

1. はじめに

眼球運動等の生体運動計測を行う際、3次元空間を自由に動く被験者の頭部を自動撮影する必要がある。本研究では、室内を移動する人物頭部の3次元ボクセル空間におけるリアルタイム追跡を目的とし、Mean-Shift と追跡成否の判定を組み合わせた手法を提案する。

2. 動的 3 次元ボクセルデータ

複数の2次元画像を用いた対象物追跡では、追跡対象と背景が似た色ヒストグラムを持つ場合、背景領域に追跡が収束する可能性がある。また、対象までの距離により2次元画像上の大きさは変化するため、追跡過程において移動量とサイズの変化を考慮する必要がある。一方、3次元空間における頭部の大きさは不変である。従って、リコンストラクションしたボクセルデータを用いることは、3次元空間内の移動量の計算に問題を限定できるというメリットがある。

2.1. ボクセルデータの生成

室内の天井四隅に4台の3眼ステレオカメラを空間(3.5m×3.5m×2.0m)の中心方向へ向け配置し、色情報及び距離情報を取得する。ステレオカメラより得られた距離画像群をボクセル空間に投影し、デプス情報から物体の内外判定を行い、動的3次元ボクセルデータを生成する(図1参照)。しかし、高解像度のボクセルデータの生成には時間を要するため、本研究では低解像度のボクセル空間(100×100×100[Voxel])を用いる。ここで、1ボクセルあたりの大きさは3.5×3.5×3.5[cm]とする。

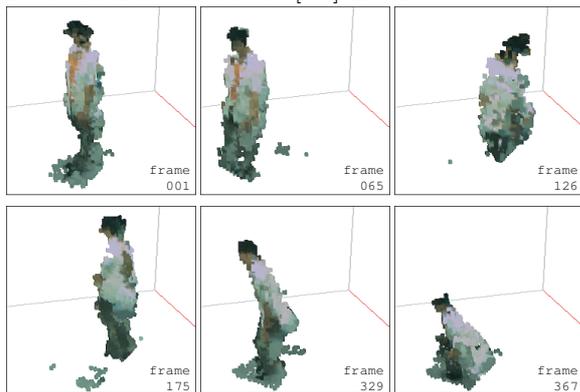


図 1：動的 3 次元ボクセルデータ

以上の手順で生成したボクセルデータに対し、移動体追跡手法として一般的な、Mean-Shift 法を用いて追跡を行う。

3. 3 次元ボクセルにおける Mean-Shift 法

Mean-Shift 法は、関数  $f(x)$  の初期値周辺のある区間の傾きにより、 $f(x)$  の値が大きくなる方向へ区間中心の移動を繰り返すことで、 $f(x)$  が極大となる点を求める方法である。3次元ボクセル空間における Mean-Shift 追跡では、初期位置  $(i, j, k)$  を中心とした領域内の色情報により、各ボクセルの持つ重みを求め、領域内により多くの重みが含まれるように移動させる。前フレームでの追跡領域の中心を  $x_0$ 、その周辺のボクセルを  $x_i$ 、各ボクセルの重みを  $\omega_i$  とすると、追跡領域の移動ベクトル  $\Delta x = (\Delta i \ \Delta j \ \Delta k)$  は(1)式のように求められる。

$$\Delta x = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i (x_i - x_0)}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (1)$$

重み  $\omega(x_i)$  には、3次元ボクセルデータの特徴として、R, G, B 輝度とボクセルの状態(内部, 表面, 外部)を用いる。初期ボクセルウィンドウ(10×10×10[Voxel])内のボクセルにおける輝度  $u$  の色ヒストグラム  $q_u$  及び、現在のウィンドウ中心  $x$  の周辺ボクセルの色ヒストグラム  $p(x)$  を求める。ここで、ボクセル  $x_i$  における輝度を  $b(x_i)$  とすると、各ボクセルの重み  $\omega(x_i)$  は(2)式によって表される。

$$\omega(x_i) = \delta[V_{i,j,k} - in] \cdot \sum_{u=1}^m \delta[b(x_i) - u] \sqrt{q_u/p_u(x)} \quad (2)$$

$\delta[V_{i,j,k} - in]$  は物体の内外判定であり、物体外部であると判定されたボクセルの重みは0となる。以上の処理を  $\Delta x$  が閾値を下回るまで繰り返し続けることにより、より頭部らしい位置へと領域を移動させる。

4. 追跡成否の判定

リコンストラクションしたボクセルデータには、ステレオ視の際のノイズにより頭部のボクセルが欠損する場合がある(図2参照)。この場合、頭部周辺の Mean-Shift の重み  $\omega$  は0となり、近傍のローカルミニマとなる肩等に収束してしまう。本研究では、この問題を解決する為に、Bhattacharyya 係数を用いて頭部追跡の成否判定を行う。Bhattacharyya 係数は、2つの正規化色ヒストグラム間の類似度を表す。 $p(x)$  を現在の追跡領域位置  $x$  における正規化色ヒストグラム、 $q$  を初期領域中の正規化色ヒストグラム、 $m$  を色階調数とすると、ヒストグラムの類似度  $\rho$  は(3)式のように表される。

$$\rho(x) \equiv \rho[p(x), q] = \sum_{u=1}^m \sqrt{p_u(x)q_u} \quad (3)$$

類似度が閾値以下の場合、前フレームの追跡ウィンドウ位置をそのまま現フレームの結果に採用する。これにより、統合時に頭部が欠損した状況において、誤追跡を防ぐことが可能となる。

5. 頭部追跡実験

頭部に欠損が生じるシーケンスに対し、Mean-Shift を用いた追跡結果を図2に、追跡成否判定を加えた手法の追跡結果を図3に示す。追跡成否判定により、誤追跡を回避して、頭部ボクセルが復元したフレームから追跡を再開させることが可能となった。

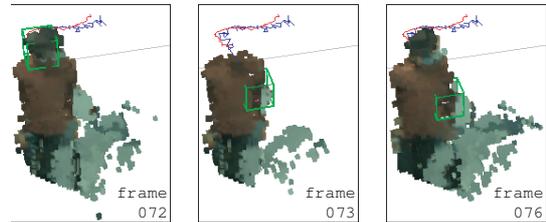


図 2：Mean-Shift による追跡結果例

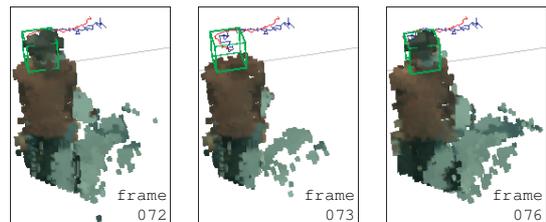


図 3：提案手法による追跡結果例

表1に、各2シーケンス(計5000フレーム)に対して、追跡実験した結果を示す。判定は、追跡結果が真値から20[cm]以内であれば追跡に成功したとする。

表 1：追跡成功率 [%]

	頭部の欠損無し	頭部の欠損あり
Mean-Shift	98.2	20.0
提案手法	98.2	99.3

表1より、本手法は頭部の欠損に対して有効であることがわかる。また、本手法の処理時間は Mean-Shift 及び成否判定に 0.25[ms]、ボクセルの統合処理に 200[ms] かかり、約 5[fps] での追跡が可能である。

6. おわりに

本研究では、動的3次元ボクセルデータに対し、Mean-Shift と追跡成否の判定を組み合わせた追跡手法を提案した。Mean-Shift に追跡成否判定を加えることで、頭部に欠損が生じた状態においても追跡が可能となる。今後は、部分的な統合による速度及び精度の向上を検討する予定である。