

## 広域映像サーベイランスのための アクティブカメラを用いた物体軌跡の取得

河口 裕治†, 島田 敬士‡, 有田 大作\*†, 谷口 倫一郎‡

九州大学大学院システム情報科学府†  
九州大学大学院システム情報科学研究院‡  
〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744  
財団法人九州先端科学技術研究所\*

〒814-0001 福岡県福岡市早良区百道浜2丁目1-22

E-mail: {kawaguchi,atsushi,rin}@limu.is.kyushu-u.ac.jp, arita@isit.or.jp

**あらまし** 本稿では、パン・チルトの制御が可能なアクティブカメラ1台の制御法を工夫することにより広域サーベイランスにおいて、できる限り多くの物体の軌跡を取得する方法を提案する。アクティブカメラを制御することで、定点カメラに比べより広い空間の撮影が可能となるが、注視点映像外の物体については観測できないという問題がある。我々が提案するシステムは、過去の追跡状況から物体の位置を予測し、最も物体数が多くなる領域を撮影するようにアクティブカメラの制御を行う。シミュレーション実験において提案手法の有効性を確認した。

**キーワード** アクティブカメラ, 移動物体追跡, サーベイランス

## Object Trajectory Acquisition with an Active Camera for Wide Area Scene Surveillance

Yuji Kawaguchi†, Atsushi Shimada‡, Daisaku Arita\*†, Rin-ichiro Taniguchi‡

Department of Intelligent Systems, Kyushu University†‡  
744, Motooka, Nishi-ku, Fukuoka, 819-0395, Japan  
Institute of Systems, Information Technologies and Nanotechnologies\*  
2-1-22, Momochihama, Sawara-ku, Fukuoka, 814-0001, Japan  
E-mail: {kawaguchi,atsushi,rin}@limu.is.kyushu-u.ac.jp, arita@isit.or.jp

**Abstract** We propose a new wide area video surveillance system with an active camera. This system acquires a lot of object trajectories. An active camera can observe a wide area with pan and tilt controls. However, a disadvantage of an active camera is that it cannot observe all of the area simultaneously. Therefore, an active camera should be controlled appropriately to observe as many trajectories as possible. In our proposed system, an active camera changes its observing area to another area where more objects will be observed. We confirmed the performance of our system in some experiments.

**Key words** Active Camera, Moving Object Tracking, Surveillance

### 1. はじめに

カメラで撮影した映像を解析することで目的に応じた有益な情報を得ることができることから、交通量解析や、マーケティング、セキュリティシステムなどのために街中にカメラを設置する機会が増えてきている。映像解析の自動化という技術を交通量解析等に応用することを考えた場合、ひとつのシステムでできるだけ広範囲を観察することが

望まれる。そこで、本研究では広範囲を高解像度で観察しつつ、撮影領域内に現れる物体を検出・追跡し、できる限り多くの物体の移動軌跡を取得することを旨とする。

解決策として、高解像度の固定カメラを多数分散配置することで、広い範囲を観察する方法が挙げられる。しかし、この方法では各カメラからの映像を協調管理する必要があり、カメラ間で現れる同一の物体を対応付けなければならないため、計算

量的なコストが大きい。また高解像度カメラを多数用意するための導入コストも高くなる。そこで、固定カメラのかわりにアクティブカメラを利用した、より広範囲を観察可能なシステムの研究が行われている。アクティブカメラは、注視していない場所は死角になってしまうという問題はあるが、パン・チルトの制御により広範囲を撮影可能であり、またズームすることで高解像度な画像を取得することも可能である。

高見らは、複数のアクティブカメラを用いて頑健に移動物体の追跡を行う手法を提案している [1]。この手法では、アクティブカメラは定義された状態遷移モデルに基づいて自律的に動作し、同一の物体を同時に追跡する。各カメラで得られる追跡情報は1つのサーバに集められ、相互に参照可能である。対象を見失ったカメラは、他のカメラが追跡を継続していた場合、その追跡情報を用いて再び対象を発見・追尾することが可能である。しかし、1つの物体を追跡するために複数台のカメラを使用しなければならないため、多数の物体を同時に追跡するためにはさらに多くのアクティブカメラを用意しなければならないという問題がある。

青木らは、対象を高解像度で追跡しつつ、観測領域内に動的に発生する死角領域が減少するように、複数のアクティブカメラが撮影領域を調整する協調監視システムを提案している [2]。この手法では、追跡対象を発見したカメラが、その対象を注視することによって発生する死角領域を補うように、残りのカメラがパン・チルト・画角を相互に通信し、互いの撮影領域をオーバーラップさせる協調動作を行うことで、動的に発生する死角領域を減少させる。しかし、1台の追跡用カメラが注視して追跡を行う対象は1つだけであるため、多数の物体を追跡する場合には多くのアクティブカメラが必要となる。また、追跡用カメラの台数が増えると、全体を監視するカメラの台数が減るため、死角領域が増えてしまうという問題点がある。

Costelloらは、固定カメラ1台とアクティブカメラ1台を用いて高解像度な人物追跡画像を生成するシステムを提案している [3]。固定カメラは撮影領域全体を監視しており、対象の追跡や移動速度の計算などを行っている。固定カメラで得た情報を用いて、アクティブカメラを適切に制御することで人物の高解像度映像の撮影を行う。撮影領域に複数の対象が現れた場合は、どの対象を撮影するかを対象の重要度に基づいてスケジューリングし、撮影を行う。この手法では、人数を追跡しつつ、重要度の高い対象は重視して観察することができる。また、固定カメラで追跡を行った情報をアクティブカメラに渡すだけなので、カメラ間で物体

の対応付けを行う必要はない。しかし、撮影範囲が固定カメラで撮影可能な範囲に制限されるため、広範囲の追跡を行うことができないという問題がある。

そこで本研究では、1台のアクティブカメラの制御法を工夫することで、広域サーベイランスにおいてできる限り多くの物体の軌跡を取得する方法を提案する。提案手法は、Costelloらの手法に比べ撮影範囲が広く、アクティブカメラ1台しか用いていないため固定カメラを複数台用いるより低コストであるという利点がある。また、複数台のアクティブカメラを利用するシステムへも拡張することができ、カメラ1台あたりの追跡数が多く、広範囲を少ないカメラ台数で補うことができる。そのため、低コストに広域サーベイランスシステムを実現することができる。

第2節では、提案システムで利用する画像処理技術について述べ、第3節ではアクティブカメラの制御方法について述べる。第4節では、実験内容を述べ、第5節では実験結果を述べ、考察する。第6節では、本研究のまとめと、今後の課題について述べる。

## 2. システムで利用する画像処理技術

提案するシステムでは1台のアクティブカメラを用いる。アクティブカメラで撮影する領域をあらかじめいくつか決めておき、その領域でのみ画像処理を行う。提案システムは、物体の検出・追跡、物体の対応付け、アクティブカメラ制御の3つの処理で構成される。本節では、これらのうち物体の検出・追跡、対応付けの処理について述べる。

### 2.1 物体の検出・追跡

アクティブカメラは決められた撮影領域のみを観察するため、それぞれの撮影領域において、固定カメラと同じ状態であると仮定できる。このことから、提案システムでは背景差分を利用でき、物体検出が容易に行える。本稿では、背景の微小な変化による影響を抑えつつ、対象領域を頑健に検出するため、Parzen 推定による動的背景モデルを用いた背景差分 [4][5] を用いる。これは、ノンパラメトリックな確率密度の推定法である Parzen 推定を用いて、過去に観測された画素値を基に背景モデルを推定する手法である。背景差分によって得られる前景領域には物体の影領域も含まれている。影領域は画像処理を行う上で悪影響を及ぼす可能性があるため除去する必要がある。影領域を除去する手法として、Schreer らが提案している YUV 表色系を用いた手法がある [6]。この手法では、影の画素値は背景の画素値に比べ明度、彩度のみが小さくなっており、色相は変化しないという性質を

用いている。

物体の追跡には、パーティクルフィルタ [7] を利用する。パーティクルフィルタは、各時刻における対象の状態  $x$  を逐次的に推定する手法であり、物体の変形や一部隠れなどに比較的安定であるという特長がある。

本稿では、これらの手法を用いて物体の検出・追跡を行う。具体的な処理手順を以下に示す。

**Step 1** 現在の時刻に観測された画像に対し、Parzen 推定による動的背景モデルを用いて背景差分を行い、前景領域を検出する。

**Step 2** Step 1 で得られた前景領域に対し、YUV 表色系を用いた手法により影領域を除去する。

**Step 3** Step 1, Step 2 により得られた前景領域を物体領域とみなし、これを基にパーティクルフィルタを用いて追跡を行う。

## 2.2 アクティブカメラの撮影領域間での物体の対応付け

アクティブカメラの撮影領域を切り替える場合、次の領域にカメラを回転するための時間がかかり、その間追跡処理を行うことができない。そのため、アクティブカメラを回転させたときに回転前の撮影領域で追跡していた物体が、回転後の撮影領域に移動してきて新しい物体として検出される場合がある。アクティブカメラで観察する領域を  $A_i (i = 1, \dots, N)$  とし、カメラの画角との位置関係は事前に与えられているものとする。領域  $A_i$  で物体  $O_i^j (j = 1, \dots, M)$  を追跡しているとする。図 1 では、観測領域を  $A_1$  から  $A_2$  に切り替えた時に  $A_1$  で追跡していた物体  $O_1^j$  が  $A_2$  に現れて  $O_2^{new}$  として新しく検出された場合を表している。物体ごとの軌跡を取得するためには、回転前に追跡していた物体と対応付けて同じ物体であることを認識する必要がある。これを行わなかった場合、同じ物体であるにも関わらず別の物体として追跡した情報を取得してしまうことになる。

観察領域を  $A_i$  から  $A_{next}$  に変えた時に、 $A_{next}$  で新たに物体  $O_{next}^{new}$  を検出したとき、以下の手順で物体  $O_i^j$  と  $O_{next}^{new}$  を対応付ける。

**Step 1**  $O_i^j$  を最後に観察した時間から現在までの時間が一定値以下の場合、 $O_i^j$  の速度を追跡していた最後の  $t$  秒間の画像上での平均速度として式 (1), (2) で求める。

$$v_x = \frac{x(t_{lost}) - x(t_{lost} - t)}{t} \quad (1)$$

$$v_y = \frac{y(t_{lost}) - y(t_{lost} - t)}{t} \quad (2)$$

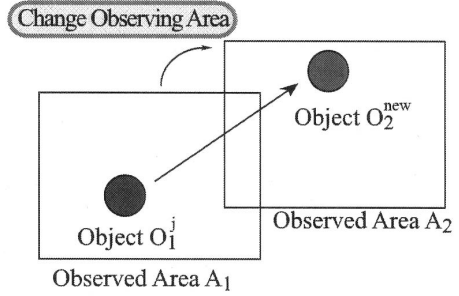


図 1: 物体の対応付けが必要な場合

$t_{lost}$  はその物体を見失った時刻であり、 $x(t)$ ,  $y(t)$  は時刻  $t$  における物体の座標である。 $O_i^j$  を見失ってから一定時間経過していた場合と、式 (3), (4) から得られる  $O_i^j$  の現在の予測座標  $(x_p^j, y_p^j)$  が全観測領域から大きく外れていた場合は、観測領域外に消失したと判断して対応付けの対象から除外する。

$$x_p^j = x(t_{lost}) + v_x(t_{now} - t_{lost}) \quad (3)$$

$$y_p^j = y(t_{lost}) + v_y(t_{now} - t_{lost}) \quad (4)$$

$t_{now}$  は、現在の時刻である。

**Step 2**  $O_i^j$  を見失った時刻と移動方向から図 2 に示す探索領域を選択する。

**Step 3** Step 2 で求めた探索領域内に  $O_{next}^{new}$  が存在していた場合、 $O_{next}^{new}$  の正規化色ヒストグラム  $H_{next,new}$  と  $O_i^j$  の正規化色ヒストグラム  $H_{i,j}$  との類似度  $S_j$  をヒストグラムインタセクションを用いて次式により計算する。

$$S_j = \sum_{k=1}^K \min(H_{i,j}^k, H_{next,new}^k) \quad (5)$$

$H_{i,j}^k, H_{next,new}^k$  は各ヒストグラムの  $k$  番目のビン値である。色ヒストグラムはそれぞれ  $\sum_{k=1}^K H^k = 1$  に正規化されているため、類似度は 0~1 の範囲の値となる。

**Step 4** Step 1~3 を繰り返して、観測領域内にいる全ての物体と比較し、 $O_{next}^{new}$  との色ヒストグラムと類似度  $S_j$  が最も高い物体  $O_i^j$  を同一の物体として対応付ける。

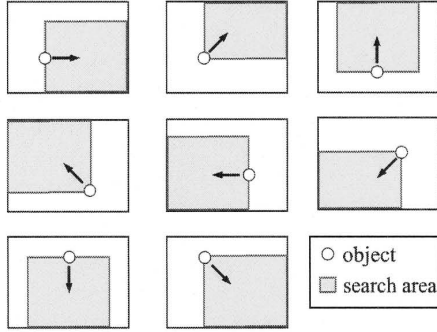


図 2: 対応付けでの探索領域

この処理によって  $O_{next}^{new}$  が  $O_i^j$  と対応付けられた場合、それ以降  $O_{next}^{new}$  を  $O_i^j$  として追跡を行い、その間の軌跡を直線で結び、補完する。

### 3. アクティブカメラの制御法

撮影領域内に現れる物体をできる限り多く追跡し、その軌跡を取得するにはカメラを適切に制御する必要がある。ここでは、4種類のアクティブカメラの制御法について説明する。以下では、アクティブカメラでの各観察領域  $A_i$  を観察する時間を  $d_i$  とする。

#### 3.1 制御法 1: 観察時間一定

この制御法は、全ての観察領域  $A_i$  での観察時間  $d_i$  を同一の値に設定し、その時間だけ観察したら次の領域にカメラを回転させる。アクティブカメラで全体を見渡す合計の時間を  $D$  とすると、観察領域数  $N$  により各観察時間  $d_i$  は次式で表される。

$$d_i = \frac{D}{N} \quad (6)$$

各観察領域をこの時間ずつ順に観察する。

#### 3.2 制御法 2: 観察時間変動

観測が進むにつれて、物体の追跡数から物体が現れやすい領域と現れにくい領域があることがわかってくる。そこで、物体の現れやすい領域ほど長く観察するようにカメラを制御することで、より多くの物体を追跡できるようにする。

まず、各領域  $A_i$  で過去に追跡した物体の数  $n_i$  を保持しておく。カメラを回転させたとき、各観察領域での観察時間  $d_i$  を次式を用いて、観察時間を変える。

$$d_i = (D - ND_0) \frac{n_i}{\sum_{k=1}^N n_k} + D_0 \quad (7)$$

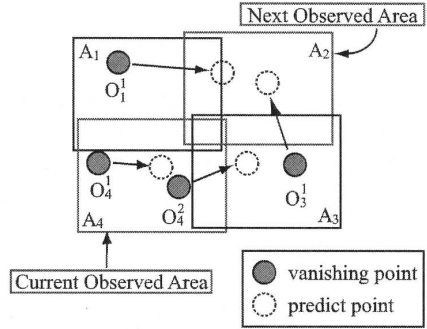


図 3: 物体位置予測によるカメラ制御

ここで、 $D_0$  は観察時間が 0 秒にならないための定数である。物体の出現頻度の高い領域を長時間観察することでより多くの物体の軌跡を取得することができると考えられる。この制御法には、物体の出現頻度が途中で変化した場合、それに対応するまでに時間がかかってしまうという欠点がある。

#### 3.3 制御法 3: 物体位置予測

各観察領域で過去に観察している物体  $O_i^j$  の画像上の速度を式 (1), (2) を用いて求める。この速度を用いてカメラ回転後の位置を式 (3), (4) により予測し、予測した物体の数が最も多い領域にカメラを回転させる。例えば、図 3 では過去に観察領域  $A_1$  で  $O_1^1$ ,  $A_3$  で  $O_3^1$ ,  $A_4$  で  $O_4^1$ ,  $O_4^2$  を追跡しており、現在は領域  $A_4$  を観察している。このとき、カメラ回転後の各物体の位置を速度を用いて予測すると、 $A_2$  内に物体が 2 つ入り、最も物体数が多くなっているため、アクティブカメラを  $A_2$  に回転させる。

全観察領域での予測物体数が 0 の場合、観察時間  $d_i$  を式 (6) から算出し、各観察領域を順に観察する。予測物体数が複数の観察領域で最大値をとる場合、それらの領域だけを順に観察するものとする。同じ領域をずっと見続けてしまう可能性があるため、ある領域を観察し始めて、 $D_{limit}$  秒経過した場合、巡回モードに移行し他の領域を一度  $D_{patrol}$  秒ずつ順に観察する。観察していた領域以外に現れた物体を検出したとき、それらを加えた物体の位置予測を行うことができるようになるためより多くの物体の軌跡を取得することができると考えられる。

#### 3.4 制御法 4: 観察時間変動 + 物体位置予測

この制御法は、上記の制御法 2 と制御法 3 を組み合わせたものである。制御法 3 と同様に、過去の



追跡状況からカメラを回転させたときの物体位置を予測し、最も物体数が多い領域を観察する。全観察領域での予測物体数が0の場合、過去の物体追跡数に応じて式(7)を用いて各領域の観察時間 $d_i$ を求め、順に観察する。予測物体数の最大値をとる観察領域が複数ある場合は、式(7)の観察時間ずつそれらの領域を順に観察する。同じ観察領域を $D_{limit}$ 秒以上観察し続けていた場合、制御法3と同様に巡回モードに移行する。この制御法では、出現頻度の高い領域を長く見ることによって物体を多く検出でき、さらに位置を予測することで制御法3より多くの物体の軌跡を取得できると考えられる。

## 4. 実験

### 4.1 実験方法

アクティブカメラは制御の違いにより撮影映像が違うものとなるため、オンライン実験では同じ条件下で各手法を比較・評価することができない。そこで、あらかじめ高解像度固定カメラで広範囲の映像を撮影しておき、その部分画像をアクティブカメラで撮影した画像と仮定して取り扱い、オフラインでの実験を行う。アクティブカメラを回転して得られる各画像は同一画像平面上にあると仮定する。

実験に用いる映像は、解像度 $1280 \times 960$ の約30分の動画であり、映像中には移動物体としておよそ100人の人物が現れる。

実験1：提案手法に用いる物体追跡の精度を確認するために、観察領域全体で物体検出・追跡する実験を行う。

実験2：3節で述べた4種類のアクティブカメラ制御法によって、実験映像中の物体軌跡を取得する実験を行い、各制御法の性能を比較する。この実験におけるアクティブカメラの観察領域は図4に示す重なりのある領域 $A_i (i = 1, \dots, 4)$ であり、それぞれ解像度 $640 \times 480$ の画像となる。全領域の観測時間 $D = 20$ 秒、アクティブカメラを回転順は $A_1, A_2, A_3, A_4$ とする。制御法3, 4では、同じ領域を観察し続けることができる時間 $D_{limit} = 8$ 秒、巡回モードで各領域を観察する時間 $D_{patrol} = 1.5$ 秒とする。また、カメラの回転に要する時間を考慮に入れるため、各制御法において観測領域を変えた時は回転に要する時間だけ進める。

実験3：観察領域数を変えたときに取得できる物体の軌跡について検証する。実験2における撮影領域のうち $A_2, A_3, A_4$ の3つの領域の場合と $A_2, A_3$ の2つの領域の場合に対してアクティブカメラの制御法1, 4を用いて実験する。観測領域が3つの場合は、全領域の観測時間 $D = 15$ 秒、アクティブカメラの回転順は $A_2, A_3, A_4$ とする。制御法4では、同じ領域を観察し続けることができ



図4: 観察領域



図5: 物体軌跡のGround Truth

る時間 $D_{limit} = 10$ 秒、巡回モードで観察する時間 $D_{patrol} = 1.5$ 秒とする。観測領域が2つの場合は、全領域の観測時間 $D = 15$ 秒、アクティブカメラの回転順は $A_2, A_3$ とする。制御法4では、同じ領域を観察し続けることができる時間 $D_{limit} = 8$ 秒、巡回モードで観察する時間 $D_{patrol} = 1.5$ 秒とする。

### 4.2 評価方法

まず撮影した映像の物体軌跡のGround Truthを作成しておく。撮影映像中に現れるすべての物体の中心位置を手で登録してGround Truthを作成した。図5に作成したGround Truthを示す。軌跡の取得の精度を比較するため、再現率と適合率を用いて評価を行う。各フレームにおいてGround Truthを中心、追跡する物体の全長を半径とする円形領域内に物体の追跡点が入っていれば追跡成功

表 1: 物体追跡の精度

再現率 (%)	適合率 (%)
80.0	74.4

表 2: 各制御法の再現率・適合率

	再現率 (%)	適合率 (%)
制御法 1	20.7	69.7
制御法 2	23.6	56.0
制御法 3	27.9	53.4
制御法 4	29.8	55.5

とみなす。ここで、再現率、適合率は以下の式で定義される。

$$\text{再現率 (\%)} = \frac{\text{追跡成功数}}{\text{追跡すべき数}} \times 100 \quad (8)$$

$$\text{適合率 (\%)} = \frac{\text{追跡成功数}}{\text{追跡した数}} \times 100 \quad (9)$$

## 5. 実験結果と考察

### 5.1 全体を観察したときの物体追跡の精度

実験 1 の実験結果から式 (8), (9) を用いて、再現率、適合率を求めた結果を表 1 に示す。この結果が今回の実験で使用する追跡システムの精度であるといえる。この結果から、これ以後の実験での再現率の上限がおおよそ 80%, 適合率の上限がおおよそ 74.4% になると推測できる。この数値を基準にして次の実験を評価する。

### 5.2 提案する制御法の結果と考察

実験 2 で得られた軌跡の例として、制御法 2, 3 の結果を図 6 に示す。各領域間で対応付けに成功した例を、図 7, 8 に示す。図 7 は、観測領域  $A_1$  に現れた物体が  $A_2$  に移動したときの例であり、図 8 は、観測領域  $A_2$  に現れた物体が  $A_4$  に移動したときの例である。

実験 2 では、カメラの観察領域間での物体の対応付けに失敗した場合、それ以降の物体の軌跡となるため、4.2 節で述べた円形領域内に物体の追跡点が入っていたとしても追跡失敗と見なす。この結果を式 (8), (9) を用いて、再現率、適合率を求めた結果を表 2 に示す。

過去の追跡状況により各領域の観察時間を変える制御法 2 は、制御法 1 に比べ再現率が高い。回転後の物体の位置を予測することで、制御法 1 と比べ制御法 3, 4 もともに再現率が 10% 近く高く



(a) 制御法 2



(b) 制御法 3

図 6: 実験で取得した物体軌跡

なっている。Ground Truth に対しては、それぞれ 30% 以下の再現率であるが、実験 1 で行った追跡精度から見ると物体の追跡は全体の 80% しかできないため、そのなかで全体の約 30% を再現できていることから制御法 3, 4 は全領域を同時に画像解析できることを想定した場合に対して約 40% の再現率があるといえる。アクティブカメラを制御法 1 により制御した場合、同時に全領域が画像解析可能と想定した場合に対して単純に 4 分の 1 の領域しか一度に解析を行えないため、再現率は 25% 程度になるものと見込まれる。制御法 3, 4 ではこの値よりも高い再現率が得られているため、単純に観察領域を巡回するよりも効率的なカメラ制御が行えたと言える。しかし、各制御法の適合率は表 1 に示した結果よりも低い値となっている。これは対応付けに失敗した場合、それ以降の追跡は失敗と見なしているためであると考えられる。そこで、対応付けの成功率を調べてみたところ、約 60% であった。このことから、対応付けの精度を上げるこ



図 7: 対応付け成功例 1

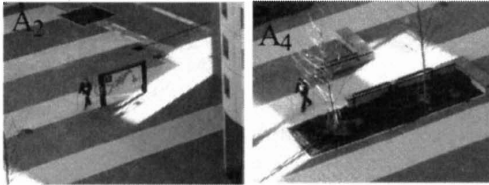


図 8: 対応付け成功例 2

とで、今回提案した制御法はより精度を上げることが可能だといえる。また、制御法 1 に比べ、制御法 3, 4 の適合率が低くなっているのは過去の追跡状況を用いて物体位置を予測してカメラを頻繁に回転させているため、対応付けを行う回数が増えることが原因だと考えられる。制御法 2 の適合率が低くなっているのは、物体の観測頻度の低い領域では、物体を検出しても短い時間しか追跡できないため、物体の移動方向を求めるのに十分な時間がなかったことが原因となっていると考えられる。

対応付けに失敗していても、対応付け失敗後の軌跡は取得できているため、各撮影領域内のみでの軌跡取得の成功率を計算すると、各制御法の再現率・適合率は表 3 のようになる。これより、対応付けの精度を向上させれば、軌跡取得の成功率は制御法 3, 4 で Ground Truth に対して約 40% にまで上げることができる。これは表 1 に示した再

表 3: 対応付けを無視した場合の各制御法の再現率・適合率

	再現率 (%)	適合率 (%)
制御法 1	23.7	80.5
制御法 2	31.8	79.5
制御法 3	39.6	76.7
制御法 4	39.9	75.0

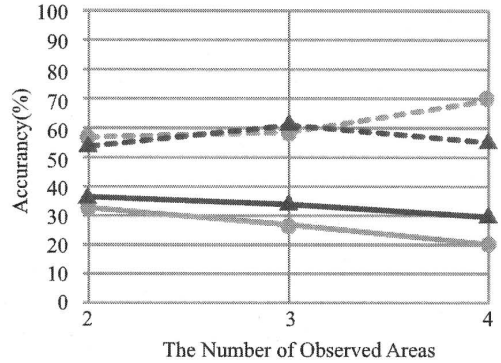
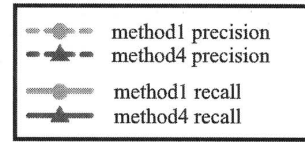


図 9: 観察領域数の違いによる再現率・適合率の変化

現率に対して約半分の軌跡が取得できていることになる。実際には全領域の 4 分の 1 しか観察できていないという条件下で実験を設定しているため、この精度は、カメラ制御を適切に行えたことに起因すると考えられる。また、対応付けの精度が向上すれば、物体の最も多い領域の予測もより精度が上がるため、制御法 3, 4 はさらに良い性能を得られる可能性がある。しかし、制御法 3 と制御法 4 ではあまり再現率・適合率に差はない。このこと、制御法 3 の再現率の方が制御法 2 よりも高いことから、各観察領域  $A_i$  の観察時間  $t_i$  を過去の追跡数に応じて変化させるよりも過去の追跡情報を基に最も物体数の多い観察領域を予測してその領域を観察するように制御を行う方が良いといえる。制御法 2 では、出現頻度が高い観察領域を長い時間観察することにはなるが、その間に本当に物体が出現するとは限らないため、制御法 3 と比べ、再現率が低くなっていると考えられる。

### 5.3 観察領域数の違いによる精度の検証

実験 3 でも同様に対応付けに失敗して追跡したものは違う物体を追跡しているため追跡失敗と見なす。この結果を式 (8), (9) を用いて、再現率、適合率を求めた結果を図 9 に示す。

観察領域が 4 つである実験 2 の結果と比較するとどちらも再現率は良い結果が得られた。また、図

9から観測領域数が増えるにつれて再現率も減少することがわかる。これは、観察領域数が実験2よりも少ないため、それぞれの領域が死角領域となっている時間が短く、新たに出現した物体を見逃すことが少なくなることが大きな要因であると考えられる。また、適合率はどちらも表1より低くなっているが、実験2と同等の結果が得られた。このことから、観察領域数を増やすとそれぞれの領域が死角領域となる時間が長くなるため、取得できる軌跡の数が減少するが、適合率は観察領域数に依存しないといえる。

## 6. おわりに

本稿では、アクティブカメラ1台を用いて、広範囲の観測領域内でできる限り多くの物体の軌跡を取得するためのカメラの制御法を提案した。提案システムは、過去の物体の追跡情報を基にカメラ回転後の位置を予測することでより多くの物体軌跡を得ることができることをオフラインによるシミュレーション実験において確認した。

提案したアクティブカメラの制御法は、制御法1に比べ、物体軌跡の再現率を上げることはできたものの未だ全体の30%程度であり、適合率は55%程度である。今後の課題として、対応付けの精度を上げること、よりよいカメラ制御法を考案すること、オンラインで動くシステムを実現すること、複数台のアクティブカメラを用いたシステムへの拡張などが挙げられる。

## 参考文献

- [1] 高見将司, 宇都宮将陽, 室井基継, 全炳東. “複数の能動カメラによる移動体追尾”. 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU2007-313, pp. 443-448, 2008.
- [2] 青木勝司, 吉田篤, 荒木昭一. “アクティブカメラ群による対象追跡ならびに全観測領域の協調監視の評価”. 情報処理学会研究報告, 2006-CVIM-152, pp. 101-108, 2006.
- [3] Cash J.Costello, Christopher P.Diehl, Amit Banerjee, and Hesky Fisher. “Scheduling an Active Camera to Observe People”. *2nd ACM International Workshop on Video Surveillance and Sensor Networks*, pp. 39-45, 2004.
- [4] Ahmed Elgammal, Ramani Duraiswami, David Harwood, and Larry Davis. “Background and Foreground Modeling using Non-parametric Kernel Density Estimation for Visual surveillance”. *Proceedings of the IEEE, Vol.90*, pp. 1151-1163, 2002.
- [5] Tatsuya Tanaka, Atsushi Shimada, Daisaku Arita, Rin-ichiro Taniguchi. “A Fast Algorithm for Adaptive Background Model Construction Using Parzen Density Estimation”. *IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, 2007. AVSS 2007.*, pp. 528-533, 2007.
- [6] Oliver Schreer, Ingo Feldmann, Ulrich Golz, and Peter Kauff. “FAST AND ROBUST SHADOW DETECTION IN VIDEOCONFERENCE APPLICATION”. *4th IEEE Intern Symposium on Video Proces. and Multimedia Comm*, pp. 371-375, 2002.
- [7] Michael Isard and Andrew Blake. “Condensation-conditional density propagation for visual tracking”. *International Journal of Computer Vision, Vol.29, No.1*, pp. 5-28, 1998.