

配管検査ロボット用位置計測器の精度向上

Accuracy improvement of the measuring instrument for the piping inspection robot

○学 立花 綾野 (弓削商船), ◎正 前田 弘文 (弓削商船)

Ayano TACHIBANA, National Institute of Technology, Yuge College,
1000 Yuge Shimoyuge, Kamijima-cho Ochi-gun, Ehime, 794-2506, Japan
Hirofumi MAEDA, National Institute of Technology, Yuge College,
1000 Yuge Shimoyuge, Kamijima-cho Ochi-gun, Ehime, 794-2506, Japan

Key Words: Exploration robot, Mobile robot, Self-localization measurement, Water pipe, Robot control

1. 緒言

我国では昭和 40 年代以降, 下水道事業の実施都市が急増し, 各地で下水道整備の普及が促進されてきた。これまでに全国の下水道施設は, 管路総延長約 460,000 [km], 下水処理場数約 2,200 ヶ所となっている。そのため, 管理施設の増加とともに, 長期使用施設の老朽化が顕在化している。下水管渠の標準的耐用年数は 50 年とされており, すでにこの年数を超える下水管渠の延長は約 10,000 [km]以上となっている。また, 管渠布設後 30 年が経過すると道路が陥没する箇所が急増する傾向もある。このような背景から, 排水管・下水管の維持管理は重要であり, 継続的に行っていかなければならない。しかし, 実際に管内を検査する作業は, 人が行うには過酷であり, 検査範囲も広大である。そこで, 近年ではロボットを用いた検査が活発に行われている。ところが, これらのロボット検査にも問題があり, 有線による外部制御・外部電源が主流であることから, ロボットシステム全体が大掛かりなものとなっている。そのため, メンテナンス性が悪く, 高価なシステムとなっている。

そこで, 本研究ではこれまで研究してきたレスキューロボットのノウハウを活かし⁽¹⁾⁽²⁾, 自律で持ち運びが容易な小型配管検査ロボットの開発を行ってきた⁽³⁾⁻⁽⁷⁾。自律型小型配管検査ロボットは, 安価で軽く, 持ち運びが容易である。また, 自律制御で検査を行うために, 複数の配管を同時に検査できるという大きな特徴を有している。現在は, 自律型小型配管検査ロボットの自律制御のひとつである直進制御について検証する段階にあり, そのためにロボットの位置を計測するための機器が必要となっている。しかし, 管内での移動軌跡を計測するためには, 3次元位置計測器が必要であり, 高価で大掛かりなものになってしまう。そこで我々は, 安価で3次元位置計測が行える ARToolKit に着目した。ARToolKit とは 1 台の Web カメラとマーカのみで 3次元位置計測が行える便利なソフトウェア (ライブラリ) のことである。本論文では, この ARToolKit を用いた 3次元位置計測器における”新たなキャリブレーション手法”について述べる。

2. 自律型小型配管検査ロボット

自律型小型配管検査ロボットを図 1 に示す。この小型配管検査ロボットは直径 150[mm]もしくは 200[mm]の配管内を撮影しながら自律で異常箇所を検査する。また, マンホールの真下を検知し, 検査開始地点に戻ってくる。さらに, 障害物を検知した場合は, その障害物を押しよけることができるか判断し, 不可能な場合は検査を中断し帰還する (図 2)。



Fig. 1 Autonomous pipe inspection robot.

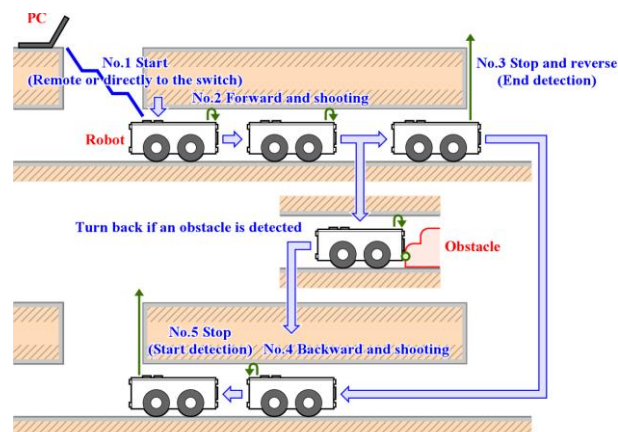


Fig. 2 Sequence of actions.

3. 3次元位置計測器

図 3 に 3次元位置計測器を示す。この装置は上部に取り付けられたカメラによって下部のマーカを検出するものとなっている。また, 下部のマーカを取り付けた床面は 6 自由度 (6軸ステージ) を有しており, 自由に姿勢を変えることが可能である (図 4)。これにより, 配管内で傾いたロボットと同じ状態を表現することが可能となり, ARToolKit の精度を現場と近い状態で検証することができる。また, 計測における精度を向上させるために①カメラキャリブレーション, ②ソフトウェアの再帰的補正, ③ハードウェアの組み付けおよび加工誤差のキャリブレーションを行っている。



Fig. 3 Three coordinate measuring machine.

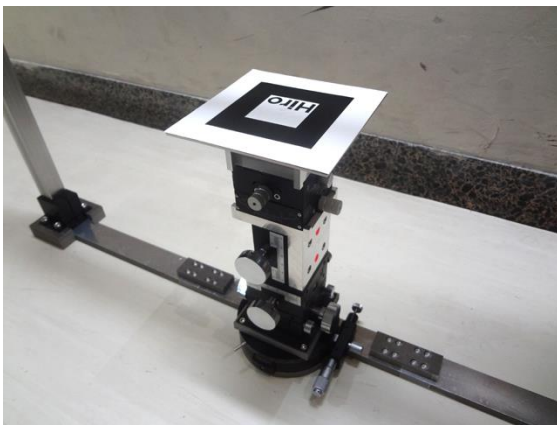


Fig. 4 The lower part of three coordinate measuring machine.

4. 新たなキャリブレーション手法

これまでのハードウェアキャリブレーションは平面を対象としたものであり、傾き誤差(3次元)を考慮していない。そのため、カメラの真下の位置(目標位置)に基準 AR マーカを寄せられるものの傾きまでは修正できなかった。そこで、キャリブレーションを3次元に拡張することで精度を向上させることとした。3次元でのキャリブレーションを行うためには、カメラの真下の目標位置を算出し、基準 AR マーカの姿勢も考慮し、3次元目標位置へ移動させなければならない。

カメラ目標位置の算出には、仮想9軸のマニピュレータ(6軸ステージ+カメラから見た基準 AR マーカの3次元座標)として順運動学を解く(図5)。



Fig. 5 Tilt error of hardware

また、基準 AR マーカを3次元目標位置へ移動するためには、3次元目標位置に対する逆運動学を解くことにより各関節値を算出し、移動距離・角度を求める(図6)。



Fig. 6 Moved stage for target position

5. 結言

本論文では、自律型小型配管検査ロボットと ARToolKit による3次元位置計測器について述べた。また、計測器の精度向上のための3つのキャリブレーションについても述べた。さらに、ハードウェアキャリブレーションの2次元から3次元へ拡張方法についても述べた。

今後は、この3次元位置計測器を用いて、直進制御の検証実験を行い、最適な制御方式を導き出す予定である。

文献

- (1) 前田 弘文, 五百井 清, 大坪 義一, 小林 滋, 高森 年, “レスキューロボットにおけるデバイス管理を容易にするためのミドルウェア開発”, 日本機械学会講演論文集 No.115-1 (2011), p.123~124.
- (2) 前田 弘文, 小林 滋, 高森 年, “レスキューロボットにおけるデバイス管理を容易にするためのシステム開発”, 弓削商船高等専門学校紀要 第34号 (2012), pp.48~53.
- (3) 二宮 綾香, 藤田 和友, 佐々木 俊一, 後藤 幹雄, 前田 弘文, “配管検査ロボットのための試作機設計”, 日本機械学会第43回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 716 (2013).
- (4) 藤田 和友, 伊藤 嘉基, 前田 弘文, “配管検査ロボットのためのモジュール化”, 第14回システムインテグレーション部門講演会(SI2013) (2013), pp.1297~1300.
- (5) 藤田 和友, 佐々木 俊一, 後藤 幹雄, 伊藤 嘉基, 前田 弘文, “モジュール化による配管検査ロボットの小型化”, 日本機械学会第44回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 613 (2014).
- (6) 前田 弘文, 河村 拓弥, 藤田 和友, 伊藤 嘉基, 佐々木 俊一, 後藤 幹雄, “配管検査ロボットに関する研究開発 -第1報: 小型化のための試作機設計-”, 弓削商船高等専門学校紀要第36号 (2014), pp.79~82.
- (7) 前田 弘文, 伊藤 嘉基, 佐々木 俊一, 後藤 幹雄, “配管検査ロボットに関する研究開発 -第2報: メンテナンス向上のための試作機設計-”, 弓削商船高等専門学校紀要第37号 (2015), pp.75~79.