

令和 2 年 9 月 3 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00360

研究課題名(和文) 橋梁移動ロボットの安定化による高精度ひび割れ検査

研究課題名(英文) Accurate crack inspection by stabilizing bridge mobile robot

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) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：強風下でロボットの安定した飛行を実現することは、コンクリート構造物の画像ベースの検査の重要な問題の1つである。本研究は、コンクリート表面上を移動するように最適化された外骨格を備えたマルチコプタ型ロボットを開発した。ロボットが壁面に接触しながら移動することができ、開発した風速センサとその制御手法から、壁から一定距離の安定した飛行を実現するため、検査用の画像処理に適用できるブレのない画像撮影を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、飛行ロボットは風等の外乱によって姿勢維持が困難であり、移動が不安定になる学術的技術課題に対して、ロボットの機体を押しつけることで、落下による危険性を押し付けるメカニズムにより回避するだけでなく、この押しつけ力により風速7m/s環境下においても耐えうる移動の安定化を実現した。また、本手法はロボット機体のフレームが常にコンクリート表面に接地することになるため、カメラ機構と撮影対象のコンクリート表面の幾何的な関係は常に同じで、かつ距離は一定となる。これにより、画像検査に最適な画像を高品質に取得することができることが可能となり、実社会現場における構造物検査ロボットの基盤となることを示した。

研究成果の概要(英文)：To realize stable flights of the robot under strong winds is one of the crucial problems of image-based inspection of concrete structures. This research achieved a multi-copter-type robot with an outer frame which is optimized to move on the concrete surfaces. The developed robot enables a multi-copter to fly by contacting to wall surface continuously and realizes stable flights with a certain distance from a wall by using the wind sensor in order to capture the image without any blurs which can be applied to the image processing for inspection.

研究分野：計測情報工学

キーワード：橋梁検査ロボット 画像検査 維持管理技術

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

コンクリート構造物の保全では、従来のスクラップアンドビルドの時代から脱却し、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、安全性の向上等の計画的な取り組みが極めて重要となっている。交通インフラにおいて重要な役割を果たす橋梁は、建設後 50 年を経過する道路橋が 2013 年 18% に対し、2023 年には約 43%になるとされ、急速な高齢化が深刻であり、橋梁検査の自動化技術が注目されている。

ロボット技術による橋梁検査では、複数のプロペラにより飛行するドローンが構造物検査の方法として近年注目を浴びている。ドローンは空中でホバリングを可能とし、橋梁の下の空間を自在に飛行できるため、カメラ検査の適用が試行されており、落下や構造物との接触を避けるため、プロペラを保護するフレームを装着し、衝突の衝撃の吸収や軽減方法(山田 2014, 田所 2014)等も提案されている。しかし、風等の外乱が加わり姿勢が不安定になると、ホバリング維持や移動が困難となり、肝心なカメラ画像にブレやボケが生じる。従って、ロボットによる自動検査を目指す上で、ボケやブレのない高画質な画像を獲得することの自動化技術であることが根本的に必要である。

2. 研究の目的

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高精度かつ自動的に行うことが可能な、「高精度自動検査」を実現することである。そこで、本研究では、研究期間内の達成目標として、以下の 2 つの研究を進展させた。

- (1) コンクリート表面を安定して撮像可能な橋梁検査ロボットの開発
- (2) 近接撮影による高画質画像獲得手法の確立

以上の研究課題を 3 年内に実現し、コンクリート表面上のロボット画像検査技術を確立する。

3. 研究の方法

- (1) コンクリート表面を安定して撮像可能な橋梁検査ロボットの開発

コンクリート表面の検査等、実作業を行う移動ロボットは、単体で作業を行うと落下の危険を回避することはできない。また、飛行ロボットは風などの外乱によってホバリングの維持が困難であり、移動が不安定になる。これに対して、本研究では、マルチコプタ機構のプロペラ回転による推進力を外骨格となるフレームを通して平面に押し付けることによって、安定した移動を実現する。マルチコプタ型ロボット用の風速センサを開発し、外力を計測することで、外乱環境下でも押しつけ力を制御し、安定した姿勢維持を実現する。

- (2) 近接撮影による高画質画像獲得手法の確立

遠方から橋梁の表面を撮影する場合には、橋梁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、幾何補正による画質劣化やピンボケが生じる。そのため、コンクリート表面を撮像する際に、壁面と画像検査ロボットのカメラが正対することと、その間の距離が一定であることが計測精度を考慮した上で重要になる。本研究では、コンクリート表面を車輪で移動しながら近接撮影する。ロボット機体のフレームが常にコンクリート表面に接地することになるため、カメラ機構と撮影対象のコンクリート表面の幾何的な関係は常に同じで、かつ距離は一定となる。

4. 研究成果

- (1) 開発した橋梁検査ロボットのシステム概要

提案手法のロボットを図 1 に示す。機体の総重量は 2.16(kg)、マルチコプタ機構には市販の DJI 社製 F550 Flame Wheel に 3D Robotics 社製のフライトコントローラー pixhawk1 を搭載したものを用いた。バッテリーには 3S11.1V(1800mAh)のリチウムポリマーバッテリーを使用した。モータ (DJI 2312E 960KV) 1 つ当たりの製造会社の仕様上最大静止推力 800 (g) であるため、マルチコプタの最大推力は 3.20(kg)である。接触用フレームは軽量かつ強度があるカーボンと自作した PLA 樹脂製のパーツによって組み合わせ製作することで機体の軽量化と強度の確保を行った。

計測機構には外骨格の中心軸に実際に加わる力を計測するため起歪体としてビーム型ロードセル(SC133-20kg)を用いている。また、風速計はモータにプロペラを取り付け、プロペラが風から受ける力によってモータを回転させ、その発電量により風速を求めるものである。計測装置の位置は、機体に真横から加わっている風圧を計測するために機体中心軸上にあることが必要である。また、マルチコプタのプロペラが回転することによって生じる風の影響を抑えるために可能な限りプロペラから距離があることが好ましい。そのため、外骨格フレームの中心軸の延長線上のフレームの外側の左右にモータ中心軸が来るように取り付けた。

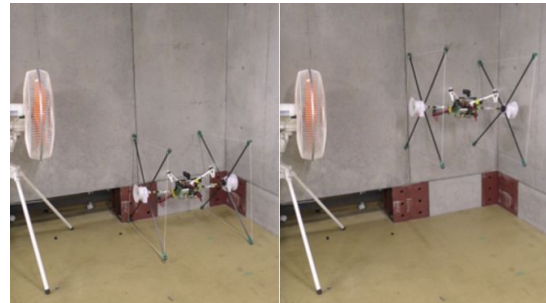
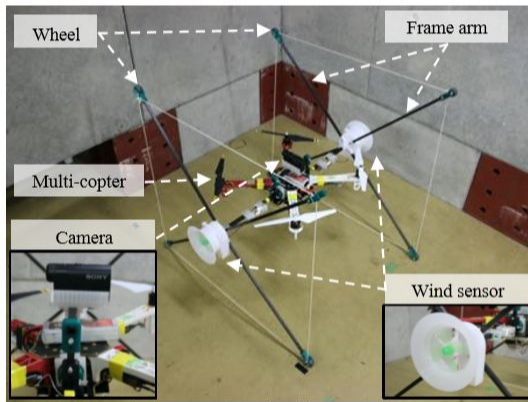


図1 開発した橋梁検査ロボット 図2 外乱環境下での実験の様子

(2) 外乱環境下でのロボットの安定化実験

開発したロボットが横風の影響を受けた際の押し付け制御と、姿勢の安定を確認する実験を行った。本実験では、機体の横から扇風機で外乱となる風を吹かせた状態で、ロボットの姿勢、位置維持のための制御を行う。そして、その時の風速の測定値に応じた力によって機体を壁面に押し付け、位置と姿勢が維持できているかどうかを観察する。風速は0m/sから7m/sの状態の評価を行った。

図2に実験の様子を示す。押し付けがあるときは押し付けがない場合と比較して外乱の中でも横滑りが生じないことが確認できた。この実験により、提案手法の機体の押し付けによって風による横滑りを抑えることが出来ることが確認された。

(3) コンクリート表面のひび割れ画像計測実験

また図3は実験時にコンクリート表面上のひび割れを画像撮影したものである。0.1mmや0.2mm等の微小なひび割れを提案ロボットの画像センサから計測できていることが確認でき、提案手法による高品質な画像撮影技術の有効性を確認した。

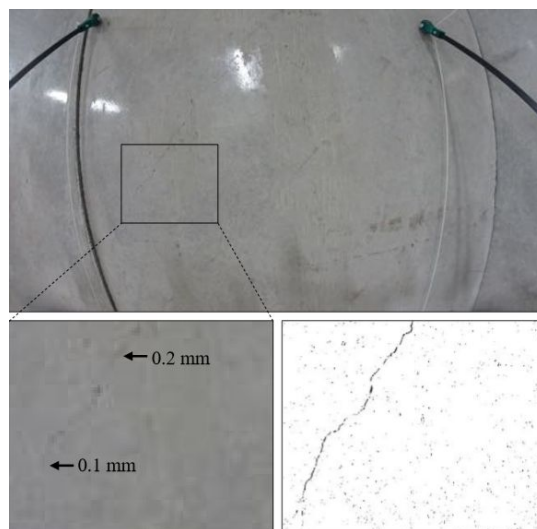


図3 画像撮影・画像計測の様子

(4) まとめ

本研究は計測した押し付け力と外乱を姿勢制御に利用することで、マルチコプタ機構を用いた三次元平面移動ロボットの姿勢維持と画像計測の有用性の検証を行った。今回開発したロボットが平面に対して押し付けを行うことで風速7m/sの外乱がある中でも位置と姿勢を維持することが可能なことを確認し、0.1mmのひび割れを画像計測することができることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 坂本真, 山口友之
2. 発表標題 外乱環境下での三次元平面移動ロボットの姿勢制御
3. 学会等名 電子情報通信学会大会講演論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 還田匡, 山口友之
2. 発表標題 MRHMDを用いたひび割れ検査支援システムの試作
3. 学会等名 電子情報通信学会大会講演論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村勇輝, 山口友之
2. 発表標題 マルチコプタ型斜面移動ロボットの滑り解析
3. 学会等名 電子情報通信学会大会講演論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koki Hagiwara, Akira Yasojima, Takeshi Shibuya, Tomoyuki Yamaguchi
2. 発表標題 Real-Time Defect Detection Method without Training Data for Hammering Test Support System
3. 学会等名 IEEE/SICE International Symposium on System Integration 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 秋原恒樹, 八十島 章, 澁谷長史, 山口友之
2. 発表標題 打音検査の教師データ無しリアルタイム欠陥診断手法の提案
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hagiwara Koki, Yamaguchi Tomoyuki
2. 発表標題 A method for supporting hammering test by visualization of defect diagnosis on the concrete surfaces
3. 学会等名 2017 56th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuki Nishimura, Makoto Sakamoto, Tomoyuki Yamaguchi
2. 発表標題 Development of Multi-copter System on Concrete Surfaces with Outer Frame and Wind Speed Sensors
3. 学会等名 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoyuki Yamaguchi, Masashi Kanda, Takeshi Shibuya, Akira Yasojima
2. 発表標題 Crack Inspection Support System for Concrete Structures Using Head Mounted Display in Mixed Reality Space
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Nishimura, Tomoyuki Yamaguchi
2. 発表標題 Development of Grass Cutting Mobile Robot for Steep Slope with Multi-Copter-based Attitude Stabilization
3. 学会等名 SICE Annual Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村勇輝, 山口友之
2. 発表標題 マルチコプタ型急斜面移動ロボットの姿勢制御
3. 学会等名 ロボットメカトロニクス講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂本真, 山口友之, 西村勇輝
2. 発表標題 外乱環境下での三次元平面移動ロボットの姿勢制御手法の提案
3. 学会等名 ロボットメカトロニクス講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 還田匡, 山口友之, 西村勇輝
2. 発表標題 MRHMD を用いたひび割れ検出結果提示による検査支援システムの試作
3. 学会等名 ロボットメカトロニクス講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	澁谷 長史 (SHIBUYA TAKESHI) (90582776)	筑波大学・システム情報系・助教 (12102)	