

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*

2S-6

細谷 英一†

小倉 武†

中西 衛†

† NTT LSI 研究所

† NTT エレクトロニクステクノロジー (株)

1. はじめに

多視点で撮像した複数の画像から物体の三次元情報を抽出する技術として、雑音に強く画像間の対応点探索が不要なポーティングを用いた手法が提案されている [1][2]。我々は既に、ポーティング法に内在する並列性に着目し、超並列処理によりリアルタイムに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 [3][4]。

本稿では、CAM を活用した XY 平面上での重み付きポーティングと Z 方向の補正処理を実現することにより、リアルタイム性を損なわず、かつハードウェア量をほとんど増加させずに抽出性能を向上させる手法を提案する。

2. ハードウェアアルゴリズム

本手法の三次元情報抽出の原理を図 1 に示す [4]。ここで R 枚の入力画像のうち任意の 1 枚を基準画像、他を参照画像とする。N³ 個のボクセルからなる三次元ボクセル空間をスライスしたある平面上で、基準画像からの逆投影線（基準逆投影線）が通過するボクセルと同じボクセルを通過する参照画像の逆投影線（参照逆投影線）の数をカウントする。基準画像の各逆投影線上で、このカウント値が最大になるボクセル座標（最大点座標）を探すことにより物体の特徴点の三次元座標を抽出する。このとき、スライス平面毎に全逆投影線に対するポーティング処理と最大値更新処理を行い、全スライス平面に対して順次実行する。

具体的には、図 2 で示したように、1 個の基準画像及び R-1 個の参照画像について、各画像毎に、逆投影線の通過位置情報を 1 ワードに割り当てた V ワードの CAM を設ける。また基準画像については、最大点情報としてカウント値の最大値 M とその位置（最大点座標）等を記憶する RAM も持つ。これらを用いて CAM の持つ並列処理機能を効率的に利用することにより、全処理量が O(RV²N) である本処理を処理時間 O(VN) へと大幅に短縮し、リアルタイム処理を可能とした [4]。ここで V は画像上の特徴点数（逆投影線数）である。

3. 抽出性能の向上

本稿では、CAM を活用した重み付きポーティングと、逆投影線に沿った補正処理を付加することにより抽出性能を向上させる手法を考案した。

XY 平面上の重み付きポーティング 実環境では、カメラ撮影時の誤差や、二次元画像上及び三次元空間上での量子化誤差などの影響により、異なる画像からの逆投影

線が同一のボクセルで交差しなくなる場合が生じる。そのため、逆投影線を 1 ボクセル幅の直線とした場合、極大値検出時の精度低下や誤対応点発生可能性がある。

逆投影線に幅を持たせ、基準逆投影線の通過座標の近傍を通る参照逆投影線も含めてカウントする処理は、通過座標を全参照逆投影線に問合せの際に座標値の下位ビットをマスクして問合せることにより実現できる。このとき CAM の並列検索機能を用いれば 1 回の問合せでよい。

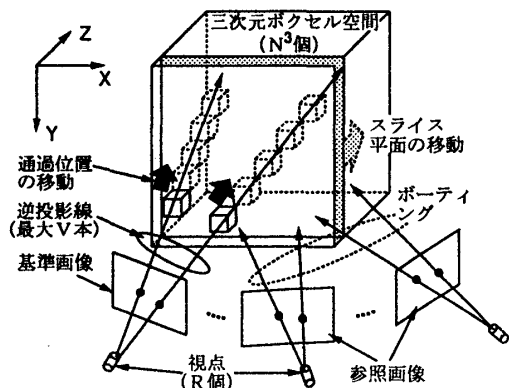


図 1: ポーティングによる三次元情報抽出

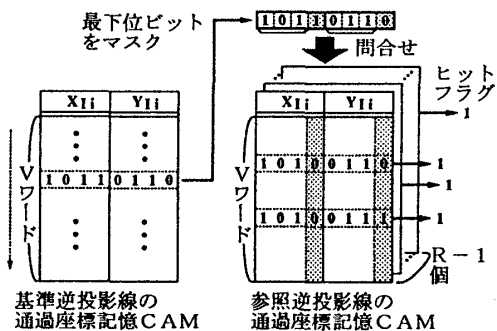


図 2: 通過位置情報記憶 CAM と問合せ例

図 2 に具体的な方法を示す。基準逆投影線の通過座標の整数部を (X_i, Y_i) とする。問合せ処理は X_i と Y_i を検索データとして全参照逆投影線に対し一斉に行う。このとき X_i, Y_i 各々の最下位 1 ビットをマスクし、残りを検索データとして問合せることにより、基準逆投影線の通過座標を含んだ近傍の 4 箇所のボクセル座標に対して 1 回で問合せできる。問合せで検出された参照逆投影線には一斉にヒットフラグが立つ。また (X_i, Y_i) の位置への重み付けのため、マスクしない場合も 1 回問合せを行いヒットフラグを立てる。ヒットフラグの立った画像数をカウントすることにより、図 3(a) に示すような基準逆投影線の通過座標を重み 2、その近傍を重み 1 とした重み付きポーティングが実現できる。なお、ポーティング

* A High Resolution Highly-Parallel Hardware Algorithm for Realtime Extraction of 3D Information

Eiichi HOSOYA†, Takeshi OGURA†, Mamoru NAKANISHI†

†NTT LSI Labs, †NTT Electronics Technology Corp.

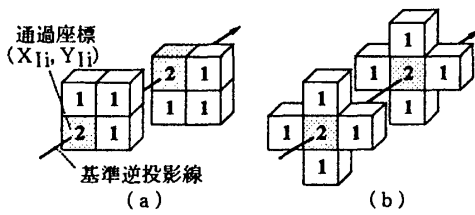


図 3: 重み付きボーティング

時の有効範囲は通過座標に依存するため、逆投影線の進み方によっては重み付けの効果が偏る可能性がある。

Z方向の補正処理 基準逆投影線上で最大値を持つボクセル位置を探す際に、カウント値の最大値が連続して同じ値になる場合が発生しやすい。これはカメラ間の視線方向の角度が比較的小さいこと、またカウント値がカメラ数に依存し小さい値であることによる。また、三次元空間の解像度を二次元画像の解像度より粗くした場合にも起こりやすい。

このような場合、最大値の開始点または終了点を特徴点として選択すると、真の特徴点座標とずれる場合がある。そこで基準逆投影線の持つ最大点情報記憶RAMに、ランレングス値 L と前スライス平面でのカウント値 V_p を付加した。これにより、同じ最大値が連続した場合にその連続数(ランレングス)を得ることができるので、その値を基に中央のボクセル位置を求めて三次元座標として出力することができる。

4. 評価

抽出性能 三次元空間にランダムに生成した20本の直線を対象物体とし、ソフトウェア上でのシミュレーションにより抽出性能を評価した。 $R=6$ 個の視点(正五角形とその中心に配置)から撮影した時の各二次元画像を作成し、これを入力画像として本アルゴリズムを実行した。画像の解像度=160[pixel]、物体・視点間距離=1[m]、ボクセル空間の大きさ=320[mm]とした時の抽出性能を図4に示す。横軸は誤差の許容半径、縦軸は抽出した特徴点の許容半径内に真の特徴点がある割合(抽出成功率)で、それぞれボクセル空間の解像度 N を 80, 160, 320[voxel]とした場合の結果である。また図5に三次元座標を抽出した結果($N=320$)を示す。いずれも従来の付加処理なしの場合と比較している。

これらより、本手法による付加処理によって抽出成功率が向上していることが分かる。また N を小さくした場合にはZ方向の補正処理、 N を大きくした場合にはXY平面の重み付きボーティングの効果があり、 N を変えても抽出成功率が落ちていない。参考として、図3(b)に示した幅の重み付きボーティングについても実験したが、抽出性能は(a)とほぼ同等であったことから、CAMの特性を活かした(a)の方法で十分であることが分かった。

ハードウェア量と処理速度 ハードウェア量は、最大点情報記憶RAMにランレングス値と前カウント値を付加するだけでよく、全メモリ量におけるビット数の増分は2%程度($R=6$)であり、十分実現可能な規模である。

処理速度は、重み付きボーティングにより問合せ処理

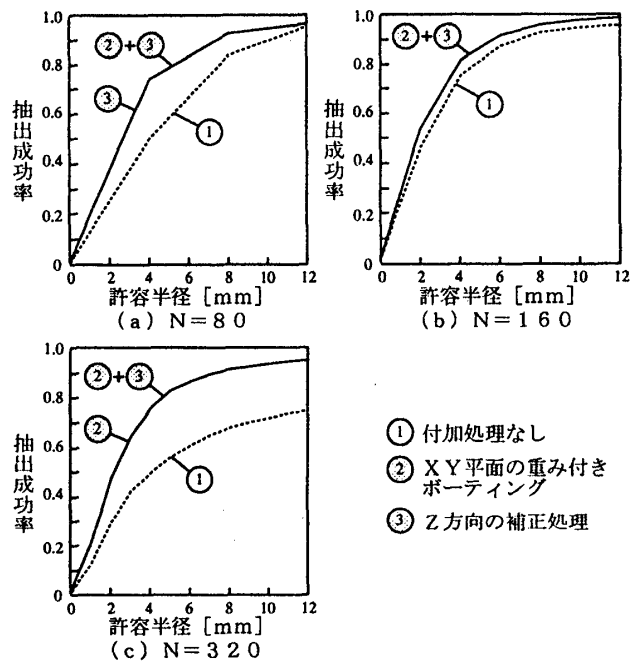


図 4: 抽出性能の評価 ($R=6, V \approx 2000$)

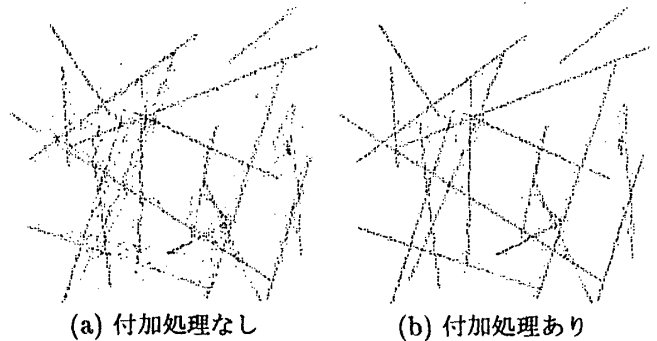


図 5: 三次元座標の抽出例 ($R=6, N=320, V \approx 2000$)

及びカウント処理を2回実行するため、全体の処理時間は従来の約2倍になるが、 $V=500$ 程度までならリアルタイム($< 33[ms]$)に、それ以上でも準リアルタイムに処理が可能である。

5. まとめ

CAMを用いた三次元情報抽出の超並列ハードウェアアルゴリズムに対して、リアルタイム性を維持しハードウェア規模をほとんど変えずに重み付きボーティング及び補正処理を実現することにより、抽出性能を向上させる方法を提案した。今後はより具体的なハードウェア構成の検討を行う。

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: “エビポーラ拘束を用いたボーティングによる3次元構造の復元法”, 1993 信学秋大, D-321.
 [3] 細谷, 中西, 小倉: “三次元情報抽出用超並列ハードウェアアルゴリズム”, 1995 信学春大, SD-8-6.
 [4] 細谷, 小倉, 中西: “CAMを用いた三次元情報抽出の超並列ハードウェアアルゴリズム”, 1995 信学ソサイエティ大会, D-226.