

連想メモリ（CAM）を用いた実時間ステレオ画像処理

2M-6

—画素毎の最適ブロックサイズによるステレオマッチング—

細谷 英一

中西 衛

NTT 生活環境研究所

1 はじめに

ステレオ画像からブロックマッチングにより距離画像を得るステレオシステムでは、全面素に対して固定サイズのブロックを用いた場合、小さいブロックでは周囲の濃度値分布が平坦な画素、また大きいブロックではエッジ近傍の画素における視差推定時の誤差が大きくなっていった。これに対し、これまで輝度勾配や視差分布を考慮した評価値に基づき、最適なブロックサイズを用いてブロックマッチングする手法 [1] が提案されているが、複数のサイズのブロックを用いた視差推定を繰り返し、また複雑な評価式を用いて最も適切な視差を選び出すため、演算量が大きくなる問題があり実時間処理には向かなかった。本稿では、予め視差推定に最適なブロックサイズを画素毎に求める手法を提案するとともに、連想メモリ（CAM）ベースの超並列ハードウェアへの効果的な実装法について述べる。また、本手法を用いて距離画像を生成し評価した結果を示す。

2 ステレオマッチング

本方法は、最適ブロックサイズの算出と、左右画像間のブロックマッチングによる視差推定の2つのステップで構成される。第1のステップでは、まず2枚のステレオ画像のうち一方の画像上のすべての画素について $k \times k$ サイズの近傍領域での輝度勾配を求める。次に、各画素について $m \times m$ ブロック中の輝度勾配値の絶対値和が閾値を超えるまで m を大きくしていき、閾値を超えた時の m を画素 (x, y) における視差推定に用いるブロックサイズとする。この時の m は、輝度勾配に特徴が現れるブロックサイズとなり、視差推定の誤差が小さくなると考えられる。

第2のステップでは、第1のステップで決定したブロックサイズ $m(x, y)$ を用いたブロックマッチングにより、画素単位に視差を求め、距離画像を生成

する。その際、光軸を平行に設置した2台のカメラのステレオ画像を用い、左右の最大視差を考慮した範囲の水平なエピポーラ線上のマッチング処理を行う。画像間の相関値にはブロック間の差分絶対値和（SAD）を用いる。

3 実時間ハードウェアアルゴリズム

CAM はメモリベースの並列プロセッサであり、カメラに内蔵できる程の小型ハードウェアの実現に有望な LSI である。池永らによる CAM² LSI [2] では、1ワードを1PEとした論理的に2次元PEアレイの接続を持っており、1PEに1画素を対応させた全面素並列の処理を可能にしている。以下ではこのCAMを用いた並列処理方法について説明する。

CAMのメモリ構成を図1に示す。最適ブロックサイズ算出時には、CAMの各ワードは、左右同一座標にある画素値 P_L, P_R と、輝度勾配の絶対値 G 、輝度勾配絶対値の累積値 SG 、ブロックサイズ BS 、及び演算用ワークエリアを持つ。またブロックマッチング時には、差分絶対値和 SAD 、探索時の SAD の過去最小値 $MSAD$ 、及びその時の視差値 MD を格納する。具体的な処理の流れを以下に示す。

Step1 P_L, P_R に両画像の画素値を格納。

Step2 最適ブロックサイズの決定。

2-1 $k \times k$ の微分フィルタにより輝度勾配を求める。全面素 (x, y) に対し並列演算。

2-2 上下左右 $2(m-1)$ 回の転送・加算により、 $m \times m$ ブロック内の $SG(x, y, m)$ を求める。全面素並列転送及び並列演算。

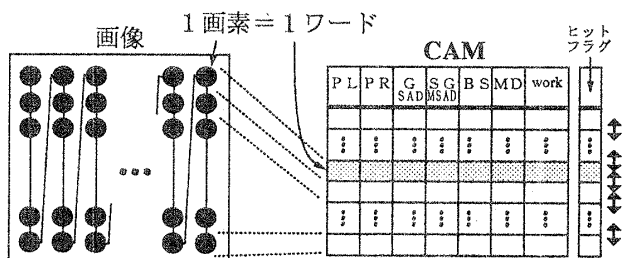


図1: CAMメモリ構成

2-3 SG が閾値 SG_{TH} を超えた画素について、その時の $m(x, y)$ を BS に記憶する。

2-4 $m=3$ から最大値 m_{MAX} になるまで $m=m+2$ として、2-2 から 2-4 を繰り返す。

Step3 ブロックマッチングによる視差推定。

3-1 差分絶対値 $|P_L(x, y) - P_R(x, y)|$ を求め、上下左右 $2(m(x, y)-1)$ 回の転送・加算により、 $m(x, y) \times m(x, y)$ ブロックの $SAD(x, y, d)$ を求める。全画素並列転送及び並列演算。

3-2 SAD と $MSAD$ を比較し $MSAD$ と MD を更新する。全画素並列演算。

3-3 右画像の全画素 P_R を 1 画素分右へ全画素並列にシフトする。視差 d をインクリメントし、視差の最大値 d_{MAX} になるまで **Step3** を繰り返す。

Step2 終了後、 BS には画素毎の最適ブロックサイズが格納され、**Step3** 終了後、 MD には推定視差値が格納されることになる。すべてのステップにおいて、転送処理及び加算や比較の演算処理は、常に全画素（全ワード）並列に実行できる。

4 性能評価

精度 マッチングの性能を評価するため、図 2 のステレオ画像を入力とし、距離画像を生成した例を図 3 に示す。この時、 $n=256$, $m_{MAX}=17$, $d_{MAX}=12$ とした。**Step2-2** の輝度勾配を抽出するフィルタとして、 x 成分のみの sobel フィルタ ($k=3$) を用いた。(a) は画素毎に求められた輝度勾配絶対値の画像で、(d) が本提案手法により得られた距離画像である。ブロックサイズを 3×3 、 17×17 に固定して得た距離画像 (b) (c) と比べると、輝度勾配の小さな部分（床のタイル内部）でも対応点探索に成功しているとともに、輝度勾配の大きい部分（球や円錐の輪郭部）では小さいブロックサイズを選択により精度良く距離画像が求められていることが分かる。

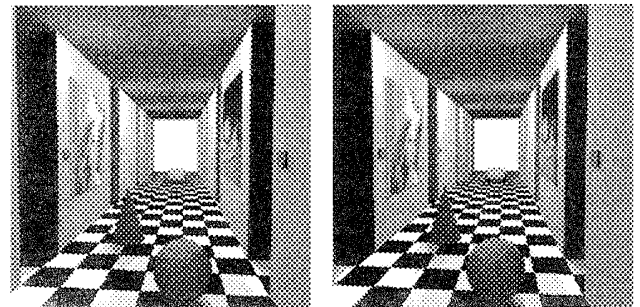
処理時間 最適ブロックサイズ算出処理、及びブロックマッチング処理は、全ステップに渡って、すべての画素 (x, y) について並列処理できるので、処理時間は画素サイズ $n \times n$ に全く依存せず、前者は転送・加算処理の回数すなわち最大ブロックサイズ m_{MAX} に、後者は m_{MAX} と繰り返し回数 d_{MAX} に比例する。画像の入出力時間も含めた図 3 の処理に要する全処理時間の見積もりは約 3[ms] であった。

5 まとめ

ステレオ画像の視差推定方法として、超並列ハードウェアである連想メモリ上で実現可能な、画素毎の最適ブロックサイズを用いた実時間高精度マッチング処理法を提案した。輝度勾配に基づいた評価値から画素毎にブロックサイズを求め、それを用いたマッチングにより、固定ブロックサイズの場合と比較し、視差推定時の誤差を減らせることを確認した。謝辞 画像を頂いた Dr.Froehlinghaus に感謝する。

参考文献

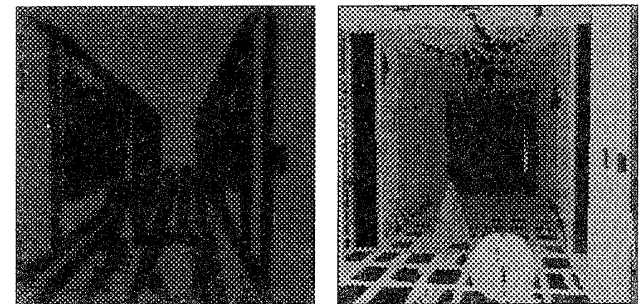
- [1] 吾妻, 魚森, 森村, “ステレオ画像の中間視点画像生成のためのエッジ情報を用いた視差推定,” 映像情報メディア学会誌, Vol.52, No.3, pp.322-330, 1998.
[2] T.Ikenaga, T.Ogura, “A Fully-Parallel 1Mb CAM LSI for Real-Time Pixel-Parallel Image Processing,” ISSCC, 1999.



(a) 左画像

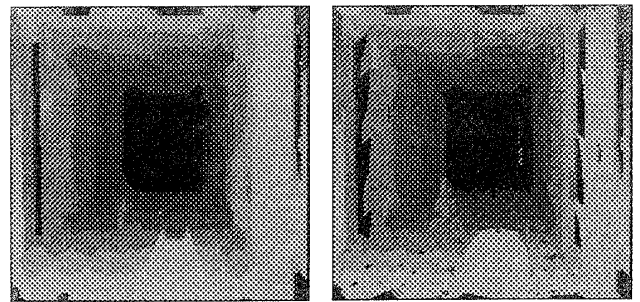
(b) 右画像

図 2: ステレオ入力画像



(a) 輝度勾配絶対値画像

(b) 距離画像 (3×3)



(c) 距離画像 (17×17)

(d) 距離画像 (提案法)

図 3: 処理結果