

## 視点固定型パン・チルト・ズームカメラを用いた 実時間対象検出・追跡

物部 祐亮 和田 俊和 松山 隆司

京都大学大学院工学研究科 電子通信工学専攻

広範囲を移動する対象を正確に撮影するためには、パン・チルト・ズームなどのカメラアクションを行いながら対象の追跡を行う方法が有効である。しかし、画像から対象を検出し、検出結果に応じてカメラアクションを行うリアクティブシステムでは、画像の撮影開始からアクションの完了までに要する時間を無くすことができないため、ある時刻にシステム内部で求められた運動対象の情報（位置、速度等）は、実世界では対象の過去の情報に相当している。このような時間遅れと、その間の対象の運動を考慮したリアクティブシステムを行うことによって、「リアクティブシステムにおける実時間性」を保証することができる。本稿では、「対象の運動推定」と「システムの時間遅れ推定」の2つから、対象の運動に整合したカメラアクションを決定する手法を提案し、試作システムを用いた実験結果から、本手法によりシステムの追従性・安定性が著しく向上することを示す。

## Real-time Object Detection and Tracking by Fixed Viewpoint Pan-Tilt-Zoom Camera

Y. Monobe T. Wada T. Matsuyama

Department of Electronics and Communication,  
Graduate School of Engineering, Kyoto University

For the detection and tracking of objects moving in wide surveillance area, active sensing method using pan-tilt-zoom camera is effective. In the visual reactive system which autonomously changes camera parameters depending on the visual information, time elapses while capturing image, determining and performing camera action. Because of this elapsed time, detected attributes (position, speed, etc.) of objects in the system correspond to the past attributes in the real world. This time lag causes inconsistent camera action with moving objects. Hence, the real-time system should perform consistent camera action with moving objects by canceling this time lag. This report presents a method to determine the consistent camera action based on 1) motion estimation of object and 2) response-time property of the system. Experimental results demonstrate that the proposed method drastically improves the performance and stability of the object tracking system using fixed viewpoint camera.

## 1 はじめに

パン・チルト・ズームの変更が可能なカメラを用いて対象の検出・追跡を行うシステムでは、画像の撮影開始からカメラアクションの完了までに要する時間を無くすることができないため、システム内部で求められる対象の位置や速度に関する情報は実世界における過去の情報に対応している。このような実世界に対するシステムの時間遅れは、対象を画像から検出し、検出結果に基づいてカメラアクションを行うリアクティブシステムにおいて不可避であり、この間に運動対象は別の位置に移動する。また、システムの時間遅れは、一般に観測データやカメラアクションによって変動するため、一定であると仮定することはできない。

したがって、対象の追跡を行うリアクティブシステムにおいては、システムの時間遅れと対象の運動を考慮して、「次の観測を行う時刻に対象が存在するはずの方向にカメラを向ける」という対象の運動に整合したカメラアクションを行わない限り、「実時間性」を保証することはできない。この実時間性を保証するには、

対象の運動推定 対象位置の時間変化の推定

システムの時間遅れ推定 次に観測が行えるようになるまでの時間の推定

の2つの推定が必要になる。

対象の運動推定は、ある時刻に対象が存在する位置にカメラを向けるというカメラアクションを実現するために必要な機能であり、システムの時間遅れ推定は、このカメラアクションが完了するまでの時間を推定するためのものである。対象の運動推定だけでは次回の観測時刻が決まらず、また、システムの時間遅れ推定だけでは対象の位置推定ができないため、対象の動きに即したカメラアクションを決定するには、この2つの推定結果の両方を利用しなければならない。

本稿では、対象の運動とシステムの応答時間特性から、対象の運動に即したカメラパラメータを決定する手法を提案し、試作した追跡システムによって本手法の有効性を示す。

以下、2章では、システムの基本となる視点固定型パン・チルト・ズームカメラと対象検出・追跡への応用について説明し、3章においてシステムの時間遅れと対象の運動を考慮したカメラアクションの決定法について述べる。また、4章では、具体的なシステムの設計法と実験結果について述べ、本手法により、システムの追従性が著しく向上することを明らかにする。

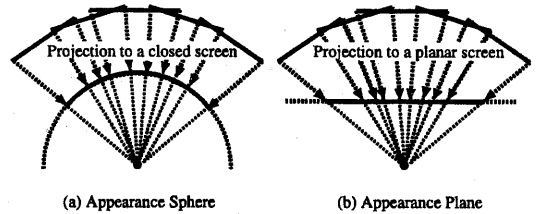


図1: Appearance Sphere と Appearance Plane

## 2 視点固定型パン・チルト・ズームカメラを用いた対象の検出・追跡

我々は、パン・チルト・ズームを変更した場合にもシーンの見え方に変化が生じない視点固定型のアクティブカメラを用いて、背景差分やフレーム間差分などの見え方に基づく処理を行う方法を示し [1]、このアクティブカメラを用いた対象の検出・追跡システムを構成した [2]。本節では、この手法とシステムの概要について述べる。

### 2.1 視点固定型パン・チルト・ズームカメラと Appearance Sphere

3次元空間から2次元スクリーン(画像平面)への投影モデルとして透視投影を仮定したとき、カメラパラメータを変更しても投影中心の移動が生じなければ、シーン中の物体・光源と投影中心の位置関係は変化しないため、撮影した画像間に幾何学的変化(運動視差)や光学的変化(ハイライトの変化等)は全く生じない。このように、パン・チルト・ズームを変更しても視点の位置が変化しないカメラのことを、「視点固定型パン・チルト・ズームカメラ」と呼ぶ。

図1に示すように、視点固定型カメラによって撮影された複数の画像を1枚の仮想スクリーンに再投影したとき、投影像は重なり部分で互いに一致し、複数の観測画像から継ぎ目のない1枚の画像が生成できる。この画像から、任意のパン・チルト・ズームでシーンを撮影した際に得られる画像が生成できることから、これはシーンの見え方のモデルと見なすことができる。このモデルは、仮想スクリーンとして球や多面体などの閉曲面を用いたとき Appearance Sphere (APS)、平面を用いた場合 Appearance Plane (APP) と呼ばれる。

### 2.2 内部パラメータのキャリブレーション

「視点固定型パン・チルト・ズームカメラで撮影した複数枚の画像から継ぎ目のない1枚の画像が生成できる」という性質を逆に利用すると、撮影された画像から継ぎ目のない1枚の画像が生成できる透視投影パラメータこそ、正しいパラ

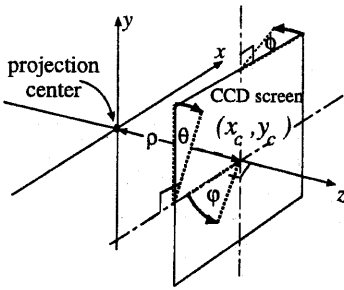


図 2: 撮像面の傾き

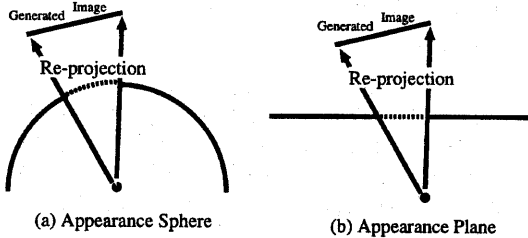


図 3: 背景画像の生成

メータであるが見なすことができる。以下、この考えに基づくカメラの内部パラメータのキャリブレーション法について述べる。

通常のカメラキャリブレーションでは、カメラの内部パラメータとして、1) 投影中心とスクリーンの距離  $\rho$ , 2) レンズ歪み係数  $\kappa$ , 3) 画像の歪み中心  $(x_0, y_0)$ , 4) 画像の縦横比  $\alpha$  がしばしば用いられる。ここでは、これらのパラメータに加えて、図 2 に示すように、5) 光軸回りの回転角  $\varphi$ , 6) 光軸に垂直な平面に対する傾き角  $(\theta, \phi)$  についてもキャリブレーションを行う。これは、実際のカメラでは CCD 面の取り付けの精度が一般に高くないためである。但し、 $\theta, \phi, \varphi$  の各回転軸はスクリーン面上の 1 点  $(x_c, y_c)$  で交差し、この点をズームングによって画像上での位置が変化しない点、すなわち、FOE とする。これにより、異なるズームで撮影された画像を同一のスクリーンに投影した場合にも、継ぎ目のない画像を生成することが可能になる。

以上のカメラモデルに基づいて、APS/APP 上での投影像の重なり部分における正規化相関が最大となるように、非線形最適化を用いて各パラメータの推定を行う。さらに、ズームを変更して同様のキャリブレーションを行い、異なるズームで求められたパラメータを補間することにより、任意のズームに対する内部パラメータを決定すれば良い。

### 2.3 背景差分による対象の検出・追跡

APS/APP から、任意のパン・チルト・ズームでシーンを撮影した際に得られる画像が生成で

きる(図 3)。この性質から、生成した画像を背景画像として用いれば、アクティブカメラにおける背景差分が実現できる。この場合、背景差分によって検出された変化領域が画像の中央部に位置するように、パン・チルト・ズームの値を変更すれば、アクティブカメラを用いた対象検出・追跡システムが構成できる。

## 3 対象の実時間検出・追跡

前節で述べた対象の検出・追跡システムにおいて、ある時刻に背景差分によって検出された対象の情報は、実世界では対象の過去の情報に相当している。ここでは、この時間遅れを考慮した視線方向とズームの決定法について述べる。

### 3.1 視線方向の決定法

システムの時間遅れの間に対象の位置は変化する。また、この時間遅れは画像の撮影や撮影された画像に対する処理、カメラアクションに要する時間の変動によって観測ごとに変化する。したがって、「次の観測を行う時刻に対象が存在するはずの方向にカメラを向ける」というカメラアクションを実現するには、対象の運動推定と次にシステムが観測を行えるようになるまでの時間推定が必要である。以下では、この 2 つの推定に基づく視線方向の決定法について述べる。

#### 3.1.1 対象の運動推定

ここでは、対象の運動をカメラの視点を中心とした等角速度運動と仮定し、視点から見た対象の方位角を次式によって表す。

$$P_{obj}(t_0 + t) = P_{obj}(t_0) + \frac{dP_{obj}(t_0)}{dt} \times t \quad (1)$$

$$T_{obj}(t_0 + t) = T_{obj}(t_0) + \frac{dT_{obj}(t_0)}{dt} \times t \quad (2)$$

但し、 $t_0$  は前回の観測時刻、 $(P_{obj}(t_0), T_{obj}(t_0))$ ,  $(\frac{dP_{obj}(t_0)}{dt}, \frac{dT_{obj}(t_0)}{dt})$  は前回の観測時刻における対象の方位角と角速度、 $(P_{obj}(t_0 + t), T_{obj}(t_0 + t))$  は時間  $t$  だけ経過したときの対象の推定方位角を表すものとする。

前回の観測時刻  $t_0$  から  $\hat{t}_d$  だけ経過したときに次の観測が行われるとすると、対象の方位角へ視線を向けるには、次式の  $(\Delta P_{cam}, \Delta T_{cam})$  だけカメラの視線方向を変化させなければならない。

$$\Delta P_{cam}(t_0 + \hat{t}_d) = P_{obj}(t_0 + \hat{t}_d) - P_{cam}(t_0) \quad (3)$$

$$\Delta T_{cam}(t_0 + \hat{t}_d) = T_{obj}(t_0 + \hat{t}_d) - T_{cam}(t_0) \quad (4)$$

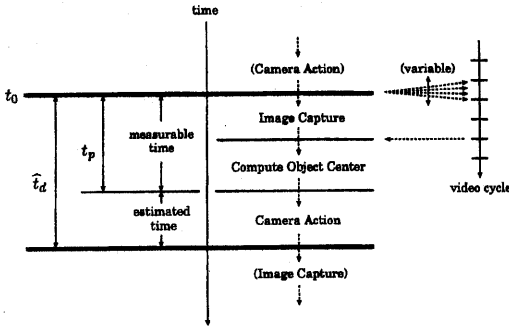


図 4: 追跡システムにおける処理時間

### 3.1.2 システムの時間遅れ推定

一方、システムの時間遅れによって決まる、次の観測までの時間 $\hat{t}_d$ を推定するには、システム内部の各処理に要する時間を求めなければならない。しかし、図 4 に示す各処理の時間は、それぞれ次に示す要因により観測ごとに変化する。

**画像の撮影** 撮影命令を出す時刻と実際に撮影が行われる時刻のずれ

**画像に対する処理** 背景差分によって検出された画素数に依存した計算量の変化

**カメラアクション** 変化させるカメラパラメータの大きさに依存した物理的な動作時間の変動

次の観測時刻の推定は、対象の検出結果に基づいて行われるため、「画像の撮影」から「撮影された画像に対する処理」までの時間は、計測によって求めることができる。したがって、推定すべき時間はカメラアクションに要する時間のみとなり、この時間が視線方向の変化の大きさだけに依存して決まると仮定すると、次の観測までに要する推定時間 $\hat{t}_d$ と視線方向を変化させる大きさは、次の関係を満たさなければならない。

$$\hat{t}_d = T(\Delta P_{cam}(t_0 + \hat{t}_d), \Delta T_{cam}(t_0 + \hat{t}_d)) + t_p \quad (5)$$

但し、 $t_p$ は「画像の撮影」から「撮影された画像に対する処理」までに要した時間の計測値とし、 $T(\Delta P_{cam}, \Delta T_{cam})$ は、カメラのパン・チルトを、それぞれ $(\Delta P_{cam}, \Delta T_{cam})$ だけ変化させるのに要する時間の推定値とする。

### 3.1.3 視線の決定

式 (1)~(5) を解くことにより、「システムが次に観測を行う時刻に対象が存在するはずの方向にカメラを向ける」というカメラアクション $(\Delta P_{cam}, \Delta T_{cam})$ とシステムの時間遅れ $\hat{t}_d$ が求め

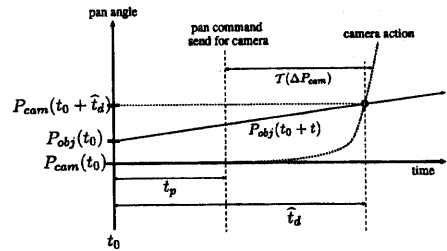


図 5: 対象の推定方位角と変更可能なカメラの視線方向

られる。この解は、パン軸周りの回転に限って考えると、時間とパン角によって張られる平面上で、推定位置に存在する対象を撮影するためのパン角 $\Delta P_{cam}$ と、パン軸周りの回転に要する時間遅れ $T(\Delta P_{cam})$ のグラフ (図 5) の交点によって表される。

### 3.2 ズームの決定法

前述のように、対象の運動推定と次の観測時刻の推定に基づいて視線方向を決定することができる。このとき、対象位置の推定誤差は観測される対象像の画像中心からのずれとして現れ、この推定誤差が画像サイズよりも大きくなると追跡を継続することが困難になる。しかし、ズームを変更することによってこの推定誤差を調整し、追跡の安定性を保つことが可能である。

対象位置の推定誤差は、基本的に対象の運動能力に起因するものであり、過去の追跡結果に含まれる推定誤差から対象の最大運動能力を求めることができる。ここでは、対象の最大運動能力によって生じ得る最大推定誤差が一定値以下になり、且つ、対象を最も大きくとらえることができるようにズーム値を決定する方法を示す。

対象位置の推定誤差は、次に示す要因のために、対象の運動能力の指標として一様に評価することはできない。

**観測時間間隔** 観測の時間間隔が大きいほど推定誤差は大きくなる。

**対象像の面積** 対象までの距離が近い、あるいはズームが望遠の場合には、対象の運動能力が小さくても大きな推定誤差が生じる。

このことから、対象の運動能力は、

$$\text{運動能力} = \frac{\text{推定誤差}}{\text{観測時間間隔} \times \sqrt{\text{対象像の面積}}}$$

と表すことができる。過去に得られた対象の最大運動能力を記憶しておき、次式によって表され

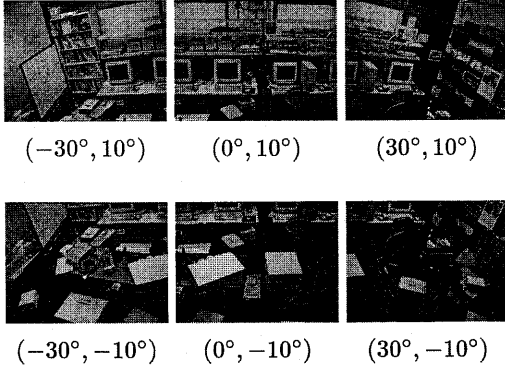


図 6: 観測画像

る最大推定誤差が一定値以下になる対象像の面積を決め、この面積で対象をとらえられるズーム値を求める。

$$\text{最大推定誤差} = \frac{\text{最大運動能力} \times \text{観測時間間隔}}{\sqrt{\text{対象像の面積}}}$$

但し、安定な追跡を維持するには、観測の時間間隔を短くすることが重要であるため、ズームの変更幅は視線方向を変化させている間に完了できる範囲に限定するものとする。

## 4 実験

ここでは、実験で使用したカメラの動作特性に基づく試作システムの設計パラメータの決定法と、追跡実験を行った結果について述べる。

試作したシステムの構成は次の通りである。

カメラ SONY 製 EVI-G20

計算機 Sun Microsystems 社製 Sun Ultra2-1300

画像 320×240<sup>1</sup>の濃淡画像

### 4.1 キャリブレーション

2.2節で述べたキャリブレーション法により、カメラの内部パラメータの推定を行った。このカメラは視点固定型カメラに近い特性を持っており、パン・チルトの可動範囲は、それぞれ±30°、±15°である。

FOEは、カメラの視線方向に対してほぼ垂直に配置した平面上の4つの点をズームを変化させて撮影し、各点の軌跡を直線近似して得られた4本の直線の交点の重心とした。

この点を CCD 面の傾きに関する基準点と定め、9段階のズームに対する内部パラメータの推定を行った。ここでは、Marquardt法によって、

<sup>1</sup>インターレース走査の影響を除去するため



図 7: 推定された内部パラメータによる APP 画像

目的関数  $(1 - \text{重なり部分の正規化相関})^2$  を最小化する内部パラメータを求めた。図 6,7に、ズームを最広角とした場合の観測画像と、最適化後の内部パラメータにより生成された APP 画像を示す。

9段階のズームにおける内部パラメータの推定結果から、各パラメータは次のように変化することが確認された。

- $\varphi, \theta, \phi, \alpha, x_0, y_0$  は一定
- $\kappa$  は水平面角に対して線形に変化
- $\rho$  はカメラに送るズームコマンドパラメータに対して線形に変化

この結果に従い、ズーム変化に対して各パラメータの補完計算を行うことによって、任意ズームでの内部パラメータを求めることができる。

### 4.2 試作システムの設計

#### 4.2.1 対象の運動推定

試作システムでは、次のようにして対象の運動推定を行っている。

**撮影** 各観測時に連続する2フレームの画像を撮影する。

**検出** APPを用いた背景差分により、それぞれ対象の中心位置を算出する。このとき、2枚の画像における対象の中心位置の変化を正確に求めるために10%トリム平均を用いる。

**運動推定** 1枚目の対象の中心位置から観測時刻における対象の方位角を求め、2枚の画像における方位角の変化から角速度を求める。

#### 4.2.2 カメラの視線方向変化に関する時間特性

次の観測時刻の推定を行うために、視線方向の変化の大きさ動作時間の関係について計測を行った。パン・チルトそれぞれの方向に50通りの動きを設定し、それぞれの動作に対して100回ずつの計測を行った。この結果として、指定し

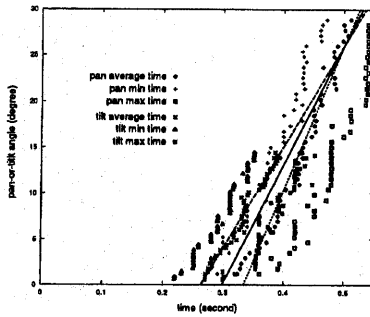


図 8: カメラの視線方向変化に関する時間特性  
た方向へ到達するまでに要した最小時間・最大時間・平均時間を図 8 に示す。

この計測では、対象の追跡を行うときと同様に、カメラから読み出した視線方向と指定した方向との誤差が  $0.0289^\circ$  以下となったときに動作が完了したと判断している<sup>2</sup>。この値は、カメラの物理性能の限界によるものであり、これ以上の精度で視線方向を制御することは困難であった。また、図 8 において、指定した方向への動作時間には、それぞれ平均動作時間から  $\pm 0.05$  秒程度の変動が見られるが、これもカメラの性能限界に起因している。

以上の結果から、視線方向の変化に要する時間は、パンまたはチルトの変化角の大きい方に依存して決まるものとし、その推定時間は、上の計測で求めたパン・チルトそれぞれの変化に要する時間の平均とする(図 8 の実線)。このとき、視線方向が  $angle(\text{degree})$  だけ変化するのに要する動作時間  $t(\text{second})$  は、次式によって推定される。

$$t = 0.007745 \times angle + 0.2986 \quad (6)$$

#### 4.2.3 カメラのズーム変化に関する時間特性

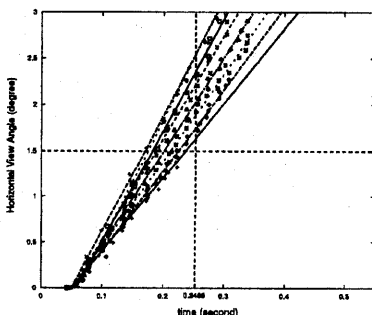


図 9: カメラのズーム変化に関する時間特性  
視線方向を変化させている間に動作を完了することが可能なズームの変更幅を調べるために、

<sup>2</sup>カメラからの視線方向読み出し精度は  $0.00193^\circ$

ズームの変更に要する時間の計測を行った。この結果では、変更前のズーム値に対する動作時間の依存性が認められたため、8 通りのズームから変化させて、それぞれ変更に要する時間の計測を行った。この計測結果として、画角の変化と動作時間の関係を図 9 に示す<sup>3</sup>。

式 (6) において、視線方向の変化には少なくとも  $0.2986$  秒を要するものとした。また、カメラに視線方向制御コマンドを送信した後、ズームコマンドを送信するまでには約  $0.05$  秒を要することを計測により求めた。したがって、図 9 から、各観測間のズームの変更幅を、画角が  $1.5^\circ$  変化する大きさに固定することによって、その動作時間は  $0.2486$  秒以内に制限され、視線方向を変化させている間にズームの変更を完了することができる。

#### 4.3 試作システムによる実験

ここでは、4.2 節において設計したシステムによる対象の追跡実験について述べ、対象の運動推定と次の観測時刻の推定に基づく追跡により、システムの追従性が向上することを示す。

##### 4.3.1 追跡実験

無線操縦可能な模型自動車を計算機室内で運転し、試作システムによってその検出・追跡を行った。図 10 は、各観測において 1 枚目に撮影された画像と背景差分により求められた差分画像、図 11, 12 は、それぞれ、この間のパン・チルトの変化、パン・ズームの変化を表している。また、図 13 は、観測時刻の推定誤差(実線)と観測時間間隔の変動<sup>4</sup>(点線)を示している。なお、この追跡に要した時間は  $13.77$  秒であり、平均  $2.11$  回/秒の割合で処理が行われたことになる。

1~3 番目の画像では対象が検出されていないため、ズームを最広角にして、あらかじめ決められた視線の移動を行っているが、4 番目の画像において変化領域が検出された直後からは、対象の運動推定と次の観測時刻の推定に基づいて視線方向が決定されている。このため、図 10 が示すように、ズームが望遠なときや対象の動きが比較的速いときにも画像の中央付近で対象が検出されており、特に 15~17 番目や 19~20 番目のように、視線方向が画角の半分以上変化した場合にも安定な追跡が実現できている。

ズームに関しては、6 番目以降の画像に対して、過去に観測された対象の最大運動能力によって生じ得る最大推定誤差に対しても、50%の余裕をもって画像内に対象がとらえられるズーム値

<sup>3</sup>図に示す範囲では、画角の変化と動作時間の関係は、ほぼ線形とみなすことができる。

<sup>4</sup>観測時間間隔からその平均時間を引いた値

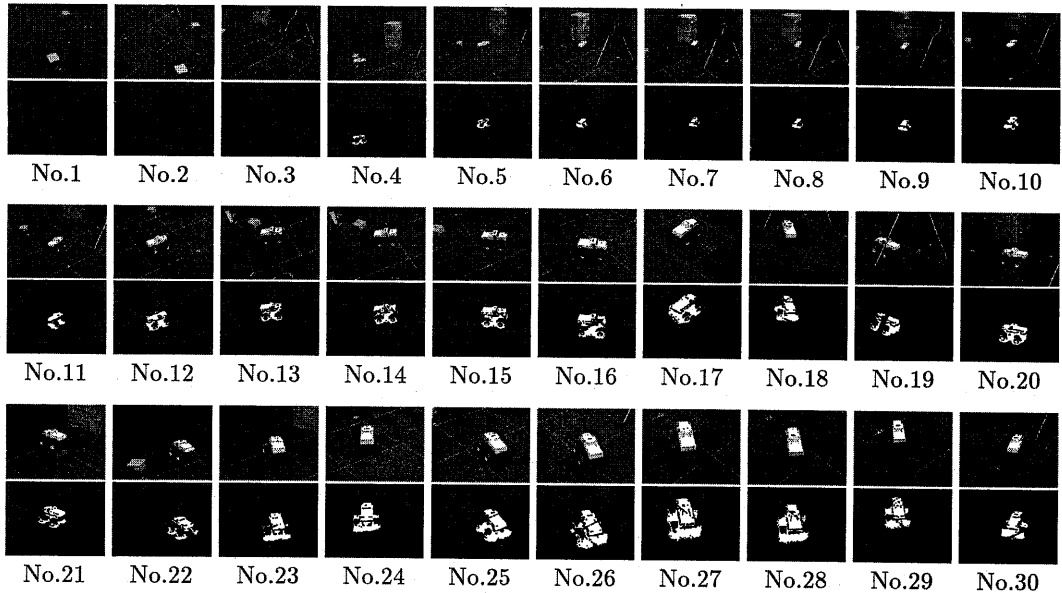


図 10: 変化領域の追跡 (上段:入力画像, 下段:差分画像)

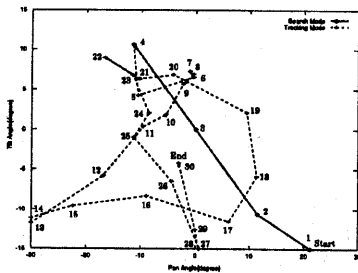


図 11: 追跡時のパン・チルトの変化

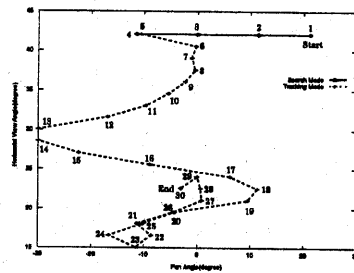


図 12: 追跡時のパン・ズームの変化

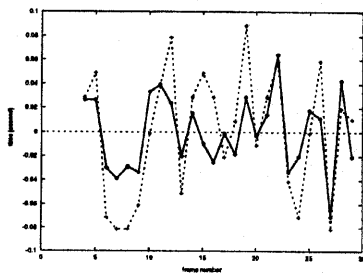


図 13: 観測時刻の推定誤差と観測間の時間変動

を求めている。23 番目までは画角を狭めても安定な追跡が行えると判断されているため、 $1.5^\circ$ の固定幅ずつ画角を狭めているが、24 番目からは対象がカメラの方に近づき、推定誤差が生じやすくなったため、画角を広角側へ戻している。しかし、29 番目の画像では対象がカメラから少し遠ざかり、画角も十分広角となっていることから

検出された対象像の面積が小さくなったため、最後の 30 番目では再び望遠側へ変化している。

また、図 13 が示すように、推定された観測時刻に関する誤差は観測時間間隔の変動に対して小さく抑えられており、ほとんどの場合において、カメラの性能限界である視線方向制御の時間変動 ( $\pm 0.05$  秒) 以内の誤差となっていることから、適切な推定が行われていることがわかる。特に、実際の撮影時刻と推定された撮影時刻の間に大きな誤差が生じにくくなっていることは、追跡の安定性の向上に大きな影響を与えている。

#### 4.3.2 他の追跡手法との比較実験

ここでは、次の観測時刻の推定を行うことの有効性を示すために、ほぼ同じ位置から床面を斜め下に見下ろす姿勢で設置した 3 台のカメラによって、円を描いて走行する模型自動車の追跡実験を同時に行った。この 3 台のカメラの追跡手法を以下に示す。

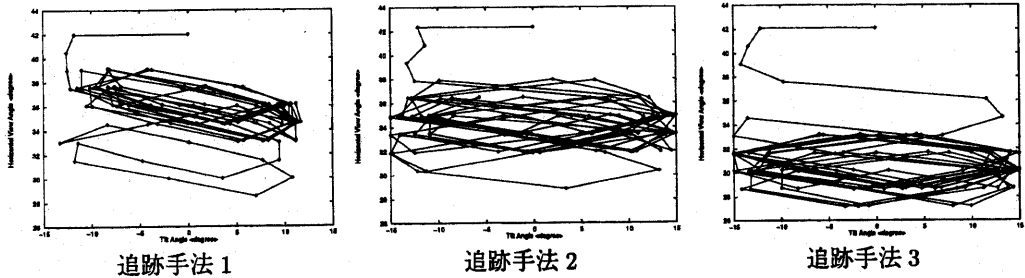


図 14: 各追跡手法におけるチルト・ズームの変化

**追跡手法 1** 対象の運動推定等は行わず，検出された対象の中心方向に視線を向ける。

**追跡手法 2** 観測時間間隔を一定と仮定し，対象の運動推定に基づく視線方向の決定を行う。

**追跡手法 3** 次の観測時刻を推定し，対象の運動推定に基づく視線方向の決定を行う。

**追跡手法 3** 常に望遠なズームを維持しており，対象の運動推定と次の撮影時刻の推定により，安定な追跡が実現されている。

このように，対象の運動推定だけでなく，システムの時間遅れが可変であることを考慮して次の観測時刻の推定を行うことにより，システムの追従性が著しく向上することが示された。

ズームの決定は 3.2 節で述べた方法によって行う。このとき，追跡時のズームが望遠であることは，過去の観測における視線方向と検出された対象の方位角との誤差が小さかったことを示しているため，各追跡手法の安定性の比較に用いることができる。

なお，追跡手法 2 において一定と仮定した観測時間間隔は，過去の実験における平均処理時間の概算値から 0.5 秒に設定した。今回の実験での平均処理時間は 0.52 秒であったが，この時間はカメラの視線変化の大きさにも依存するため，一般には，あらかじめ最適な値を設定することは不可能であり，0.02 秒程度の誤差は許容範囲内であると判断できる<sup>5</sup>。

この追跡結果として，追跡時のチルトに対するズームの変化を図 14 に示す。この結果から，それぞれの追跡結果に関して次のことが言える。

**追跡手法 1** 対象の運動推定を行わない場合，過去に対象が存在した位置を撮影するため，視線方向と検出された対象の方位角の間がずれが生じ，やや広角なズームを保って追跡が行われている。

**追跡手法 2** 追跡の前半では，対象の運動推定を行わない場合よりも望遠なズームで追跡を行っているが，一定と仮定した観測時間間隔と実際に要した時間との誤差が大きくなったときに，対象の方位角の推定誤差が大きくなるため，徐々に広角なズームでの追跡となっている。

## 5 おわりに

アクティブカメラを用いた対象の検出・追跡を行うリアクティブシステムでは，画像の撮影や処理，カメラアクションに要する時間により，実世界に対して時間遅れが生じる。本稿では，この問題に対して，「対象の運動推定」と「システムの時間遅れ推定」により，「次に観測を行う時刻に対象が存在するはずの方向にカメラを向ける」という最適なカメラアクションを決定する手法を提案した。この手法により，時間遅れを伴うシステムの動作が，実世界における対象の運動に対して整合性のとれたものになり，この意味での実時間性が保証されるようになる。また，ズームを追跡の安定化パラメータとしてとらえ，対象の運動能力を過去の追跡履歴から求め，運動が変化しても対象が画像に写る範囲内で最も大きく撮影できるズームの決定法について述べた。

今後は，追跡によって得られた環境情報を利用し，検出・追跡の効率化・安定化を図る予定である。

## 参考文献

- [1] 和田，浮田，松山：“Appearance Sphere - パン・チルト・ズームカメラのための背景モデル”，MIRU'96, Vol.2, pp.103-108(1996)
- [2] 和田，浮田，松山：“視点固定型パン・チルト・ズームカメラとその応用”，電子情報通信学会論文誌，採録決定

<sup>5</sup>0.02 秒の誤差が視線変化の平均のずれによって生じたと仮定すると，式 (6) からこの大きさは  $2.58^\circ$  となる。