応計算を行なうが、格子の内部（図 19の B）はハードウェアのテクスチャマッピングにより変換する。

5. 遠隔監視システムの構築

本研究で提案している手法の有効性を確認するために、遠隔監視システムのプロトタイプを構築し、実際に遠隔監視の実験を行なう。本章では、3,4章で述べたアルゴリズムを用いて構築した遠隔監視のプロトタイプシステムについて述べる。

以下、5.1節ではプロトタイプシステムのシステム構成について述べる。そして、プロトタイプシステムを使った遠隔監視の実験について、5.2節で実験環境の設定について、5.3節で実験結果について述べた後、5.4節で実験結果について考察する。

5.1 システム構成

プロトタイプシステムは2台の全方位画像センサを用いており、常に広視野を監視することが可能である。また、位置と画像による対象物の追跡を行なうことができる。さらに、複数の対象物を同時に追跡することが可能である。

システムの構成には、全方位画像センサ HyperOmni Vision Ver.2A と処理計算機として SGI 社の ONYX2(R10000, 3CPU 使用) を使用する。使用した HyperOmni Vision Ver.2A の仕様を表 1 に示す。まず、図 20 に示すように監視環境とした部屋の中に固定された HyperOmni Vision を 2 台設置する。そして、それぞれのセンサからの入力画像を監視室に設置してある ONYX2 に入力し、3,4章で述べた画像処理を行なうことによって対象物の位置と対象物方向の透視投影画像を監視者に提示する。

5.2 実験の設定

今回行なった実験は、2人の人物を注目すべき対象とし、監視環境中を歩いている状況を遠隔監視した。

実験では、2つの HyperOmni Vision を 250cm の間隔で固定した。HyperOmni Vision を設置した実験環境を図 21 に示す。各 HyperOmni Vision からは図 22 に示すような背景画像を取得した。そして、2つの HyperOmni Vision に写る場所を歩く 2人の人物を監視した。片方の HyperOmni Vision の位置を原点とおいて、

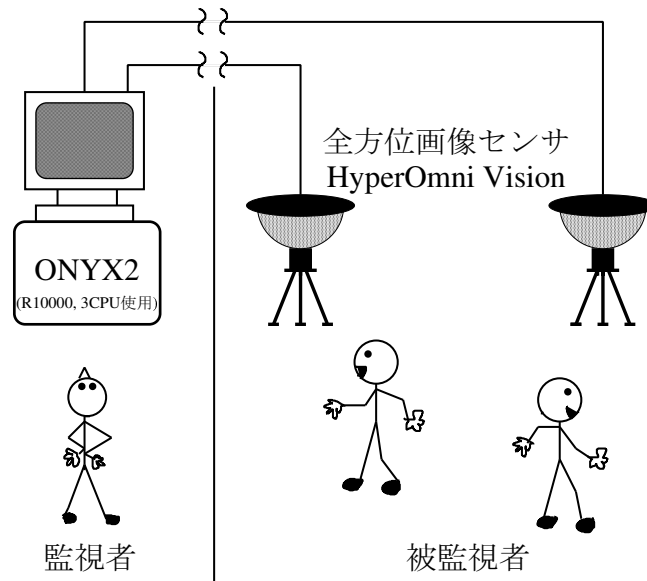
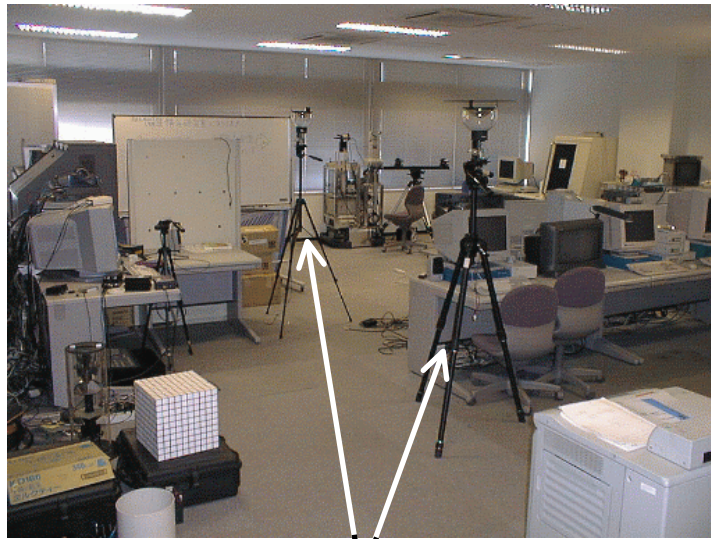


図 20 システム構成

ひとりが (-100cm, 250cm) から (450cm, -300cm) までの直線上付近を秒速約 50cm で移動し、もうひとりは (400cm, -100cm) から (400cm, -250cm), (150cm, -250cm), (150cm, 100cm), (-100cm, 100cm) を通って (-100cm, -300cm) までを直線的に秒速約 100cm で移動した。

表 1 HyperOmni Vision Ver.2A パラメータ

カメラ		双曲面ミラー	
焦点距離 f	3.54-28.32mm	a	42.1mm
撮像素子サイズ	1/3inch	b	42.7mm
		c	59.97mm
		ミラーの直径	150mm



HyperOmni Vision

図 21 実験環境



図 22 背景画像

5.3 実験結果

前節で示した環境で実験を行なうと, HyperOmni Vision に人物が写ることになる. 図 23は人物が含まれた全方位画像である. 人物の部分を明示するために楕円の枠を追加してある. 図 23の画像と図 22の背景画像との差分をとることで図 24に示す差分画像が得られる. 図 24の差分画像を 2 値化した結果が図 25である. 図 25を見ると, 人物領域以外の不必要な変化成分や, 人物領域にノイズとして小さな穴や細いくぼみが現れているのがわかる.

次に, この画像を極座標方向に 360 分割で調べていき, 領域が存在する画素数を加算していくことで極座標方向のヒストグラムに変換する. このヒストグラムに平滑化, 固定閾値による切捨て, 収縮を行なった後, 領域の角度平均から人物領域の重心方向を求めた. 人物方向の抽出結果を図 26に示す. 図 26は 90 度刻みで目盛りを設けており, 領域内に入っている直線が導出された重心方向を表している.

以上の処理を, 2つの HyperOmni Vision それぞれの入力画像で行なった結果得られた両 HyperOmni Vision からの人物方向 θ_1, θ_2 と, HyperOmni Vision 間の距離 $d = 250\text{cm}$ を 4.1.3 節の式 (6) に代入することによって人物の位置を推定した. 推定結果に基づいた HyperOmni Vision と人物の関係を示す提示画像を図 27に示す. 図 27では, 透明な直方体が HyperOmni Vision , 色のついた直方体が人物を表しており, それぞれの人物は推定された位置に表示されている. また, 入力される全方位画像から対象物方向の画像を透視投影変換した画像を図 28に示す. 人物とその周りの状況が画像提示されているのが確認できる.

以上により, 2人の人物について位置 (図 27) と画像 (図 28) による追跡を行なった. 人物の位置について推定結果をまとめると図 29のようになる. 点線で示す経路が実際に人物が歩いた目標移動経路, 実線で示す経路が今回測定された推定移動経路である. 位置推定の更新間隔は約 0.2 秒であった. また, 図 29における各測定位置での, 両 HyperOmni Vision の入力画像および生成された 2 値画像を図 30に, 提示された透視投影画像を 2 人それぞれについて図 31に示す.

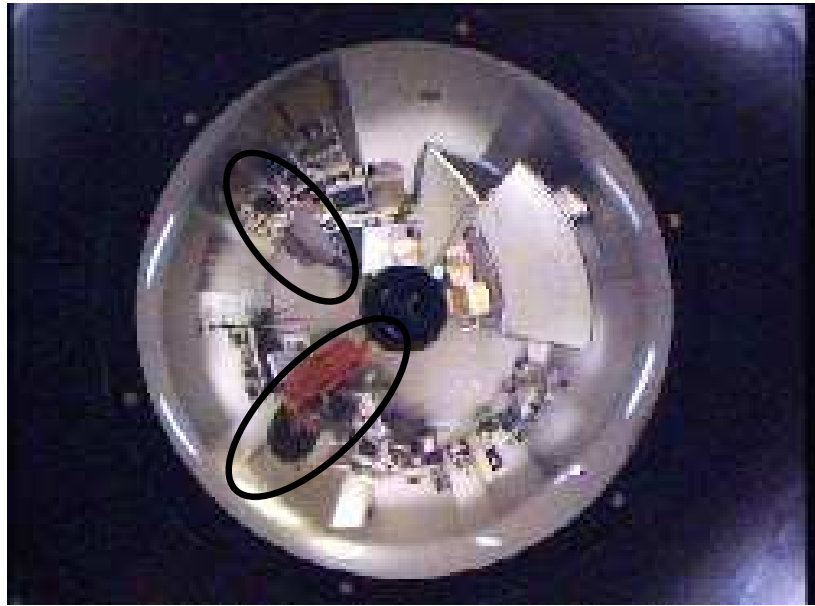


図 23 人物が写ったときの画像



図 24 差分画像

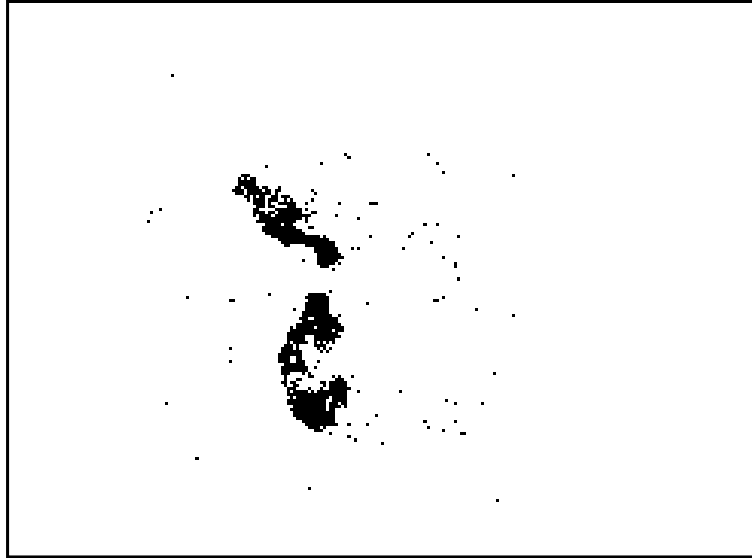


図 25 2 値画像

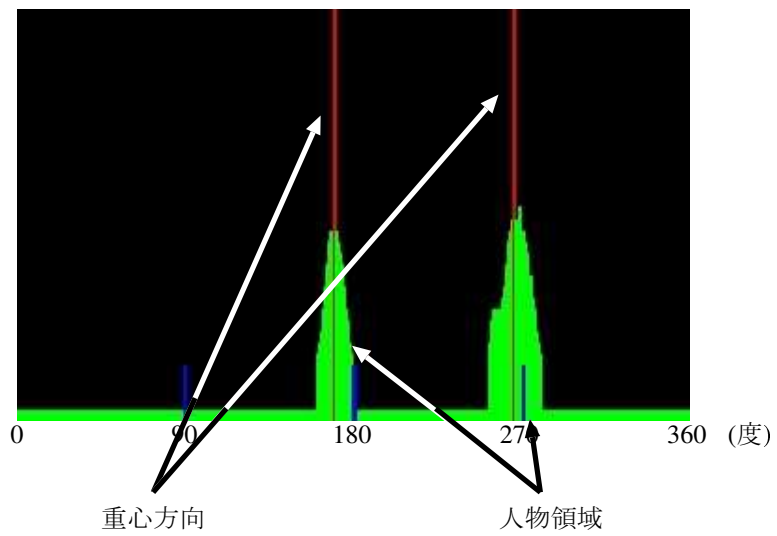


図 26 極座標ヒストグラム

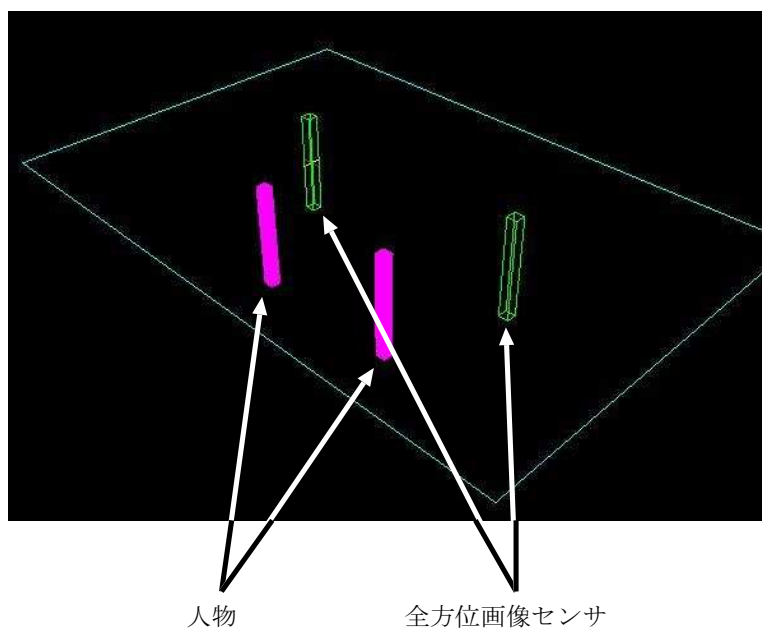


図 27 人物の 3 次元位置



図 28 人物の画像提示

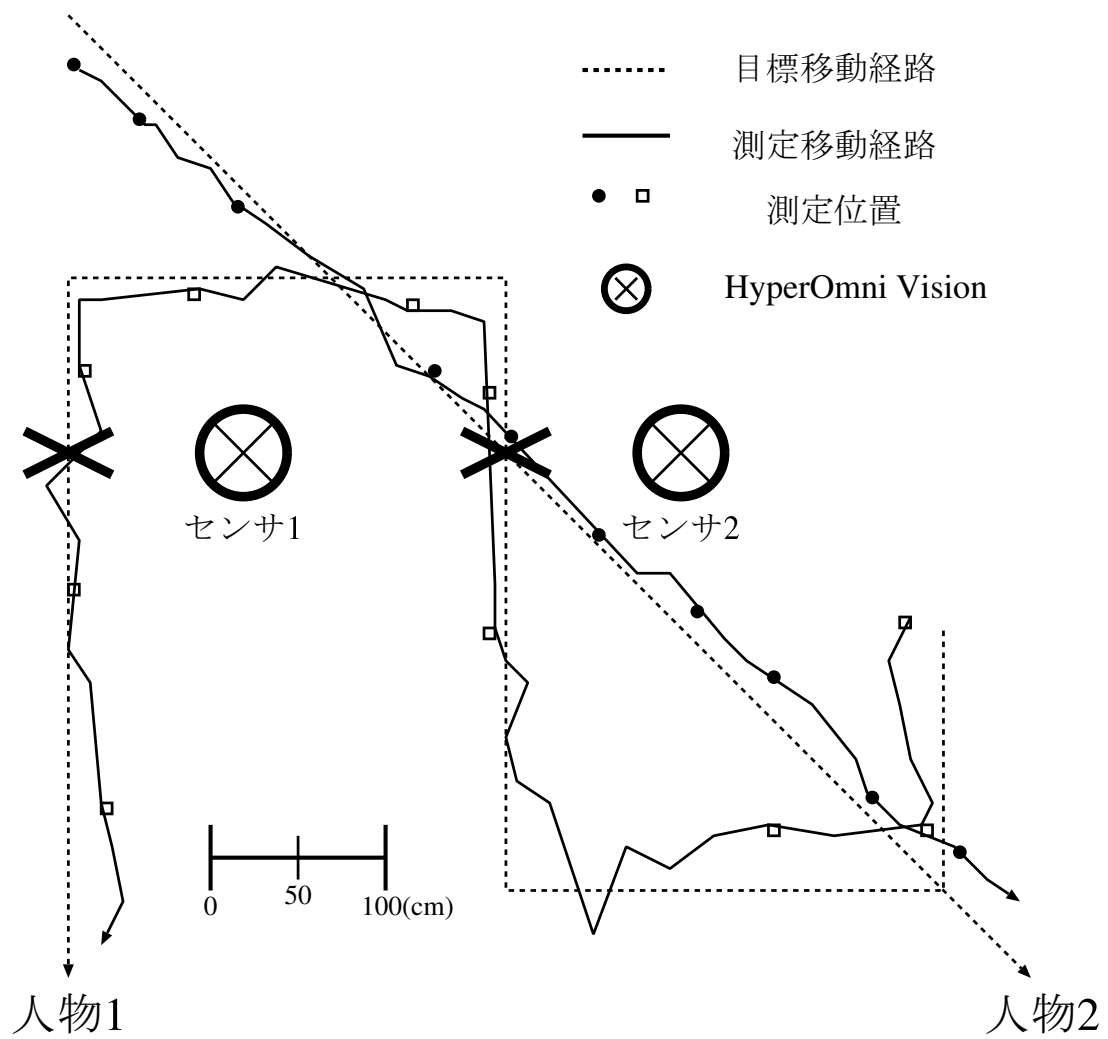


図 29 実験結果

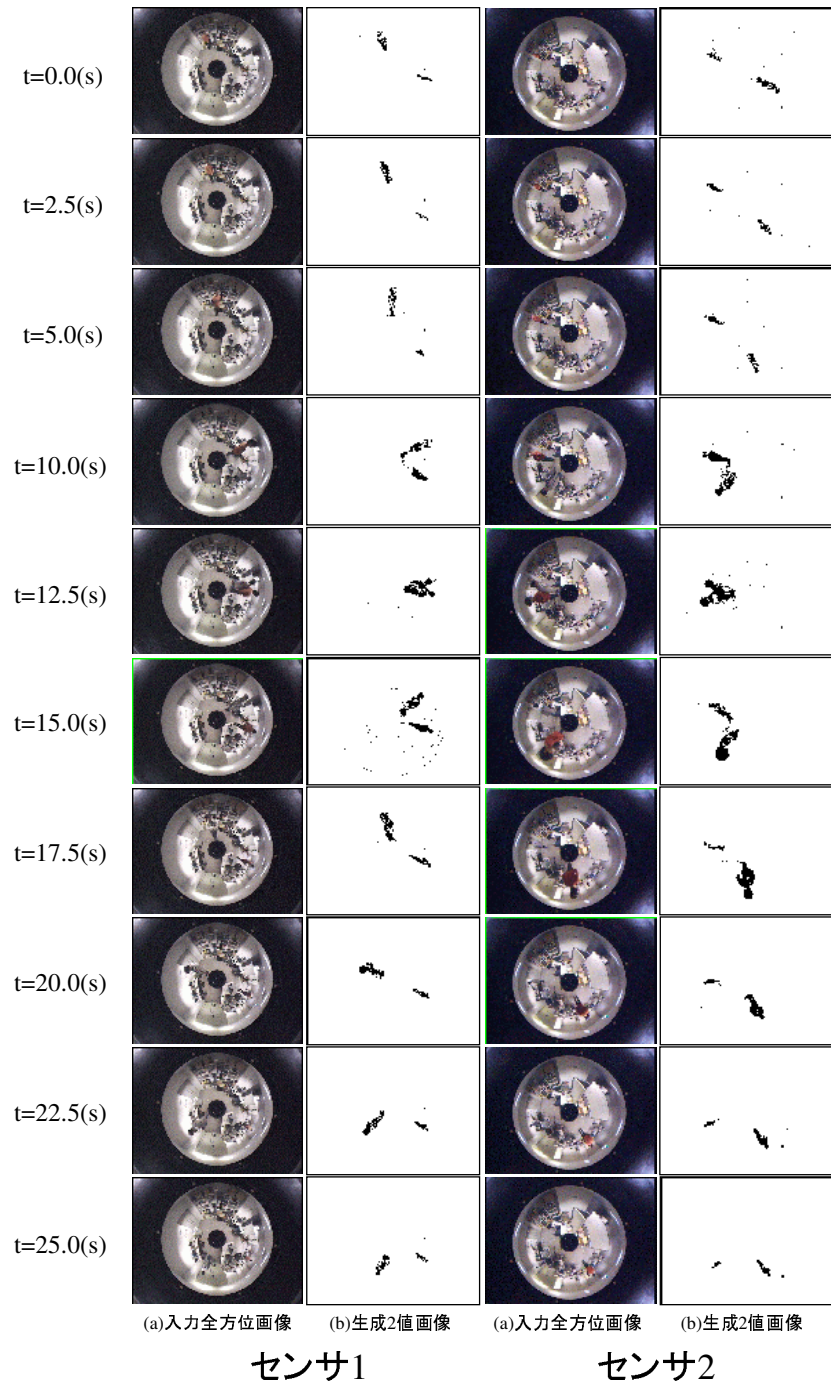


図 30 両センサの入力画像と 2 値画像

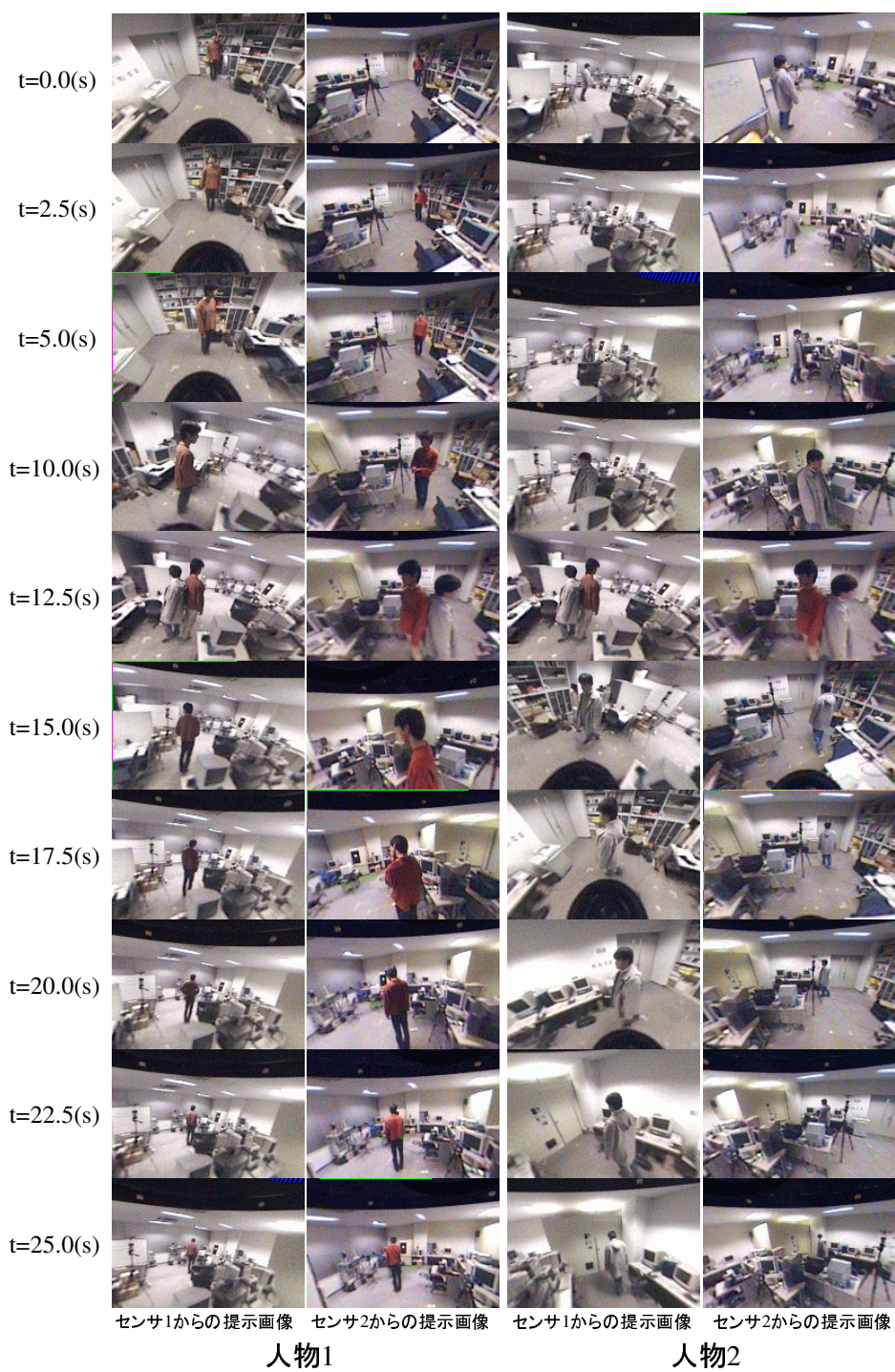


図 31 透視投影画像の提示による人物の追跡

5.4 考察

図 29 より, 2 人の人物の位置追跡が行なわれているのが確認できる. しかし, 2 台の全方位画像センサの直線上 (図 29 の×印) は位置推定を行なうことが出来なかった. これは 2 台の全方位画像センサの直線上では, 両センサからの人物の方向が同等あるいは 180 度違いになるため, 三角測量を行なうことが出来ないことが原因である. また推定可能な領域でも, 図 29 より人物の位置推定に誤差が生じているのが確認できる. この位置推定の誤差については, 目標の軌道を人物が歩く際に生じる移動誤差, 人物領域を抽出する際に生じる測定誤差, 人物方向から位置を算出する際に生じる計算誤差, 計算機を使って処理する過程で生じる量子化誤差などが考えられる.

また, 2 人の人物についてそれぞれ図 28 のような人物方向の透視投影画像が随時提示されていることから, 画像提示による追跡も行なうことが出来ているのが確認できる. しかも, この画像提示は 2 台の全方位画像センサの両方から行なわれているので, 2 方向から人物を画像提示により追跡することが可能であり, 有効な人物追跡の手法であると考えられる.

以上のように, 監視環境内に存在する複数の人物について, 位置推定を行なうことができ, また 2 方向からの透視投影画像が可能な本手法を用いたプロトタイプシステムは, 今回の実験のように照明条件など背景が変化しない室内などを監視する場合において, 有効な遠隔監視システムであると考えられる.

6. おわりに

本章では, 本論文のむすびとして本研究のまとめと今後の課題について述べる. 以下, 6.1 節で本研究のまとめについて述べた後, 6.2 節で今後の課題について述べる.

6.1 まとめ

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ついて述べた. 監視環境全体を常に監視するために全方位画像センサを用いることを提案し, 背景差分により注目すべき対象の自動抽出を行った. さらに 2 台の全方位画像センサを用いることにより, 三角測量によって位置推定し, 2 方向からの対象の動きに追従した画像提示することによって, 注目すべき対象の追跡を行なった. また, 実際に監視環境の中で複数の注目すべき対象を監視し, 位置推定および画像提示による追跡ができることを実験により確認した.

本研究で用いた手法は, 監視者の負担軽減とセキュリティ確保のために近年の遠隔監視に求められている以下の機能を満たしている.

- (1) 常に広視野を監視する.
- (2) 注目すべき対象あるいは異常状態を検出する.
- (3) 注目すべき対象の行動を追跡・分析する.

さらに注目すべき対象を 2 方向から画像提示によって追跡することが出来るので, 有効な監視手法であると考えられる.

6.2 今後の課題

さらに有効な遠隔監視システムを構築するために, 本手法の今後の課題として以下の 3 つが挙げられる.

- [1] 複数領域が存在する場合の領域間の対応付け

実時間で処理を行なうために現在の領域間の対応付けは、位置情報のみで行なうことができる場合は位置情報のみで行ない、位置情報では対応付けを行なうことが不可能な場合、色情報のみで行うようになっている。よりロバストな対応付けを行なうために、両方の手法を同時に用いた方法が良いと考える。また、現在は対応付けに位置情報と色情報を用いているが、領域の高さという新たな要素を考慮することにより、よりロバストな対応付けが可能になると考える。さらに、全方位画像センサの台数を増やすことによってもよりロバストな対応付けを行なうことができる。これについては次で述べる。

[2] 3台以上の全方位画像センサの使用

3台以上の全方位画像センサを用いることにより、複数対象領域間の対応付けがより確実に行なうことが可能になる。2台のセンサで求めた対応付けが誤対応だった場合、その対応付けによって求めた位置には対象は存在しないので、3台目以降のセンサ上でのその対象方向には対象領域が存在しないこととなり、対象領域の有無を調べることで誤対応を確認することが出来る。また、より対象領域が明確に抽出されているセンサ同士を使って位置推定を行なうことが出来るので、位置推定の精度も向上することが考えられる。さらに、あるセンサ同士での位置推定の死角領域を別のセンサ同士の位置推定領域によって補うことができるので、より広範囲の位置推定が可能になると考える。

[3] 背景画像の更新

本研究では背景差分を用いて対象物の検知を行なっているが、その際に使用する背景画像は最初に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、照明条件の変化などで背景全体が微妙に変化した場合、対象物を検知できなくなる可能性がある。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な対象物の検知を行なうことができると考える。

[4] 対象物の追跡結果の表示方法

対象物の追跡について、現在は位置と画像の提示を別々に行なっているが、推定された位置に追従して画像を提示する場所を変更するなど表示の融合を行なった

り, 対象物の軌跡も合わせて表示するなど, より効果的な追跡状況の視覚化方法があると考えられる。

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、ならびにソフトウェア基礎講座 岩佐 英彦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 大隈 隆史氏、清川清氏、佐藤 哲氏の先輩方、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母のように見守って頂いたソフトウェア基礎講座事務補佐員 福永 博美女史、本論文における図の作成や日々の食生活など物心両面において支えて頂いた若草第一病院院内保育園保母 小野 早苗女史に心より感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 南, 増田: “セキュリティ技術における画像処理”, 画像電子学会誌 Vol.22, No.3, pp.268-278 (1993),
- [2] 元木: “モニタリング技術”, テレビジョン学会誌, Vol.49, No.3, pp.260-283 (1995).
- [3] D. Coombs and C. Brown: “Real-time smooth pursuit tracking for a moving binocular robot”, *Proc. of CVPR'92*, pp.23-28 (1992).
- [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] Q. Cai and J. K. Aggarwal: “Tracking human motion using multiple cameras.”, *Proc. of ICPR'96*, pp.68-72 (1996).
- [7] H. Mori, A. Utsumi, J. Ohya and M. Yachida: “Human tracking system using adaptive camera selection”, *Proc. of RO-MAN'98*, pp.494-499 (1998).
- [8] J. Gluckman and S.K. Nayar: “Egomotion and Omnidirectional Sensors.”, *Proc. of ICCV'98*, pp.999-1005 (1998).
- [9] S.K. Nayar: “Catadioptric Omnidirectional camera.”, *Proc. of CVPR'97*, pp.482-488 (1997).
- [10] “Combined Omnidirectional and Pan/Tilt/Zoom System.”, Research Projects in Omnidirectional Surveillance, <http://www.eecs.lehigh.edu/research/omni/index.html> (1998).
- [11] 三木, 山澤, 竹村, 横矢: “全方位視覚センサを用いたサーベイランスと位置検出”, 映像情報メディア学会, ヒューマンインフォメーション研究会, 映情学技報 HIR 98-65 (1998).

- [12] 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”, 電子情報通信学会, パターン認識・メディア理解研究会, 信学技報 PRMU98-177 (1999).
- [13] 山澤, 八木, 谷内田: “移動ロボットのナビゲーションのための全方位視覚系 HyperOmni Vision の提案”, 信学論 (D-II), **J79-D-II**, No.5, pp.698-707 (1996).
- [14] 長井, 久野, 白井: “時空間情報に基づく侵入者監視システム”, 電子情報通信学会, パターン認識理解研究会, 信学技報 PRU95-204 (1996).
- [15] 二宮, 太田: “オプティカルフローによる移動物体の検知”, 電子情報通信学会, パターン認識・メディア理解研究会, 信学技報 PRMU97-28 (1997).
- [16] S. Yoshimura and T. Kanade: “Fast template matching based on the normalized correlation by using multiresolution eigenimages”, *Proc. of IROS'94*, pp.2086-2093 (1994).
- [17] 村上, 菊地: “画像処理を用いた侵入者検知装置 — MP30”, 電子情報通信学会, 画像工学研究会, 信学技報 IE95-51 (1995).
- [18] 山田, 紺野, 古賀, 井川, 清水: “侵入者追跡・監視システムの開発と一般環境における評価”, 情報処理学会第 50 回全国大会, No.2, 1D-10, (1995).
- [19] 横井: “デジタル画像処理”, テレビジョン画像情報工学ハンドブック 7 編 5 章, オーム社 (1990).
- [20] 金子: “画像処理演算の形態”, 画像処理ハンドブック 10 章, 昭晃堂 (1990).
- [21] 鳥脇: “画像解析の手法 (3) 2 値画像処理”, 画像処理ハンドブック 13 章, 昭晃堂 (1990).
- [22] 山本, 岩佐, 竹村, 横矢: “可変構図テンプレートを用いた色情報に基づく類似画像検索手法の実験的評価”, 画像電子学会第 167 回研究会講演予稿, pp.13-18 (1998).

- [23] 山本, 岩佐, 竹村, 横矢: “色情報の空間分布を考慮した類似画像検索”, 電子情報通信学会, 画像工学研究会, 信学技報 EID98-171 (1999).
- [24] Y. Gong: *Intelligent Image Databases Towards Advanced Image Retrieval*, Kluwer Academic Publishers (1998).
- [25] 山澤, 尾上, 横矢, 竹村: “全方位画像からの視線追従型実時間画像生成によるテレプレゼンス”, 信学論 (D-II), **J81-D-II**, 5, pp.880–887 (1998).