

カメラの位置・姿勢を考慮した 配管内画像列からの配管3次元地図作成

○大山暁（中央大学） 飯田浩貴（中央大学） 眞野雄貴（中央大学） 保井拓巳（中央大学）
池勇勳（中央大学） 中村太郎（中央大学） 梅田和昇（中央大学）

1. 序論

下水管は環境保全・衛生維持のための重要なインフラであるが、近年、耐用年数である50年を経過した配管（老朽管）が増加している。このような管は、漏水や道路陥没の原因となるため、下水管内の定期的な検査が必要となっている。そのため、図1のような配管検査のためのミミズ型ロボットの開発が行われている[1]。松井らは全方位カメラを使い、光切断法とStructure from Motion (SfM)を併用した配管の3次元モデル生成手法を提案した[2]。しかし、使用した双曲面ミラーはミミズ型ロボットから突出してしまい、物理的に曲管等を通ることができないという問題点があった。また、田中らは、ミミズ型ロボットの先端に搭載された広角カメラ1台のみを用いて配管内を撮影した画像から展開図を生成し、それらを繋げることで3次元地図を生成する方法を提案した[3]。しかし、繋ぎ合わせた展開図は、不連続な模様や重複する模様が現れてしまう。

そこで、本研究では、SfMを用いてカメラの位置・姿勢の推定を行い、3次元地図に反映する手法を提案する。



Fig.1 ミミズ型ロボット[1]

2. 提案手法

配管内の連続した画像を繋げるために、画像間でオプティカルフローを求め、画像間の移動量を得る。このとき、元の配管内画像では移動の前後で特徴点の見えが違ってしまいうため、正確なオプティカルフローを求めるのは困難である。そこで、配管内画像から展開図を作成し、展開画像間でオプティカルフローを取得する。この処理によって画像間の画像内での特徴点の見えの変化が減少し、正確にオプティカルフローが取得できるようになる。展開図で得られたオプティカルフローから移動量を求めて移動前と移動後の展開図の繋ぎ合わせを行う[3]。ただし、配管の形状は内径が既知の円筒であるとする。

2.1 展開図の作成

図2(a)のように配管の奥行きを Z 、角度を θ とする。展開図における Z は以下のように決まる。

$$Z = \frac{fR}{\sigma r} \quad (1)$$

ここで、 f は焦点距離、 σ は画素の物理的な間隔、 r は配管軸位置からの距離、 R は配管の内径である。図2(b)のように、上式で求めた Z を縦軸に、配管の角度を横軸に設定した展開図を作成する。

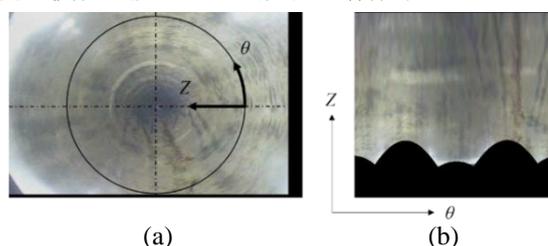


Fig.2 画像の変換:(a)元画像 (b)展開図

2.2 オプティカルフローの取得

2枚の連続した展開図間で特徴点を取得し、オプティカルフローを求める。対応点の取得にはAKAZE[4]を用いる。以下の条件をすべて満たすオプティカルフロー以外をはずれ値とみなして除去する。

- ・展開図の垂直方向とのなす角 α がしきい値以内
- ・オプティカルフローの向きがロボットの進行方向と逆
- ・展開図の境界部から遠い

2.3 SfMによるカメラの位置・姿勢の推定

本研究では、SfMのうち、カメラの位置・姿勢を求めるプロセスのみを行う。2.2節で得られた対応点から5点アルゴリズムを用いて位置・姿勢を算出する。配管上の点の世界座標系での3次元座標を \mathbf{P}_1 、カメラ座標系での配管の3次元座標を \mathbf{P}_2 とする。配管の形状は円筒としているため、以下が成り立つ。

$$\mathbf{P}_1 = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_0 \cos \theta \\ -r_0 \sin \theta \\ Z \end{bmatrix} \quad (2)$$

ただし、 r_0 は配管の半径、角度 θ は図2と同様に設ける。また、奥行き Z は展開図の縦座標をそのまま用いることとする。5点アルゴリズムによってカメラの回転行列 \mathbf{R} 、並進ベクトル \mathbf{t} が求められる。 \mathbf{P}_1 と \mathbf{P}_2 の関係は以下ようになる。

$$\mathbf{P}_1 = \mathbf{R}\mathbf{P}_2 + \mathbf{t} \quad (3)$$

(3)式から、 \mathbf{P}_2 は以下のように算出される。

$$\mathbf{P}_2 = \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \mathbf{R}^{-1}(\mathbf{P}_1 - \mathbf{t}) \quad (4)$$

\mathbf{P}_2 を用いて正規化画像座標(x, y)を以下のように算出する.

$$x = \frac{x'}{z'} \quad (5)$$

$$y = \frac{y'}{z'} \quad (6)$$

算出された(x,y)を用いて新たに展開図を作成する. さらに, 作成された展開図から 2.2 節と同様にしてオプティカルフローを取得することで移動量を得る.

2.4 展開図の繋ぎ合わせ

図 3 のように移動前の展開図の下 1/3 に移動中の展開図のオプティカルフローの平均長さ分をずらし, 移動後の展開図の上 2/3 を繋ぎ合わせる.

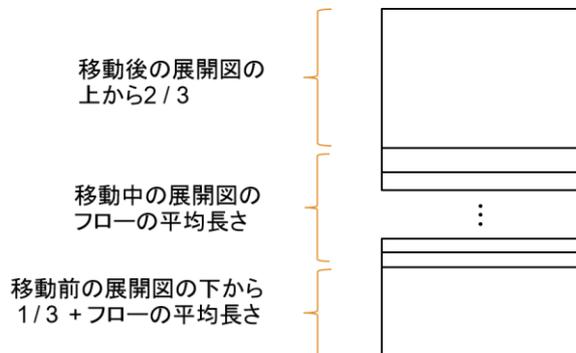


Fig.3 展開図の繋ぎ合わせ

2.5 3次元復元

配管が内径既知の円筒である条件を用いて, 繋ぎ合わせた展開図から配管内部の 3 次元復元を行う. 展開図の解像度と同じ数の 3 次元点群を用意し, それぞれの点に対応する展開図の画素値を読み込ませる.

3. 展開図の繋ぎ合わせ実験

SfM を用いて推定したカメラの位置・姿勢を適用した展開図と適用していない展開図を作成し, それぞれ繋ぎ合わせ実験を行った. 実験に用いた画像は, 画像サイズが 352[pixel]×224[pixel], 枚数は 8 枚である. また, オプティカルフローのしきい値は $\alpha = 5^\circ$ とし, 境界部から 40[pixel]以内のものは除去した.

実験結果を図 4 に示す. また, 図 4(a)を 3 次元復元した結果を図 5 に示す. 図 4(a)と図 4(b)を比べると, カメラの位置・姿勢の推定を行っていない図 4(b)よりカメラの位置・姿勢の推定を行った図 4(a)のほうが重複した模様が少ない. これは SfM を使ってカメラの位置・姿勢を考慮した展開図を作成したことでオプティカルフローの長さがより正確に求められたためであると考えられる. また, 図 4(b)の画像の繋

ぎ目が目立ってしまう原因はカメラの姿勢が毎フレーム異なるからであると考えられるが, 図 4(a)の画像の繋ぎ目が目立っていないのは, SfM によるカメラの位置・姿勢が不正確であるからだと考えられる. この原因としては回転行列・並進ベクトルを算出する際に使うオプティカルフローの取得が正確にできていないことだと考えられる.

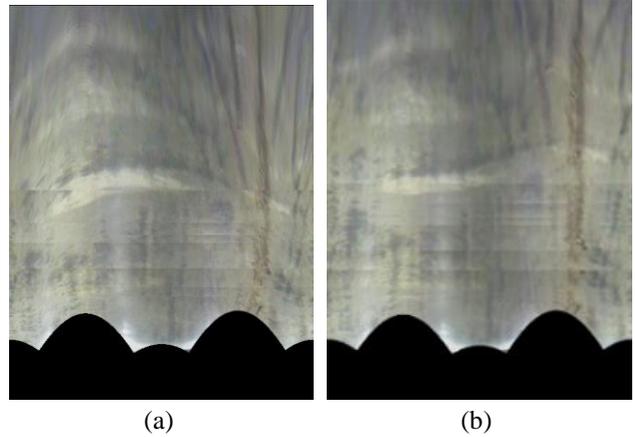


Fig.4 繋ぎ合わせた展開図: (a)SfM あり (b)SfM なし



Fig.5 配管の 3 次元復元結果

4. 結論

本研究では, カメラの位置・姿勢を考慮することで配管内の画像列からの 3 次元地図作成手法を高精度化する手法を提案した. SfM を用いてカメラの位置・姿勢の推定を行い, 展開図作成に反映する. 今後は, 曲管にも対応できる手法を構築したい.

参考文献

- [1] Y.Mano et al. : "Development of High-speed Type Peristaltic Crawling Robot for Long-distance and Complex-line Sewer Pipe Inspection," Proc. of IROS, pp.2742-2747, 2018.
- [2] 松井建樹他: "全方位レンジファインダ搭載ミニズ型ロボットによる配管の 3 次元モデル生成", 第 28 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, RSJ2010AC313-5, pp.1-4, 2010.
- [3] 田中宏樹他: "配管内画像からの配管 3 次元地図作成", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018 講演論文集, 1A1-105, 2018.
- [4] Pablo F. Alcantarilla et al. : "Fast explicit diffusion for accelerated features in nonlinear scale spaces," Proc. of BMVC, pp.1-11, 2013.