

## 分散全方位視覚システムの研究

石黒浩

和歌山大学システム工学部情報通信システム学科

本稿では分散全方位視覚システムに関する一連の研究について議論する。複数の全方位カメラを用いた視覚システムの特徴は、その環境を全てのカメラから観測できることである。この冗長な観測は、カメラや観測対象の位置決めと同定において多くのメリットをもたらす。そして、このメリットをもとに、頑強で実時間処理可能な視覚システムを構成することができる。

### Studies on Distributed Omnidirectional Vision Systems

Hiroshi Ishiguro

Department of Computer & Communication Sciences, Wakayama University

This paper discusses a series of studies on distributed omnidirectional vision systems. The vision system using multiple omnidirectional cameras observes the environment by all of the cameras. This redundant observation provides merits for localization and identification of the cameras and targets. And these merits realize robust and real-time vision systems.

#### 1. はじめに

分散全方位視覚システム（図1参照）とは、多数の全方位視覚センサ[Ishiguro 98]を用いた視覚システムである。近年、多数のカメラを用いたモニタリングシステム[Jain 95]や、モデリングシステム[Narayanan 98]が開発され、複数カメラシステムの応用が模索されている。分散全方位視覚システムとそれら通常のカメラを用いたシステムとの違いは、視野の広い全

方位カメラを用いることに加え、通常のカメラを用いたシステムが比較的狭い場所を多数のカメラで観測するのに対して、分散全方位視覚システムは、少ないカメラでより広い範囲をカバーすることである。

全方位視覚センサの最も大きな特徴は、広い視野であるが、これは、単に広い範囲を見渡すのに便利であるという以上のメリットを持つ。具体的には以下の特徴を利用して、分散全方位視覚システムの特徴ある処理を実現できる。

- a) 全方位カメラが比較的狭い場所に分布する場合、全方位カメラは互いに観測し合うことができる。
- b) 全方位カメラが小型で、互いの投影が小さい場合には、FOE 制約を用いて、相対的な位置決めが可能である。
- c) 環境中の動物体を複数の全方位カメラで

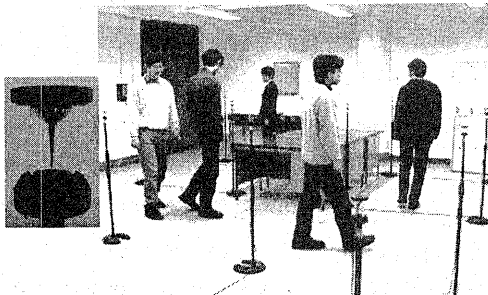


図1 全方位カメラと分散全方位視覚システム

同時に観測することができる。

本稿では、全方位カメラの配置の問題から物体認識まで、筆者がこれらの特徴をもとに、これまでに行ってきた研究を順序立てて説明する。この研究は、全てのカメラはコンピュータネットワークに結ばれており、任意のカメラ間での通信が可能であるという前提に基づいている。このような分散全方位視覚システムについて、これまでに培った技術は主に以下の7項目に分類される。

1. カメラ同士の観測に基づく複数全方位カメラの同定と位置決め[Kato 99]
2. 環境の観測に基づく複数全方位カメラの位置決め[Ishiguro 92]
3. 動物体の観測に基づく複数全方位カメラの同定と位置決め
4. 動物体の観測に基づく複数全方位カメラの同定と位置決め（定性的手法）[Sogo 99]
5. 動物体の実時間追跡[Sagawa 98]
6. 環境のモニタリング[Ng 99]
7. 動物体の認識

## 2. カメラ同士の観測に基づく複数全方位カメラの同定と位置決め

分散全方位視覚システムは、大量の全方位カメラを用いることを想定している。故に、その見かけを区別することが難しい。また、多数のカメラを全て正確に位置決めするのも困難を極める。全方位カメラが他のカメラを観測できる

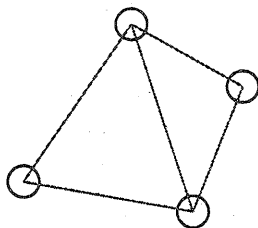


図2 三角制約と伝搬

という場合について、まずこれらの問題を解決する方法を考案した。

全方位カメラを全ての1つの水平面上に配置した場合、全方位カメラから得られる情報は、他の全方位カメラがどの方位に分布しているかと言うことである。この方位情報を集結すれば、三角制約を用いて、全ての全方位カメラを同定することができる。すなわち、あるカメラに映るカメラが他のカメラで見たどのカメラであるかを定めることができる。手順は以下の通りである。

1. それぞれのカメラにおいて、他の2対カメラの投影の間隔角度を全て測定する。
2. 1の角度情報を全てのカメラから集め、3つのカメラからの角度の和が180度になる角度の組み合わせを見つける（三角制約、図2参照）。
3. 全ての角度情報が異なる場合、2において三角形を構成する3つのカメラは一意に定まる。しかし観測には誤差が伴い、また、偶然にも同一の角度が異なるカメラで観測される可能性もある。そのため、2で発見された3つの全方位カメラからなる三角形の一辺を含む、別の3つの全方位カメラの組み合わせを探し、三角形をその周囲につなげていく（三角制約の伝搬）。最終的に全てのカメラを含めば、カメラの同定が行えたことになる。また、誤差や部分的な観測の欠落によって、全てのカメラを含む三角制約の伝搬が存在しない場合は、もっとも多くのカメラを含む三角制約の伝搬を解とする。
4. 三角制約の伝搬を正確に行うには、伝搬結果を基にその都度カメラの位置決めを行い、位置決め結果も利用したカメラの同定を行うのがよい。すなわち、この方法では、カメラの同定と位置決めが同時

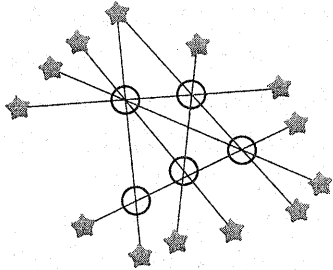


図3 三角制約と伝搬

に行われる。

### 3. 環境の観測に基づく複数全方位カメラの位置決め

2の研究は、カメラが互いに観測できるということを前提にしていた。しかし、非常に小型のカメラを用いた場合や、カメラ間の距離が離れている場合は、カメラ間で観測しあうことが難しい。その場合には、全方位視覚のFOE制約を用いて位置決めと同定を行うことができる。

FOE制約とは、2つのカメラで、180度の間隔で観測される1対のパターンが両者存在するとき、その1対のパターンが示す方向に、もう一つのカメラが存在することを示すものである(図3参照)。このFOE制約は2つの全方位画像間をテンプレートマッチング等によって探索することによって求めることができる。

全ての全方位カメラ間でFOE制約を求めれば、2と同様に、三角制約を適用すること

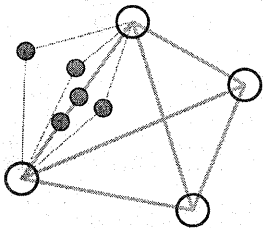


図4 統計的手法による基線の発見

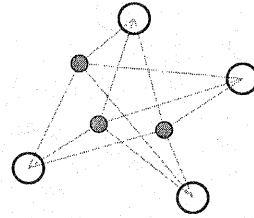


図5 統計的手法による物体同定

ができ、カメラの相対的な位置を決定できる。

### 3. 動物体の観測に基づく複数全方位カメラの位置決めと動物体の同定

環境内に動物体が複数存在し、それを複数のカメラで観測する場合、統計的な手法によって、動物体の同定とカメラの位置決めを行うことができる。この方法は2つにわけられる。

2つの全方位カメラ間で動物体が動き回っている場合、2つのカメラの基線上に物体が位置する場合は、基線上のどの位置に物体が来ても、2つのカメラでは常に同一の方位角に物体を観測する。一方、物体が基線上に位置しない場合は、物体の位置によって2つのカメラで観測される方位角が異なる。すなわち、様々に動き回る物体の投影方位を記録することで、統計的に、基線の方向が発見でき、全方位カメラの位置を三角制約によって決定することができる。

3つ以上のカメラに注目すると、対応問題が解決できる。環境に1つの動物体しかない場合、ある瞬間その動物体を観測する3つのカメラからの方位角は一意に定まる(図5参照)。環境に複数の動物体がある場合、それぞれのカメには複数の動物体の投影が映し出されるが、先のように、3つのカメラからの方位角の特定の組み合わせが、特定の動物体に対応するため、この場合も特定の組み合わせを統計的に発見することにより、動物

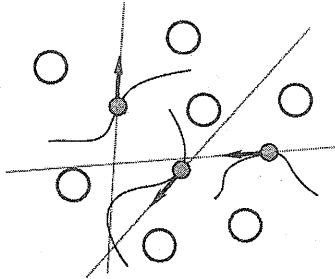


図6 定性的位置決め

体の同定問題を解くことができる。

#### 4. 動物体の観測に基づく複数全方位カメラの同定と位置決め(定性的手法)

これまでに述べた研究は、正確な方位角情報に基づき、正確な位置決めを行おうとする、いわば定量的な方法である。分散全方位視覚システムでは、定性的な手法も考えることができる。実際に利用する視覚情報は、動物体が右に動いたか左に動いたかという定性的な情報であり、その定性的な視覚情報から定性的な位置情報を得るという意味でも、従来にない試みである。

基本原理は次の通りである。動物体を複数のカメラで観測したとき、それぞれのカメラは、動物体の一瞬の動きを、右向きまたは左向きの動きとして観測する。すなわち動物体の一瞬の動きから、カメラは2通りに分類される。図6に示すように、この分類を繰り返すと、カメラの存在位置が徐々に限定されていくことがわかる。

この原理を基に、三点制約という3つのカメラを基準とした定性的表現方法を考案し、さらに、三点制約の伝搬によって効率的に定性的位置決めを行う方法を考案した。

#### 5. 動物体の実時間追跡

これまでに紹介した手法により、全方位分散視覚システムでは、カメラの位置決め、カメラの同定、観測対象という同定の3つの基本となる技術を比較的容易に解決できる。この基本技術を基に、全方位分散視覚システムの様々なアプリケーションを考えることができるのだが、まず最初に、実時間人間追跡システムを紹介する。

全方位カメラを部屋の中で2,3mの間隔で複数台配置すると、おのおののカメラは部屋全体を見渡す。すなわち、全てのカメラの視野が重なり、これから、広い範囲で複数のカメラを用いたステレオ視が実現できる。これをN眼視全方位ステレオとよぶ。このステレオと、単純な人間のモデル(円)を組み合わせることにより、実時間でロバストな人間追跡システムが実現できる(図7参照)

#### 6. 環境のモニタリング

分散全方位視覚システムは、物体を追跡するだけでなく、その豊富な視覚情報を基に、全方位カメラがない場所から見た画像を近似的に作り出すこともできる。物体の追跡と同様に、ステレオ視の原理に基づく方法である

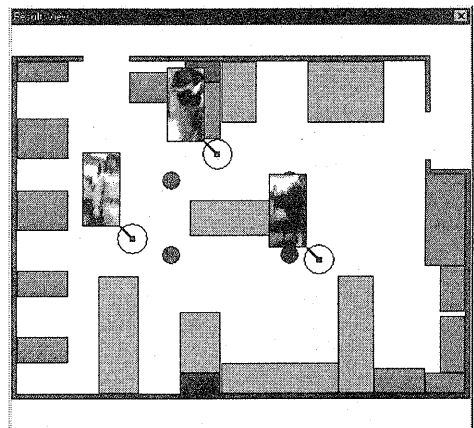


図7 実時間人間追跡システム

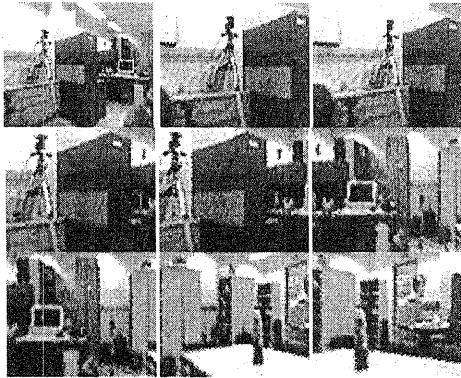


図8 仮想的視点から見た画像の合成

が、全方位カメラの広い視野を利用することで、比較的ゆがみが少なく仮想的な視点からの画像を合成できる。また、動物体の観測を目的にすれば、動物体の実時間追跡の結果得られた位置情報を基に、動物体を常に好みの視点から観測するというシステムも実現できる。図8は図7において、全方位センサが設置されていない場所から見た画像を合成した例である。

## 7. 動物体の認識

動物体の追跡は計算量も少なくかつ、実時間で非常にロバストである。故に、その上にさらにシステムを積み重ねることが可能である。たとえば、ジェスチャ認識の機能を付加すれば、人間の位置や方位に依存しないジェスチャ認識システムが実現できる。図9に

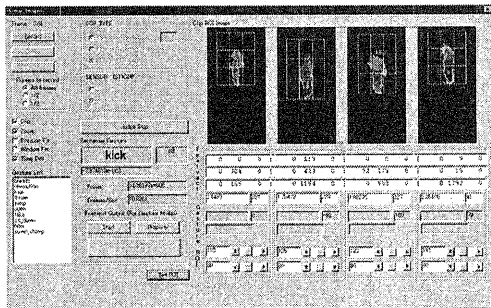


図9 定性的位置決め

そのシステムの出力画面を示す。複数の全方位カメラからの情報を同時に用いることで、位置や方位に依存しないジェスチャ認識を実現している。分散全方位視覚システムの利用に加え、このジェスチャ認識は、新しく考案したモデル、View and Motion-based Aspect Model (VAMBAM)を用いて実現されている。

## 参考文献

- [Ishiguro 92] H. Ishiguro, M. Yamamoto and S. Tsuji, Omni-directional Stereo, IEEE Trans. PAMI, Vol. 14, No. 2, pp. 257-262, 1992.
- [Ishiguro 98] H. Ishiguro, Development of low-cost and compact omnidirectional vision sensors and their applications, Proc. Int. Conf. Information systems, analysis and synthesis, pp. 433-439, 1998.
- [Jain 95] R. Jain and K. Wakimoto, Multiple perspective interactive video, Proc. Int. Conf. Multimedia Computing and System, 1995.
- [Kato 99] K. Kato, H. Ishiguro, M. Barth, Identifying and Localizing Robots in A Multi-robot System, International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 966-972, 1999.
- [Ng 99] K. C. Ng, H. Ishiguro, M. Trivedi and T. Sogo, Monitoring Dynamically Changing Environments by Ubiquitous Vision System, Workshop on Visual Surveillance, pp. 67-73, 1999.
- [Narayanan 98] P. J. Narayanan, P. W. Rander and T. Kanade, Constructing virtual world using dense stereo, Proc. ICCV, pp. 3-10, 1998.
- [Sagawa 98] R. Sagawa, H. Ishiguro and T. Ishida, Real Time Tracking of Human Behavior with Multiple Omni-directional Vision Sensors, 4th Symposium on Sensing via Image Information, pp. 179-184, 1998.
- [Sogo 99] T. Sogo, H. Ishiguro and T. Ishida, Acquisition of Qualitative Spatial Representation by Visual Observation, International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp. 1054-1060, 1999.