

通信が不安定な環境におけるハイブリッド通信を用いた 複数台移動ロボットの協調探査

Under an unstable radio communication
teleoperating mobile robots via hybrid connection system

○都築 遼平, 秋山 健, 山内 元貴,
正 永谷 圭司, 正 吉田 和哉 (東北大)

Ryohei TSUZUKI(Tohoku Univ.) , tsuzuki@astro.mech.tohoku.ac.jp
Ken AKIYAMA, Genki YAMAUCHI,
Keiji NAGATANI, Kazuya YOSHIDA (Tohoku Univ.)

When an active volcano erupts, it is important to observe in the area for forecasting debris flood and/or a pyroclastic flow for inhabitants. However, typically, a restricted area is set, such as within a few kilometers radius of the crater. Therefore, we proposed an observation system based on a tele-operated mobile robot via radio communication in active volcanoes. To evaluate the system, we conducted some field tests via 3G communication in Mt. Asama and Mt. Mihara etc. During the experiments, we faced some critical situations that the robot stopped all motion because of weakness of communication signal of 3G. To solve the problem, in this research, we developed a hybrid connection system with multi-robots that is composed of two radio communication lines. In this paper, we explain how the system works, introduce our new robots equipped with the system, and report operation tests on them.

Key Words : Volcano Observation, Mobile Robot, Field Robotics, Hybrid Connection System

1 緒言

活動中の火山の状況を把握することは、今後の噴火予測や、住民の避難計画を策定する上で、非常に重要である。しかしながら、火山活動が活発になると、火口から一定の距離が立入禁止となる。例えば、浅間山では噴火警戒レベルが3に達すると、半径4km以内の立ち入りが制限される。そのため、カメラ等の観測装置を搭載した移動ロボットが無線通信による遠隔操作により、立ち入り禁止区域の探査を行うことが期待されている [1]。

このような背景の下、我々の研究グループでは、広域で通信が可能な携帯回線による小型移動ロボットの遠隔操作実験を、浅間山や三原山などで実施してきた [2]。これらの試験では、小型移動ロボットによる探査の有用性を示すことができたが、山体の凹凸などにより電波が遮られ、通信が確立しない地点が、局所的に多数存在することもわかった。三原山にて、遠隔操作実験を行った際のロボットの走行軌跡(赤線)と通信が確立しなかった位置(紫矢印)を図1に示す。このような通信が確立しない領域にロボットが入り込んでしまうと、ロボットの運用ができなくなってしまう。この問題を解決するため、本研究では、2台のロボットを使用し、2種類の回線を用いたハイブリッド通信系による協調探査手法を提案し、小型軽量の活火山探査ロボット CLOVER[3] に、このシステムを搭載して、その有用性を確かめることとした。

本稿では、2台のロボットとハイブリッド通信を用いた協調探査の手法ならびに、そのシステムを実現するために開発したロボットの紹介、システムの動作試験の結果について報告する。

2 ハイブリッド通信を用いた複数台移動ロボットの協調探査

1種類の回線を用いてロボットを遠隔操作する場合、通信が不可能な領域にロボットが入り込んだ際、ロボット

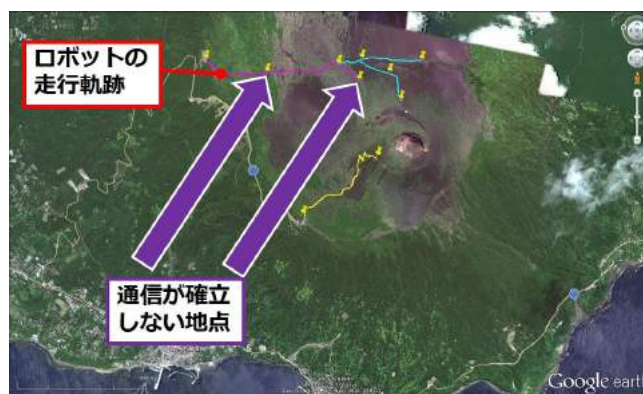


Fig. 1 Traversal path of robots and the locations that the robot failed to communicate with the operator via 3G network in Mt.Mihara.

の操縦を継続することは不可能となる。そこで、本研究では、2台のロボットと2種類の無線通信を利用したハイブリッド通信システムを構築することとした。

このシステムを構築するためには、広域で通信が可能な回線と、比較的近距离で通信が可能な2種類の回線が有用であると考えられる。そこで、本研究では、広域通信可能な3G回線と近距离で高速通信が可能な2.4GHz無線LAN回線(IEEE802.11g)を用いることとする。

2.1 ハイブリッド通信のアルゴリズム

ロボット2台によるハイブリッド通信のアルゴリズムについて説明する。図2に示す通り、ロボット1, 2をそれぞれオペレータ1, 2が操作するものとする。また、オペレータとロボット間の通信には3G回線、ロボット間の通信には無線LANを用いるものとする。

ロボット1, 2ともに3G回線を使用可能な場合(図2),

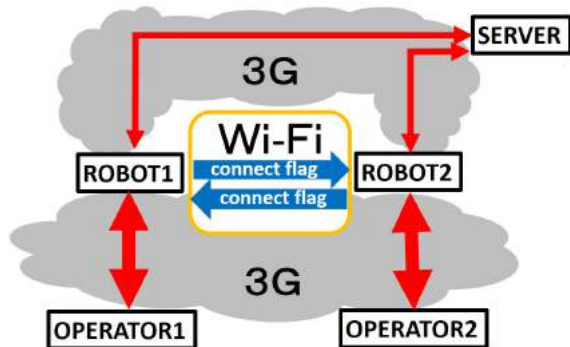


Fig. 2 Teleoperation of two robots via 3G network.

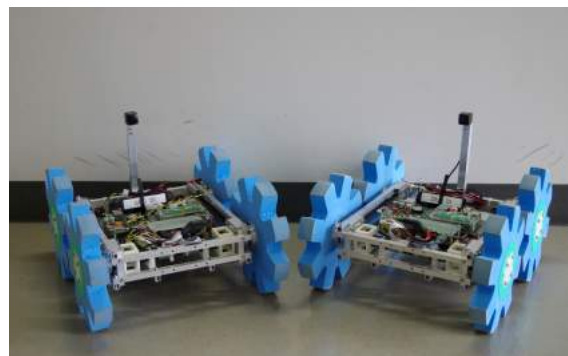


Fig. 4 Small-sized mobile robots: CLOVER.

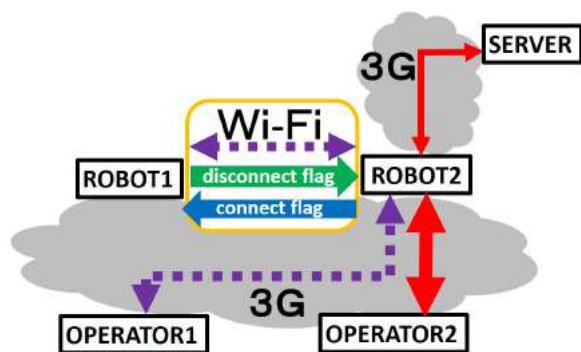


Fig. 3 Teleoperation of robots via combination of 3G network and Wi-Fi.

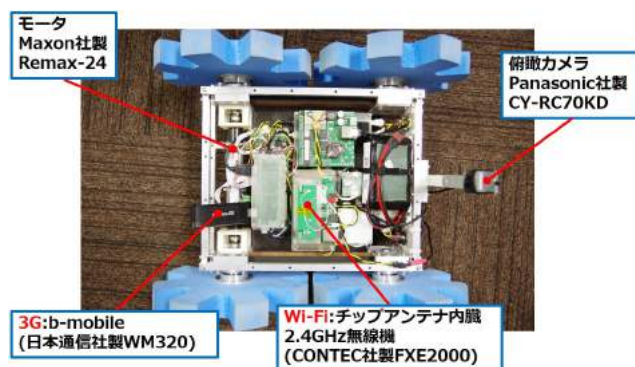


Fig. 5 Overhead view of CLOVER.

各オペレータは3G回線を用いてロボットを操作する。また、この場合ロボットは、自らを操縦するオペレータと通信していることを示すフラグ (connect flag), をもう一方のロボットに送信する。このフラグを受け取っている間、ロボットは自らを操縦するオペレータからのみ、アクセスを許可する。次に、オペレータ1とロボット1の間の3G回線が切れた場合 (図3), ロボット1はオペレータ1との通信が切れたことを示すフラグ (disconnect flag) を無線LANを通してロボット2に送信する。そのフラグを受け取っている間、オペレータ1からアクセスがあれば、ロボット2は無線LANによりロボット1にアクセスし、オペレータ1とロボット1との通信を中継する。ロボット2とオペレータ2との回線が切れたときも、同様の方法でロボット1を経由して、オペレータ2はロボット2にアクセスすることができる。

なお、このシステムでは、ロボットは通信が切れたことを判断するため、3Gにて外部のサーバからのping応答の確認を行う。

3 活火山探査ロボット CLOVER の開発

2台のロボットとハイブリッド通信を用いた協調探査を実現するため、本研究では、小型かつ軽量の車輪型移動ロボット CLOVER4号機, 5号機を開発した。

図4にCLOVER4号機 (左), CLOVER5号機 (右) の外観を示す。また、図5にCLOVER4号機の俯瞰図を示す。両機ともに全長400[mm], 全幅350[mm], 全高300[mm], 重量は4[kg]である。ネットワーク機器として、4, 5号機

ともに、3G回線を用いるためのb-mobile端末 (日本通信製WM320), 2.4GHz無線機 (CONTEC社製FXE2000) を搭載した。また、ロボット全体を俯瞰しつつ操縦するため、後方上部に、俯瞰カメラ (Panasonic社製CY-RC70KD) を搭載した。コントロールシステムとしては、組込PC (アットマーク社製 Armadillo-810シリーズ) とマイコン (SH2/7144), モータ (maxon社製REmax-24 12V) を2個, およびモータドライバ (HiBot社製3-Axes DCPower Module) を搭載した。またバッテリーには、リチウムフェライトバッテリー (A123社製LiFePO₄, 13.2V, 2300mAh) を利用した。

4 動作試験

4.1 無線LAN機器の使用可能距離

本研究において確認すべき重要事項の1つとして、ロボット間の無線通信可能距離が挙げられる。そこで、ロボット間の無線LAN通信可能距離を測定するため、ロボットに搭載した2.4GHz無線機にPCを接続し、ping応答の可否によって通信可能距離ならびにスループットを計測した。これらの計測は屋外環境平坦地 (東北大青葉山キャンパス機械系2号館裏駐車場) にて行った。計測結果を図6に示す。

まず、ping応答であるが、無線機間距離25m地点以降で通信が不可能になった。また、25m地点でのスループットが5.98Mbpsであった。これにより見通しのある環境においては、ロボット間距離が25m以内での、このシステムの運用が可能であることが分かった。

4.2 ハイブリッド通信の切り替え時間

ロボットに積載できるバッテリーの量には限界がある。そのため、通信不可能な時間が長時間に及ぶと、バッテリー電圧の減少によりロボットの操縦が困難となることが予測される。実装したロボットシステムでは、通信経路の切り替えに、ある程度の時間がかかってしまうが、これがどの程度ミッション時間に影響するかを調べるため、以下の(1), (2)の試験を行い、本システムの切り替え時間を測定した。

- (1).3G 通信から 3G と無線 LAN 併用通信への切り替え
- (2).3G と無線 LAN 併用通信から 3G 通信への切り替え

計測回数は5回とし、切り替え時間はその平均値とした。なお、本試験では、3G 回線切断時の状況を模擬するために、b-mobile 端末にアルミホイルを巻いて 3G 回線を遮断した。また、通信先をリアルタイムで把握できる簡易なコンソールアプリケーションにて、通信の切り替えのモニタを行った。

結果を表1に示す。(1)では、3G 通信切断後から、通信が切り替わるまでにかかった時間の5回の平均値は約50秒であった。試験(2)では、通信回復後から、通信が切り替わるまでにかかった時間の5回の平均値は15秒であった。以上より、(2)より(1)の方が、通信の切り替えに時間がかかることが分かった。

4.3 通信の切り替え前後の操作性の評価

3G のみでの通信より、無線 LAN を経由した通信の方が一段増えているため遅くなり、ロボットの操作性に影響が出ることが予測される。そこで、通信経路の違いにより、操作性に違いがみられるかどうか、複数オペレータによる操縦にて検証した。

具体的には、全長約 10 m のコースを設定し、そのコースにて、3 人のオペレータがロボットを操縦し、通信の切り替え前後でのスタート地点からゴール地点までのタイムを計測した。その実験結果を表2に示す。3G のみの時と 3G/無線 LAN 回線を併用したときでは、平均の操作時間は5秒ほど差があり、これは全体の操作の約4%であった。若干の影響は出たが、両者は操作性にそれほど違いがないといえる。

Table 1 Comparison of switching time of connection between robots.

	3G → 3G/無線 LAN	3G/無線 LAN → 3G
1 回目	44 秒	22 秒
2 回目	46 秒	11 秒
3 回目	48 秒	14 秒
4 回目	54 秒	20 秒
5 回目	56 秒	9 秒
平均	50 秒	15 秒

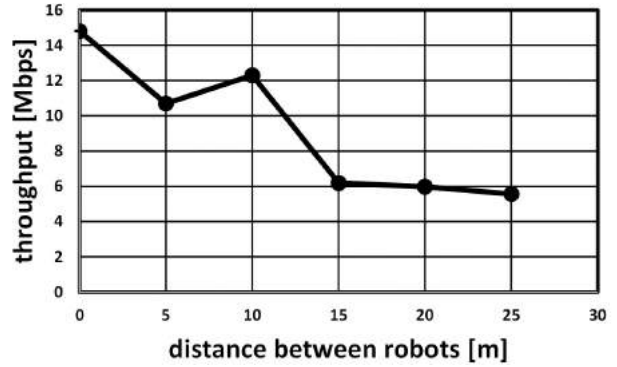


Fig. 6 Communication throughput between robots.

5 結言

本研究では、2 台のロボットとハイブリッド通信を用いた協調探索のアルゴリズムについて提案し、そのシステムを検証するために開発した火山探査ロボット CLOVER4, 5号機を開発した。また、ロボット間通信の可能距離を測定するため、無線機の性能を評価した。さらに、ハイブリッド通信の切り替え試験を行い、切り替わる時間の計測、切り替え前後の操作性の検証を行った。これにより、ハイブリッド通信の切り替え前と後では、操作性にそれほど違いが見られないことが確認できた。

今後は、実際の火山環境において本システムの運用実験を行い、より実用的なシステムの開発を進めていく予定である。

文献

- [1] 永谷 圭司, 安藤 詳平, 飯野 勝博, 西 真佐人, “火山噴火後の遠隔調査システムの開発”, 砂防学会誌 Vol.65, No.6, pp.56-60 (2013-03)
- [2] 山内 元貴, 秋山 健, 高橋 悠輔, 永谷 圭司, 吉田 和哉, 羽田 靖史, “車輪型軽量火山探査ロボットの開発と遠隔操作試験”, 第 13 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 論文集, pp.652-654 (2012-12)
- [3] 永谷 圭司, “活火山地域における遠隔調査を目的とした移動探査ロボットシステムの研究開発”, 河川 2013 年 10 月号 (2013-10)

Table 2 Comparison of total time of teleoperation of robots.

	3G のみ	3G/無線 LAN
オペレータ 1	2 分 23 秒	2 分 27 秒
オペレータ 2	2 分 11 秒	2 分 19 秒
オペレータ 3	2 分 25 秒	2 分 30 秒
平均	2 分 20 秒	2 分 25 秒