

## ジョイントフィルタリングによる奥行き画像改善に関する研究

学籍番号 23413564 氏名 松尾 琢也

指導教員名 石橋 豊

## 1 まえがき

一般に奥行き画像はステレオマッチングによって取得される [1]。しかし、簡単なマッチングではノイズが多く、物体輪郭が不正確な奥行き画像しか取得できない。そこで、現在主流となっているステレオマッチングは MRF (Markov Random Field) 最適化などを用いた複雑なアルゴリズムにより奥行き画像を推定している。例として、Semi-Global Matching (SGM) [2], Belief Propagation, Graph Cuts がある。これらは、周囲の画素と滑らかに接続するという拘束を用いて、マッチングを行うため、ノイズが少ない奥行き画像の取得が可能である。しかし、多くの MRF 最適化手法は、拘束条件が平面部分を重視するため、輪郭部分の精度は充分でなく、また、実行時間が長い。

また、奥行き画像の物体輪郭を原画像の物体輪郭に補正する奥行き画像改善手法として、ジョイントバイラテラルフィルタ [3] がある。これは、原画像の情報を用いて物体輪郭を補正しつつ、平滑化によってノイズを除去する。しかし、平滑化によりスパイクノイズは除去できるが、領域が大きな誤りは、平滑化の際に周囲に拡散し、奥行き画像の劣化を引き起こす。また、奥行き値が大きく異なる物体輪郭では、奥行き値の混合によりぼけが発生する。

そこで、本論文では奥行き画像改善フィルタとして、次の三つの手法を提案する。信頼度を用いたジョイントトリラテラルフィルタは奥行き画像の物体輪郭をぼけを抑制しつつ原画像に近づけて補正し、同時にノイズ除去を行う手法であり、重み付きジョイントバイラテラルフィルタは同様の効果でより高精度である。そして、混合抑制フィルタは重み付きジョイントバイラテラルフィルタによる平滑化でわずかに発生する奥行き値の混合によるぼけを抑制する。また、重み付きジョイントバイラテラルフィルタに入力する重み画像の生成方法について、LR-Check を用いる手法と斑点除去フィルタを用いる手法の二手法を提案した。

本概要では、このうち、重み付きジョイントバイラテラルフィルタと混合抑制フィルタについて説明する。

## 2 提案手法

## 2.1 重み付きジョイントバイラテラルフィルタ

提案手法では、入力の奥行き画像をフィルタリングによって改善する。提案する重み付きジョイントバイラテラルフィルタ (WJBF) は JBF の拡張である。WJBF では、奥行き画像の物体輪郭をぼけを抑制しつつ原画像に近づけて補正し、同時にノイズ除去を行う。このとき、WJBF では重み画像をあらかじめ作成し、各画素の信頼度を決定し、誤った奥行き値を示す画素や、輪郭周辺の信頼できない画素の情報の重みを小さくすることで、誤りの拡散や、ぼけの拡大を抑制する。これにより、従

来手法のジョイントバイラテラルフィルタでの問題を解決する。

WJBF は次式で表される。

$$D_p^{output} = \frac{\sum_{s \in N} M_s \cdot w(p, s) c(p, s) D_s^{input}}{\sum_{s \in N} M_s \cdot w(p, s) c(p, s)} \quad (1)$$

$w(p, s) = \exp(-\frac{\|p-s\|_2}{2\sigma_s})$  : 位置重み

$c(p, s) = \exp(-\frac{\|I_p - I_s\|_2}{2\sigma_c})$  : 色重み

$D^{input}$  : 入力画素値,  $D^{output}$  : 出力画素値,  $M$  : 重み画像,  $I$  : 参照画像の画素値,  $p$  : 注目画素の座標,  $s$  : 参照画素の座標,  $N$  : 参照画素の集合,  $\sigma_s$  : 位置重みのガウス変数,  $\sigma_c$  : 色重みのガウス変数,  $\|\cdot\|_2$  : L2 ノルム. 位置重みは、注目画素と参照画素の位置が近いほど大きな重みが与えられる。また、色重みは、参照画像である原画像の注目画素と参照画素の画素値が近いほど大きな重みが与えられる。これらにより、原画像の画素情報を用いるため、物体の輪郭を維持しつつ平滑化が可能となる。

しかし、領域が大きな誤りは、平滑化では除去することができない。そこで、重み画像  $M$  を用いることで、大きな領域で誤っている部分の重みを 0 にする。これにより、周囲への誤情報の拡散を抑制する。また、重みが 0 となった画素は周囲の信頼できる情報を用いることで、補間される。

重み画像は斑点除去フィルタを用いて作成される。斑点除去フィルタは二つの変数を持つ。斑点の最大サイズと、周囲との差の許容値である。まず、最大サイズより小さい領域は斑点の可能性があると仮定される。そして、その領域の奥行き値と周囲の奥行き値の差が許容値を超える場合、その領域は周囲と滑らかに接続していないと判断され、斑点となる。

この斑点除去フィルタを用いて、検出した斑点部分の重みを 0、それ以外を 1 と置く  $b(p', s')$  を作成し、次式によって重み画像を作成する。

$$M_s' = \sum_{s' \in N'} b(p', s') w(p', s') c(p', s') d(p', s') \quad (2)$$

$d(p', s') = \exp(-\frac{\|D_{p'} - D_{s'}\|_1}{2\sigma_d})$  : 奥行き重み

$p'$  : 注目画素の座標,  $s'$  : 参照画素の座標,  $N'$  : 参照画素の集合,  $\sigma_d$  : 位置重みのガウス変数。

この式は、ジョイントバイラテラルフィルタの重みの計算式を拡張したものであり、 $d()$  の奥行き重みが追加されている。これにより、物体輪郭が不正確な奥行き画像の物体輪郭部分の重みも小さくすることができる。よって、奥行き画像の物体輪郭をぼけを抑制しつつ原画像に近づけて補正し、同時にノイズ除去を行う。

## 2.2 混合抑制フィルタ

前節で WJBF を提案した。しかし、前景と背景の物体色が似ている場合など、奥行きが異なるにも関わらず、

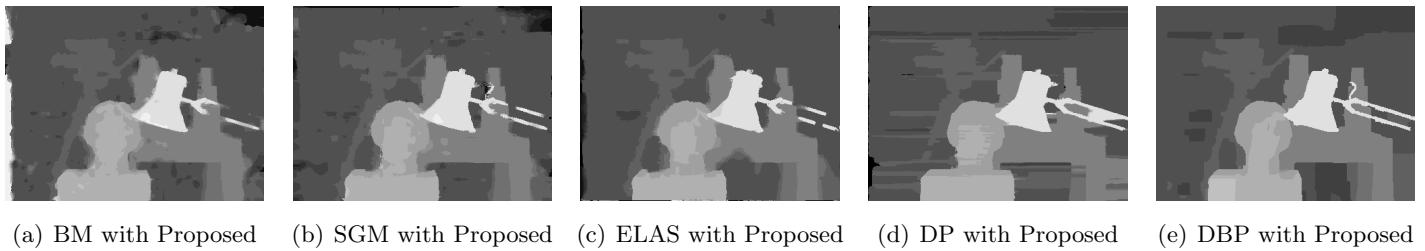


図 1: 奥行き画像の評価

信頼できるとしてしまう部分が存在する．また，複数の物体が交差している場所など，複雑で細かく奥行き値が変化する場合には，物体輪郭の判断が難しく広範囲にわたり重み画像に与えられる重みが小さくなる．そのような部分では，周囲の異なる奥行き値を示す画素との重みの差が小さくなるので，異なる奥行き値の影響を受ける部分も出てくる．そこで，わずかに残る輪郭部分のぼけを解消するための処理を施す．

ぼけは複数の奥行き値を混合することで発生する．そこで，輪郭部分が二値的に表現されるフィルタリング前の奥行き画像を用いて，重み付きジョイントバイラテラルフィルタで混合された中間値を前景と背景の奥行き値に振り分ける．その結果，混合部分は存在しなくなることで輪郭部分のぼけが除去され，正しい奥行き画像により近くなる．これを混合抑制フィルタと呼び，以下の式で表される．

$$D_{Output}(\mathbf{p}) = \arg \min_{d \in D(W)} |D_{Filtered}(\mathbf{p}) - D_{Initial}(s)| \quad (3)$$

$D_{Output}$  : 混色抑制フィルタで置き換えられた奥行き値， $D_{Initial}$  : 奥行き画像改善前の奥行き画像， $D_{Filtered}$  : 奥行き画像改善後の奥行き画像， $W$  : 参照画素の集合， $D(W)$  : 集合の要素  $W$  が指す奥行き値， $d$  : 取り得る奥行き値．このフィルタでは， $D_{Initial}$  のカーネル内にある奥行き値の候補に最も近い値を振り分ける．以上から，奥行き画像の輪郭がぼけた部分に対しては二値的な奥行きに変換する処理を行うことでぼけを低減する．

### 3 実験結果と考察

実験では，奥行き推定精度の比較を行う．用いる画像は多視点データセット “Tsukuba” [1] を用いる．入力に用いる奥行き画像は，ブロックマッチング (BM)，比較的高速に動作する最適化手法である Semi-Global Matching (SGM) [2]，特徴点ベースの最適化手法 Efficient Large-Scale (ELAS) [4]，動的計画法 (DP : Dynamic Programming) [5]，Double Belief Propagation (DBP) [6] を用いて推定する．それらの入力に提案手法である二手法を用いて，誤り率の比較を行う．その結果は図 1 である．また，その際の誤り率は表 1 である．誤り率は誤差 1 まで許容している．

表 1 より，提案手法が DBP を除き，すべての入力に対して効果があることがわかる．特に，非常に低精度な BM に対しては効果が高く，最適化手法である SGM・ELAS・DP と同程度まで精度が向上している．また，それらを入力としたときも，ノイズは少ないが輪郭精度が完全ではないため，提案手法の輪郭補正の効果もあり，

表 1: 誤り率の比較

	BM	SGM	ELAS	DP	DBP
Initial	10.78	3.98	3.99	4.12	0.88
Filtered	3.25	2.34	2.87	2.49	0.83

誤り率が減少している．ただし，DBP のような非常に高精度な奥行き画像を入力としたときは，改善できる部分がほとんどないため，精度の向上がほとんどみられなかった．図 1 を見ると，提案手法により平面部分は平滑化され，物体輪郭の凹凸がなくなっていることがわかる．

### 4 むすび

本論文では，奥行き画像のノイズを除去し，物体輪郭を補正する奥行き画像改善フィルタの提案を行った．その結果，重み付きジョイントバイラテラルフィルタを用いることで，誤り部分の情報をほとんど用いることなく平滑化を行うことで，物体輪郭を補正しつつ，ノイズ除去が可能となった．また，混合抑制フィルタを用いることで，奥行き値の混合によるぼけも抑制できた．特に，BM など低精度な手法で取得した奥行き画像に対しては非常に効果が高いことがわかった．

また，本論文では，他のデータセットでも実験を行っており，同様に奥行き画像が改善された．そして，他に提案した信頼度を用いたジョイントトリラテラルフィルタや，重み付きジョイントバイラテラルフィルタの LR-Check を用いた重み画像を用いた場合でも，傾向は異なるが改善が確認された．

今後の課題は，動画像を用いた際の時間方向への安定性の調査と改良などが挙げられる．

### 参考文献

- [1] D. Scharstein and R. Szeliski, *IJCV*, vol. 47, no. 1, pp. 7–42, May 2002.
- [2] H. Hirschmuller, *IEEE Trans. PAMI*, vol. 30, no. 2, pp. 328–341, Feb. 2008.
- [3] G. Pestschnigg *et al.*, *ACM Trans. Graphics*, vol. 23, no. 3, pp. 664–672, Aug. 2004.
- [4] A. Geiger *et al.*, *ACCV*, vol. 6492, pp. 25–38, Sep. 2010.
- [5] Y. Ohta and T. Kanade, *IEEE Trans. PAMI*, vol. 7, no. 2, pp. 139–154, 1985.
- [6] Q. Yang *et al.*, *IEEE Trans. PAMI*, vol. 31, no. 3, pp. 492–504, 2009.