

マルチステレオカメラを使った部分ボクセル空間への情報統合による リアルタイム人物頭部追跡

河中 治樹[†] 藤吉 弘亘^{††} 岩堀 祐之^{††}

[†] 愛知県立大学情報科学部 〒480-1198 愛知県愛知郡長久手町大字熊張字茨ヶ廻間 1522-3

^{††} 中部大学工学部 〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200

E-mail: †kawanaka@ist.aichi-pu.ac.jp, ††{hf,iwahori}@cs.chubu.ac.jp

あらまし 本研究では形状情報と色情報を用いて人物の頭部を追跡する新たな方法を提案する。複数のカメラ映像を使った追跡の従来の手法は二次元画像内で実装されているが、本研究の提案手法はそれを三次元ボクセル空間における追跡へと拡張する。ボクセル空間は複数のステレオカメラから得られる距離画像を統合して再構成する。リアルタイムに人物頭部の追跡を行うためには情報の統合を効率よく行う必要がある。追跡にはノイズにロバストなパーティクルフィルタを用いるが、統合するボクセル空間を追跡するために必要な最小限の領域に抑えることで、画像取得、情報統合および追跡処理に至るまでをリアルタイムに実現できる。

キーワード ステレオカメラ, 距離画像, ボクセル空間, 頭部追跡, パーティクルフィルタ

Real-Time Human Head Tracking by Integration into the Partial Voxel Space Using Multiple Stereo Camera

Haruki KAWANAKA[†], Hironobu FUJIYOSHI^{††}, and Yuji IWAHORI^{††}

[†] Faculty of Information Science and Technology, Aichi Prefectural University 1522-3 Ibaragabasama, Kumabari, Nagakute-cho, Aichi-gun, Aichi, 480-1198 Japan

^{††} Faculty of Engineering, Chubu University 1200 Matsumoto, Kasugai, Aichi 487-8501 Japan

E-mail: †kawanaka@ist.aichi-pu.ac.jp, ††{hf,iwahori}@cs.chubu.ac.jp

Abstract In this paper, we propose the new method to track the human head by using the location and color information. Some previous methods, which use multiple cameras, are performed inside two dimensional images. But, we expand it to the tracking in three dimensional voxel space. The voxel space is reconstructed by integrating the depth maps obtained from the multiple stereo cameras. It is necessary to integrate information efficiently to track in real time. Particle filter, which has the robustness for noise, is used to track the human head. The integrated voxel region should be restricted to the minimum necessary for particle filter. Thereby we can obtain images, integrate information and track the human head in real time.

Key words Stereo Camera, Depth Map, Voxel Space, Human Head Tracking, Particle Filter

1. ま え が き

複数のカメラで協調して移動物体を追跡する研究分野では、各カメラ画像上にて追跡を行い、その結果を統合して追跡対象の三次元位置を推定する方法が多く提案されている[1]~[4]。これらの手法は各カメラでの追跡結果の情報のみを統合すればよいので、カメラ間の通信量が少なくすむという特徴があるが、各カメラ画像上での追跡が失敗していたり、追跡結果が同一の人物でない場合に統合した追跡結果に矛盾が生じたりするという問題点がある。

二次元画像内で追跡する場合には画像中の人物の形状や大きさに変化が起るため、常に追跡対象の画像内での大きさを考慮しなければならない。また、対象の色情報だけを手がかりとする場合、照明条件がカメラごとに大きく異なるようにしたり、人物の肌色などが背景の色と区別できるような単純な背景にしたりするなど追跡空間の撮影環境にさまざまな条件が必要となる。さらに、追跡対象が多人数になった場合などには色情報だけでは安定した追跡が難しい。そこで複数の視点のステレオカメラ画像を三次元ボクセル空間に統合し、周囲の撮影環境に影響を受けにくいようにして追跡を行うことにする。ボク

セル空間内では人物頭部の大きさは変化することなく、常に一定の形状情報として追跡を行うことができる。

人物追跡などにおいて、入力画像にオクルージョンやノイズが生じているような状況においても安定した追跡が可能な手法のひとつにパーティクルフィルタ [5] がある。パーティクルフィルタは過去の観測に基づく予測と現在の観測から、事後確率を最大にするように推定する手法であり、観測値が非ガウス型になる状況においても頑健な追跡を実現する。追跡対象の状態を確率変数とする離散的確率密度を多数の粒子群によって近似し、確率モデルを用いてそれを伝播させていくため、ノイズやオクルージョンなどに対して頑健な追跡が可能となっている。

我々はこれまでに、複数のステレオカメラを用いた多視点画像をボクセル空間に統合し、パーティクルフィルタを用いて3次元ボクセル空間で人物頭部を安定して追跡する手法 [6] を提案している。ステレオカメラからは通常のカメラと同様の色情報と物体表面までの距離情報が同時に得られる。複数のステレオカメラから得られる距離画像を統合して、ボクセル空間に対象を再構成し、その形状情報と色情報を用いて人物の頭部を追跡する。しかしながら、すべてのカメラの情報を詳細に統合して三次元情報を正確に復元してから追跡するには多くの計算時間がかかるため、本研究では精度の高い形状復元を行わず、粗い解像度のボクセル空間に単純な方法で統合を行う。粗い解像度にするすることで、計算量は少なく抑えられるものの、各ステレオカメラの計測誤差および距離情報の欠損部が多く存在する。したがって、このように統合形状は人間の正確な形にはならないが、粗く不完全な情報から人物頭部を追跡することを試みる。さらに、人物頭部追跡をパーティクルフィルタで行う際には、粒子群が散らばった範囲の部分ボクセル空間のみに情報統合領域を限定することで、統合処理の効率を上げることができ、画像取得から頭部位置推定までをリアルタイムに行うことができると考える。

本稿ではボクセル空間への情報の統合およびボクセル空間でのリアルタイムな頭部追跡処理について詳細を述べる。また、統合領域を必要最小限の部分ボクセル空間に抑えて、撮影、統合、および追跡処理に至るまでをリアルタイムに処理する方法を提案する。そして、部屋の中を移動する人物の頭部を追跡する実験を行い、得られた各頭部軌跡の評価および処理速度などからそれらの有効性を確認する。

2. ボクセル空間への情報統合

図1のように室内の天井四隅に4台の固定ステレオカメラをそれぞれ空間 (350[cm] × 350[cm] × 200[cm]) の中心方向へ向けて設置する。人物の周辺4方向から撮影することで死角を減らしている。予め各カメラは校正しておき、カメラの内部および外部パラメータに関しては全て既知であるとする。またこれにより、ワールド座標系からカメラ中心座標系およびワールド座標系から画像座標系への座標変換が可能となる。

文献 [6] と同様に、距離画像をボクセル空間へ逆投影することでボクセルデータとして形状の統合およびデータの再構築を行う。校正によって世界座標における各カメラの位置が求まっ

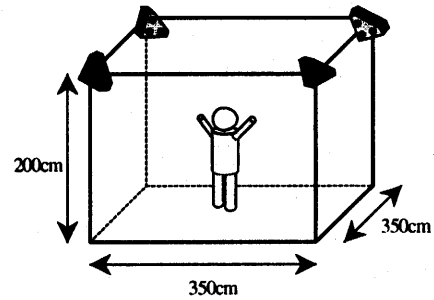


図1 追跡空間とカメラ配置

Fig. 1 Tracking space and position of multiple cameras

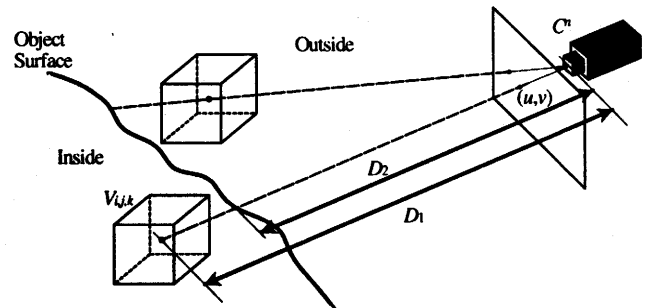


図2 各ボクセルの物体内外判定

Fig. 2 Judgement of each boxel as inside, outside or surface of the object

ているので、距離画像 (カメラ-物体表面間の距離) から物体表面上の頂点データ群が得られる。また、視点から各頂点までの空間は物体の非存在領域となる。このことを手がかりとして、各距離画像から得られる物体表面の頂点をボクセル空間に投影して、データの統合を行う。

まず図2に示すように、カメラ視点 C^n からボクセルの中心 (i, j, k) までの距離 D_1 と、ボクセル中心の世界座標を各画像平面に投影した点 (u, v) における物体表面までの距離 D_2 を計算し、次式によってそのボクセル $V_{i,j,k}$ を“物体外部 (Outside)”, “物体表面 (Surface)” もしくは “物体内部 (Inside)” に判別する。

$$L^{C^n}(V_{i,j,k}) = \begin{cases} \text{Outside} & D_1 < D_2 - th \\ \text{Inside} & D_1 > D_2 + th \\ \text{Surface} & |D_1 - D_2| \leq th \end{cases} \quad (1)$$

ただし、 th は定数である。

これらをすべてのカメラに対して計算した後、その結果を統合することで、ボクセル空間における物体の存在領域が得られる。結果の統合には次式および表1のテーブルを用いる。

$$L(V_{i,j,k}) = \text{LookUpTable}(L^{C^A}, L^{C^B}) \quad (2)$$

例えば、カメラ C^A でのボクセル値 $L^{C^A}(V_{i,j,k})$ が “Surface”, カメラ C^B でのボクセル値 $L^{C^B}(V_{i,j,k})$ が “Inside” であるときにはそのボクセルの値 $L(V_{i,j,k})$ は “Surface” となる。実際には4台のカメラでの判定結果をこのテーブルを繰り返し利用することで統合する。

表 1 $V_{i,j,k}$ の情報統合のためのルックアップテーブル

 Table 1 Look Up Table for Integration $V_{i,j,k}$

		$V_{i,j,k}^{CA}$		
		Outside	Surface	Inside
$V_{i,j,k}^{CB}$	Outside	Outside	Outside	Outside
	Surface	Outside	Surface	Surface
	Inside	Outside	Surface	Inside

なお、最終的に物体表面として判定されたボクセルにはその表面の色情報 (RGB 値) $C(V_{i,j,k})$ を持たせる。ボクセル中心から各視線方向における物体表面までの距離 D_2 を計算し、その距離が最も短いカメラにおける色情報をそのボクセルの色情報 $C(V_{i,j,k})$ とする。ただし、各カメラの (u, v) 周辺の色情報の中間値をそのボクセルの色情報 $C(V_{i,j,k})$ とする。

3. パーティクルフィルタによる人物頭部追跡

パーティクルフィルタとは、追跡対象の状態を確率変数とする確率密度を粒子 (パーティクル) 群

$$\mathbf{s}^{(i)} = \{\mathbf{x}^{(i)}, \pi^{(i)}\} \quad (i = 1, \dots, N) \quad (3)$$

によってノンパラメトリックに近似する手法である。

各粒子は状態空間に状態量 \mathbf{x} を持ち、その確率は重み π に比例する。ある時刻 t における追跡対象の状態量 \mathbf{x}_t を、そのときの観測結果を \mathbf{z}_t とし、時刻 t までに得られる観測結果を $\mathbf{Z}_t = (\mathbf{z}_1, \dots, \mathbf{z}_t)$ とする。粒子は事前に与えられた状態空間モデルによって推移し、時刻 t までの観測結果が得られた時の状態 \mathbf{x}_t の事後確率密度 $p(\mathbf{x}_t|\mathbf{z}_t)$ をベイズの法則に従って次式のように推定する。

$$p(\mathbf{x}_t|\mathbf{Z}_t) = \alpha p(\mathbf{z}_t|\mathbf{x}_t)p(\mathbf{x}_t|\mathbf{Z}_{t-1}) \quad (4)$$

ただし、 α は正規化のための定数である。

時刻 $t-1$ において、観測 \mathbf{Z}_{t-1} が得られたときの状態量 \mathbf{x}_{t-1} の分布 $p(\mathbf{x}_{t-1}|\mathbf{Z}_{t-1})$ が、 N 個の重みつき仮説群 $\mathbf{s}_{t-1}^{(i)} (i = 1, \dots, N)$ で表されているとき、各仮説の重み $\pi_{t-1}^{(i)}$ の比に従い、 N 個の仮説群 $\mathbf{s}_{t-1}^{(i)}$ を選択する。

事前に与えられた状態空間モデルによって各粒子を推移させることで確率分布 $p(\mathbf{x}_t|\mathbf{Z}_{t-1})$ を近似する。本稿では、追跡対象の頭部位置の世界座標 $\mathbf{x} = (x_w, y_w, z_w)$ を追跡対象の状態とし、状態空間モデルは

$$\mathbf{x}_t = \mathbf{x}_{t-1} + \omega_t \quad (5)$$

として遷移させ、時刻 t における N 個の仮説群 $\mathbf{s}_t^{(i)}$ を生成する。ただし、 ω_t はガウシアンノイズである。

新しいサンプル $\mathbf{s}_t^{(i)}$ の重み $\pi_t^{(i)}$ を画像から推定する。重み $\pi_t^{(i)}$ はボクセル構成情報に基づく尤度および色情報に基づく尤度から計算する。ただし、重みの和が 1 になるように正規化を行う。その結果、時刻 t における $p(\mathbf{x}_t|\mathbf{z}_t)$ の近似表現を得ることができる。また、追跡対象の最適な状態量推定として、仮説群の期待値を用いる。尤度関数 $L(\mathbf{z}_t|\mathbf{x}_t)$ を利用して、

$\pi_t^{(i)} = L(\mathbf{z}_t|\mathbf{x}_t)$ により重みを計算し、Sequential Importance Sampling [7] により、リサンプリングを行う。

次に、提案手法における仮説 $\mathbf{s}_t^{(i)}$ の重み $\pi_t^{(i)}$ の計算に使用する尤度関数 $L(\mathbf{z}_t|\mathbf{x}_t)$ について説明する。人物頭部が含まれるボクセル $V_{i,j,k}$ を中心とする 1 辺 a の立方領域における物体外部 (Outside)、物体表面 (Surface) および物体内部 (Inside) となるボクセルの個数から作られる正規化ヒストグラム $H_u^{location}$ は

$$H_u^{location} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^a \sum_{k=1}^a \delta_K[L(V_{i,j,k}) - L_u] \quad (6)$$

となる。ただし、 a は頭部位置のボクセル領域 (立方体) の 1 辺のボクセル数、 $L(V_{i,j,k})$ はボクセル (i, j, k) におけるボクセルの状態、 δ_K は Kronecker のデルタを示す。式 6 のボクセル構成情報のヒストグラム $H_u^{location}$ と予め人物頭部のボクセルの構成情報から得ておいた参照用ヒストグラム $H_u^{ref,location}$ との類似度 $S^{location}$ を次式の Swain の Histogram Intersection [8] を用いて計算する。

$$S^{location} = \sum_{i=1}^3 \min(H_u^{location}, H_u^{ref,location}) \quad (7)$$

同様に RGB の色ヒストグラム H_u^{color} と予め人物頭部のボクセルの構成情報から得ておいた参照用ヒストグラム $H_u^{ref,color}$ との類似度 S^{color} を次式により計算する。

$$H_u^{color} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^a \sum_{k=1}^a \delta_K[C(V_{i,j,k}) - C_u] \quad (8)$$

$$S^{color} = \sum_{i=1}^{T^3} \min(H_u^{color}, H_u^{ref,color}) \quad (9)$$

ただし、 $C(V_{i,j,k})$ はボクセル (i, j, k) における色情報、 C_u は RGB の各階調を T としたときの各色を示す。後の実験では RGB の各階調 T を 16(4bit) としてヒストグラムを作成した。

対象空間内でボクセルの構成情報から作成したヒストグラムおよびその空間内の色情報から作成した RGB 色ヒストグラムを観測値とし、尤度関数は

$$L(\mathbf{z}_t|\mathbf{x}_t) = \exp(k_1 S^{location}) \exp(k_2 S^{color}) \quad (10)$$

とする。ただし、 k_1 および k_2 は定数である。以上により、室内空間中の人物の存在可能性が高い仮説に大きな重みを与えることができる。

4. 部分ボクセル空間への統合による処理の効率化

頭部追跡ができる程度に人物頭部の詳細な形状を得るには、ボクセル空間の解像度を上げなければいけないが、解像度を n 倍にすると三次元ボクセル空間での計算量およびメモリ量は $O(n^3)$ 倍に増加する。リアルタイムなシステムの実現という点においても、使用メモリ量の観点からも、全ボクセルへの統合

処理を行うことは無駄が多い。そこで、複数のステレオカメラの情報をボクセル空間に統合する処理における効率化をはかる。

パーティクルフィルタによる追跡では各粒子の位置 (i, j, k) の周辺ボクセル領域、つまり一辺 a の立方領域の尤度を式 6 から式 10 を用いて計算する。したがって、パーティクルフィルタによる頭部追跡というアプリケーションを考える場合、ステレオカメラから得られるすべての情報を統合する必要はなく、分散したすべての粒子が尤度計算に使用する部分ボクセル空間のみ情報統合をすればよい。追跡空間の総ボクセル数を M 、部分ボクセル空間の総ボクセル数を m とすると、式 1 の判別および式 2 のテーブル参照といった情報統合処理にて最大で M/m 倍の高速化が見込める。

統合を行う部分ボクセル空間を決めるには、そのフレームでの粒子の分散範囲を得ておく必要があるため、本研究では次に示す手順で統合/追跡処理を行うことにする。

- (1) 複数のステレオカメラからカラー画像および距離画像の取得
- (2) 前フレームの重みに基づいて現フレームでの粒子を分散
- (3) 分散した全粒子が尤度計算に使用する部分ボクセル空間の決定
- (4) 部分ボクセル空間へ距離情報および色情報を統合
- (5) 各粒子の尤度を計算
- (6) 各粒子の重み更新およびリサンプリング

以上の処理を毎フレーム行うことで、追跡精度を全く損ねることなく複数カメラの情報統合処理を効率化でき、画像取得、情報統合そしてパーティクルフィルタによる追跡までの人物頭部追跡のリアルタイム処理が可能となる。

5. 実 験

本システムはステレオカメラとして図 3 に示す Point Grey Research 製の IEEE1394 カメラ Digiclops™4 台と PC (CPU Intel Xeon® 3.6 GHz, Memory 2.0 GByte) 1 台で構成した。Sync Unit によってすべてのカメラの同期が取られている。また、ステレオカメラは予め校正しておいた。これにより、すべてのカメラで共通の世界座標に情報を統合することが可能である。ステレオカメラからは 320×240 画素の色情報及び距離情報を約 24[fps] で取得できる。なお、追跡にあたり人物頭部の状態量の初期値は既知とし、頭部立方領域の大きさ $a = 6[\text{voxel}]$ ($1[\text{voxel}] = 35[\text{mm}]$) として人物頭部の追跡を行った。

パーティクルフィルタでの仮説数を $N = 100$ とした。人物が部屋の中央から反時計回りに部屋の中を歩き、一旦座ってから立ち上がるというシーケンスについて追跡実験を行った。実験に使用した画像の一部を図 4 に、その時の統合したボクセルの様子を図 5 に示す。ただし、図 5 は人物領域が明確になるよう全ボクセル空間で情報統合した結果を表示してある。

図 6 に頭部追跡途中の様子を示す。各画像の頭部付近に立方格子でそのフレームでの頭部の推定位置を示してある。図 6(a)–(c) は頭部と服装の色特徴がはっきりしているケースであるが、頭部を見失うことなく 1,000 フレーム以上にわたって追

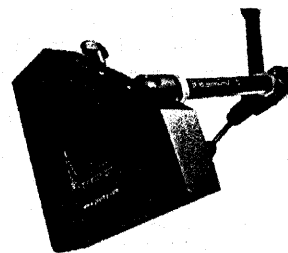


図 3 ステレオカメラ

Fig. 3 Stereo camera



図 4 Color information and depth map

Fig. 4 Color information and depth map

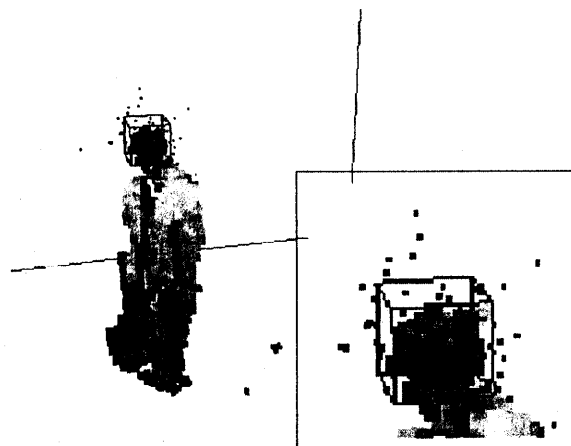


図 5 Appearance of voxel and particles

Fig. 5 Appearance of voxel and particles

跡を続けることができた。一方、図 6(d)–(f) のように頭部と服装が似た色特徴を持っている場合には、その服装の影響から、軌跡の鉛直方向へのぶれが大きくなっているが、仮説群の期待値によって、ほぼ人物頭部中心を推定できていることがわかる。これは重みが高い仮説が、全体として人物頭部付近に集まっていることによるためである。またどちらの映像においても、ステレオカメラから得られる距離画像の一時的な精度低下によって人物頭部形状が欠落してしまう状況が頻繁に起きた。そのような状況においては頭部軌跡が上下し、人物の首や肩辺りに推定頭部位置が下がっているところがあるが、頭部が再び出現するとすぐにその位置を捕らえ直しており、追跡が破綻することはなかった。1 辺が $35[\text{mm}]$ の粗いボクセル空間ではあるものの、約 3,000 フレームに渡って追跡が途絶えることはなく、提案手法の頭部トラッキングへの有効性を確認することができた。

図 7 は図 6(a)–(c) の映像の全シーケンスでの軌跡を示したものである。尤度関数をボクセル構成情報 (式 6 および式 7) のみ

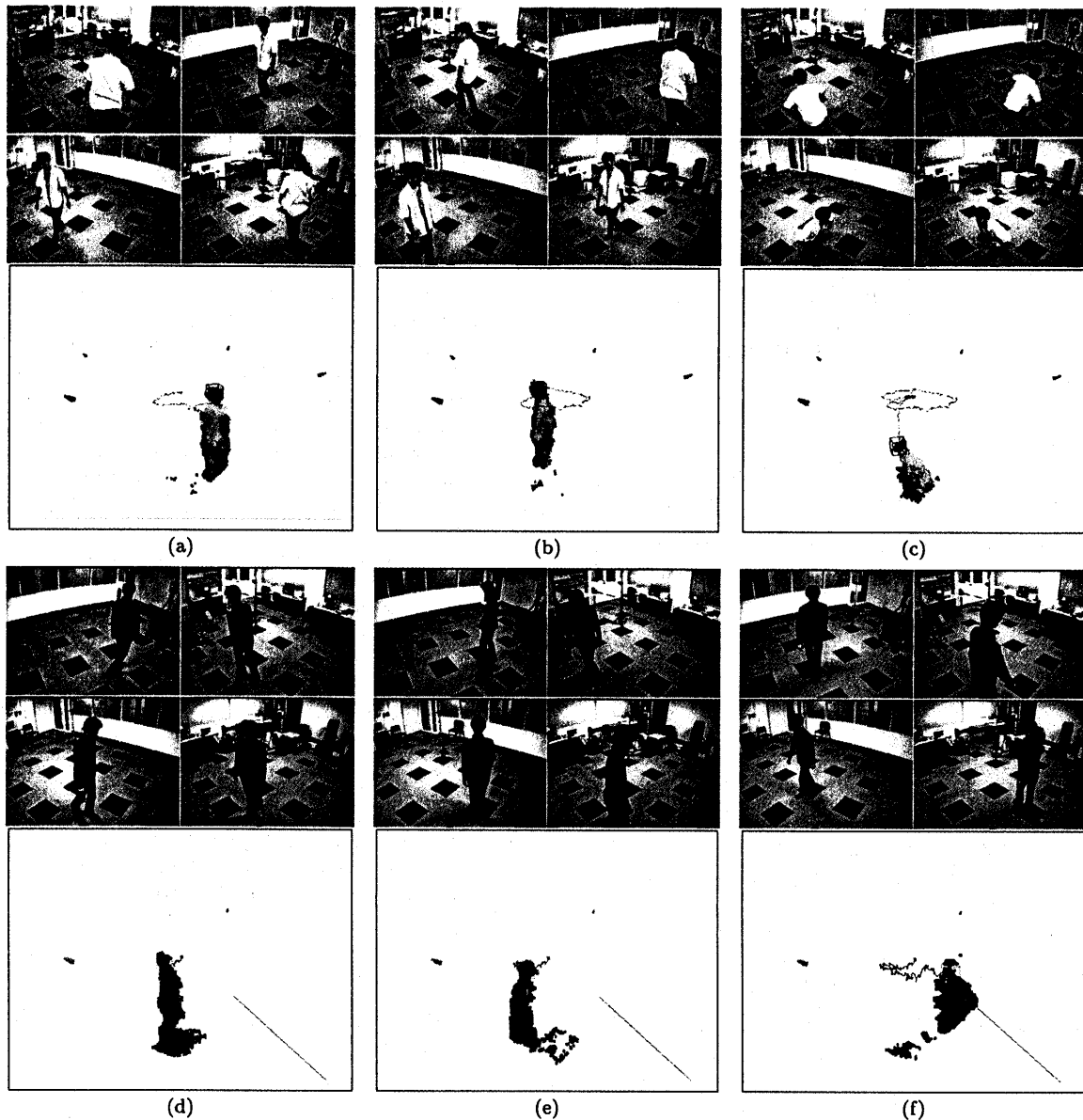


図 6 カメラ映像とボクセル空間での追跡の様子
Fig.6 Camera images and voxel space with trajectory.

にした場合、人物の膝辺りの粒子の重みが大きくなり、頭部追跡に失敗している。また、尤度関数を色情報(式8および式9)のみにした場合、頭部が欠落したフレームにおいて粒子が大きく誤った位置に移動したため、追跡が破綻している。提案手法のようにボクセル構成情報と色情報の両方を組み合わせることで、頭部を捕らえ続けることが可能であり、提案する尤度関数の構成についての有効性が確認できた。

図6(a)-(c)の映像シーケンスの全画像から目視によって得た頭部三次元位置の理論値と提案手法での軌跡の誤差を図8に示す。推定位置精度は平均誤差が0.049[m]、最大誤差が0.119[m]となった。ボクセルの1辺が0.035[m]であることから十分な精度が得られていると言える。

表2に本手法の平均処理時間を示す。全ボクセル空間での情報統合処理を行うと約200[ms/f]であったが、追跡に利用する部分ボクセル空間だけの統合にすることで、その処理時間は約

表 2 統合および追跡の処理時間

Table 2 Processing time of integration and tracking	
	平均処理時間 [ms/f]
全ボクセル空間への統合 ($M = 10^6$)	210
部分ボクセル空間への統合	16
パーティクルフィルタによる頭部追跡	2

16[ms/f]程度に抑えられることが分かった。また、パーティクルフィルタの追跡処理速度は使用する粒子数 N に依存するが、本実験では追跡するのに十分な個数として $N = 100$ と設定し、その処理時間を計測した。パーティクルフィルタの部分の処理時間は約2[ms/f]であった。統合および追跡ともにリアルタイム処理として十分な速度が出ていることが確認できた。

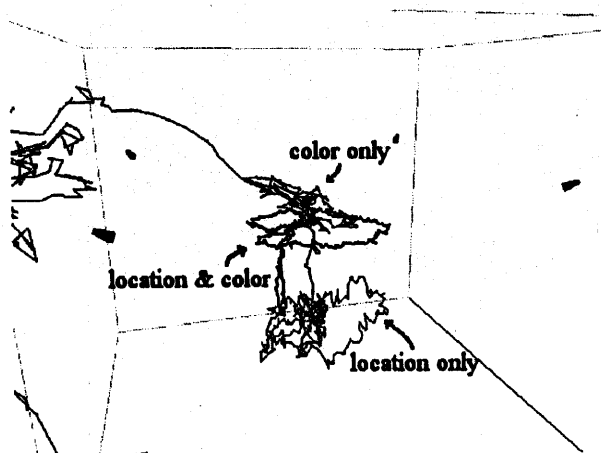


図7 実験映像シーケンスの軌跡

Fig. 7 Trajectory of the image sequence

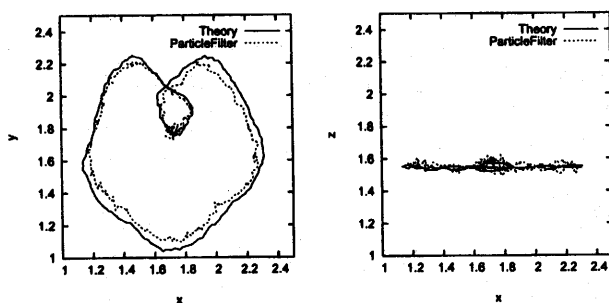


図8 理論値と推定値の誤差

Fig. 8 Position Error between theory and estimation

6. おわりに

本稿では、複数ステレオカメラからの情報を統合して得た三次元ボクセル空間内にて人物頭部を追跡する手法について述べた。三次元ボクセル空間内を自由に動く人物の頭部を追跡する手法として、二次元画像内で行われていた従来のパーティクルフィルタを三次元ボクセル空間へ拡張した。実環境における実験にて、複数のステレオカメラから得られるボクセル構成情報および色情報などから人物頭部らしさを評価し、頭部位置を推定できることを確認した。頭部特徴が明確ではなかったり、大幅な形状欠損が起きた場合に追跡が途中で失敗して対象を見失った後でも頭部形状が再度出てくるとパーティクル群が再び頭部位置に出現し、追跡が安定して継続された。推定位置精度および追跡の安定性などの評価から、三次元ボクセル空間におけるパーティクルフィルタによる追跡の有効性が確認できた。また、パーティクルフィルタでの尤度計算に使用する部分ボクセル空間のみを情報統合する領域にすることで、画像取得から頭部追跡処理までのすべてをリアルタイムに行うことが可能となった。

ステレオカメラからの画像取得が約 24[fps] であるので、現在のところは追跡システムのこれ以上の高速化は見込めないが、今後はボクセル空間の解像度をさらに上げ、頭部推定位置の精度向上を行うことを考えている。また、今後の課題としては複

数人物の頭部追跡を同時に行うことや、さらに細かな解像度にする事で頭部位置だけではなく、人物の顔の向きを推定することなどがあげられる。

謝辞 本研究は文部科学省ハイテク・リサーチ・センター整備事業(平成16年度～平成20年度)の援助を受けて行われた。記してここに謝意を表します。

文献

- [1] 中島平, 浜崎浩二, 岡谷貴之, 出口光一郎, “CONDENSATIONを用いた多視点画像の融合による複数人物の追跡”, 第6回画像の認識理解のシンポジウム, Vol.2, pp.317-322, 2002.
- [2] 鈴木達也, 岩崎慎介, 佐藤洋一, 杉本晃宏, “環境モデルの導入による人物追跡の安定化”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J88-D-II, No.8, pp. 1592-1600, 2005.
- [3] H. Hamasaki, T. Nakajima, T. Okatani and K. Deguchi, “Understanding 3-dimensional environment fusing multiple images by mixed-state condensation algorithm”, Soc. of Instrument and Control Eng. 2002, pp.1510-1515, 2002.
- [4] N. Ukita and T. Matsuyama, “Incremental observable-area modeling for cooperative tracking”, 15th Intl. conf. on Pattern Recognition, pp.192-196, 2000.
- [5] M. Isard, A. Blake, “Condensation- conditional density propagation for visual tracking”, Int. J. Computer Vision, Vol.29, pp.5-28, 1998.
- [6] 河中治樹, 藤吉弘正, “動的3次元ボクセル空間における頭部トラッキング”, ビジョン技術の実利用ワークショップ, pp.245-250, 2005.
- [7] A. Doucet, S. Godsill, C. Andrieu, “On sequential Monte Carlo sampling methods for Bayesian filtering”, Statistics and Computing, Vol.10, pp.197-208, 2000.
- [8] M. J. Swain, D. H. Ballard, “Color indexing”, Int. J. Computer Vision, Vol.7, pp.11-32, 1991.