

配管検査ロボット用位置計測器のハードウェア角度補正

Tilt adjustment to measuring instrument for 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. 本論文では, ARToolKit を用いた 3次元位置計測器における角度補正について述べる.

2. 3次元位置計測器

図 1 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. この 6 軸ステージを用いてカメラキャリブレーションを行うだけでなく, 配管内で傾いたロボットを疑似的に表現することが可能となる. 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キャリブレーション, 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. 1 Three coordinate measuring machine

3. 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た上で, 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 2). 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.



Fig. 2 Tilt error of hardware

4. 3つの基準 AR マーカを用いた角度補正

3章で述べた通り、カメラ目標位置の算出には、基準 AR マーカの3次元位置座標を用いている。しかし、これまで1つの基準 AR マーカのみを使用してカメラ目標位置を算出していたため、姿勢精度の誤差が大きい AR 計測では十分な精度を出すことができなかった。

そこで、基準 AR マーカを3つ用いて、精度の悪い姿勢データは使用することなく、信頼のおける位置データのみで基準 AR マーカの姿勢を算出する方法を提案する。

今回基準 AR マーカには、図3に示すものを使用する。なお、実際に使用する基準 AR マーカは、Matrix1, Matrix7, Matrix9の3つである。また、それぞれの基準 AR マーカの中心位置を A, B, C とする。以下に基準 AR マーカ3つを用いた姿勢算出方法を示す。

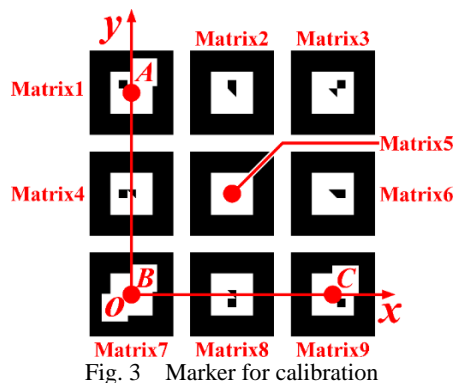


Fig. 3 Marker for calibration

① 直行ベクトルの算出

ARToolKit で読み込んだ中心位置 A, B, C から差分を取ることで、直行する2つのベクトル BA, BC を算出する。

② ベクトルの規格化

①で求めた2つのベクトルを BA (=BC) の距離で割ることで、規格化する(単位ベクトル)。

③ 法線ベクトルの算出

2つの直行ベクトルから法線ベクトルを算出する。

④ 回転行列の導出

2つの直行ベクトルと法線ベクトルから回転行列を導出する。なお、②において規格化したことで、3つのベクトルの要素そのものが、回転行列の各要素となる。

⑤ ロール・ピッチ・ヨーの算出

カメラ目標位置を算出するため、回転行列をロール・ピッチ・ヨーへ変換する。

5. 実験結果

基準 AR マーカ単体で計測を行った結果を図4に、3つの基準 AR マーカを用いて計測を行った結果を図5に示す。実験は初期姿勢からロール方向へ 10 [deg.]傾けた際の計測結果である。なお、初期姿勢に誤差が含まれることを考慮し、図4と図5の傾きは初期姿勢の傾きを差分したものをプロットしている。

図4と図5では、ロール角、ピッチ角に明確な違いが表れており、特にロール角においては精度が向上していることが見て取れる。このことから、今回提案した角度補正は有効であると考えられる。

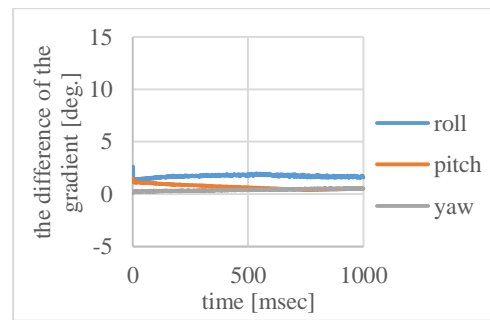


Fig. 4 Measurement result (single marker)

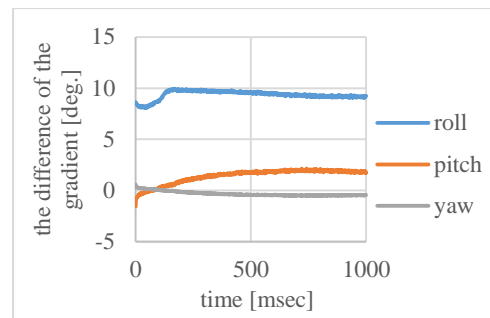


Fig. 5 Measurement result (multiple markers)

6. 結言

本論文では、ARToolKitによる3次元位置計測器について述べた。また、ハードウェアキャリブレーションの2次元から3次元への拡張方法についても述べた。さらに、キャリブレーションに使用するマーカの増加に伴う精度向上についても述べた。

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.