

特徴点の追跡が可能なリアルタイム三次元情報抽出 ハードウェアアルゴリズム*

3N-4

細谷 英一†

小倉 武†

中西 衛‡

† NTT システムエレクトロニクス研究所 ‡ NTT エレクトロニクステクノロジー (株)

1. はじめに

近年、物体の三次元形状や動物体の三次元動作を抽出する技術が重要視されつつある。これに対し我々は、ボーティングを用いた多視点画像からの三次元情報抽出技術を検討し、連想メモリ (CAM) などの超並列ハードウェアを用いることによりリアルタイムに物体の三次元情報を抽出可能なハードウェアアルゴリズムを提案してきた [4]。一般にボーティングを用いた三次元情報抽出法 [1]-[4] は、雑音に強く、複数画像間の対応点探索が不要である大きな利点を持つが、モーションキャプチャリング等の動物体を撮影した連続画像を処理する場合、フレーム間の特徴点同士の対応付けができない問題があった。

本稿では、CAM の超並列処理機能を活用することにより、リアルタイムで、かつ少ないハードウェア量で、三次元空間上に存在する動物体上の特徴点の追跡を可能とする手法を提案する。

2. CAM を用いたハードウェアアルゴリズム

対象物体を含む空間を一边 N の三次元ボクセル空間とし、これをスライスした平面毎にボーティング処理を行う。 R 枚の入力画像のうち任意の 1 枚を基準画像、他を参照画像とし、同一スライス平面上で、基準画像の逆投影線と同じボクセルを通過する参照画像の逆投影線の数をカウントする。逆投影線は視点から画像上の特徴点へ伸ばした直線である。基準画像の逆投影線上で、このカウント値が最大になるボクセル座標 (最大点座標) を物体の特徴点の三次元座標として抽出すればよい。

ここで 1 本の逆投影線の通過位置情報を CAM の 1 ワードに割り当て、画像毎に V ワードの CAM を設ける。 V は画像上の逆投影線数である。CAM には、着目しているスライス平面上での通過座標 (X, Y) を格納する。CAM の並列処理機能を用いて、通過座標を求める処理、及び逆投影線の通過座標を問合わせる処理を並列に行うことにより、33[ms] 以下で $V=1000$ 個の特徴点の三次元座標を抽出可能としている [4]。

3. フレーム間の特徴点対応付け

前述の CAM を用いた方法において、ある時刻の静止

画像処理後の CAM には、最終スライス平面での全逆投影線の通過座標が格納されている。そこで次のフレームに対する処理を行う時に、この座標値を参照することにより処理時間もハードウェア量もほとんどオーバーヘッドなく、隣接フレーム間の特徴点对応付けが可能な方法を考案した。

図 1 に対応付け処理の概要を示す。ある時刻 (例えば偶数フレーム) における R 枚の入力画像に対する抽出処理を、例えばボクセル空間の手前から奥へスライス平面毎に処理した場合、次の時刻 (奇数フレーム) の入力画像に対する処理は最も奥のスライス平面から始めて手前のスライス平面へ逆方向に進める。すなわちフレーム毎に処理方向を反転させる。CAM へ入力する初期値も同様に、最も手前の面と最も奥の面での通過座標をフレーム毎に交互に求める。これにより、CAM へ初期値を入力する際に、新しいフレームにおける初期通過座標と、前のフレームにおける同一のスライス平面上での通過座標を比較でき、以下に示す対応付け処理が可能になる。

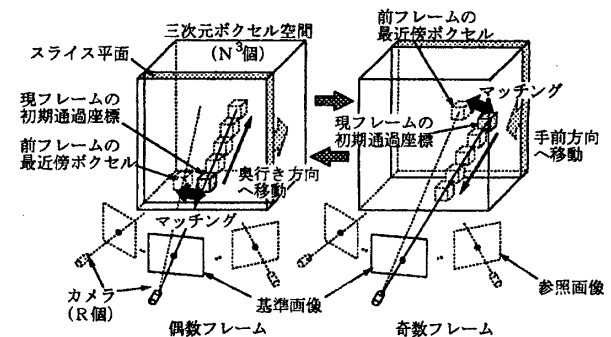


図 1: 処理方向の反転

対応付け処理は基準画像の CAM へ初期値 (初期通過座標) を代入する際に行う。図 2 にメモリの構成と対応付け処理の様子を示す。基準画像の CAM には、通過位置情報に加え、インデックス IDX と距離情報 $D_i (i=1 \sim V)$ のフィールドを付加する。入力する新フレームの 1 個の基準逆投影線の通過座標を (X_{NEW}, Y_{NEW}) 、CAM に記憶されている前フレームの基準逆投影線の通過座標を (X_i, Y_i) とする。具体的な処理の流れを以下に示す。

1. (X_{NEW}, Y_{NEW}) と、すべての (X_i, Y_i) との間のマンハッタン距離 D_i を計算する。
2. D_i が最小になるワードを最小値検索する。複数ある場合は IDX が最小のワードを選択する。

* Feature Point Matching between Neighboring Frames
for CAM based Real-time 3D Extraction Hardware Algorithm
Eiichi HOSOYA†, Takeshi OGURA†, Mamoru NAKANISHI†
† NTT System Electronics Laboratories,
‡ NTT Electronics Technology Corp.

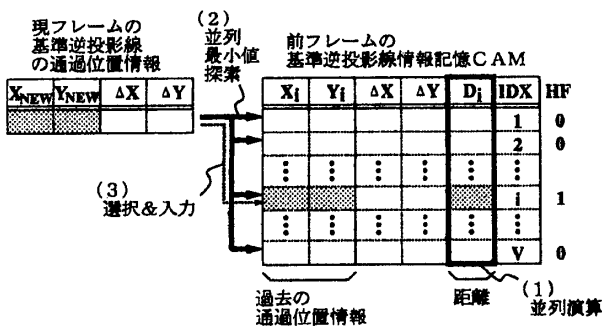


図 2: フレーム間対応付け処理

3. 選択されたワードに新基準逆投影線の情報を代入する。 D_i の最小値がある閾値以上なら、新しく現れた特徴点として新しい IDX に割り当て新基準逆投影線の情報を代入する。

上記1,2では、それぞれCAMの並列演算機能、最小値検索機能を用いることにより処理の高速化が図れる。以上より、連続したフレームにおいて同じインデックスを持つ特徴点は同一の特徴点と見なすことができ特徴点の追跡が可能になる。

4. 性能評価

抽出性能 フレーム間の対応付けの性能を評価するため、シミュレーションを実行した。まず三次元ボクセル空間上で初期位置 (x_0, y_0, z_0) 、初期ベクトル (d_x, d_y, d_z) を持つ点を複数ランダムに生成する。これらの点はフレームが進む毎に各々の持つベクトルだけ移動し、ボクセル空間は有限とし境界面では反射する。各フレーム毎に三次元抽出処理を行い、連続フレーム間での対応付けの成功率を求める。パラメータとして、特徴点が1フレーム時間に動く距離(マンハッタン距離)の最大値(最大速度) S 、物体の数(特徴点数) V を定める。「全フレームにわたるフレーム間全対応付け数」に対する「対応付け成功数」の割合を対応付け成功率 P として評価を行う。

図3にシミュレーション結果を示す。 $R=6, N=256, V=10 \sim 200$, 10フレームの場合で、横軸は特徴点数 V 、縦軸は対応付け成功率 P である。特徴点数 $V=100$ 、最大速度 $S=5$ でも85%以上の対応付け成功率が得られている。また $V=10, S=7$ で、20フレーム追跡した時の抽出例を図4に示す。誤対応と示されている部分以外はすべてフレーム間での特徴点对応付けに成功している。これら

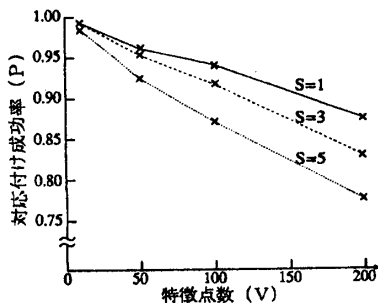


図 3: 対応付け性能の実験結果

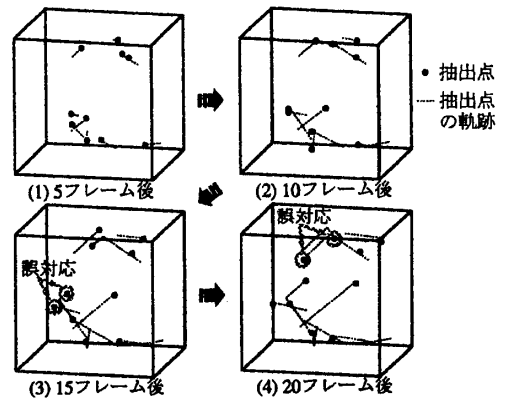


図 4: 特徴点の抽出・追跡例

より、対応付け性能は物体の移動速度と特徴点数に依存するが、人間の動き程度の速度であれば100個程度の特徴点でも高い確率で対応付け可能である。

ハードウェア量と処理速度 本提案手法を従来のハードウェアアルゴリズム [4] と比べると、ハードウェアオーバーヘッドは、基準逆投影線情報を記憶するCAMに距離情報フィールドとインデックスフィールドを付加する分だけである。また処理時間については、図5に示したように、初期化入力が増加するのみでリアルタイム性は維持される。これより、本ハードウェアアルゴリズムは、従来同様に1ボードでリアルタイムに三次元情報を抽出可能となる。

フレーム間対応付け	入力	抽出処理	出力	処理時間
対応付け処理なし	0.1	5.8	0.01	5.9 [ms / frame]
対応付け処理あり	2.7	5.8	0.01	8.5 [ms / frame]

($R=6, N=256, V=200$)

図 5: 処理時間の見積もり

5. まとめ

モーションキャプチャリング等に必要となる動物体上の特徴点の追跡も可能なリアルタイム三次元情報抽出ハードウェアアルゴリズムを提案した。CAMの超並列処理機能を用いることにより、少ないハードウェア量で、リアルタイム処理が可能なことを示した。またシミュレーションにより対応付けの性能を評価した。今後は、実撮影データやより実物体の動作に近い動物体データを入力とした実験を行うとともに、ハードウェアの詳細構成を検討し、特徴点の追跡が可能なリアルタイム三次元情報抽出システムの実現を目指す。

参考文献

[1] 浜野, 安野, 石井: “空間への Voting による 3 次元環境情報抽出手法”, 信学論 (D-II), J75-D-II(1992).
 [2] 森, 鈴木, 小須田: “エピソード拘束を用いたパーティングによる 3 次元構造の復元法”, 1993 信学秋大, D-321.
 [3] 川戸: “2 回逆投影法による複数画像からの 3 次元情報の抽出”, 情処研資, CV-79-7(1992).
 [4] 細谷, 小倉, 中西: “高精度三次元情報抽出の超並列ハードウェアアルゴリズム”, 第 51 回情処全国大会, 2S-6(1995).