

DP マッチングを用いたステレオ画像からの 奥行推定の経験則による改良 Improvement Based on Empirical Rules of Depth Estimation from Stereo Images Using DP Matching

情報工学専攻 16N8100002G 安喰 康将

概要

ステレオカメラで撮影した2枚の画像間におけるマッチングを利用し、奥行情報を推定できる。DP マッチングを用いて奥行情報を推定することにより、高速かつ各画素ごとに奥行情報を付与することができる。現実には撮影された画像は、鏡面反射によるハイライトや物体の相互反射の影響が含まれることがある。この影響により、正しい対応付けができない場合がある。一般的に DP マッチングは一方探索であり、前の対応付け結果の影響を受け、誤った対応付けをおこなう場合がある。

誤った奥行値を棄却し、正確な奥行値を推定する方法として、双方向の DP マッチングを利用した奥行推定を提案する。双方向の DP マッチングによる奥行値を比較し、正しい奥行値を取り出す。そして、誤った奥行値を棄却し、取り出した奥行値を用いて正しい奥行値を推定する。経験則による奥行推定と最小2乗法による奥行推定の2種類の方法により奥行推定をおこなう。また、それぞれの方法を用いて推定した距離画像を比較し、DP マッチングによる距離画像における正確な奥行値を取り出していることを確認した。また、双方向の DP マッチングによる奥行情報を用いた距離画像は、単一方向 DP マッチングによる距離画像より誤差のない画素数が多いことを確認した。

キーワード：ステレオカメラ、3次元計測、DP マッチング、多視点立体視、距離画像。

1 序論

内視鏡映像を多視点裸眼立体視ディスプレイで表示することは、手術支援、教育の観点から非常に有用である。多視点裸眼立体視ディスプレイは、眼鏡等を装着する必要がなく、さらには運動視差と呼ばれる見え方の違いを再現できるため、利用者への負担が少ない。多視点裸眼ディスプレイのための代表的な撮影方法として、あらかじめ多くのカメラで撮影し、多視点用の映像を用意する方法として、2台のカメラで撮影した画像から奥行情報を推定し、3次元再構成する方法がある。多くのカメラで撮影する方法は、広い場所と大がかりな準備が必要なため、困難である。よって、2台のカメラで撮影した映像から正確な奥行情報を推定することは、多視点裸眼立体視において非常に重要である。

ステレオカメラで撮影した2枚の画像におけるマッチングを利用し、奥行情報を推定できる。2枚の画像間のマッチングは画像認識の基本問題である。DP マッチングを用いて奥行情報を推定することにより、高速かつ各画素ごとに奥行情報を付与することができる[1]。現実には撮影された画像は、鏡面反射によるハイライトや物体の相互反射の影響が含まれることがある[2]。この影響により、正しい対応付けができない場合がある。一般的に DP マッチングは一方探索であり、前の対応付け結果の影響を受け、誤った対応付けをおこなう場合がある。

誤った奥行値を棄却し、正確な奥行値を推定する方法として、双方向の DP マッチングを利用した奥行推定を提案する。双方向の DP マッチングによる奥行値はそれぞれ異なるので、それらを比較することにより

正しい奥行値を取り出す。そして、誤った奥行値を棄却し、取り出した奥行値を用いて正しい奥行値を推定する。経験則による奥行推定と最小2乗法による奥行推定の2種類の方法により奥行推定をおこなう。

本研究は、双方向の DP マッチングを利用して、誤った奥行値を棄却し、正確な奥行情報を推定する。

2 ステレオ画像を用いた DP マッチングによる奥行推定

2.1 DP マッチング

複数のパターンをマッチングするとき、一方にわずかも歪みがあるとマッチングが困難になりやすい。このため、マッチングするとき、一方のパターンをゴムのように非線形伸縮させ、最も近似なものをマッチング結果とすることがある。これは、弾性マッチングとよばれる技術であり、DP マッチングは弾性マッチングのひとつである[3]。DP マッチングは高速に対応付けをおこなうことができる。ステレオ画像に対して DP マッチングをおこなうことにより、ステレオ画像における各画素の奥行情報を保持した距離画像を得ることができる。

式1はDP漸化式とよばれ、これがDPマッチングの基本式である。DP漸化式を $i = 0, \dots, I - 1$ まで順番にすべての j において計算をおこなうことにより最適解を得ることができる。このことは、 $I \times J$ 個の格子点をもつ平面上のすべての点において、局所的経路選択を順番におこなうことと同義である。これは、探索幅 I 、深さ J の幅優先探索とみることもできる。従って、計算量は $O(IJ)$ となる。

$$g_i(u_i) = d_i(u_i) + \min_{\substack{u_{i-1} \\ 0 \leq u_i - u_{i-1} \leq 2}} g_{i-1}(u_{i-1}) \quad (1)$$

式 1 の最小値選択範囲は傾斜制限とよばれ、関数 $j = u_i$ の傾斜を制限する。この傾斜制限は様々なパターンがある。使用する傾斜制限によって、マッチングパスが変動するので、傾斜制限の使い分けは重要である。

2.2 ステレオ画像における局所距離

ステレオ画像を用いて DP マッチングをおこなうため、各画素間において局所距離を導出する必要がある。ステレオ画像は、一般的に色画像であり、各画素において、色情報として RGB 値をもつ。RGB 値とは、RGB カラーモデルを表す値である。RGB カラーモデルとは、色の表現方法の一つであり、赤 (Red)、緑 (Green)、青 (Blue) の三つの原色を混合し、あらゆる色を表現する加法混合の一つである。RGB カラーモデルは、コンピュータやテレビの映像を表示するディスプレイなどによく使われている。色画像における RGB 値は、0~255 までの値で表す。RGB 値を用いた局所距離の計算方法として、RGB をユークリッド空間として捉え、ユークリッド距離を計算する方法である。

RGB 値を用いて色変換をおこない、表すことができる色表現として、グレースケール、XYZ 色空間、Lab 色空間、HSV 色空間がある。DP マッチングの局所距離を RGB 値のユークリッド距離でなく、他の色空間における距離を用いると、異なる対応付け結果を得ることができる。

3 双方向 DP マッチングを利用した奥行推定

DP マッチングは高速に対応付けをおこなうことができるが、探索範囲が不可逆なため、一度誤った対応付けをすると、以降すべての対応付けを誤る可能性がある。そこで、通常 1 方向のみの DP マッチングを双方向おこなうことにより、結果の異なる 2 つの距離画像を得ることができる。つまり、ある画素において、一方は誤った対応付けをおこなっていたとしても、もう一方は正しい対応付けをおこなっている場合がある。そして、その結果を統合することにより、誤った対応付けを削減し、どちらか片方の場合よりも正確な奥行情報をもつ距離画像を生成する手法を提案する。

3.1 同一座標の奥行値の比較による奥行推定

DP マッチングによる距離画像は、正しい対応付けの箇所と誤った対応付けの箇所がある。そこで、2 つの距離画像の各画素における奥行値を比較し、正しい箇所のみを取り出し、そのほかの箇所については棄却する。正しい対応付けによる奥行値であるか判断するため、2 つの距離画像における同一座標の奥行値を比較する。同一座標の奥行値が等しいとき、その奥行値は正しい奥行値とし、取り出す。

3.2 周辺座標の奥行値による奥行推定

DP マッチングによる奥行推定は走査方向に流れる性質がある。よって、ある距離画像における対象画素において、対象画素を中心とした周囲すべての画素における奥行値が等しいとき、その奥行値を取り出す。DP マッチングの性質から探索範囲の後半ほど対応付けを誤る可能性が高い。そこで、2 つの距離画像にお

いて、対象座標を中心とした周囲すべての奥行値がそれぞれ等しく、かつ 2 つの奥行値が異なるとき、対象座標が前半であるとき左から右方向による奥行値、後半であるとき右から左方向による奥行値を取り出し、統合画像における奥行値とする。

3.3 推定済み画素を利用した経験則による奥行推定

第 3.1 節、第 3.2 節において奥行値が決定しない画素は、誤った奥行値として、棄却する。そして、すでに奥行値が決定した推定済み画素を用いて未推定画素の奥行値を決定する。2 種類の推定済み画素による奥行推定方法を用いる。一つは、未推定画素の両端の推定画素を用いた奥行推定である。もう一つは、周囲の推定済み画素の存在量を用いた奥行推定である。

未推定画素の両端の推定済み画素を利用した奥行推定について説明する。垂直方向または水平方向にある一定数以下の未推定画素が連続しているとき、それらを一つの集合とする。そして、その集合の両端の推定済み画素の奥行値が等しいならば、その奥行値を取り出し、集合に含まれるすべての未推定画素の奥行値とする。

次に、周囲の推定済み画素の分布を用いた奥行推定について説明する。対象の未推定画素を中心とした範囲 s にある推定済み画素を調べ、最も存在量の多い奥行値を対象画素の奥行値とする。

3.4 推定済み画素を利用した最小二乗法を用いた奥行推定

推定済み画素を利用した奥行推定として、未推定画素に推定済み画素の奥行値をそのまま与えるのではなく、最小二乗法を用いて奥行値を推測する。最小二乗法は、測定で得られた数値群を特定の関数を用いて近似するとき、想定する関数が測定値に対して残差の 2 乗和を最小とするように近似をおこなう方法である。対象画素を中心として垂直方向にある確定済み画素を n 個用いて最小二乗法をおこない、対象画素の奥行値を推定する。DP マッチングは、水平方向の対応付けをおこなうので、最小二乗法は垂直方向の推定済み画素を用いておこなった。これにより、水平方向と垂直方向を考慮することができる。

4 双方向 DP マッチングを利用した奥行推定による距離画像の比較

4.1 実験方法

Middlebury Stereo Datasets において提供されている正解画像のあるステレオ画像のうち、Tsukuba, Sawtooth, Cones, Teddy を用いる [4] [5]。平均誤差と誤差の分布から双方向 DP マッチングを利用した奥行推定方法を評価する。誤差とは、同一座標における正解距離画像との奥行値の差である。画像サイズが $M \times N$ 、正解距離画像を I_c 、出力画像を I_r と置いたとき、平均誤差の計算式を式 2 に示す。

$$\text{平均誤差} = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} \|I_c(i, j) - I_r(i, j)\| \quad (2)$$

4.2 距離画像の比較

それぞれの距離画像を図 1 から図 4 に示す。それぞれ (a) 色画像に対する正解距離画像、(b) は 経験則

による距離画像, (c) は 最小 2 乗法を用いた距離画像である。

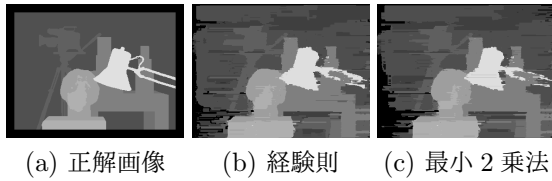


図 1 Tsukuba

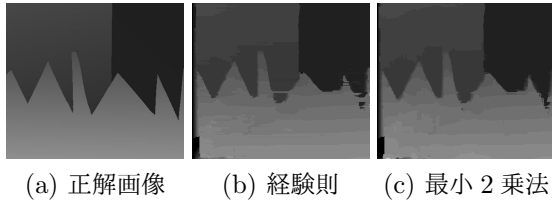


図 2 Sawtooth

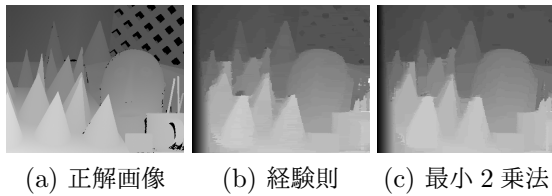


図 3 Cones

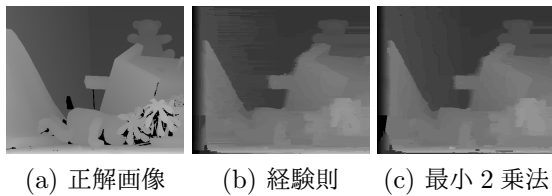


図 4 Teddy

“Tsukuba”におけるそれぞれの画像の一部を拡大した画像を図 5 から 図 7 に示す。それぞれ (a) 色画像に対する正解距離画像, (b) は 経験則による距離画像, (c) は 最小 2 乗法を用いた距離画像である。

図 5 は “Tsukuba” の顔の模型部分を拡大した画像である。図 5 から、2 つの距離画像の良い部分を取り出すことにより、正解画像に近い形状を表す距離画像を作成できることがわかる。

図 6 は “Tsukuba” の電気スタンド部分を拡大した画像である。図 6 から、経験則のとき、同一の物体内の画素の奥行値を推定する場合、周囲の奥行値を用いることにより、正解画像に近い奥行値を表すことができることがわかる。そして、最小 2 乗法のとき、同一の物体内の画素においても、全く異なる奥行値を推定する場合があることがわかる。

図 7 は “Tsukuba” の支柱部分を拡大した画像である。図 7 から、経験則のとき、支柱部分と同一の奥行値が、本来よりも広範囲に存在する。これは、周囲の奥行値をそのまま当てはめたことが原因であると考え

られる。最小 2 乗法は、支柱部分における正解画像と同一の奥行値の画素が少ない。これらから、経験則のとき、本来よりも広がる可能性があることがわかる。

よって、2 つの DP マッチングによる距離画像を利用することにより、より正解画像に近い距離画像を作成することができることがわかった。そして、経験則による奥行推定の場合、本来の形状よりも大きくなる場合があることがわかった。最小 2 乗法を用いた奥行推定の場合、周囲の奥行値と全く異なる奥行値となる場合があることがわかった。

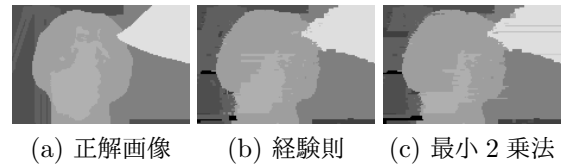


図 5 Tsukuba の模型

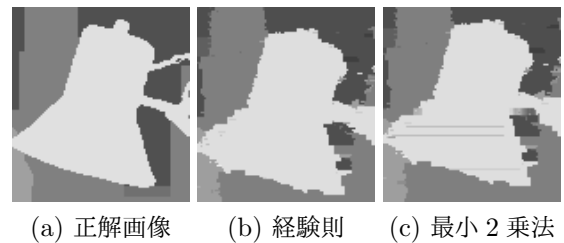


図 6 Tsukuba の電気スタンド

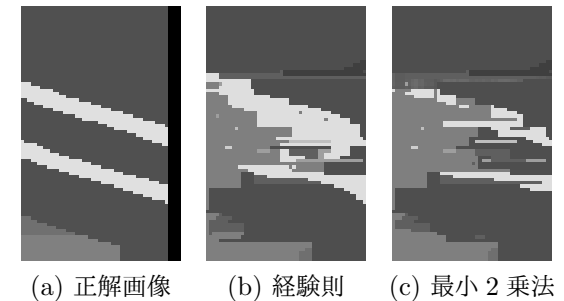


図 7 Tsukuba の支柱

4.3 誤差の比較

左から右方向 DP マッチングによる距離画像, 右から左方向 DP マッチングによる距離画像, 経験則による距離画像, 最小 2 乗法を用いた距離画像, それぞれの平均誤差を表 1 に示す。表 1 から、最小 2 乗法を用いた距離画像が最も平均誤差が小さく、左から右方向 DP マッチングによる距離画像が最も大きいことがわかる。左から右方向 DP マッチングの平均誤差は、右から左方向 DP マッチングよりも小さいことから、左から右方向は一方方向の DP マッチングとして優れていることがわかる。経験則による距離画像の平均誤差は、双方向 DP マッチングの奥行値をそのまま当てはめるため、2 つの平均誤差の間の値になりやすい。最小 2 乗法を用いた距離画像の平均誤差は最も小さいことから、推定済み奥行値を用いて、より正確な奥行値を算出できることがわかる。

距離画像の誤差分布について調べる。Tsukuba の経験則による距離画像の誤差分布を図 8 に示す。図 9 から、6 割以上の誤差は 0～19 の値であることがわかる。よって、Tsukuba における 0～19 の誤差の画素数を比較したグラフを図 9 に示す。誤差の画素数を比較したグラフから、経験則、最小 2 乗法の距離画像は、DP マッチングによる距離画像よりも誤差の値が 0 の画素数が多いことがわかる。このことから、双方向の DP マッチングを利用することにより、正確な奥行値を推定できることがわかる。

表 1 距離画像の平均誤差

データセット	左から右方向	右から左方向	経験則	最小 2 乗法
Tsukuba	25.679472	28.845865	26.426401	25.344916
Sawtooth	5.095148	6.908712	5.639281	5.055273
Cones	12.936942	13.929070	13.021003	12.504300
Teddy	12.535528	13.467319	12.709610	12.428772

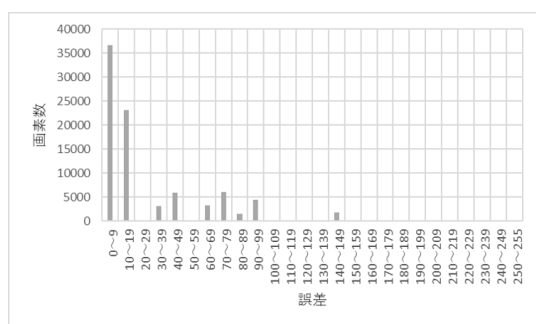


図 8 Tsukuba の経験則による距離画像の誤差分布

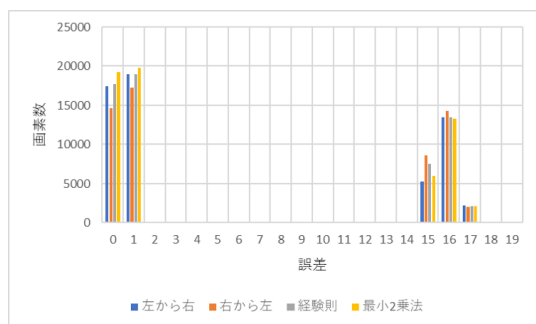


図 9 Tsukuba の距離画像の誤差分布

5 結論

本研究では、ステレオ画像から正確な奥行情報を推定するため、双方向の DP マッチングによる奥行情報を用いた奥行推定をおこなった。双方向の DP マッチングによる奥行情報を用いた距離画像は、2 つの DP マッチングによる距離画像における正確な奥行値を取り出せることを確認した。経験則による奥行推定は、同一の物体内に異なる奥行値を推定しにくいことを確認した。そして、物体の輪郭を広げる可能性があることを確認した。最小 2 乗法を用いた奥行推定は、同一の物体内に異なる奥行値を推定する可能性があるこ

とを確認した。双方向の DP マッチングによる奥行情報を用いた距離画像は、単方向 DP マッチングによる距離画像より誤差のない画素数が多いことを確認した。経験則による奥行推定の平均誤差は、2 つの DP マッチングの平均誤差のうち、大きい値より小さく、小さい値より大きいことを確認した。最小 2 乗法を用いた奥行推定は、最も平均誤差が小さいことを確認した。

今後の課題として、周囲の奥行値を利用した奥行推定のときにおける奥行値選択条件の変更が挙げられる。本研究において、DP マッチングによる奥行画像において、周囲すべての奥行値が同一のとき、その奥行値を取り出す。そのとき、2 つとも周囲の奥行値が同一だが、もう一方とも違う奥行値の場合、その画素が探索範囲前半になる方を選択した。しかし、必ずしも一方の探索範囲前半の方がもう一方の探索範囲後半より優れているとは限らない。よって、この条件を変更することにより、より正確な奥行値を取り出せるだろう。

また、経験則による奥行推定の規則や拘束条件の追加が挙げられる。拘束条件を厳しくすることにより、誤った奥行値を棄却することができ、正しい奥行値として取り出す可能性が減少する。そして、規則を追加することにより、正しい奥行値をより多く取り出すことができるだろう。追加する拘束条件や規則の一例として、色画像を用いる方法がある。本研究では、DP マッチングにより推定した奥行値のみを用いて奥行推定をおこなったが、色画像を用いることにより様々な情報を得ることができる。得られる情報としてエッジ情報が挙げられる。エッジ情報から物体の境界を取得し、それらを利用してさらなる条件を追加できるだろう。

参考文献

- [1] 宇都木 修一, 鈴木 寿, “画像処理装置、画像処理方法、および、プログラム”, 特許公開 2006-331108, 2006 年 12 月 7 日.
- [2] 富永昌治, 今村淳志, “複数の不均質物体に対するカラー画像の解析,” 情報処理学会論文誌, Vol. 35, No. 1, pp. 79-91, 1994.
- [3] 内田誠一, “DP マッチング概説 ～ 基本と様々な拡張 ～,” 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解, Vol. 106, No. 428, pp. 31-36, 2006.
- [4] D. Scharstein and R. Szeliski. “A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms.” *International Journal of Computer Vision*, 47(1/2/3):7-42, April-June 2002.
- [5] D. Scharstein and R. Szeliski. “High-accuracy stereo depth maps using structured light.” In *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2003)*, volume 1, pages 195-202, Madison, WI, June 2003.