



人を見るコンピュータを作るには? - 物体追跡について

林 豊洋¹

1 はじめに

近年「コンピュータビジョン」に関する研究が注目されています。「コンピュータビジョン」という言葉は、あまり馴染みのないものかもしれませんが、簡単に述べると、視覚情報(ビジョン)である画像をコンピュータで処理することにより、画像から人間に有用な情報を抽出する研究分野です。主に、ビデオカメラ(安価な USB カメラで構いません)とコンピュータ(+開発環境)があれば、研究を始めることができます。

コンピュータビジョン自体は歴史のある研究分野で、1960年代から研究および実用化がなされています。表1に、コンピュータビジョンの研究に関する簡単な歴史を示します。

表 1: コンピュータビジョンの応用分野 (文献 [1] を参考にしています)

	1960 年代	1980 年代	1990 年代～
目的	目視作業の自動化	オフィスへの応用	社会への応用
研究内容	画像処理	画像理解	自然画像理解
応用例	文字認識 欠陥検査	医用画像処理	ロボット視覚 ITS
提案された技術	2 値画像処理 パターン認識	輝度画像処理 リアルタイム処理	カラー画像処理 処理対象の次元圧縮

1960～70年代は、主に目視作業の自動化を目指して、コンピュータビジョンの研究が行われていました。手書き文字や郵便番号の認識、工業部品の欠陥検査システムがこの時代に実用化されました。画像から文字や形状を見つけるための画像処理技術が主な研究分野であると言えます。その後、医用画像処理などの分野へ応用が広がります。医用画像処理とは、レントゲン写真(医用画像)等から病巣を検出することを目的としています。病巣の発見が求められるため、単なる画像処理から画像を理解する研究へと進歩しました。ただしこの頃は、対象は既知で理想的な写真を想定しています。現在は、自然界を撮影した画像を理解する段階へと研究分野が広がっています。ロボットによるサッカー競技 [2] や高度交通システム (ITS)[3] では、自然画像の理解が重要な技術となります。文字認識の時代に比べて、近

¹情報科学センター 助手 toyohiro@isc.kyutech.ac.jp

年の処理対象は非常に複雑化しています。以前に比べて複雑な対象の処理が可能となった理由は、コンピュータの高速化、メモリの大容量化、優秀なアルゴリズムの提案が挙げられます。

近年は「複雑な対象」の一つとして、人物が写った画像が盛んに用いられています。画像の中から人に関する情報を抽出することは非常に有用です。「画像の中に人がいるのか」「人はどのような軌跡で移動しているか」「その人の性別と年代はどうか」「不審人物ではないか」、このような情報を自動的に、かつ実時間（撮影した画像に対しその場で処理結果がわかること）で抽出する試みがなされています。これら研究成果の実用例として、「自分の顔でキーロックを解除できる携帯電話 [4]」「人に自動的にフォーカスを合わせるデジタルカメラ [5]」などが市販されています。これらの製品をご活用の方がいらっしゃるかと思いますが、実時間で動くコンピュータビジョン技術が大いに活躍しています。

本稿では、我々が研究を行っているコンピュータビジョン技術「人を見るコンピュータ」を挙げ、筆者が研究を進めている人の追跡方法について解説します。

2 「人を見るコンピュータ」

本章の題名である「人を見るコンピュータ」と聞いて、皆さんはどのようなコンピュータを想像するでしょうか？

始めに「人を見る人」という概念、私達が人を見る処理について考えてみたいと思います。私達は、常に「人を見る」処理を行いながら生活をしています。つまり「人を見る」ということは、「視界の中に人がいる」「その人は さんである」「 さんは何をしている」といった情報を獲得し処理をする作業であるといえます。

私達は通常、この「人を見る」という処理をごく自然に行っています。無意識のうちに人を見ている事もあるので、そう大した処理には思えないかもしれませんが、感覚情報処理の分野では、人間が獲得できる外部情報（五感）のうち、目から入る情報（視覚情報）は全体の 70～80% を担っていると言われています。そして、視覚情報の処理のために脳の半分程度の部位が関わっています。これらの事からも、視覚情報処理は人間の生活にとって主要で大規模な処理であることがわかります。人間の「目」と「脳」は無意識のうちに、大いに活動しているのです。

人間の「目」が光を感じてそれが視覚情報となり、「脳」が計算や過去の系列からの判断を行います。その結果、上に述べた「視界の中に人がいて」「その人は誰で」「その人は何をしようとしている」等の情報獲得に至ります。「人を見るコンピュータ」とは、このような人に関する情報収集をコンピュータで行おう、という研究です。したがって、「コンピュータに USB でカメラを繋いで、録画して保存」するだけでは「人を見る」とは言えません。人間の「目」と「脳」に相当する機能をコンピュータで作ることで、はじめて「人を見るコンピュータ」と呼ぶことができます。幸い、人間の「目」によって獲得される視覚情報は、ビデオカメラで容易に獲得できる時代になりました（もちろん「目」に相当する、高性能なセンサを作る研究も積極的に行われています）。したがって、「脳」に相当する部分である視覚情報処理（人を見つける、どこにいるか探す、知っている人物が調べる、行動を判断する等）をコンピュータでどのように表現すれば良いか、ということに関して検討を行います。

「人を見るコンピュータ」を作ればどのような活躍が見られるか、いくつか紹介したいと思います（図 1）。一つは、人を主体に置いたビデオの自動撮影です。画像のどの場所に人が存在するかの判断が行え

るため、人を中心に捉えるよう、ビデオの台座を制御し、人を主体としたビデオが撮影できます。講義風景の撮影等に応用が可能です²。

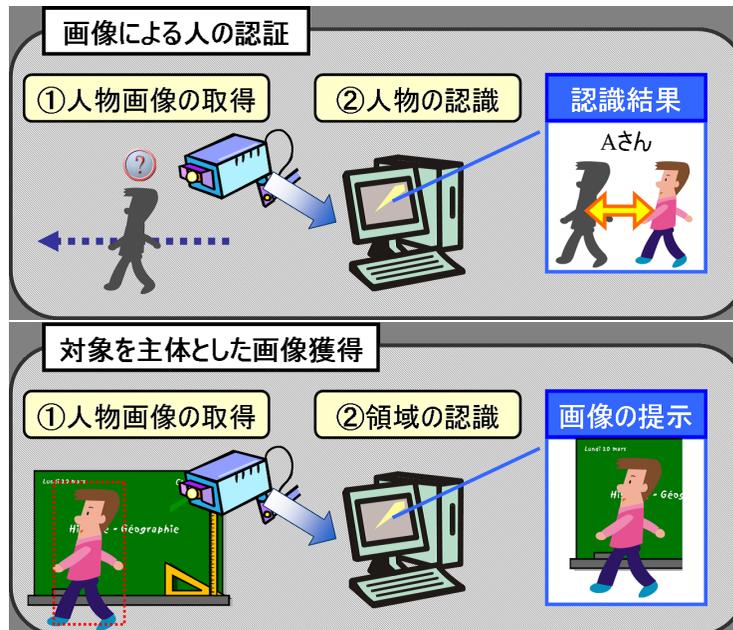


図 1: 人を見るコンピュータの応用例

二つ目の例は、ビデオカメラを用いた人の認証です。画像から人を探し、その人が誰であるかの判断が行えます。高精度の認証が行えれば、パスワードの代わりに顔画像を用いた、端末へのログイン機構等が実現できます。



図 2: 人を見るコンピュータ

我々は「人を見るコンピュータ」を実現するため、ビデオカメラによって撮影された画像(動画像)に

²情報科学センター飯塚キャンパス講義室には、自動追尾カメラ撮影システムが導入されています [6]。

存在する人を発見し、その属性情報(どの人物か、あるいは年代や性別)を獲得するシステムを提案しています(図2)。実時間処理が行え、撮影中にカメラが動いたり、部屋の照明が明滅した場合でも、対応できるシステムの構築を目指しています。

「人を見るコンピュータ」を実現するためには、動画像に対して以下の方策が必要になります。

1. 画像中から、人を探す
2. 人を探した後に、画像中のどこに移動したかを追いかける
3. 逃さずに追いかけた人の属性を推定する

これらの処理を繰り返すことにより、「人を見る」処理が実現できます。コンピュータビジョンでは、人を探す処理を「検出」、追いかける処理を「追跡」と呼びます。本稿では、筆者が重点を置いて研究を行っている、人の追跡処理について解説を行います。

3 探した人は逃さない方法：「追跡」

前述の通り、探した人(や物)を追いかける処理が「追跡」なのですが、コンピュータビジョンにおける「追跡」とは、どのような仕組みで実現されているのでしょうか?

入力された画像(観測)と、追跡を開始してからの物体の状態(存在した場所や大きさ)を利用すれば、「画像のどこに物体が存在するかの確率」を求めることができます。この確率を手掛かりとして、人や物の追跡を行います。

物体が存在する確率を求めるには、画像内のあらゆる場所で「物体があるのか」に関する推定(評価とも呼ばれます)を行います。この処理を繰り返すと、画像のどこに物体が存在するかを示す確率分布を求めることができます。確率分布が完成すれば、「最も確率の高い座標に物体がある」と決定することにより、追跡が実現できます(図3)。

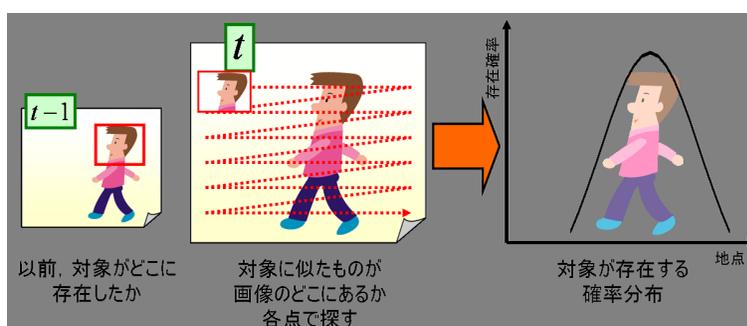


図 3: 追跡処理の概念図

しかし、この方法には一つ問題があります。物体が存在する確率分布を作成するためには、画像中のすべての場所で「物体があるのか」に関する推定を行う必要があります。1メガピクセルの画像に対して1点1点この処理を行った場合、推定処理は100万回に及びます。1点0.1ミリ秒で推定を行えたとしても、物が存在する確率分布の作成には90秒程度を要してしまいます。これでは厳密な確率分布の

作成はできても、動画像処理と呼ぶことはできません。この問題点に対して、近年は Particle Filter[7] と呼ばれる優れた解決法が存在します。

3.1 Particle Filter の概要

それでは、Particle Filter の概要について解説します。前述の追跡手法では、物体が存在する確率分布を「厳密に」作成することが問題でした。Particle Filter においても、物体が存在する確率に基づき追跡を行います。しかし、画像の全ての場所で「物体があるのか」に関する推定を行うわけではありません。前の時刻で物体が存在した確率が高い地点付近からに関して重点的に行われます。従って状態の確率は全ての点を使って表現するのではなく、効率的に選ばれた離散的な点の集合 (サンプル点, Particle などと呼ばれます) で表現されます。

Particle Filter を用いた物体追跡の例を図 4 に示します。この例はある置物を追跡している例です。ある時刻に手動で切り出した画像に対して、形状が類似したものに対して置物が存在する確率が高くなる評価方法を用いています。Particle Filter では、評価を行う点数 (Particle 数と呼ばれます) が追跡精度に影響を及ぼすことがあります。比較的安定した物体の追跡が可能な手法です。



図 4: Particle Filter を用いた物体追跡

3.2 提案手法の概要

本節では提案手法の概要について、先行研究との比較を行いながら述べたいと思います。

本稿で紹介する追跡手法も Particle Filter に基づいており、追跡対象の存在確率の評価には、追跡物体に含まれる色の割合である色ヒストグラムの類似性を基準として用います。なお、色ヒストグラムを用いた Particle Filter による物体追跡法は、Nummiaro[8] や Pérez[9] らによって既に提案されており、その有効性が示されています。

我々はこれら先行研究の問題点を指摘し、より安定した追跡方法を提案しています [18]。Nummiaro や Pérez らの追跡手法は、追跡の安定性に関して 2 つの問題点が考えられます。物体追跡では、物体追跡の評価に用いる手がかりとして、参照と呼ばれる特徴量が用いられます。人物顔を追跡したい場合は、

顔領域が参照となります。物体追跡では動画像を扱うため、参照は時刻が経過する度に更新を行う必要があります。先行研究は、次時刻に備えた参照の更新方法に関して問題があります。Nummiaro らの手法では参照の更新に、Particle Filter によって推定された確率の高さのみを用います。一見のを得ていますが、確率の高さのみでは追跡物体を見ているのか、近傍の背景を見ているのか判定できません。Pérez らの手法はこの問題に対応するため、追跡物体と背景の双方を参照として考え、追跡を行います。しかし、一般的に「背景」の色分布は多種多様であるため、全てのシーンで上手くいくとは限りません。

第二の問題点は、追跡中に対象と類似した色の物体が画像内に出現した状況への対処です。類似した色が発生した場合、その領域は「色は類似しているが、異なる領域である」と判断し、分離を行うことが必要です。しかし先行研究の枠組みでは、類似領域の判定は行えません。

我々は上記の問題に対応するため、

1. 確率の高さだけでなく、どのような形状で確率が分布しているか (尤度 (ゆうど) 分布形状) に基づき追跡を行う
2. 追跡物体とその近傍の背景を組み合わせた参照を定義して追跡を行う

2 手法について検討を行います。

2 つの手法を組み入れた追跡システムを構築して様々な環境で撮影された動画像に適用し、追跡性能の比較実験を行った結果、提案手法が追跡の安定化に有効であることがわかりました。

4 Particle の尤度分布を用いた追跡法

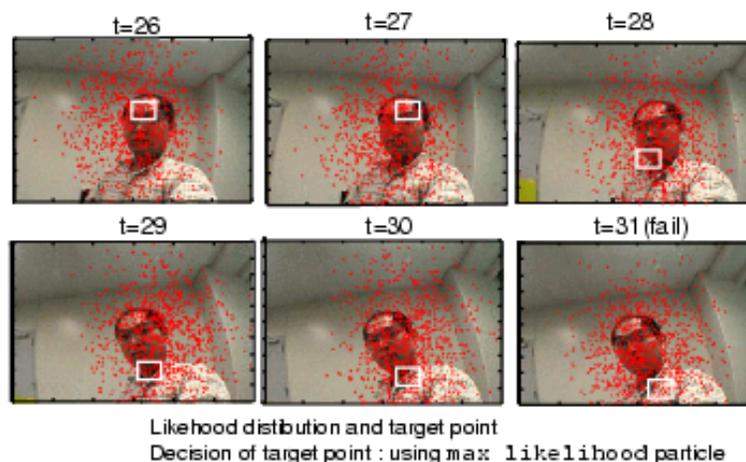


図 5: Drifting 現象

まず始めに、物体の追跡に必要な参照の更新方法について考えます。最も単純に思いつく更新方法は、Particle の持つ物体らしさの確率 (尤度) が最大であった位置を用いる方法だと思います。この方法を尤度最大法と呼びます。この方法は一見合理的に思えますが、確率が最大となる地点が対象物体内の中心になる保証はありません。尤度最大法では、drifting (追跡を続けるうちに対象物体の推定位置が徐々に追跡対象から離れていく現象) と呼ばれる追跡の失敗が頻発してしまいます (図 5)。

また、Particle が持つ尤度の加重平均を用いて参照の更新を行う手法も存在します。しかし、Particle には物体領域と背景領域を識別する情報は含まれおらず、不安定な方法であることに変わりありません。

我々は参照の更新を行うため、Particle が持つ尤度が画像中でどのように分布しているか、すなわち尤度の空間分布形状に注目します。具体的には、対象物体が存在する領域付近において Particle の分布形状が釣鐘形状 (図 6) になることに着目し、その形状を参照更新に利用します。この手法を尤度分布法と呼びます。

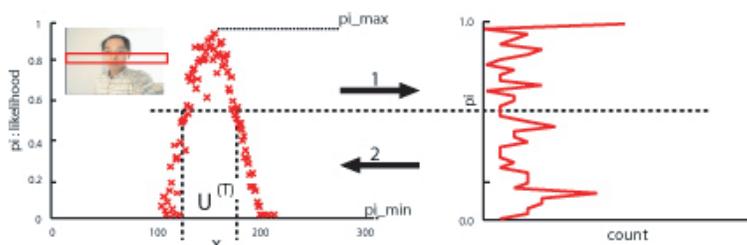


図 6: 背景領域と物体領域の分離

尤度分布とは、時刻 t における Particle の尤度 π_t に関する空間分布と定義します。尤度分布の形状を観測すると、釣鐘形状の上部を構成する点群を重心とする領域 (釣鐘の上辺の点に該当する Particle) は物体領域の内部である可能性が高く、領域の集合は物体領域を覆っていることがわかります。したがって尤度分布の重心を求めれば、参照を更新するための位置推定に利用できます。

この尤度分布に対して適切な閾値を選べば、対象物体内部に位置する Particle で構成された集合が形成されます。そのような集合の要素の平均は次時刻の対象物体の中心位置に近くなるため、drifting の現象が起きにくい追跡処理が実現できます。したがって、内部に位置する Particle を決定する閾値の決定方法が重要です。

提案手法では、尤度分布に対して度数分布を作成し (図 6 右)、2 つのクラス (物体と背景) を適切に分割可能な基準 (大津の 2 値化基準 [13]) を利用し閾値を求めます。求められた閾値以上の尤度を持つ Particle が、物体を示していると判断することが可能となります。

5 追跡処理の安定化

前章では、物体領域と背景領域の分類に基づく参照の更新方法である尤度分布法を紹介しました。本章では追跡処理の安定化について検討します。

物体追跡では追跡対象を示す前景領域と、それ以外の背景領域を明確に分離することが望ましいため、前景と背景の分離能力を高めることが重要です。本章では、前景と背景との分離能力を計測する指標について紹介し、分離性能の向上法について検討します。

5.1 尤度分布の安定性評価基準

尤度分布を用いた対象と背景の分離を考えた場合、対象領域と背景領域の尤度に大きな差が認められないときや、物体領域と判断される領域サイズが大きい場合は、分類が困難になることが考えられます。

このような場合、「尤度分布が対象と背景の分離を適正に行えるか」を示す指標があれば、より適切な対応 (適正が低ければ、追跡を行わないなどの処理) が可能になります。

提案手法では尤度分布の特徴量として、「尤度の最大値と最小値の差」と「尤度分布の広がり」を考えます。尤度の差が大きく、その広がりが小さい場合は前景と背景の分類が容易であり、逆の場合は分類が難しいと考えられます。

この難しさを示す指標として、式 (2) で定義する S 値を定義します。

$$S = \text{尤度の差} / \text{尤度分布の広がり} \quad (2)$$

S 値を観測することにより、現時刻における追跡処理の安定性が評価できます。 S 値が低い場合は安定性が低いと判断し、位置推定および参照の更新処理を停止することが可能となります。

5.2 周辺特徴による分布の鮮鋭化

前節では、追跡対象である前景領域と、それ以外の背景領域を明確に分離することが重要であることを述べました。

追跡を安定して行うためには、「 S が高い値を示す状態を形成することが重要である」と言い換えることができます。 S を高める手段として、尤度分布の広がりを抑える手法が考えられます。

尤度分布の広がりは、Particle が入力画像内に広く分布した状況において大きくなります。Particle の尤度は参照との類似性に基づいて算出されます。したがって Particle の尤度演算に関して、前景領域に高い尤度を示しやすい指標を用いることにより、尤度分布の広がりを抑えることが可能となります。

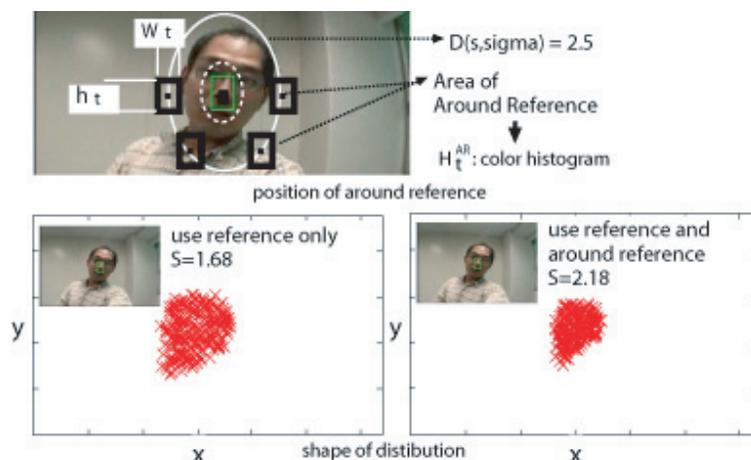


図 7: 尤度分布形状の比較

我々は、「参照に前景と背景の境界付近の特徴を加える」手法を提案しています。参照に対象以外の領域を用いることは、和田らの追跡手法 [14] において、有用な効果を示すことが示されています。提案手法では、尤度分布の中心からの距離が一定位置にある特徴を周辺特徴と定義しています (図 7)。

式 (3) に周辺特徴を加えた尤度の計算式を示します。

$$\text{尤度} \propto \text{参照との類似性} - \text{周辺特徴との類似性} \quad (3)$$

式 (3) は、周辺領域に類似した Particle の尤度が急激に減少することを示しています。図 7 に周辺特徴を尤度演算に加えた場合の尤度分布を示します。結果は、尤度分布の広がりを抑えること (S 値の向上) が可能であることを示しており、安定した追跡が可能となります。

6 追跡実験と性能評価

6.1 実験の概要

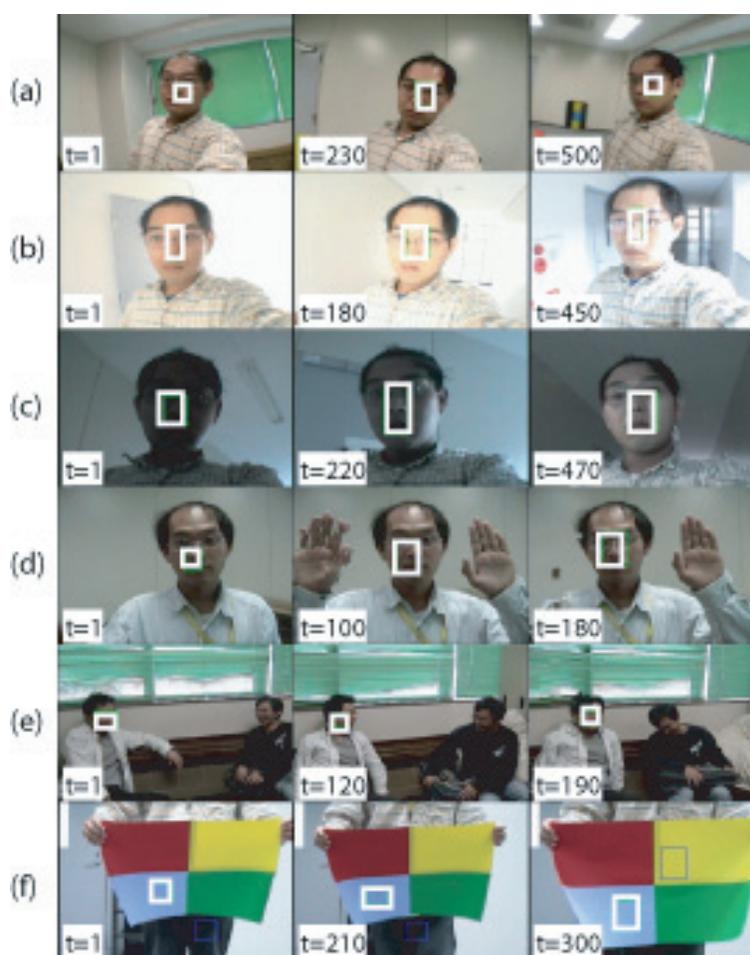


図 8: 実験動画画像

我々が提案した追跡手法を動画像に適用し、性能の評価を行います。実験動画像として、動画像 (a) から (f) までの 6 種類を用いました (図 8, 表 2)。各画像系列の撮影環境については、6.2 節の中段にて解説しています。

表 2: 実験動画画像の環境設定

系列	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
非剛体	N	N	N	N	N	Y
カメラの運動	Y	Y	Y	N	Y	N
対象の運動	Y	Y	Y	Y	Y	Y
照明変化	S	B	VB	S	B	S
複数物体	N	N	N	H	P	N
画像フレーム数	589	508	510	224	200	330

Y: yes N: no S:small changing B:big changing
 VB: very big change H: hand P:other person

表 3: [左] 追跡性能 (*=追跡成功) / [右]S 値

	M1	M2	M3	M4	M3	M4
(a)	48	580 *	580 *	580 *	1.90	2.31
(b)	57	389	508 *	508 *	1.47	2.67
(c)	41	154	371	510 *	-	1.84
(d)	20	17	24	224 *	-	1.28
(e)	5	13	63	51	-	-
(f)	169	330 *	330 *	330 *	0.36	1.41

6.2 性能評価と考察

提案手法の追跡性能を二つの基準によって評価します。適用手法は、尤度最大法 (M1), Particle Filter による追跡 (尤度分布全体の重心を位置推定に利用)(M2), 尤度分布法 (M3), 提案手法である尤度分布法に周辺特徴による尤度を加えた手法 (M4) の 4 手法となります。

第一の基準は、「実験動画画像中に存在する対象物体追跡を追跡できたか」です。手法 M1 から M4 の 4 手法に対する物体追跡の結果を表 3 に示します。表 3 には、対象物体の追跡に成功した最終フレームのフレームナンバーが記載されていますが、各実験において一度追跡に失敗した時点で、その追跡は終了としています。

第一の基準に基づく結果を示します。尤度最大法である手法 M1 は全ての動画において初期段階で追跡に失敗しています (いずれも drifting が起きる結果となります)。尤度分布を作成しない Particle Filter による手法 M2 は、照明条件が安定な動画 (a), 非剛体を対象とした動画 (f) のみで追跡に成功していますが、その追跡性能は限定的であると言えます。尤度分布のみを利用する手法 M3 は、前景領域と背景領域の分離が明確に行えないため、輝度値の低い動画 (c), 複数の類似色が出現する動画 (d)(e) では、途中で追跡に失敗します。

手法 M4 では、動画 (c) における追跡に成功します。これは、周辺特徴を用いることにより、輝度の低い画像内においても、追跡対象付近が高い尤度を示すことが理由となります。また、手領域の出現する動画 (d) における追跡にも成功します。しかし、複数人物が出現する動画 (e) では、Particle が画像全体に分布するため、追跡に失敗します。

なお、動画 (e) へ対応するため、手法 M4 に加えて、尤度分布の分割 (*k*-means クラスタリングと呼ば

れる有用な分割手法があります。手法の詳細は紙面の都合により割愛します), 全動画について追跡が可能となりました(図8に推定された矩形領域を示しています)。

第二の基準は, 尤度分布に対する S 値です。尤度分布のみを用いる手法 M3 と比較し, 手法 M4 が高い S 値を示す結果となりました。これは, 周辺特徴を用いることにより, 尤度分布の広がりを抑えた結果であるといえます。位置推定に対して, 周辺特徴や尤度分布のクラスタリングを用いることにより, 高い S 値を維持することが可能となり, 追跡性能の安定化に寄与できることが実験によって示されました。

物体追跡に要する処理時間ですが, 画像一枚あたり $70[msec]$ (Pentium4-1.7GHz の計算機を使用) と, ほぼリアルタイムの動作が可能です。

7 おわりに

本稿では「人を見るコンピュータ」の基礎となる人物追跡技術の紹介を行いました。

従来から提案されている人物追跡法には, 加重平均による位置推定を行う Particle Filter の特性のみに頼ったものが多く存在します。しかし, 実世界では追跡対象に類似した物体が多く存在する場合や, 照明条件の悪い環境であることが多く, このような状況において従来手法は安定した追跡が難しくなります。

我々は, 単純な加重平均ではなく, Particle の画像中における空間分布形状に基づく位置推定と, 追跡対象のみではなく追跡を行いたくない領域を利用した観測に基づく人物追跡法を提案しました。提案手法を実装し評価実験を行った結果, 従来手法に比べ追跡安定性の向上が確認されました。リアルタイムに動作する, 安定した人物追跡処理を実現したといえます。

計算機性能やアルゴリズムの進歩により, 人を探す, 追いかけるといった処理は実用レベルに迫りつつあります。「人を見るコンピュータ」においても, 様々な検討すべき課題は残るものの, 実時間性, カメラの運動, 照明の明滅等に対応できるシステムとなっています。現在も, 性能向上を目指した特徴量の検討, 追跡手法の改善等をすすめています。しかし現状では, 人間の「人を見る」機能には及びません。人を見るコンピュータの相手は人間の脳であり, そう簡単に追い付けるとは思えません。しかし, 今後も計算機の性能向上や優秀なアルゴリズムの提案は確実に実現されます(ベンチマークによって競われ, 活発に研究が行われる課題もあります [15][16])。

近い将来「人を見るコンピュータ」が社会に溶け込み, 私達の生活を手助けする時代が訪れます。人を見るコンピュータが, 日々の生活をサポートしてくれます。

朝起きれば, 自宅のパートナーロボットが家族を認識しスケジュールを教えてくれ, 外出後は不審人物を検知して警備を行ってくれます。電車に乗る時は定期券をかざすことなく, 顧客として登録された人は改札口をそのまま通過できます。会社でも学校でも, 何度も IC カードでゲートを開ける時代は去り, 顔が ID になります。市街地にカメラが設置され, 道に迷った・倒れ込んだ・不審な行動を示した, このような動作を認識して適切なサポート, 処理を行ってくれます。家に帰れば, パートナーロボットが留守中の出来事を報告してくれます。自動車や家電製品にもカメラが積極的に搭載され, 検出した人の好みに応じた機能(自動車のシート設定やエアコンの温度設定など)を提供してくれます。

つまり, これまで「人を見る人」がいない限り不可能であった, あるいは ID カード等で代用してい

たサービスが、全て自動化できる時代になります。

この夢のような人を見るコンピュータ、コンピュータビジョンに関する研究は、1章にて述べた通り安価なビデオカメラとコンピュータがあれば開始できます。また、無料で入手可能なコンピュータビジョンに有用なライブラリも用意されています [17]。本稿をお読み頂いて、コンピュータビジョンへの期待、研究への興味を持って頂ければ幸いです。

参考文献

- [1] コグネックス株式会社, 画像処理について, <http://www.cognex.co.jp/vision/>
- [2] <http://www.robocup.org/>
- [3] <http://www.its.go.jp/ITS/j-html/index.html>
- [4] 松下電器産業株式会社, P903i, <http://www.nttdocomo.co.jp/product/foma/903i/p903i/>
- [5] 富士フイルム株式会社, 顔キレイナビ, <http://finepix.com/kaokireinavi/>
- [6] 大西, 篠原, 夏目, 遠藤, 近浦, 児玉, 小林, “e-ラーニング事業推進室の立ち上げと活動内容”, 九州工業大学情報科学センター広報第 16 号, (2004).
- [7] M.Isard, A.Blake, “Condensation-conditional density propagation for visual tracking”, IJCV, Vol.29, No.1, pp.5–28, (1998).
- [8] K.Nummairo et al., “An Adaptive Color-Based Particle Filter”, Image and Vision Computing, (2002).
- [9] P.Pérez et al., “Color-Based Probabilistic Tracking”, ECCV, pp.661–675, (2002).
- [10] Iain matthers, Takahiro Ishikawa, Simon Baker, “The Template Update Problem”, IEEE Trans. on PAMI, Vol26 No.6, pp.810–815, (2004).
- [11] Randal Douc et al., “Comparison of Resampling Schemes for Particle Filtering”, ISPA 2005, pp.64–69, (2005).
- [12] Jean-Christophe Terrillon, Arnaud Pilpre, “異なるカメラシステムによる多数色空間で観察された肌色の特性”, SSII2002, pp.457–462, (2002).
- [13] 大津, “判別および最小 2 乗基準に基づく自動しきい値選定法”, 信学論, Vol.J63-D, No.4, pp.349–356, (1980).
- [14] 和田, 濱塚, 加藤, “k-means トラッキング:背景混入に対して頑健な対象追跡法”, MIRU2004, Vol.2, pp.7–12, (2004).
- [15] Face Recognition Vendor Test, <http://www.frvt.org/>

- [16] Gait Baseline, <http://www.gaitchallenge.org/>
- [17] Open Source Computer Vision Library, Intel , <http://www.intel.com/technology/computing/opencv/>
- [18] 林, 榎田, 江島, ”尤度分布の形状を用いた物体追跡の安定化,” 画像電子学会誌第 35 巻第 5 号 , 2006 .