

奥行き推定精度向上のための重み付きジョイントバイラテラルフィルタ

松尾 琢也[†] 福嶋 慶繁[†] 石橋 豊[†][†]名古屋工業大学大学院工学研究科

1 まえがき

一般に Depth Map はステレオマッチングによって取得される。現在、主流となっているステレオマッチングは複雑なアルゴリズムにより最適化を行い Depth Map を求めている。それらは、Markov Random Field (MRF) を基にした最適化を行っている。例として、Semi-Global Block Matching (SGBM) [1], Brief Propagation [2], Graph Cuts [3] がある。これらの問題点は、アルゴリズムの複雑さにより実行時間が長いことである。これは、計算時間が奥行き階調数に依存することも一因である。また、全体の整合性を重視して Depth Map を取得するため、輪郭部分など局所的な部分が曖昧になるという問題もある。

輪郭の曖昧な Depth Map を用いた画像処理では様々な弊害が予想される。例えば、輪郭の曖昧な Depth Map を用いて自由視点画像合成を行った場合、輪郭部分が正確に合成されない恐れがある。そのため、Depth Map の輪郭の精度が重要となってくる。

そこで、本稿では Depth Map の視差改善フィルタを提案する。提案するフィルタでは、計算コストを抑えることで MRF 最適化よりも高速に動作し、輪郭部分の整合性を保ったまま、平面部分の平滑化を行う。

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、ブロックマッチング (BM) で取得した Depth Map をフィルタリングによって改善する。BM は簡単なステレオマッチングで、実行時間は短いですが、平面部分の奥行き値が一定でなく、輪郭部分に凹凸が多いなど精度が非常に悪い。提案するフィルタでは、物体の輪郭を維持した状態で、平面部分の平滑化を行う。これを重み付きジョイントバイラテラルフィルタ (WJBF) と呼ぶ。

WJBF は、バイラテラルフィルタ (BF) の拡張である。WJBF は Depth Map をフィルタリング対象とし、奥行き画像の視点に対応する原画像を参照画像とする。これにより、原画像の色情報を Depth Map の

平滑化に反映させることで、原画像の輪郭を維持したまま平滑化が可能となる。WJBF は次式で表される。

$$D_p = \frac{\sum_{s \in N} w(p, s) c(p, s) R_s D_s}{\sum_{s \in N} w(p, s) c(p, s) R_s} \quad (1)$$

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

$c(p, s) = \exp(-\frac{\|I_p - I_s\|_1}{2\sigma_c})$, 参照画素重み

D_s : 入力 Depth Map, D_p : 出力 Depth Map, p : 注目画素の座標, s : 参照画素の座標, N : 参照画素 s の集合, σ_s, σ_c : 任意定数, $\|\cdot\|_{1,2}$: L1, 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、参照画素重みは、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、画素値が大きく異なり、距離が離れている部分に対しても、少なからず重みが与えられる。そこで、 R_s は平面部分を重視した重みである。これは、輪郭をまたいだ先か、そうでないかを判断する分類を設定し、輪郭をまたいでいない部分、つまり同一物体である平面部分にのみ大きな重みが与えられる処理を行う。この平面部分を重視した重みは、まず、ブロックマッチングで取得した Depth Map と左右の原画像から、Depth Map の信頼できる部分か否かを分類する。そして、分類によって信頼できるとされた部分に対してのみ重みを与える。分類は閾値を用いて行われる。左視点を基準として、注目画素と参照画素の Depth Map における奥行き値、原画像における輝度値、そして、左右視点間の距離と、左視点の参照画素の奥行き値から、右視点における比較参照画素の対応画素を一意に定められるため、右視点での原画像の対応画素と、左視点での原画像の比較画素の輝度値をそれぞれ比較し判断する。よって判断基準は次のようになる。

$$\|D_{p'}^l - D_{s'}^l\|_1 \leq \alpha \quad (2)$$

$$\|I_{p'}^l - I_{s'}^l\|_1 \leq \beta \quad (3)$$

$$\|I_{s'}^l - I_{s'+D^l}^r\|_1 \leq \gamma \quad (4)$$

p' : 注目画素, s' : 参照画素, l : 左視点, r : 右視点, α, β, γ : 各任意の閾値。

そして、信頼できる画素に対してのみ、次で定める重みを与え、信頼できない部分は重みを 0 とする。

Depth Map Refinement with Weighted Joint Bilateral Filter

[†] Takuya MATSUO (t-matsuo@mcl.nitech.ac.jp)

[†] Norishige FUKUSHIMA (fukushima@nitech.ac.jp)

[†] Yutaka ISHIBASHI (ishibashi@nitech.ac.jp)

Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology ([†])

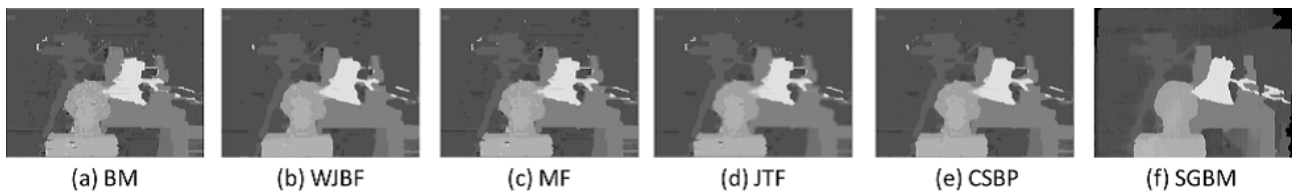


図 1: 各手法による奥行き画像の取得結果.

表 1: 誤り率.

手法	BM	WJBF	MF	[5]	[6]	[1]
誤り率	4.35	3.22	3.99	3.87	3.55	3.26

$$R_{s'} = \sum_{s' \in N'} w(\mathbf{p}, s) c(\mathbf{p}, s) \exp\left(-\frac{\|D_{\mathbf{p}'} - D_{s'}\|_1}{2\sigma_r}\right) \quad (5)$$

これにより、輪郭が曖昧な Depth Map では、輪郭部分の重みは小さくなり、輪郭をまたいだ部分には重みが与えられにくくなる。そして、輪郭をまたがない平面部分には大きな重みが与えられるため、同一物体となる部分にのみ大きな重みが与えられ、輪郭を維持したまま、平滑化が可能になる。

2.2 混色抑制フィルタ

WJBF により、輪郭部分の精度を改善し平滑化を行う手法を提案した。しかし、前景と背景の物体色が似ている場合など、奥行きが異なる場合でも、信頼できる部分が存在する。そういった部分では、その周辺の輪郭は複数の奥行き値を混色するためぼけが発生する。そこで、わずかに残る輪郭部分のぼけを解消する処理を施す。ぼけは重みにより、複数の奥行き値を混色することで出現する。そこで、輪郭部分が二值的に表現される視差改善前の Depth Map の画素値を用い、混色された中間値を抑制する。その結果、混色部分はなくなり、輪郭部分のぼけが除去される。これを混色抑制フィルタと呼び、以下の式で表される。

$$D_{Tri}(\mathbf{p}) = \arg \min_{d \in D(W)} |D'_{Tri}(\mathbf{p}) - D_{BM}(s)| \quad (6)$$

D_X : 手法 X で取得した Depth Map, W : 比較画素 s の集合, $D(W)$: 集合の要素 W が指す奥行き。

このフィルタでは、 D_{BM} 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、Depth Map を物体の輪郭を維持しつつ平滑化を行い、輪郭がぼけた部分に対しては二值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 実験と結果

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 [4] を用いる。WJBF との比較手法として、簡単で高速だが精度の低い BM、最適化を行うマッチングの中でも比較的高速に動作する SGBM [1] をステレオマッチングの比較対象とする。また、視差改善フィルタの比較として、メディアンフィルタ (MF)、信頼度に奥行きの類似度を用いたジョ

イントリラテラルフィルタ (JTF) [5]、Constant-Space Belief Propagation (CSBP) で用いられる視差改善フィルタ [6] を比較対象とする。これらはすべて BM で取得した Depth Map を改善する。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、提案手法がいずれの視差改善フィルタより高い精度で改善できていることがわかる。また、比較的高速に動作する SGBM に対しても、提案手法の方が若干ではあるが、高い精度を得られることを確認した。図 1 を見ると、提案手法により BM の際に発生したノイズが平滑化され、また、輪郭線の凹凸が減っていることがわかる。

また、実行時間の比較として、提案手法は BM とフィルタリングで計 27.5ms を要するのに対して、SGBM では 28.9ms となり、提案手法の方が効率的であることがわかる。なお、使用した計算器は Intel Core i7 2.93GHz である。

4 むすび

本稿では、重み付きジョイントバイラテラルフィルタと混色抑制フィルタを用いた Depth Map の視差改善を提案した。これにより、精度の悪い BM で取得した Depth Map の視差改善を行い、他の視差改善フィルタに対する有効性を示した。また、最適化を行う SGBM とも比較し、同等の精度でより効率的な手法であることを確認した。また、誤り率の減少だけでなく、物体輪郭の改善も行われることを確認した。今後の課題として、入力 Depth Map や原画像に対する依存性の検証が考えられる。

謝辞日頃、御討論頂く本学菅原真司准教授に感謝する。本研究の一部は、科学研究費補助金若手研究 (B)(22700174) によって行われた。

参考文献

- [1] H. Hirschmuller, IEEE Trans. PAMI, vol. 30, Issue 2, pp. 328-341, Feb. 2008.
- [2] J. Sun et al., IEEE Trans. PAMI, vol. 25, Issue 7, pp. 787-800, July 2003.
- [3] Y. Boykov et al., IEEE Trans. PAMI, vol. 23, Issue 11, pp. 1222-1239, Nov. 2001.
- [4] D. Scharstein et al., IJCV, vol 47, no 1, pp 7-42, May 2002.
- [5] P. L. Lai et al., in Proc. PCS, pp. 9-12, Dec. 2010.
- [6] Q. Yang et al., in Proc. IEEE CVPR, pp. 1458-1465, June 2010.