

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 23 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330294

研究課題名(和文) コンクリート構造物のひび割れ自動検査のための壁面画像計測ロボットの開発

研究課題名(英文) Development of image measurement robot for automated inspection of cracks on concrete structures

研究代表者

山口 友之 (YAMAGUCHI, Tomoyuki)

筑波大学・システム情報系・助教

研究者番号：50424825

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：橋梁の検査は5年に一度行われているが、その作業は非常に非効率的かつ危険であり、多くのコストがかかる。これまでに自動検査のための移動ロボットは多くあるが、これらのロボットの実用化には多くの課題が残っている。本申請課題では、マルチコプタ機構と壁面移動ロボットの両方の利点を有する橋梁検査ロボットを開発した。開発したロボットは、ロボットのフレームをコンクリート表面に接触しながら移動する。提案ロボットの有効性を評価するために、壁面移動と床面移動の実験を行い、提案ロボットが安定して移動できることを確認し、提案手法の設計および機構の有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：The inspection of bridge is carried out once in five years. It is so inefficiently and dangerous, spends a lot of cost. There are a lot of mobile robots for automated inspection. However, these robots have problems to apply the practical scenes. In this project, we developed a new inspection robot based on multi-copter and wall climbing robot. The developed robot is designed square frame with four wheels to keep the stability on the concrete surface by pushed the frame. In order to evaluate the developed robot, we performed experiments of the moving on the wall and floor. From the result, we could confirm that the developed robot can be stable motions on the surface.

研究分野：情報学

キーワード：知能ロボティクス

1. 研究開始当初の背景

従来のコンクリート構造物の保全では、損傷が大きくなってから補修する事後保全が行われていたが、近年は損傷が大きくなる前に補修する予防保全を行い、構造物の長寿命化を図ることで、ライフサイクルコストの縮減、品質維持、安全性の向上などを計画的に取り組むことが重要視されている。そこで、維持管理や更新を実施するための技術として、構造物を損傷せずに検査可能な非破壊検査技術が強く求められている。

コンクリート構造物の表面には、構造物の耐震性や材料劣化の進展を推定する上で極めて重要となる「ひび割れ」が生じ、従来は人間の目視により検査が行われていた。目視検査は作業が容易であるため、定期的な検査として有用であるが、検査者の知識・経験などにより結果が左右されてしまうという欠点や、検査範囲が広い場合には非常に労力を必要とする欠点がある。

これに対し、近年の情報処理技術やロボット技術の進歩に伴い、ひび割れ検出・計測に関しては画像処理技術を用いた専用装置が開発され実用化されつつある。しかし、画像データを解析し、自動的にひび割れ検出・計測を行うことを目的としたものがほとんどであり、完全な自動検査には至っていない。データ解析の自動化だけではなく、画像データの取得時から自動的に行うことが、完全な自動検査を実現するためには必要な技術である。

トンネル壁面の検査に関しては、画像データを自動的に取得するロボットシステムの開発も行われているが、大型なシステム構成であり、建造物の構造も単一であるため、適用範囲が限定される。一方、高架橋や橋梁なども定期点検は重要であり、橋の裏側には柱や梁があるため構造や形状が多様多様で複雑である。そのため、トンネルとは異なり専用機器の開発は遅れており、現在の点検も人手がほとんどである。従って、小型でかつ多様な構造に適用可能なロボットシステムの開発が急務とされる。小型ロボットに関しては、壁面移動可能なロボットの開発が進んでいるが、これらのロボットは落下する危険を常に帯びおり、壁面作業を行うロボットの安全を考慮することも実用化のためには必要である。

2. 研究の目的

本研究は、コンクリート壁面の画像取得から解析までの全ての過程を自動的に行うことが可能な、完全自動検査を実現することである。そのため、本研究課題では、点検車両を使用せずに交通規制等も行わない方法として、橋の下から検査可能な画像処理技術の開発および検査ロボットを開発する。さらに、検査ロボットが安定して橋梁を移動可能な設計および制御理論の確立を行う。

3. 研究の方法

遠方から撮影する場合には、高架橋に勾配がある場合にはカメラと表面までの距離や角度が不均一となり、ひび割れ計測の精度が重要となる。一方、検査ロボットにより画像獲得を行う場合には、コンクリート平面と画像検査ロボットのカメラが常に正対することが実現できれば、接写撮影することが可能である。

そこで、本研究では、(1)遠方撮影する場合と、(2)ロボット撮影する場合の二通りの方法を基礎的に検討する。

図1に本研究課題の対象とする橋梁の例を示す。本手法では、橋梁を3次元平面で構成されていると考える。つまり、橋梁は橋脚、床面、天井面からなり、各平面に対して遠方撮影する場合と、ロボット撮影する場合を考慮し、特に後者の場合には、各平面に接触しながら移動するロボットを開発し、そのロボットが移動しながら検査を行う。



図1 本研究の対象である橋梁の例

4. 研究成果

(1) 遠方からの画像撮影システム

実構造物の橋梁のコンクリート床面を対象とし、ひび割れの画像撮影、画像計測を実施し、照明条件、撮影範囲、撮像解像度の実適用に向けた基礎仕様の検討を行った。

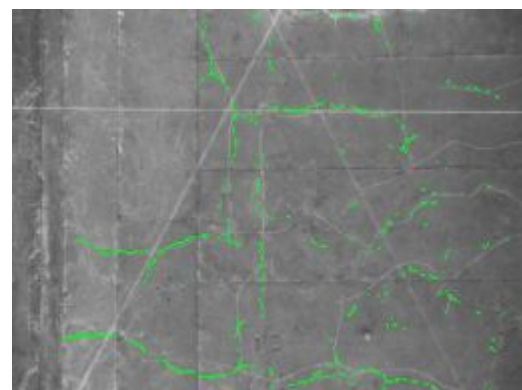


図2 ひび割れ検出の結果例

撮影時の天候条件が重要である点、また撮像解像度は 0.5mm/pixel 以下の水準が高精度な画像解析には必要であることを確認した。図 2 にひび割れ計測の結果例を示す。また、現状のシステムでは 10m 離れた位置から撮影した場合でも計測精度が維持することができ、0.5mm/pixel の解像度で 0.2mm 幅のひび割れを計測できることが確認できた。

今後は、実験を重ねて理論の確認と、適用範囲の明確化を行う予定である。

(2) 平面移動型ロボット技術

図 3 に平面への押し付け力によって移動する平面移動ロボットのデザインを示す。

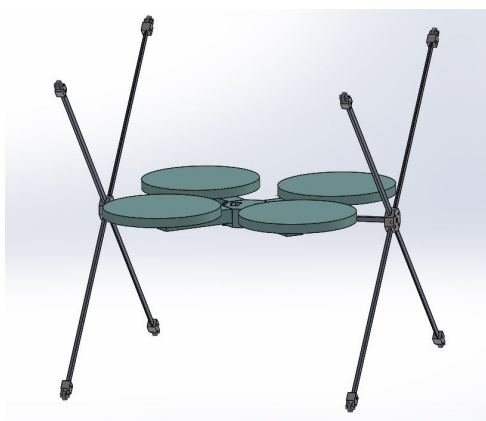


図 3 ロボットのデザイン

提案ロボットは、壁面を移動する場合には、ロボットを進行方向つまり移動する面に傾け、フレームを通してロボット自身を壁面に押し付けながら移動する。一方、天井面の移動では、プロペラの回転数を上げて上昇し、フレームを天井面に押し付け、進行方向に機体を傾けることで移動することが可能である。

これらの移動を実現する上での設計指針として、まず、フレームの重量は極力軽量であることが望ましい。そのため、今回は立方体を形作るフレームを開発する際、立方体の面や辺は作製せずに対角部分のみを作製した。機構の中心となるマルチコプタへの装着にはマルチコプタに軸受けを設置し、その左右に正方形を形作るための X 型のフレームを装着する。また、左右のフレームの先端には接触しながら移動するための車輪を設置した。これにより、フレームはマルチコプタとは独立して回転するため、フレームが常に壁面などの平面と接触することが可能になる。

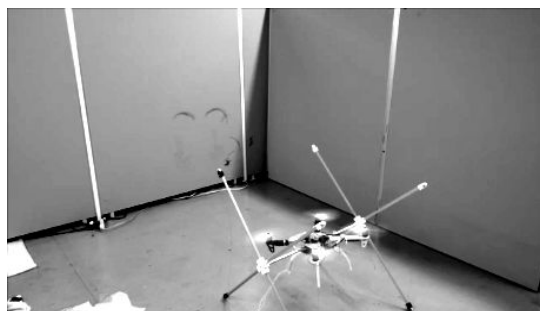
さらに、ロボットと平面の接触を計測するために、本研究では接触時にマルチコプタとフレームの間の接続部分にかかる圧力を接触時の力として、フレームの軸受け部分で計測することとした。

開発するロボットの仕様は、マルチコプタ機構が重量 1075g であり、飛行可能重量が 1600g である。そのため、フレームおよびセンサ類の重量を 500g 程度に抑える必要があった。そこで、フレームには軽量なアルミ複合材、アルミ材、3D プリンタにより作製した ABS 樹脂部品を使用した。完成した開発機体の重量は約 1580g である機体全体の重量が、飛行可能重量とほぼ同等となり、今回はカメラ機構を取り付けるまでには至らなかった。そのため、本研究では、画像撮影実験は行わず、接触移動が可能であるかについての移動の評価および検証を行った。

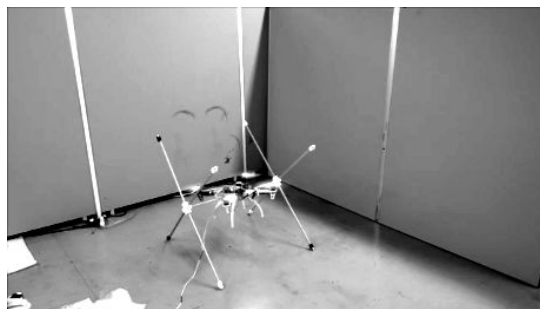
具体的には、床面および壁面に対して接触を維持した移動の確認をし、その際のセンサ出力による押し付け力を計測した。実験環境は、風などの外乱のない屋内で水平平面および垂直平面の移動を行った。

(A) 床面移動実験 (水平平面移動)

図 4 に床面移動実験の結果を示す。実験より、マルチコプタのファンを回転させ、かつ機体を傾げることで、床面をなめらかに移動できていることが確認できた。



(1) 1s



(2) 20s

図 4 床面移動実験

また、床面への押しつけ力は、完全に浮いた状態の約半分であった。提案ロボットは移動車輪を有するため、床面移動では半分程度の負荷で移動することが可能であることが確認できた。

(B) 壁面上昇実験（垂直平面移動）

ロボットは壁面に接触を保ちながら，上昇移動することが可能であることを確認した．また，壁面方向に機体を傾けることで，壁面方向へ常に押しつけ力を発生させることができ，安定した壁面上昇を実現することができた．また，押し付ける力は，機体の傾きおよびプロペラの回転数で操作することが可能であることを確認した．

以上より，X型フレームを有する3次元平面移動ロボットの試作の仕様を確認することができた．今後は天井面での走行，機体の軽量化によるカメラ機構の搭載，画像検査の実地実験などが挙げられる．

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔学会発表〕（計7件）

- [1] T.Yamaguchi, R.Nakui, A Mobile Robot Based on Multi-Copter Mechanism on Three-Dimensional Surface, Proc. of SICE Annual Conference 2016, pp.76-79, Epochal Tsukuba(Ibaraki, Tsukuba), Sep. 2016(査読有).
- [2] K.Tsukamoto, T.Yamaguchi, Development of Intra-oral Interface of effect Change Taste Continuously by using Electrical Stimulation, Proc. of SICE Annual Conference 2016, pp.527-530, Epochal Tsukuba(Ibaraki, Tsukuba), Sep. 2016(査読有).
- [3] T. Yamaguchi, Human Interface for Measurement, 2016 AEARU Young Researchers International, Epochal Tsukuba(Ibaraki, Tsukuba), Sep. 2016(査読無).
- [4] 名久井涼, 山口友之, マルチコプタ機構を用いた三次元平面移動検査ロボットの試作, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, pp. 2P1-10a5, パシフィコ横浜(神奈川・横浜) Jun. 2016(査読無).
- [5] 塚本和樹, 山口友之, 電気的刺激を利用した食味の変化を継続的に提示する口腔内設置型インタフェースの開発, 電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ/NOLTA ソサイエティ大会講演論文集, pp.H-2-29, 九州大学(福岡・福岡), Mar. 2016(査読無).
- [6] 西尾智彦, エンリケズギエルモ, ヤップフェイ・イー, 山口友之, 橋本周司, ハプティックディスプレイによるロボットアームの状態把握と操作, 電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ/NOLTA ソサイエティ大会講演論文集, pp.H-2-26, 九州大学(福岡・福岡), Mar. 2016(査読無).
- [7] 勝又紀章, 山口友之, VDT 作業における

画像処理を用いた疲労顔の計測, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, pp.D-9-10, 立命館大学(滋賀・草津), Mar. 2015(査読無).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口 友之 (YAMAGUCHI, Tomoyuki)

筑波大学・システム情報系・助教

研究者番号: 50424825