

動的アクティブ探索法と複数の能動カメラを用いた物体の位置推定

川西隆仁 村瀬 洋 高木 茂 Martin WERNER

日本電信電話株式会社 NTT コミュニケーション科学基礎研究所

〒 243-0198 神奈川県厚木市森の里若宮 3 - 1

TEL: 046-240-3645 FAX: 046-240-4708

Email: {kawanisi, murase, takagi, martin}@eye.brl.ntt.co.jp

あらまし：パン・チルト・ズームの制御が可能な能動カメラを動的に制御して室内環境中の目的物体を高速に検出する動的アクティブ探索法を提案する。動的アクティブ探索法は、広角段階で物体のありそうな箇所を予測し、そこをズームし検証するという予測制御を行う手法であり、アクティブ探索の原理を用いてこの制御を高速に行う手法である。多数の参照画像を用いても高速に探索できるため、複数の視点からの物体の画像を参照画像とすることが容易である。これにより、複数のカメラ位置からの探索が可能となる。4台のカメラに動的アクティブ法を適用する実験を行った結果、予測のない1台のカメラでアクティブ探索により探索するよりも探索速度が約6倍、位置検出精度も約6倍に向上した。

キーワード：物体検出，ヒストグラム照合，パン・チルト・ズームカメラ，アクティブ探索，カメラ制御

Quick Object Detection and Localization using Dynamic Active Search

Takahito KAWANISHI, Hiroshi MURASE, Shigeru TAKAGI and Martin WERNER

NTT Communication Science Laboratories, NTT Corporation

3-1 Morinosato-Wakamiya, Atsugi-shi, Kanagawa, 243-0198 Japan

TEL: +81-46-240-3645 FAX: +81-46-240-4708

Email: {kawanisi, murase, takagi, martin}@eye.brl.ntt.co.jp

Abstract: This paper proposes a method for detecting known objects quickly in 3D environments and estimating the object positions with multiple pan-tilt-zoom cameras. Our search method, Dynamic Active Search, reduces the number of camera operations by predicting the existence of a target in wide angles, zooming in on a promising area, and confirming the target. Even when many reference images taken under various camera angles and various scales need to be searched for, Dynamic Active Search is devised to detect the object efficiently. With multiple cameras, object detection and object localization become more efficient. Experiments show that by Dynamic Active Search using four cameras both search speed and position estimation accuracy are improved six times compared with a single-camera/active-search-without-prediction configuration.

Keywords : object detection , histogram matching , pan-tilt-zoom camera , active search , camera control

1 まえがき

知的センサーやロボット等における視覚機能の高度化が望まれているが、その一環として広い視野の中から目的の物体を高速・高精度に探し出す技術が必要となっている。

従来、このような目的のためには、複数のカメラ [1] や、全方位センサ [2]、あるいはパン・チルト・ズームカメラ [3]、などを用いて広い視野を取得し、あらかじめ用意した背景画像との差分や前フレームの画像との差分を利用する手法 [4, 5, 6] が一般に利用されている。しかし、このような手法では室内中の特定の静止物体を探索するなどの用途には適用できない。画像差分を利用する以外に、ロボットの誘導のために室内環境中のランドマークを検出する方法 [7, 8] も提案されている。これらの方法は特定の人工的なマーカーにしか適用できず、一般の物体を物体固有の特徴に基づいて検出することはできない。

一方、テンプレート照合や特徴照合を用いて物体探索を行えば、静止物体でも精度良く探索することはできる。しかし、物体の位置や大きさ（物体までの距離）が未知であるため、位置や大きさの異なる多数の局所領域との間で照合する必要があり、更に物体の向きや照明条件の変動を考慮にいたった場合には多くの参照画像を用意して照合する必要がある [9]。また遠方の物体を探索するためには、カメラの広角時では画像中でのその物体の占める領域が非常に小さいために特徴が正しく抽出できないために、ズームを行ってから照合を行う必要がある。そのために、パン・チルト・ズームの制御までも変化させて特徴照合を行う必要がある。それらの各パラメータを変化させて特徴照合を行うと照合コストが大きく十分な速度は得られない。なおここでは、パン・チルト・ズームが制御できるカメラのことを能動カメラと呼ぶことにする。

本稿で提案する手法は、基本的には特徴照合により能動カメラを用いて物体を探索する手法であるが、その照合回数を減らし高速に物体を探索する手法として位置付けられる。膨大な照合回数を大幅に削減する技術として、アクティブ探索法 [10] が提案されている。これは、精度を落とさないことを保証しながら探索に不要な照合を削減する手法であり、極めて高速な物体探索が可能となる。しかし、これまでのアクティブ探索法では、局所領域の移動や、局所領域の大きさを変化させた場合の照合については考慮されていたが、照



図 1: 室内環境からの物体探索

明条件や物体の向きの違いにより特徴が大きく変化する場合や、能動カメラのパン・チルト・ズームの制御までも考えたものではなかった。そのために、従来のアクティブ探索を単純に本应用到に適用したのでは、物体の向きや照明の変化に対応した多数の参照画像との照合や、能動カメラのパン・チルト・ズームの段階的な制御のために、やはり膨大な照合時間がかかることになる。

本稿では、これら問題に対処するため、従来のアクティブ探索法を以下の 2 点において拡張した。

- 1) 遠方の物体を効率よくズームして照合を行うために、広角の段階で目的物体の候補位置を「予測」し、その領域をズームインして物体の存在を「検証」という予測制御を用いる。この能動カメラの予測制御により、段階的に能動カメラのパン・チルト・ズームを制御する手法に比較して、カメラ制御回数を大幅に削減する。
- 2) 本手法では、物体の向きや照明の変化に対応するために多数の参照画像を用意する。ここでアクティブ探索を拡張し、多数の参照画像を用いても探索時間がそれほど増加しないような手法を提案する。特に、予測時、検証時でそれぞれに適したアクティブ探索の拡張を行う。

本手法を以下動的アクティブ探索法と呼ぶことにする。動的アクティブ探索法により、能動カメラの位置に対しての物体の方向とだいたいの大きさを検出できるように、これを複数のカメラに適用し、その結果を統合することにより、物体の位置を精度良く決定することができる。

以下、2 で動的アクティブ探索法について述べる。3 で本システムを複数のカメラに適用して物体を探索し、物体の位置を決定する方法について述べる。4 で

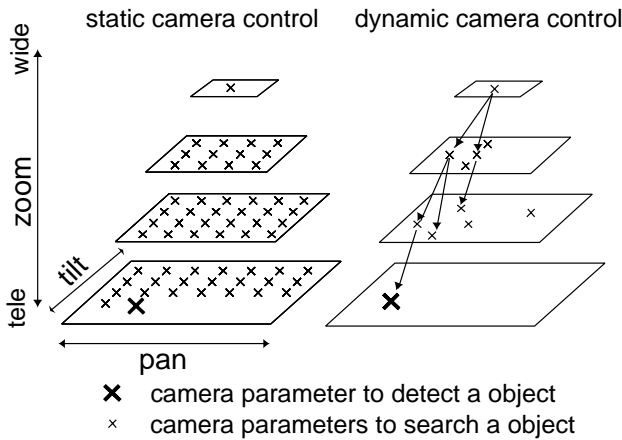


図 2: 動的なカメラ制御

は、実験とその結果を述べる。

2 動的アクティブ探索法

動的アクティブ探索法は、図 1 のような遠方にある物体を予測制御を用いて高速に検出する手法である。遠くにある物体を検出するためには、広角時の画像では画像上の大きさが小さく特徴を正しく抽出することができないために、物体を検出することができない。このためズームを行うことが必要である。しかし、ズームを行った場合には視野が狭くなるので、図 2 左のように非常に多くのパン・チルトの回数が必要になる。遠くなるほど、パン・チルトの回数が増加し、探索時間がかかることになる。

動的アクティブ探索法により、このパン・チルト・ズームの回数を削減するための能動カメラの予測制御の枠組みについて以下に述べる(図 2 右)。

2.1 動的アクティブ探索法の構成

動的アクティブ探索法の構成を図 3 に示す。動的アクティブ探索法は、あらかじめ物体に対して、向きや照明、ズームなどが異なる多数の参照画像を用意する。参照画像としては予測用参照画像、検証用参照画像の 2 種類を用意する。目的の物体として正しく検証するためには、参照画像のサイズはある程度なければ、そこから抽出した特徴の信頼性がなくなる。そこで、あるサイズ以上(例えば 500 画素以上)の参照画像は信

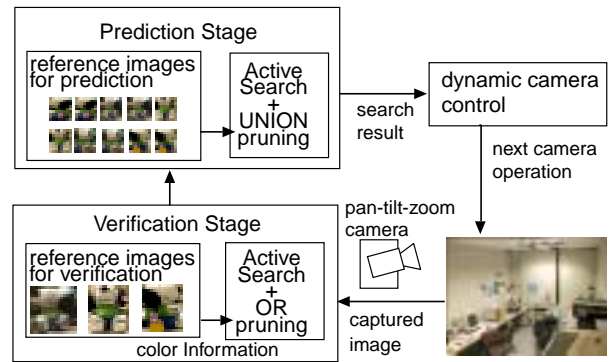


図 3: 動的アクティブ探索法の構成

頼性があるとしてそれを検証用参照画像とする。一方、信頼性はないが候補を見つけるには十分なサイズの参照画像を予測用参照画像(例えば、100 ~ 500 画素程度)とする。それ以下のサイズは、信頼性がないために使用しない。

まず、予測段階において予測用参照画像すべてを用いて取りこぼしがないように探索し、しきい値を超える領域があった場合、その領域を候補領域として選びだす。予測段階で候補領域が見つかった場合にそこへズームする。ズームした後、検証段階で検証用参照画像すべてを用いて探索し、類似する領域があるかどうかを検証する。しきい値を超える領域があったとき物体としてその領域を検出する。

以上の予測制御の枠組みを実現するためには、多数の参照画像を多数の位置で照合する必要がある。このため莫大な照合回数が必要になる。我々が提案する動的アクティブ探索法はアクティブ探索の概念を拡張して複数の参照画像のヒストグラム間でも照合の省略を可能にすることによって大幅な高速化を実現している。以下、予測段階、検証段階で用いた探索方法を具体的に述べる。

2.2 予測段階

予測段階では、目標物体を取りこぼしがないように候補領域をすばやく求めることが必要である。個々の参照画像を照合していたのでは、時間がかかるのでヒストグラムの性質を利用して 1 つにまとめて照合する。

一般的な特徴照合の方法では、複数の参照画像をまとめることはできないが、色ヒストグラム照合を用い

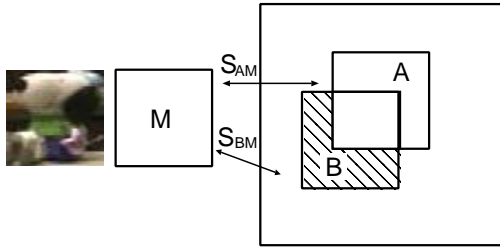


図 4: 重なりを利用した照合のスキップ

るアクティブ探索法ではとりこぼしのないことを保証して多数の参照画像を同時に照合することが可能である．ここでは，その手法について説明する．まず，アクティブ探索法について述べ，次に複数の参照画像をまとめた併合ヒストグラムの生成法を述べる．

2.2.1 アクティブ探索法

アクティブ探索法 [10] は，入力画像中で位置や大きさの変化した物体を検出できるように，参照画像と，入力画像の局所領域との照合を行う手法であり，色ヒストグラム特徴の性質を利用した局所領域の照合の省略により精度を保証したまま照合回数を大幅に削減する手法である．

まず，入力画像をあらかじめベクトル量子化により符号化した画像に対し，参照画像と同じ大きさの探索窓をかけ，ヒストグラム特徴を作る [11]．続いて，このヒストグラムと参照画像の色ヒストグラムとの類似値 (similarity) を計算する．ヒストグラム特徴 H_M と H_A の重なり率 S_{AM} は，次のように定義される．

$$S_{AM} = \frac{1}{|M|} \sum_{i=1}^I \min(H_{M_i}, H_{A_i}) \quad (1)$$

次に図 4 を用いて局所領域の枝刈り法を説明する．参照画像を M とする．ここで， $|A| = |B| = |M|$ を満たし重複領域を持つ局所領域 A, B を考える．参照画像 M と局所領域 A との類似値 S_{AM} と，参照画像 M と局所領域 B との類似値 S_{BM} との間には (2) 式の不等式が成立する．

$$|M| \cdot S_{BM} \leq |M| \cdot S_{AM} + n \quad (2)$$

ここで， $|M| \cdot S_{AM}$ は A と M との間で色の同じ画素の組が何組あるかを意味する．これを同色画素数と呼

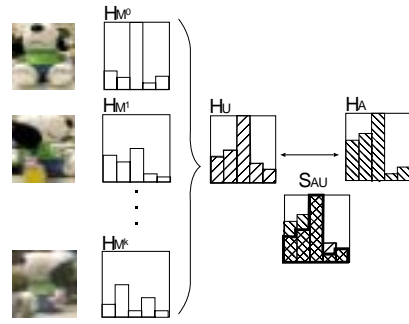


図 5: 併合探索における上限値計算

ぶことにする．この式は「 M と B 間の同色画素数 ($|M| \cdot S_{BM}$) は M と A 間の同色画素数 ($|M| \cdot S_{AM}$) が A と B の共通領域に局在し，かつ， A に含まれない B の領域 (図 4 の斜線部分で画素数 n とする) の画素すべてが M と B の同色画素になった場合より多くなることはない」ことを意味する．すなわち， S_{AM} が既知となったとき， $|M| \cdot S_{BM}$ の上限は (2) 式の右辺になる．この上限値が $|M| \cdot \theta$ より小さければ M と B との照合を省略することができ，探索の高速化が図れる．照合を省略できる n の範囲は次の式で与えられる．

$$\begin{aligned} |M| \cdot S_{AM} + n &\leq |M| \cdot \theta \\ n &\leq |M| \cdot (\theta - S_{AM}) \end{aligned} \quad (3)$$

2.2.2 併合ヒストグラムの生成法

2.2.1 に述べたアクティブ探索法は，入力画像上でのずらし照合を高速化できるが，同時に参照画像のヒストグラムの併合により多数参照画像のヒストグラム間でも照合を省略できるように拡張することも可能である (図 5)．併合しようとする予測用参照画像のヒストグラムを $H_{M^0}, H_{M^1}, \dots, H_{M^k}$ とする．この時，併合ヒストグラム H_U を

$$H_{U_i} = \max(H_{M_i^0}, H_{M_i^1}, \dots, H_{M_i^k}) \quad (4)$$

と定義する． H_{U_i} は U の各符号の数である． H_{U_i} の各要素は，各参照画像の最大値から構成されるため，ある探索窓 A と U との類似値は A と U に属する M^0, M^1, \dots, M^k の類似値よりも必ず大きい．すなわち $|U| \cdot S_{AU}$ は $|M| \cdot S_{AM^j}$ ($\forall j \in 1, \dots, k$) の上限値となる．

$$|U| \cdot S_{AU} \geq |M| \cdot S_{AM^j} \quad (5)$$

また、複数の併合ヒストグラムを作成して探索する場合には、大きい併合ヒストグラム側で、小さいヒストグラム全てを併合するように作成する。これは、大きい併合ヒストグラムに小さい併合ヒストグラムを併合することによって小さい併合ヒストグラムの照合の省略が効率的に行えるからである。

2.3 検証段階

検証段階は、予測段階で見つけた候補領域に能動カメラをズームし、確かに目的の物体がそこに存在するかどうかを決定する段階である。そのため検証段階では、取りこぼしがないだけでなく、併合探索で生じる拾いすぎ（誤認識）を生じないことが必要である。このため、併合ヒストグラムによる探索の後に、各参照画像を個別に照合したときの上限値を厳密に計算して照合を省略しなければいけない。

そこで、ヒストグラム間の類似を利用して、ある参照画像で照合した結果から、他の参照画像による照合を省略できるよう(2)、(3)式を拡張する[11]。上限値を計算したい他の参照画像を N とする。 N の画素のうち、 M と同色画素の組を作れない画素 (N の M に対する異色画素と呼ぶ) の数は $|N|(1 - S_{MN})$ で表される(図6)。 S_{AM} からは、 N の M に対する異色画素が A 中に存在するかの情報は得られないため、 N の M に対する異色画素が A 中に現れていると仮定して、 $|N| \cdot S_{BN}$ の上限を推定し、 $|N| \cdot \theta$ に達しない領域を求める必要がある。すなわち、以下の不等式が導かれる。

$$\begin{aligned} |N| \cdot S_{BN} &\leq |M| \cdot S_{AM} + |N|(1 - S_{MN}) + n \\ n &\leq |N| \cdot (\theta - 1 + S_{MN}) - |M| \cdot S_{AM} \quad (6) \end{aligned}$$

参照画像 N の探索すべき領域のうち(6)式を満たす領域についての照合が省略可能である。

3 複数の能動カメラによる物体の位置推定

2で提案した動的アクティブ探索法を物体の位置推定に用いる方法を述べる。ある1つのカメラで物体を検出した場合、そのカメラで物体の大体の位置を推定することによって他のカメラをその領域に誘導し、複数のカメラで検証することにより、より位置推定の精

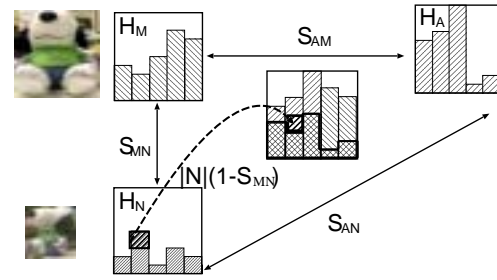


図6: 並列探索における上限値計算

度を増すことが可能になる。

動的アクティブ探索法は、物体の色ヒストグラムで照合するため、物体検出の位置推定の精度が低い。複数のカメラを用いて三角測量と自乗誤差最小の原理[12]を用いることによって、位置推定精度の大きな向上が望める。

以下、一台の能動カメラによる位置推定法を3.1で述べ、複数カメラによる位置推定の方法について3.2で述べる。

3.1 一台のカメラによる物体の位置推定

動的アクティブ探索法により得た方向と物体領域の大きさから、カメラからの物体の方向と距離を求め、カメラの3次元位置情報から、物体の大体の3次元位置を求めることができる。

物体が検出されたとき、画像上の物体の座標 $\mathbf{T}^i(t_x^i, t_y^i)$ および大きさ $\mathbf{W}^i(w_x^i, w_y^i)$ が得られる。ただし i はカメラ番号である。これから、カメラ座標系(カメラの光軸を中心としたパン角、チルト角による球面座標系)における物体の方向は以下ようになる。

$$\begin{aligned} \theta_x^i &= \arctan \left(\left(\frac{r_x^i - 2t_x^i}{r_x^i} \right) \tan \frac{f_x^i}{2} \right) \\ \theta_y^i &= \arctan \left(\left(\frac{r_y^i - 2t_y^i}{r_y^i} \right) \tan \frac{f_y^i}{2} \right) \quad (7) \end{aligned}$$

ただし、視野 $\mathbf{F}(f_x^i, f_y^i)$ 、入力画像サイズ $\mathbf{R}^i(r_x^i, r_y^i)$ とする。

カメラの3次元上の外部パラメータ(位置 $\mathbf{P}^i(p_x^i, p_y^i, p_z^i)$ 、初期方向 $\mathbf{D}^i(d_x^i, d_y^i, d_z^i)$ 、初期方向からのパン・チルト角 $\mathbf{C}^i(c_x^i, c_y^i)$ 、物体の大きさ $\mathbf{H}(h_x, h_y)$ が既知のとき、物体までの距離 l^i は以下の

ように計算できる．

$$l^i = \frac{h_x \cdot r_x^i}{2w_x^i \cdot \tan \frac{f_x}{2}} = \frac{h_y \cdot r_y^i}{2w_y^i \cdot \tan \frac{f_y}{2}} \quad (8)$$

このとき物体の座標 $Q(q_x, q_y, q_z)$ は，

$$Q = P^i + l^i \cdot Z^i(\alpha^i) \cdot Y(\beta^i) D^i \quad (9)$$

として得られる．ここで Z はパン方向の回転， Y はチルト方向の回転， $(\alpha^i = c_x^i + \theta_x^i, \beta^i = c_y^i + \theta_y^i)$ である．

3.2 複数カメラによる物体の位置推定

各カメラからみた物体の座標は，物体までの距離 k^i を未知数として，(9) 式より

$$Q = P^i + k^i \cdot Z(\alpha^i) Y(\beta^i) D^i \quad (10)$$

として求めることができる．すなわち，(10) 式から k^i を消去して複数のカメラについて解けば物体の位置が求まる．2 つ以上のカメラで検出した場合には，(10) 式を自乗誤差最小の基準で物体の位置を推定する．これは特異値分解 [13] により計算可能である．

4 実験

本実験ではまず，動的アクティブ探索法による探索速度向上の効果を確認し，次に複数カメラを利用することによる物体の位置推定精度を評価する．

実験環境を図 7 で示す．図 7 の $a \sim g$ に置かれた物体を，Camera1 ～ 4 で探索した．

参照画像として，あらかじめ異なる 5 箇所，3 方向に物体を配置し，ズームを変えて撮影した約 100 枚を用いた．参照画像のうち，100 ～ 400 画素の参照画像約 50 枚を予測用参照画像として用い，400 ～ 2000 画素の参照画像約 50 枚を検証用参照画像として用いた．しきい値は予測用に .85 を用い，検証用には .65 を用いた．実験に用いた計算機およびカメラの仕様は表 1 の通りである．今回の実験では，検証用参照画像のサイズ，しきい値は実験的に選んだ．

4.1 探索時間

予測制御なし，予測制御ありの 2 つの場合について探索時間を比較する．4 台のカメラのうち最も早く検

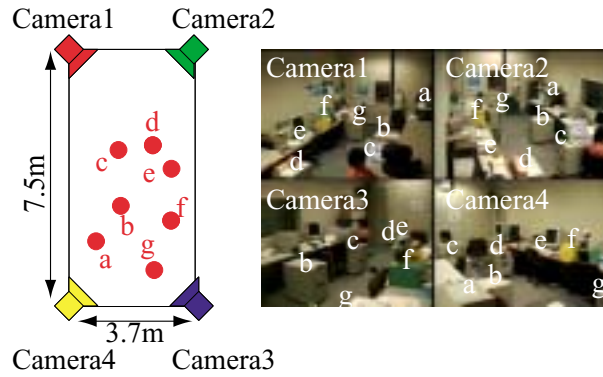


図 7: 実験を行った探索環境

出したカメラの探索時間，4 台のカメラの平均探索時間を表 2 に示す．予測制御の導入により速度は，2 倍程度高速になる．また複数のカメラを利用した探索を行えば，1 台のカメラで探索する時間より，3 倍以上高速に探索できることがわかる．これは物体を探索しやすい位置，方向にあるカメラが高速に探索できるからである．予測制御と複数カメラによる探索により合計で 6 倍以上高速化できることになる．

4.2 物体の位置推定精度

本実験では，動的アクティブ探索法による 3 次元物体の位置の推定精度を調べた．

1 台のカメラによる推定結果の平均誤差，4 台のカメラの推定結果の中の最小誤差，カメラ 4 台の結果を統合した推定誤差を表 3 に示す．

ヒストグラム特徴による照合の場合，物体の一部と一致することがあるので，方向や大きさの推定精度はあまり高くない．特に大きさに関しては，大きさの異なる参照画像と一致した場合には大きな誤差となる．4 台カメラの位置推定結果の中で最も精度が良いものは，約 50cm 程度の誤差で済んでいるものの 4 台の力

表 1: 実験に用いた計算機およびカメラの仕様

計算機	SGI 社 O_2
CPU	R12000(400MHz)
カメラ	Sony 社 EVI-D30
解像度	320 × 240

メラからの結果の平均値はあまり精度は高くない。しかし複数のカメラの結果を統合すれば、精度は大きく向上することがわかる。動的アクティブ探索法では、物体までの距離の推定精度に比べ方向推定の精度が良好に得られるため、複数カメラによる測量が効果的に行えたと推察される。

4.3 考察

物体の位置による探索時間を図8に示す。図8の円の半径は探索時間を表している。左が予測ありの場合の Camera1 だけを用いた場合の探索時間である。右が予測ありの場合の4台のカメラを用いた場合の探索時間である。Camera1 から遠いほど、時間がかかる傾向がある。遠い物体でも近い物体より速く検出する可能性があるのは、探索時間が、予測制御の性能にも依存するからである。予測段階での誤った予測に対して、検証段階で検証した結果バックトラックを繰り返す場合などに速度が低下する。このように距離や物体の方向により探索時間に大きな違いがあるので図8右のように複数のカメラを用いると検出しやすいカメラが存在する確率が高くなり、速度向上が実現できる。

同様に物体の位置による精度の違いを図9に示す。図9中の円の半径は、推定誤差である。図9左に Camera1 により推定した場合の誤差を示し、図9右に、複数のカメラを用いた三角測量により推定した場合の誤差を示す。

1台のカメラによる誤差は、場所により大きく異なる。これは、色ヒストグラム特徴による検出の場合、物体の見え方によって、物体の大きさを正しく検出することが難しいため、カメラからの距離推定が困難であることによる。一方、動的アクティブ探索法から得られる方向情報のみを扱う複数のカメラの結果を統合した手法では、良好な精度が得られた。動的アクティ

表 2: 探索時間

	最速	平均
予測なし	31.9s	89.1s
	(16.9s,15.0s)	(49.8s,39.3s)
予測あり	15.3s	40.8s
	(7.2s,8.2s)	(18.6s,22.2s)

ただし () 内は画像探索時間、カメラ制御時間

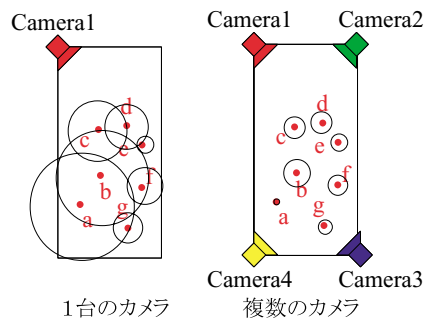


図 8: 物体位置と探索時間

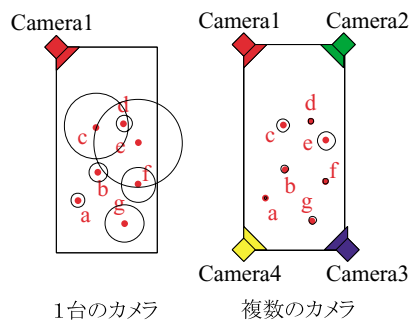


図 9: 物体位置と位置推定精度

ブ探索法から得られる方向情報は、ズームを行うことによって方向を表す角度の分解能が細かいために物体の部分的な特徴を検出した場合に生じる多少の方向ずれはほとんど影響を与えないからである。

5 むすび

本論文では、パン・チルト・ズーム制御可能な能動カメラを用いて室内環境から物体を高速に探索する手法「動的アクティブ探索法」を提案した。本手法は、照明条件の変動、物体の向き、カメラパラメータの違いにより物体の見え方が大きく変わる場合においても高速

表 3: 位置推定精度

	1台(平均)	1台(最良)	4台
平均誤差	124.8cm	47.6cm	18.9cm
標準偏差	134.4cm	18.5cm	10.5cm

に物体を検出することが可能である。また複数のカメラを利用することで、1台のカメラの場合よりも探索時間を大幅に短くすることが可能となる。30m²ほどの室内環境の様々な位置に配置した物体を平均15秒で探索し、誤差20cmで物体位置が得られた。これはカメラ1台で予測制御なく探索した場合の6倍に相当する。今後、予測情報を交換することによって複数カメラの協調によるより効率的な物体探索を検討していく予定である。

謝辞

日ごろ御指導頂く NTT コミュニケーション科学基礎研究所、石井健一郎所長、管村昇部長及び萩田紀博部長に感謝する。また日ごろ、御協力を頂く同研究所メディア認識研究グループの諸氏に感謝する。

参考文献

- [1] Hiroshi Ishiguro. Distributed vision system: A perceptual information infrastructure for robot navigation. *IJCAI-97*, pp. 36–41, 1997.
- [2] Kazumasa Yamazawa, Yasushi Yagi, and Masahiko Yachida. Obstacle detection with omnidirectional image sensor hyperomnivision. *Proc. of ICPR'95*, pp. 1062–1067, 1995.
- [3] Toshikazu Wada and Takashi Matsuyama. Appearance sphere: Background model for pan-tilt-zoom camera. *Proc. of ICPR'96*, pp. 718–722, 1996.
- [4] Yoshio Onoe, Kazumasa Yamazawa, Naokazu Yokoya, and Haruo Takemura. Visual surveillance and monitoring system using an omnidirectional video camera. *Proc. of ICPR'98*, pp. 588–592, 1998.
- [5] 谷内清剛, 和田俊和, 松山隆司. 視点固定型パン・チルト・ズームカメラを用いた適応の見え方モデルに基づく人物頭部の検出・追跡. *Proc. of MIRU2000*, Vol. I, pp. 9–14, 2000.
- [6] 伊藤渡, 上田博唯. 広域監視用親カメラと追尾監視用子カメラによる協調監視システム. *Proc. of MIRU2000*, Vol. II, pp. 235–240, 2000.
- [7] Yasunori Abe, Masaru Shikano, Toshio Fukuda, Fumihito Arai, and Yoshio Tanaka. Vision based navigation system by variable template matching for autonomous mobile robot. *Proc. of ICRA'98*, pp. 952–957, 1998.
- [8] Gang-Yi Jiang and Tae Young Choi. Robust detection of landmarks in color image based on fuzzy set theory. *Proc. of ICSP'98*, pp. 968–971, 1998.
- [9] 村瀬洋, Shree K. Nayar. 2次元照合による3次元物体認識—パラメトリック固有空間法—. *信学論 (D-II)*, Vol. J77-D-II, No. 11, pp. 2179–2187, 1994.
- [10] 村瀬洋, V. V. Vinod. ヒストグラム特徴を用いた高速物体探索法—アクティブ探索法—. *信学論 (D-II)*, Vol. J81-D-II, No. 9, pp. 2035–2042, 1998.
- [11] 川西隆仁, 村瀬洋. アクティブ探索法のパン・チルト・ズームカメラを用いた物体探索への適用. *Proc. of MIRU2000*, Vol. II, pp. 31–36, 2000.
- [12] Berthold K.P. Horn. ロボットビジョン—機械は世界をどうみるか—, 第13章, pp. 329–368. 浅倉書店, 1993.
- [13] William H. Press, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling, and Brian P. Flannery. Numerical recipes in C(日本語版), 第2章, pp. 73–84. 技術評論社, 1993.