

## (d) 情報

広範囲にわたる消波ブロック群を撮影した動画からの3次元形状の復元

### 3D reconstruction from images of many wave absorbing blocks

谷川 俊介<sup>†</sup> 植野 祐司<sup>††</sup> 安部 美穂<sup>†</sup> 玉木 徹<sup>†</sup> 一井 康二<sup>†</sup> 金田 和文<sup>†</sup>

Shunsuke Tanigawa<sup>†</sup> Yuji Ueno<sup>††</sup> Miho Abe<sup>†</sup> Toru Tamaki<sup>†</sup> Koji Ichii<sup>†</sup> Kazufumi Kaneda<sup>†</sup>

<sup>†</sup>広島大学 大学院工学研究科 <sup>††</sup>広島大学 工学部

#### 1 はじめに

本研究は、沿岸部を波の被害から守るために設置してある消波ブロックの3次元な配置を認識することを目的としている。消波ブロック(図1参照)とは、台風などで生じる波浪災害の防止方法の一つであり、海岸線に数多く並べて沿岸部の施設に及ぼす波力を弱めるものである。しかし、地震や波などの大きな力を受けると、積み重なっていた消波ブロックが移動して配置が変わってしまう。そうなると、本来であれば波が弱まって被害の発生しない沿岸部においても波による被害が及ぶ可能性が出てくる。その維持管理には、消波ブロックの配置状況を測量などの手作業による確認が必要であり、経験と勘により安定性を判断するなど、多大な労働力に依存している。そのため、多数の消波ブロックに対する配置確認の自動化が望ましい。

配置を認識するためには、まず消波ブロックの3次元的な形状を復元し、次に消波ブロックの姿勢を推定しなければならない。ここでは、消波ブロックの3次元形状を復元することを目的として、映像中の消波ブロックの対応点を抽出し追跡する手法について述べる。

#### 2 消波ブロックの特徴

本研究が復元対象としている消波ブロックの表面は、灰色または白色で構成される単一色で輝度変化が少ない。そのため、特徴点の抽出・対応付けが困難である。一般的な物体であれば、微分フィルタなどで特徴点を抽出した後、得られた特徴点の周辺の輝度値を比較して対応付けを行うことができる。しかし、消波ブロックでは、影部分や消波ブロック表面(図2参照)の斑点部分に特徴点が抽出されるものの、周辺の輝度値を比較する手法では、誤対応が多くなる。

#### 3 SIFTを用いた特徴点の抽出

今回消波ブロックの特徴点抽出・対応付けには、SIFT[1][2]を用いる。SIFTとは、輝度勾配に基づいた128次元のSIFT特徴量を画素ご



図1. 沿岸の消波ブロックの例

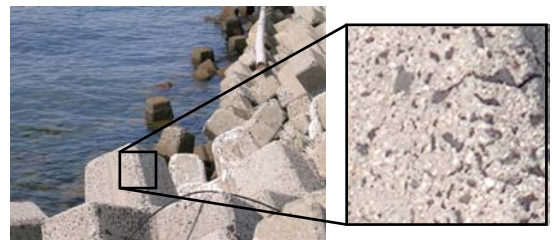


図2. 消波ブロックの表面

とに算出する手法である。単なる微分フィルタと異なり、いくつかのスケールで求めた画像の微分を用いているため、対象のスケール(大きさ)に依存しない。また、輝度の勾配方向(オリエンテーション)も、スケールに依存しないように求めるため、対象の回転にも不変であるという特長をもつ。各点でのスケールとオリエンテーションが求まると、主曲率などを用いて条件を満たす点のみを特徴点として抽出する。そして、特徴点を中心とした局所領域を $4 \times 4 = 16$ 個の小領域に分割し、各小領域で8方向の輝度勾配を求める(図3参照)。最終的に得られた $16 \times 8 = 128$ 個の輝度勾配をSIFT特徴量と呼ぶ。

消波ブロックは、輝度変化が小さいが、随所に斑点のようなものがある。そのため、斑点の周辺は輝度勾配が大きくなり、特徴点として得ることができる。

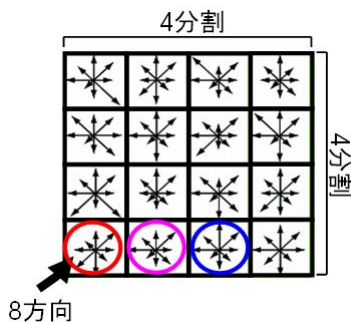


図 3. ブロック分割方法[2]

#### 4 特徴点の対応付け

SIFT 特徴量の距離が小さくなったとしても、実際に正しい対応点であるとは限らない。特に消波ブロックの場合は、似た物体が画像中に複数映っているため、誤対応が多くある。そこで、ここでは画像中の特徴点同士の距離に関する制約を用いて、対応点を求める手法について述べる。

$k$  フレーム目の  $i$  番目の特徴点と特徴ベクトルを  $\mathbf{x}_i^k = (x_i^k, y_i^k)^T$ ,  $\mathbf{v}_i^k$  とする。まず、 $k+1$  フレーム目で  $\mathbf{v}_i^k$  に最も近い点  $\mathbf{x}_{j^*}^{k+1}$  を選ぶ。つまり、

$$j^* = \arg \min_j \|\mathbf{v}_i^k - \mathbf{v}_j^{k+1}\| \quad (1)$$

次に、以下の制約を満たしている場合に限り、 $\mathbf{x}_{j^*}^{k+1}$  を  $\mathbf{x}_i^k$  の対応点とし、そうでない場合には「 $\mathbf{x}_i^k$  には対応点なし」とする。

$$\cdot \|\mathbf{x}_i^k - \mathbf{x}_{j^*}^{k+1}\| < \varepsilon \quad (2)$$

つまり、画像中で閾値よりも大きく位置が異なる場合には、誤対応とみなす。

$$\cdot \begin{cases} x_i^k \geq x_{j^*}^{k+1} \\ \text{(物体が右から左へ移動している場合)} \\ x_i^k \leq x_{j^*}^{k+1} \\ \text{(物体が左から右へ移動している場合)} \end{cases} \quad (3)$$

つまり、移動方向と逆に動いた位置にある場合には、誤対応とみなす。

例を図 4 に示す。前のフレームの特徴点を  $\mathbf{x}_i^k$  とするとき、式(2)の閾値を半径とした半円は対応付けが可能な範囲である。もし  $j^* = 1$  の場合、対応付け可能な範囲に含まれているため  $\mathbf{x}_1^{k+1}$  を  $\mathbf{x}_i^k$  に対応付けをする。しかし  $j^* = 2$  の場合は、式(2)での閾値を上回るため対応付けをしない。 $j^* = 3$  の場合は、式(2)の閾値を下回っているが、式(3)を満たさないため対応付けをしない。

#### 5 実験

実際に動画を撮影し、前述した手法を用いて特徴点の抽出・対応付けを行い、消波ブロックの 3 次元形状を復元した[3]。撮影には画素数が  $320 \times 240$  [ピクセル]、 $15$  [フレーム/s] のデジタ

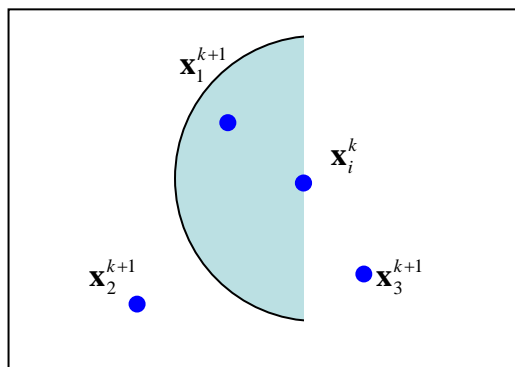


図 4. 対応付けの例

ルカメラ(Nikon COOLPIX3700)を使用し、6秒間で計 90 枚の画像を用いた。図 5 に示すように、全フレームに映る消波ブロックはない。式(2)の対応付け時の閾値  $\varepsilon$  は  $15$  [ピクセル] とした。これは、初期フレームに映る消波ブロック中のいくつかの特徴点の移動量の平均を少し上回る値を用いた。

対応付けの結果を表 1 に示す。フレーム番号は 0 から始まる。正しい対応点であるかどうかの判断は目視で行った。正答率の平均は  $93.2\%$  であった。フレーム 20 と 21 で正答率が低い理由は、動画を撮影したときに、カメラがブレて移動量が平均的に閾値を越えたからである。それ以外のフレームでの、誤対応の理由として、ある特徴点に対して、次の画像で対応すべき特徴点が抽出されていないが、式(1), (2), (3)を満たす特徴点が存在したためだと考えられる。例として、図 6(a)内の矢印で示す消波ブロックの角の特徴点は、次のフレームでは図 6(b)のように消波ブロックの角に特徴点が抽出されていない。実際に、図 6(a)で注目した特徴点は図 6(b)の矢印で示す付近の別の特徴点と対応付けされている。

図 7 に復元結果を示す。カメラの移動方向を X 軸の正に、画像と同じ向きにしているため下向きを Y 軸の正に、カメラから初期フレームにおける消波ブロックを見たときの方向を Z 軸の負にしており、単位はピクセルである。

#### 6 今後の課題

本稿では、輝度変化の小さい消波ブロックに対して抽出した特徴点の対応付けについて述べた。しかし、カメラのブレると対応付けの精度が悪くなる。そこで、特徴点の対応付けと追跡手法を組み合わせる。今後は、Mean Shift 探索[4]により特徴点を追跡し、追跡結果と式(1)を用いて対応付けを行う。

## 参考文献

- [1] D. G. Lowe, "Object recognition from local scale-invariant features," Proc. of IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), pp.1150-1157 (1999).
- [2] 藤吉弘亘, "Gradient ベースの特徴抽出-SIFT と HOG-", 電子情報通信学会技術研究報告 PRMU2007-82, pp.211-224 (2007).
- [3] 谷川俊介, 玉木徹, 一井康二, 金田和文, "多数の消波ブロックを撮影した動画像からの3次元形状の復元," 電気・情報関連学会中国支部第59回連合大会 (2008).
- [4] D. Comaniciu, V. Ramesh, and P. Meer, "Real-time tracking of non-rigid objects using mean shift," Proc. of IEEE Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp.II:142-149 (2000).

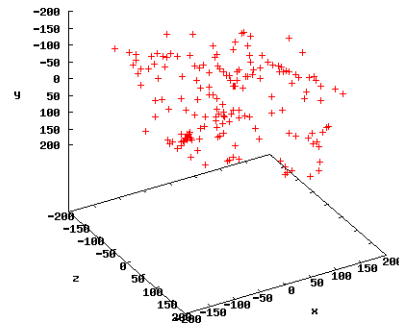


図 7. 復元結果

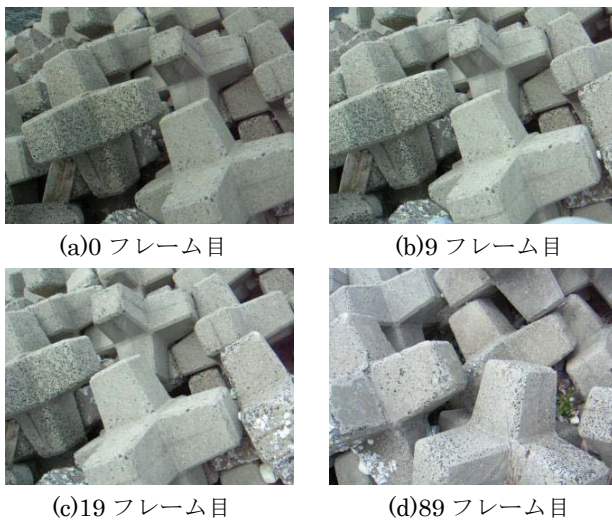


図 5. 動画の一部

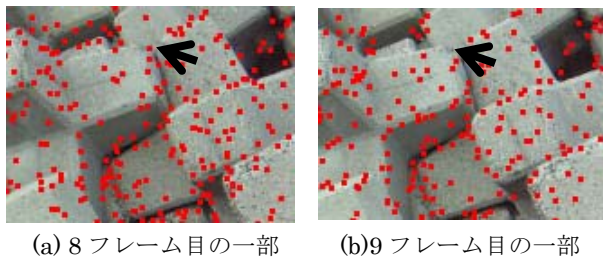


図 6. 誤対応の例

表 1. 対応付け結果

フレーム番号		特徴点数		対応 総数	正対応	正答率
前	後	前	後			
0	1	972	997	560	531	94.8%
1	2	997	925	550	537	97.6%
2	3	925	949	499	491	98.4%
3	4	949	931	505	489	96.8%
4	5	931	953	510	500	98.0%
5	6	953	973	543	528	97.2%
6	7	973	988	542	526	97.0%
7	8	988	1039	553	536	96.9%
8	9	1039	1018	577	566	98.1%
9	10	1018	1001	532	524	98.5%
10	11	1001	1040	569	509	89.5%
11	12	1040	1053	555	532	95.9%
12	13	1053	1033	557	533	95.7%
13	14	1033	1040	567	556	98.1%
14	15	1040	996	561	546	97.3%
15	16	996	1011	561	545	97.1%
16	17	1011	1011	570	562	98.6%
17	18	1011	1053	561	545	97.1%
18	19	1053	1068	588	578	98.3%
19	20	1068	1155	617	603	97.7%
20	21	1155	1214	726	136	18.7%