

クローラロボットを用いた屋外監視ロボットシステムの開発

○川崎 修平 (九州大学), 松本 耕平 (九州大学), 河村 晃宏 (九州大学),
山科 亮太 ((株)リコー), 青木 惇季 ((株)リコー), 倉爪 亮 (九州大学)

Development of Outdoor-Surveillance Robot System Using Crawler Robot

○Shuhei KAWASAKI(Kyushu Univ.), Kouhei MATSUMOTO(Kyushu Univ.),
Akihiro KAWAMURA (Kyushu Univ.), Ryouta YAMASHINA(Ricoh Co., Ltd.),
Junki AOKI(Ricoh Co., Ltd.), and Ryo KURAZUME(Kyushu Univ.)

Abstract : In this paper, we propose an autonomous surveillance robot system using a crawler robot. The proposed crawler robot is equipped with advanced sensor systems including night vision cameras, an omnidirectional laser scanner, QZSS, and Network-RTK-GNSS. We introduce the mechanism of the teleoperated and automatic driving system of the surveillance robot and show the demonstration experiments in indoor and outdoor environments at night.

1. 緒言

近年, 少子高齢化に起因する様々な社会問題に対して, IoT, ロボット, 人工知能等の新たな技術を導入して解決を図る取り組みが加速している. 特にロボット分野に関しては, サービスロボットによる 3K(きつい, 汚い, 危険)作業の補助や代替が期待されている.

我々も現在, 夜間に屋内外を自律で移動し, 人に代わり異常や不審者の発見を行う警備ロボットシステムの開発を行っている. これまでに, 既存のクローラロボット ((株)リコー) をベースに, 高ギヤ比超偏平アクチュエータ (日本電産シンポ) を採用したクローラロボットを新たに開発した. また, 日本版 GPS である準天頂衛星システム (QZSS) のセンチメートル級測位システム (CLAS), および高精度 RTK-GNSS として昨年 11 月から NTT ドコモが提供を開始した「docomo IoT 高精度 GNSS 位置情報サービス」(Network-RTK-GNSS) を用い, 高精度な測位および遠隔操縦・自律移動が可能な監視ロボットシステムを構築した. 本稿では, 開発したシステムについて述べた後, 本システムを用いた夜間屋内での遠隔操縦実験, および夜間屋外での長距離自律走行実験の結果について報告する.

2. ハードウェア

本章では, RTK-GNSS や全周センサ, 暗視カメラなど, 開発した移動監視ロボットを構成するハードウェアについて述べる.

2.1 クローラロボット

ベースとなるロボットには (株)リコー製のクローラロボット (Fig. 1) を採用し, ロボットの高精度な位置制御を実現するために, 車椅子用インホイールアクチュエータをエンコーダ付き高ギヤ比超偏平アクチュエータに置き換えた. 開発したクローラロボットは走破性が高く, 7.5cm 程度の段差であれば乗り越えることが可能である.

クローラロボットには, 制御用 PC として Intel 社の NUC を搭載した. また, 前方 (MCS-E290, インフィニティグラ) および俯瞰 (PENTAX K-1, RICOH) 撮影用が可能な 2 つの暗視カメラと, 高精度な環境認識が可能な 3D-LiDAR (VLP-16, Velodyne), 屋外において高精度測位が可能な QZSS モジュール (MJ-2010-GL1, Magellan Systems Japan) を搭載した (Fig. 2).

2.2 3D-LiDAR

本ロボットには, 移動中の障害物検知と不審者の検出を目的に, Velodyne 社の 3D-LiDAR である VLP-16 を搭載した. VLP-16 の測距範囲は 0.5m ~ 100m であり, 全方位に 16 ラインのレーザを照射し, 全周の距離計測が可能である. 現在は自律移動時の障害物検知のみに用いている.

2.2.1 準天頂衛星システム (QZSS)

準天頂衛星システム (QZSS) とは, 2018 年 11 月より正式運用が開始された, 準天頂軌道 (Fig. 3) を移動する衛星を用いた GNSS である. この軌道上の衛星は日本上空に長くとどまり, 安定して衛星を観測することができ, 観

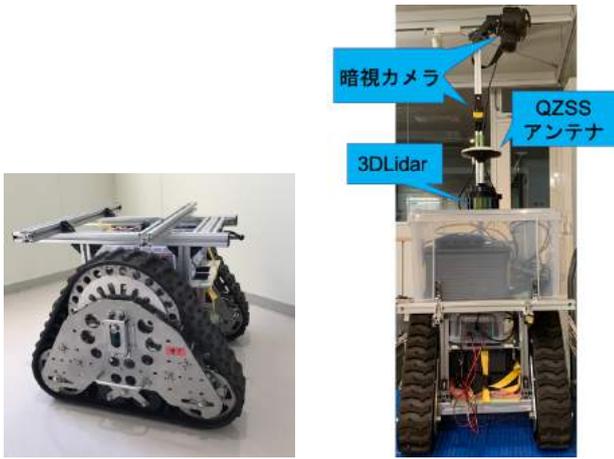


Fig. 1: Base crawler (RI-
COH)

Fig. 2: Developed surveil-
lance robot

測衛星数の増加や、独自の補強信号を用いることでセンチメータ級の測位 (CLAS) を実現している。

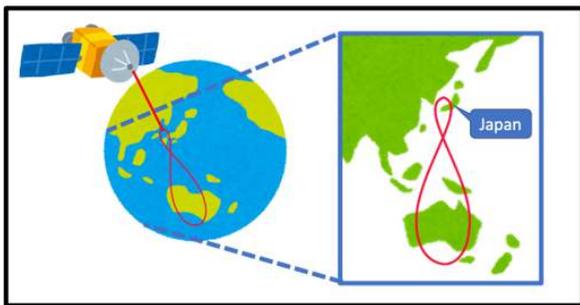


Fig. 3: Quasi-zenith orbit

2.3 Network-RTK-GNSS

docomo IoT 高精度 GNSS 位置情報サービスは、全国 1,300 箇所の電子基準点や NTT ドコモ独自の固定局からリアルタイムに補正情報を取得することで、センチメートル単位での高精度な測位が可能な Network-RTK-GNSS である。RTK 法では、高精度な測位を行うために衛星-アンテナ間に搬送波の波数がいくつあるかを求める。波数の候補を絞り込む過程の解 (測位結果) を Float 解といい、精度は 20cm~ 数 m 程度である。一方、波数を決定した解を Fix 解といい、精度は数 cm となる。通常スマートフォンやカーナビなどで使用される単独測位法では、精度が 5~10m 程度の測位結果しか得ることが出来ないが、RTK 法を用いることでセンチメートル級の測位結果が得られ、ロボットの正確な自己位置推定が可能となる。

2.4 暗視カメラ

夜間走行時のロボット前方および周囲の監視を目的に、前方撮影用のカメラ (MCS-E290, インフィニティグラ) と、ロボット上部から俯瞰画像を撮影するカメラ (PENTAX K-1, RICOH) の 2 つの暗視カメラを搭載した。夜間の暗闇における、それぞれの撮影画像を Fig. 4 に示す。



Fig. 4: Captured images by night vision cameras

3. ソフトウェア

ロボットの遠隔操縦システム、自律走行システムは Robot Operating System (ROS) を利用して開発した。以下、開発したシステムの概要を示す。

3.1 遠隔操縦システム

遠隔操縦システムでは、Joystick によってロボットの並進と回転速度を制御している。また、前方撮影用カメラの映像に物体検知で広く用いられる YOLO.v3[1] (Fig. 5) を適用し、不審者発見のための人の検出を行っている。

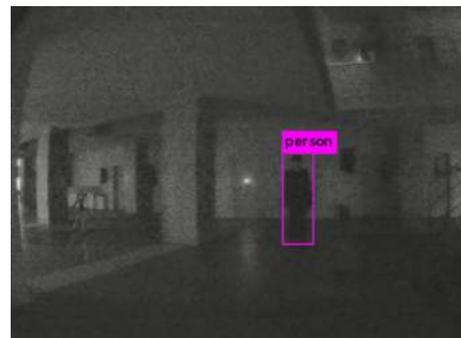


Fig. 5: Person detection by YOLO v3[1] and night vision camera

3.2 自律走行システム

自律走行システムは、ROS の Navigation Stack を利用した。まず、QZSS モジュールや Network-RTK-GNSS モジュールから得られた位置情報と、クローラロボットのホイールエンコーダから得られる車輪の速度情報を拡張カルマンフィルタによって統合し、高精度な自己位置推定を実現する。次に経路生成では、まずユーザによって指示された目標位置までの最短経路 (グローバルパス) をダイクストラ法を用いて生成する。ダイクストラ法では、単純に最短の経路を生成するため、ロボットの運動モデルを考慮していない。そのため、Dynamic Window Approach[2] を用いて、グローバルパスに追従しつつ、障害物を回避しロボットが通れる経路 (ローカルパス) を通るための動作計画を行う。

4. 実験

4.1 遠隔操縦実験

夜間の九州大学伊都キャンパスの構内において、クローラロボットに搭載した暗視カメラの映像を用いた遠隔操縦実験を行なった。本実験における走行経路は、GNSS が利用できない建物内部を一周する約 50m とした。遠隔操縦実験の様子を Fig.6 に示す。



Fig. 6: Teleoperation experiment

実験の結果、2 台の暗視カメラの映像のみで遠隔操縦ができること、前方撮影用暗視カメラの映像に YOLO_v3 を適用することで、人を検知できることが確認できた。

4.2 自律走行実験

九州大学伊都キャンパスの構内において、実際の道路に沿った自律走行実験を行った。本実験における走行経路は、Fig.7 に示す片道距離 420m、幅約 3m の道とし、

移動開始地点から中間地点までを Network-RTK-GNSS、そこから最終地点までを QZSS の補強信号を用いた測位 (CLAS) を用いて自律走行を行なった。自律走行実験の様子を Fig.8 に示す。



Fig. 7: The map for outdoor experiment

実験の結果、開発した監視ロボットは合計距離 840m の自律移動に成功し、Network-RTK-GNSS と CLAS のいずれを用いても、長距離の自律走行が可能であることを確認できた。

5. 結言

本稿では、現在開発している屋内外監視用クローラロボットシステムについて紹介した。今後、屋外におけるより広範囲で安定した自律走行の実現を目指すとともに、通常は自律で監視を行い、必要な時にのみ遠隔に切り替える監視ロボットシステムの実現を目指す。

6. 謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP20H00230 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You only look once: Unified, real-time object detection," in Proc. IEEE Int. Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 779-788, 2016
- [2] D. Fox, W. Burgard, and S. Thrun, "The dynamic window approach to collision avoidance", *IEEE Robotics Automation Magazine*, 4, 1, pp. 23-33, 1997

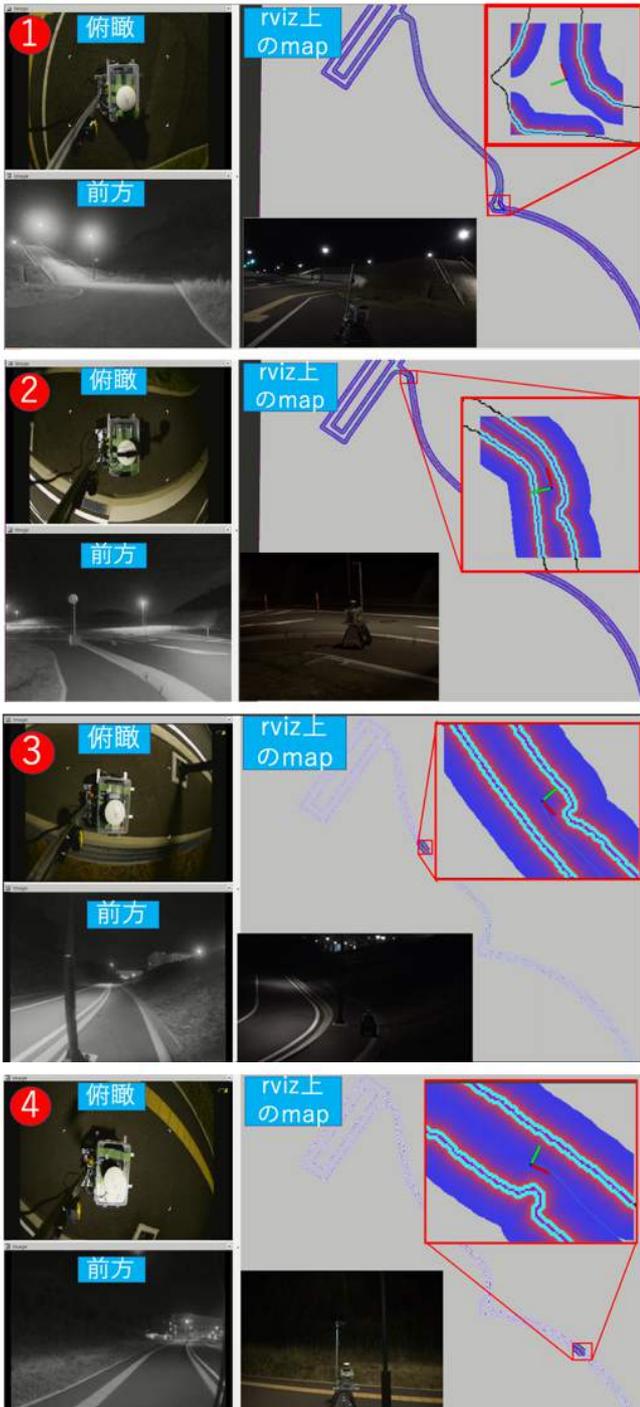


Fig. 8: Automatic navigation experiments in outdoor environment (1,2:Network-RTK-GNSS, 3,4:CLAS)