

K-means tracker における適応的な非ターゲットクラスタ中心の配置法

大池 洋史[†] 呉 海元[†] 和田 俊和[†]

本論文では、K-means tracker⁴⁾ において、より安定かつ高速に対象を追跡するために、クラスタリングに都合の良い非ターゲットクラスタ中心の数と配置を適応的に求める方法について述べる。提案手法では、K-means tracker により求められたサーチエリア楕円の輪郭上の画素を走査し、ターゲット、非ターゲットクラスタ中心までの距離をもとに、追跡に必要な画素だけを非ターゲットクラスタ中心に選定する。これにより、従来の K-means tracker の問題である似た特徴をもつ画素や、クラスタリングに寄与しにくい画素を非ターゲットクラスタ中心として配置することを防ぐことができる。従来手法との比較実験により、本手法は追跡を安定かつ、効率的に処理できることを確認した。

Adaptive alignment of non-target cluster centers for K-means tracker

HIROSHI OIKE,[†] HAIYUAN WU[†] and TOSHIKAZU WADA[†]

We present a method for adequate alignment of non-target cluster centers for K-means tracker algorithm. In this method, the number of non-target cluster centers and alignment of them are determined based on the distances from a pixel which is on the ellipse surrounding a target to both target cluster centers and non-target cluster centers. This distance is calculated in the 5 dimensional feature space used in K-means tracker. This method can prevent selecting the pixel as a non-target cluster center which doesn't contribute to clustering for tracking a target or which has similar feature with other determined non-target cluster centers. Through a comparative object tracking experiment, we confirmed that this algorithm contributes stabilization of object tracking and improvement of efficient processing.

1. はじめに

動画画面上での対象追跡はコンピュータビジョンの基本的問題の一つであり、多くの手法¹⁾が提案されている。代表的なものに、Condensation²⁾や Mean shift³⁾などがある。我々の研究グループにおいても、対象追跡に関する研究を行っており、K-means クラスタリングを用いて非剛体の物体を追跡する K-means tracker^{4),5)}を提案している。

K-means tracker では、画像上の追跡対象と非追跡対象（背景）に対して複数のクラスタ中心を割り当て、K-means クラスタリングによってサーチエリア内の各画素をターゲットと非ターゲットに分けながら追跡を行う。ピクセル毎にターゲット、非ターゲットのラベルをつけるため、追跡対象の領域に混入した背景画素を効果的に排除しながら追跡を継続できるという頑健性を持っている。また、長軸、短軸、傾きを自由に変化させることができる可変楕円をターゲットクラスタにフィッティングさせることにより、入力画像中の運動

物体の大きさや形状の変化にも追従できる。

この追跡手法を実装した応用システム^{6),7)}の開発も行われ、実環境においてもロバストかつ、リアルタイムで動作できることが確認されている。

しかし、従来の K-means Tracker では、非ターゲットクラスタ中心の配置に関して十分な議論がされておらず、それが原因で一部の場面で追跡が不安定になることがある。

そこで本論文では、非ターゲットクラスタ中心の配置に着目し、追跡のためのクラスタリングに適した非ターゲットクラスタ中心の数と配置を、追跡にも使用される 5 次元特徴空間内の距離に基づき、適応的に求める方法について述べる。

2. K-means tracker の概要

2.1 色と空間的配置による特徴表現

追跡対象を構成する画素の色の類似性と空間的近接性を同時に表現するために、各画素の特徴を 3 次元色属性（例えば： $\mathbf{k} = [Y, U, V]^T$ ）と 2 次元 xy 位置属性（ $\mathbf{p} = [x, y]^T$ ）からなる 5 次元ベクトル（ $\mathbf{f} = [\mathbf{k}, \mathbf{p}]^T$ ）として扱う。

K-means tracker では、対象を表現するポジティブな

[†] 和歌山大学
Wakayama University

特徴「ターゲットクラスタ中心」と、背景を表現するネガティブの特徴「非ターゲットクラスタ中心」の両方を使用する。これら2種類のラベルを持ったクラスタ中心を使用し K-means クラスタリングを行うことにより、サーチエリア内の画素をターゲットか非ターゲットに分類する。このようなクラスタリングを毎フレーム行うことにより、対象追跡が実現される。

2.2 追跡のためのクラスタリング

対象を追跡するために、単数、もしくは複数のターゲットクラスタ中心と、複数の非ターゲットクラスタ中心を使用する。これらをそれぞれ $f_{T_i}^*$ ($i = 1 \sim n$)、 $f_{N_j}^*$ ($j = 1 \sim m$) と表す。ここで、 n 、 m はそれぞれ、ターゲットクラスタ中心、非ターゲットクラスタ中心の個数である。

クラスタリングの際に必要な2つの画素 a 、 b の特徴ベクトル f_a 、 f_b 間の距離は、色属性間の距離と空間配置間の距離を重み α を用いて以下のように線形結合して計算する。

$$d(f_a, f_b) = \|k_{f_a} - k_{f_b}\|^2 + \alpha \|p_{f_a} - p_{f_b}\|^2 \quad (1)$$

ただし、 $0 < \alpha < 0.5$ である。

このような距離計算を用い、追跡のためのクラスタリングを行う。あるラベルが未知の入力画素 u に対して、5次元特徴空間内にてターゲットクラスタ中心 $f_{T_i}^*$ との最短距離、

$$D_T(f_u) = \min_{i=1 \sim n} \{d(f_u, f_{T_i}^*)\} \quad (2)$$

と非ターゲットクラスタ中心 $f_{N_j}^*$ との最短距離、

$$D_N(f_u) = \min_{j=1 \sim m} \{d(f_u, f_{N_j}^*)\} \quad (3)$$

をそれぞれ計算する。もし $D_T(f_u) < D_N(f_u)$ であれば、画素 u はターゲット点とし、そうでなければ非ターゲット点とする。このような処理をサーチエリア内の全ての画素に対して行い、ターゲット点であるか非ターゲット点であるか判定する。

2.3 可変楕円と非ターゲットの更新

可変楕円はターゲットクラスタに属する画素の9割以上を囲むように配置される。これは、求められたターゲットクラスタに正規分布をあてはめることにより求めることができ、楕円の重心、長軸、短軸の長さ、傾きを得ることができる。これらのパラメータを毎フレーム計算することにより、対象の位置、サイズ、形状の変化に追従することができる。前フレームの楕円の長軸、短軸の長さを γ 倍した楕円を現フレームにおけるサーチエリア楕円としている。非ターゲットクラスタ中心は、この楕円の輪郭上からサンプリングさ

れ、楕円の内部に存在する画素がラベルが未知の入力画素となる。なお、具体的な可変楕円パラメータの計算方法は、文献⁴⁾を参考にされたい。

また、従来の K-means tracker では、非ターゲットクラスタ中心は求められたサーチエリア楕円の輪郭上から、中心角が等しくなるように $m-1$ 個サンプリングされ、もう1つには楕円中心からクラスタリングされる注目画素の方向へ伸ばした半直線と、楕円の輪郭の交点をサンプリングする。この交点上の非ターゲットクラスタ中心を交点非ターゲットクラスタ中心と呼び、注目画素が変わる度、使用される交点非ターゲットクラスタ中心も変化する。なお、 m はあらかじめ定められた非ターゲットクラスタ中心の数である。

2.4 非ターゲットクラスタ中心の決定方法に関する従来手法の問題点

従来の K-means tracker では、非ターゲットクラスタ中心は前述のように機械的にサーチエリア楕円の輪郭上からサンプリングされる。このような非ターゲットクラスタ中心の決定法では、クラスタ中心の配置に隙間ができてしまい、非ターゲットとなつてほしい点にクラスタ中心が配置されないという問題が生じる。この結果、本来、非ターゲットにクラスタリングされるべき領域を、誤ってターゲットとしてクラスタリングされてしまい、追跡が不安定になる可能性がある。

また、似た特徴を持つ非ターゲットクラスタ中心が複数サンプリングされたり、追跡にほとんど寄与しない非ターゲットクラスタ中心がサンプリングされることがある。このような非ターゲットクラスタ中心は追跡には不要であるが、手続き上、これらのクラスタ中心と入力画素間の特徴空間内の距離計算、比較するという無駄な処理が行われる。

3. 適応的な非ターゲットクラスタ中心の配置

従来の手法では、サーチエリア楕円上に非ターゲットクラスタ中心を多く配置するほど隙間なく対象領域を取り囲めるため、追跡が安定化するが、処理コストも高くなる。逆に、非ターゲットクラスタ中心の数を減らすと距離計算回数が減り、処理コストも減少するが、2.4にて述べた問題があり、追跡の安定性が損なわれる。このように、追跡の安定さと、処理コストはトレードオフの関係になっていた。

そこで、本論文では追跡の安定化と処理コスト削減の両方を実現するために、対象と背景の状態に応じて、非ターゲットの配置を適応的に変化させる方法について議論する。

3.1 非ターゲットクラスタ中心となる点の条件

どのような条件を満たす点を非ターゲットクラスタ中心として配置することにより、より精度よくターゲットの領域を検出し、追跡できるかという問題について考察する。

背景にターゲットクラスタ中心に近い特徴を持つ領域が存在するとき、その領域を非ターゲットにクラスタリングできなければ、その領域が対象領域であると誤認識され、追跡に失敗する可能性が高くなる。これを防ぐためには、そのような背景領域に、非ターゲットクラスタ中心を配置しなければならない。

また、特徴空間内において似た特徴ベクトルを持つ非ターゲットクラスタ中心が複数存在しても、追跡のためのクラスタリング時に計算されるそれらのクラスタ中心と入力画素間のそれぞれの距離はほとんど変わらない。このような理由で、ある非ターゲットクラスタ中心が1点与えられたとき、その近傍に新たに非ターゲットクラスタ中心を配置することは、追跡のためのクラスタリングに寄与しにくいという観点から、ほとんど意味がないと考えられる。

以上の2つの事柄をまとめると、追跡に適した非ターゲットクラスタ中心を配置するためには、以下のような条件に当てはまる点を選択する必要があるということになる。

条件1 背景領域にあり、かつ特徴空間内においてターゲットクラスタ中心に近い点

条件2 既に決まっている非ターゲットクラスタ中心から、ある程度離れた特徴ベクトルを持つ点

条件1を考慮するために、背景領域中の画素から非ターゲットクラスタ中心候補点の集合を定める必要がある。K-means trackerでは、サーチエリア楕円上の画素は背景であると仮定し、その輪郭上に非ターゲットクラスタ中心を配置している。したがって、本手法においてもサーチエリア楕円の輪郭上の画素を非ターゲットクラスタ中心候補点とする。

条件1は非ターゲットクラスタ中心候補点と、ターゲットクラスタ中心間の距離 (D_1) についての条件であり、条件2はターゲットクラスタ中心候補点と、非ターゲットクラスタ中心間の距離 (D_2) に関する条件となっている。

本手法では、 D_1 が D_2 より短い場合、その候補点を非ターゲットクラスタ中心と決定する (図1)。つまり、背景に存在する、ターゲットにクラスタリングされそうな領域の1点を、クラスタリングする前に非ターゲットクラスタ中心としておくことで、クラスタリングの時にこの点周辺の似た画素にも非ターゲット

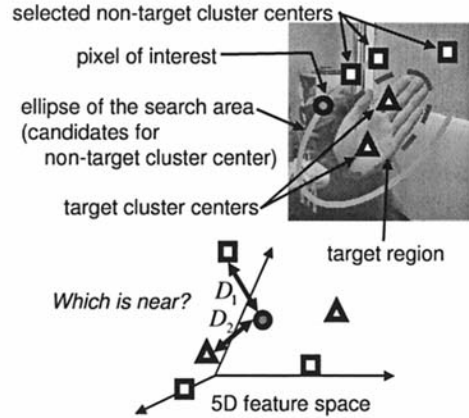


図1 特徴空間内の距離比較による非ターゲットクラスタ中心の選択

のラベルをつけることができるという戦略である。この方法では、非ターゲットクラスタ中心の数を事前に設定する必要がなく、サーチエリア楕円の輪郭上の画素を走査し、条件を満たす非ターゲットクラスタ中心を順次決定する。また、その個数や配置は毎フレーム更新される。

3.2 処理手順

非ターゲットクラスタ中心候補点 s の個数、すなわちサーチエリア楕円上の画素の総数を q 、 l 番目の候補点を s_l 、その候補点の5次元特徴ベクトルを f_{s_l} とし、本手法のフローチャートを図2に示す。

本手法では、 s_l と、既に決まっている非ターゲットクラスタ中心間の距離が必要となるため、まず、サーチ楕円輪郭上に非ターゲットクラスタ中心を1点目を定める必要がある (例えば、楕円の長軸と、その楕円の輪郭との交点など)。

$$f_{N_1}^* = f_{s_1} \quad (4)$$

次に、 s_l から最も近いターゲットクラスタ中心までの距離と、既に決まっている非ターゲットクラスタ中心までの距離を求める。これらの距離は、式(1)で示した、K-means tracker で使用される5次元特徴空間内における距離計算と同じ式で計算される。

$$D_T(f_{s_l}) = \min_{i=1 \sim n} \{d(f_{s_l}, f_{T_i}^*)\} \quad (5)$$

$$D_N(f_{s_l}) = \min_{j=1 \sim m'} \{d(f_{s_l}, f_{N_j}^*)\} \quad (6)$$

ここで、 m' はこれまでに決定している非ターゲットクラスタ中心の数である。

これらの距離を比較し、 s_l が非ターゲットクラスタ中心になるか判定する。もし、 $D_T(f_{s_l}) < D_N(f_{s_l})$ なら3.1で述べた条件を満たしていると判断し、画素

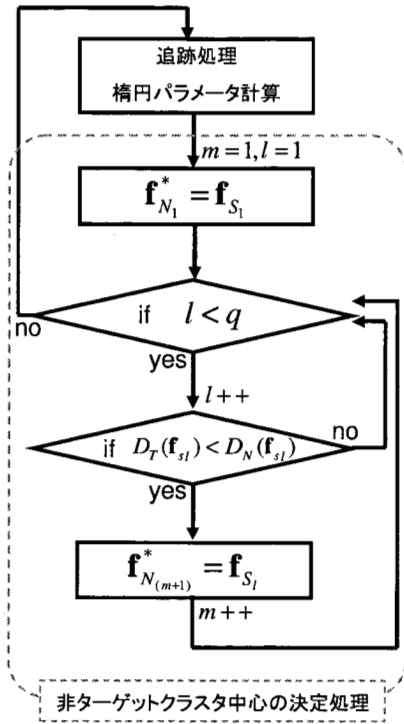


図2 適応的に非ターゲットを配置する処理のフローチャート

s_l は非ターゲットクラスタ中心となる。

$$f_{N_{(m+1)}}^* = f_{s_l} \quad (\text{if } D_T(f_{s_l}) < D_N(f_{s_l})) \quad (7)$$

この計算を毎フレーム、全てに s に対して順次行う。これにより、追跡に適した非ターゲットクラスタ中心の配置と個数を、毎フレーム、適応的に決定することができる。

3.3 サーチエリア楕円の大きさ

本手法では、非ターゲットクラスタ中心候補点が、ターゲットクラスタ中心に近ければ、その点が非ターゲットクラスタ中心になるため、サーチエリア楕円の輪郭が対象領域の一部と重なった場合、ターゲットクラスタ中心と同等、もしくは、ほぼ同等の色ベクトルを持った非ターゲットクラスタ中心が存在する可能性がある。このような状況では、色空間内での距離はほぼ0となるため、2次元の xy 位置属性にのみ依存したクラスタリングが行われることになり、サーチエリア楕円の大きさがクラスタリングの結果に影響をする。したがって、このような状況を想定し、サーチエリア楕円の大きさを決定する γ の値について考察する。

ターゲットクラスタ中心が1点の場合、2次元の xy 位置属性でクラスタリングする場合を考えると、ター

ゲットにクラスタリングされる領域と、非ターゲットにクラスタリングされる領域はの境界は、サーチエリア楕円の半径を半分にした楕円となる。したがって、色空間内での距離が0の場合でも対象を取り囲む可変楕円の半径が小さくならないようにするためには、K-means Tracker によって求められた可変楕円の2倍以上のサーチエリアを設定する必要がある。以上の理由で、本論文においては、サーチエリア楕円の半径を決める倍率 γ は2としている。

4. 実 験

4.1 従来手法との比較実験

ランダムに動くぬいぐるみを追跡対象とし、210フレームのシーケンスにて追跡実験を行った。提案手法と従来手法の追跡の安定さを比較するため、以下のような実験を行った。まず提案手法にて追跡実験を行い、1フレームあたりの非ターゲットクラスタ中心の平均個数を求める。そして従来手法における非ターゲットクラスタ中心の数をその平均個数(小数点以下切り上げ)に設定し、同じ初期ターゲットクラスタ中心で、同じシーケンスに対して追跡実験を行った。なお、ターゲットクラスタ中心の個数 n は3であり、すべてのシーケンスで同じターゲットクラスタ中心の座標を初期値としてを与えている。

提案手法による追跡結果を図3上段、追跡時のフレーム毎の非ターゲットクラスタ中心の個数を図4に示す。非ターゲットクラスタ中心が2~8個に設定され、毎フレームその数や配置が変化しながら対象を追跡していることがわかる。また、1フレームあたりの非ターゲットクラスタ中心の平均個数は約4.6個であった。これに基づき、非ターゲットクラスタ中心の個数 $m=5$ とし、従来手法にて追跡を行った結果を図3の中段に示す。15フレームあたりから、適切なクラスタリングが行えなくなり追跡に失敗した。この理由は、非ターゲットクラスタ中心が、ターゲット領域を囲むために必要な背景の画素に配置されなかったためであると考えられる。

従来手法における非ターゲットの個数を5個から1個増やし、対象を追跡できる最小の非ターゲットクラスタ中心の個数を調べたところ、8個であった。このときの追跡の様子を図3の下段に、提案手法、従来手法で $m=8$ で追跡を行ったときのフレーム毎の処理時間を図5に示す。この図から、提案手法の方が高速な処理で対象を追跡することができることが確認できる。

以上の結果から、適応的に非ターゲットクラスタ中

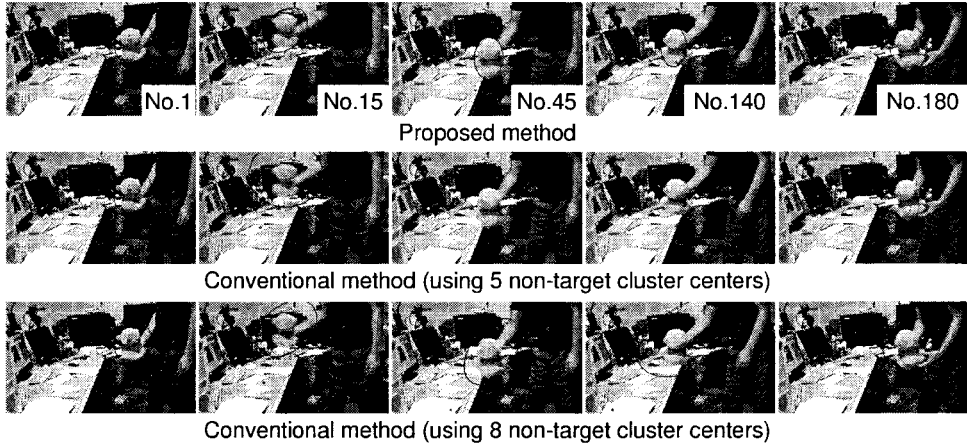


図3 追跡結果の一部 (上段：提案手法, 中段：従来手法 ($m = 5$), 下段：従来手法 ($m = 8$))

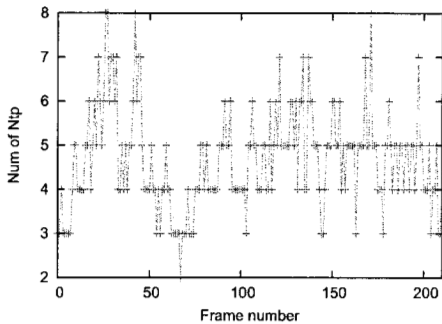


図4 提案手法で追跡時の非ターゲットクラスタ中心の数

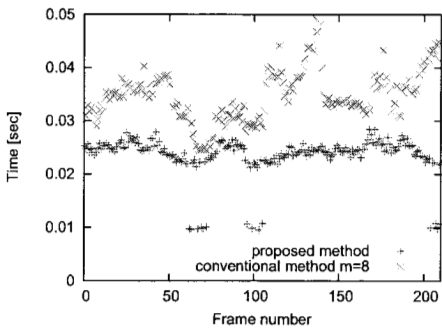


図5 提案手法, 従来手法 ($m = 8$) で追跡時の処理時間

心を配置する本手法が、追跡の安定化と高速化に貢献できることを確認できた。

4.2 背景に似た色があるシーケンスにおける追跡実験

追跡用の共通データベース (PETS2001) を用いて追跡実験を行った。深緑色の自動車、緑色の芝生の間

にある道路を走行しているシーケンスを使用した。追跡対象はこの自動車で、108 フレーム間追跡した時の結果の一部を図6に示す。なお、 $n = 2$ であり、すべてのシーケンスで同じターゲットクラスタ中心の座標を初期値としてを与えている。この図の上段が提案手法にて追跡した結果であり、対象を追跡できていることがわかる。この時の1フレームあたりの平均非ターゲット個数は約5.4個であった。

従来手法では、この対象を追跡するために、非ターゲットクラスタ中心が最低20個必要であった (図6中段：失敗例 ($m = 8$), 下段：成功例 ($m = 20$))。

このように、背景に似た色があるシーンにおいても、提案手法は比較的少ない非ターゲットクラスタ中心で安定に追跡することを確認できた。

5. まとめ

本論文では、K-means tracker における非ターゲットクラスタ中心を、追跡のためのクラスタリングにより貢献できるように配置するために、サーチエリア楕円の輪郭上の画素を非ターゲットクラスタ中心候補とし、それらとこれまでに選択された非ターゲットクラスタ中心間の距離、注目画素とターゲットクラスタ中心間の距離を比較し、ターゲットクラスタ中心に近い候補を順次非ターゲットクラスタ中心に選定する方法を提案した。

また従来の K-means tracker における手法との比較実験を行い、提案アルゴリズムはシンプルでありながら、従来の K-means tracker の問題点であった似た特徴をもつ画素や、クラスタリングに寄与しにくい画素を非ターゲットクラスタ中心として配置することを防

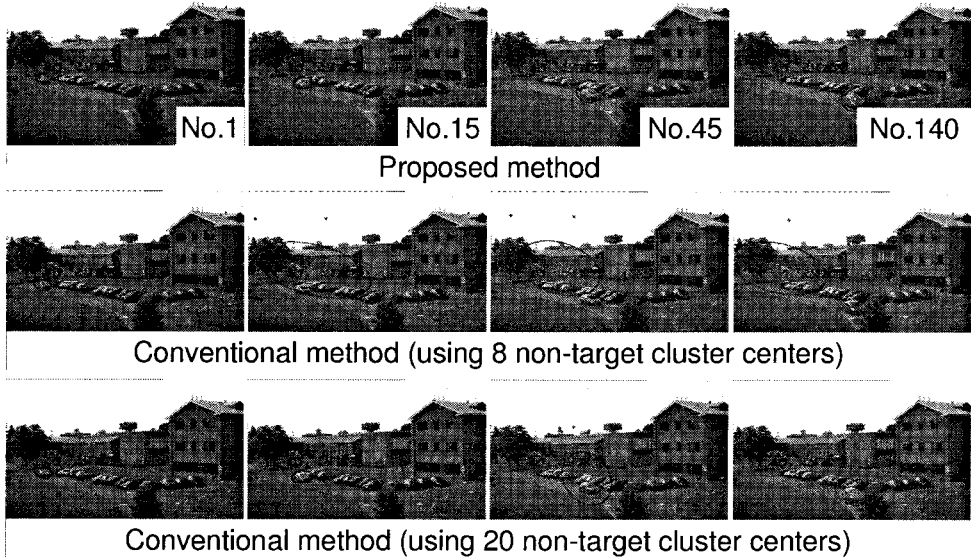


図6 背景に似た色がある場合の追跡結果の一部 (上段:提案手法, 中段:従来手法 ($m = 8$), 下段:従来手法 ($m = 20$))

ぎ, 追跡処理を安定化, 効率化できることを確認した。

本論文では, 非ターゲットクラスタ中心が対象領域に配置された場合でも追跡を続けることができるように, サーチエリアに関しても議論したが, 今回の内容が最適ではないと思われるので, K-means tracker における楕円フィッティングの方法と交えて議論の余地がある。また, ターゲットクラスタ中心候補の数を減らし, より速く非ターゲットクラスタ中心の配置を決定できるアルゴリズムの定式化を考える必要がある。

謝 辞

本研究の一部は, 文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (C)18500131 の補助を受けている。

参 考 文 献

- 1) 加藤文和, 深尾隆則, 羽下哲司: “物体追跡-フレーム間の類似度に着目した手法から動きのモデルに着目した手法まで”, 情処学会研究報告, CVIM150, No. 23, pp. 185-198, (2005)
- 2) M. Isard, A. Blake: “Condensation-conditional density propagation for visual tracking”, IJCV, Vol. 29, No. 1, pp. 5-28 (1998)
- 3) D. Comaniciu, V. Ramesh, P.Meer: “Kernel-Based Object Tracking”, PAMI, Vol. 25, No. 5, pp. 564-577 (2003)
- 4) Chunsheng Hua, Haiyuan Wu, Qian Chen, Toshikazu Wada, “Object Tracking with Target and Background Samples”, IEICE, Vol. E90-D, No.4, pp.

766-774 (2007)

- 5) *K-means tracker movies*, “http://vrl.sys.wakayama-u.ac.jp/VRL/studyresult/study_result_3.html”
- 6) 大池洋史, 呉海元, 華春生, 和田俊和: “高速追従型能動カメラシステム”, システム制御情報学会論文誌, vol. 20-3, pp. 114-121, (2007)
- 7) 大池洋史, 呉海元, 華春生, 和田俊和: “高速追従型2眼能動カメラシステム”, MIRU2006 ダイジェスト, OSSB-2,(2006)