

平成 28 年 7 月 25 日
国立研究開発法人情報通信研究機構
国立研究開発法人産業技術総合研究所
国立研究開発法人科学技術振興機構
内閣府政策統括官(科学技術・イノベーション担当)

電波が直接届かない環境でもロボットを安定に制御する技術を開発 ～上空のドローンを経由し、見通し外の小型四輪ロボットを遠隔制御できることを実証～

ポイント

- 他のロボットを経由して見通し外にあるロボットの遠隔制御をする無線通信技術を新たに開発
- 移動によりロボット間の通信経路が切り替わる際でも通信は途切れることなく継続
- 障害物などで電波が途切れやすい環境での、遠隔操縦ロボットの安定した制御操作への貢献が期待

内閣府 総合科学技術・イノベーション会議が主導する革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) タフ・ロボティクス・チャレンジ(プログラム・マネージャー: 田所 諭)の一環として、国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT、理事長: 坂内 正夫)及び国立研究開発法人産業技術総合研究所(産総研、理事長: 中鉢 良治)のグループは、制御用の電波が直接届かない場所(見通し外)にあるロボットを他のロボットを経由して遠隔制御し、かつその状態を監視する技術を開発しました。実験では、見通し外にある小型四輪ロボットに対し、上空のドローンを経由してコントロールすることを実証しました。この技術は、ロボット間による中継経路がその移動により頻繁に切り替わる際でも通信を切断させないことを可能とする手法を採用しており、世界でもまだ実現した例がありません。これまでの技術では、中継経路が切り替わるたびに通信が切断され、ロボットがその間、操縦不能になるという問題がありました。この技術によって、通常は制御不能になる見通し外を動き回るロボットに対しても、他のロボットが協力して周囲の環境に適応しながら安定に制御通信回線を確保することができ、電波が伝わりにくい環境に対してタフなロボットシステムの実現に貢献できます。

本成果は、以下の事業・研究プロジェクトによって得られました。

内閣府 革新的研究開発推進プログラム (ImPACT)
<http://www.jst.go.jp/impact/>



プログラム・マネージャー: 田所 諭
研究開発プログラム: タフ・ロボティクス・チャレンジ
研究開発課題: タフ・ロボティクスのためのタフ・ワイヤレス技術の研究開発
研究開発責任者: 三浦 龍 (国立研究開発法人情報通信研究機構)
研究期間: 平成 27 年度～平成 28 年度

本研究開発課題では、電波の伝わりにくい環境下においても切れにくいタフなロボット制御用無線通信技術の研究開発に取り組んでいます。

<田所 諭 プログラム・マネージャーのコメント>



ImPACT タフ・ロボティクス・チャレンジは、災害の予防・緊急対応・復旧、人命救助、人道貢献のためのロボットに必要不可欠な、「タフで、へこたれない」さまざまな技術を創りだし、防災における社会的イノベーションとともに、新事業創出による産業的イノベーションを興すことを目的とし、プロジェクト研究開発を推進しています。

災害現場での緊急対応や平時の災害予防(点検等)のためのロボットには、無線通信による遠隔操作や情報の伝送が必須です。ところが、構造物の陰に隠れたり、地形や樹木の影響によって電波が遮られ、通信が不安定になるという問題があり、ロボットを運用する際の大きな問題点となっていました。

本研究は、無線通信を中継するためのロボットが間に入ることによって、通信の遅れを最小限に押さえながら安定した通信を確保するための実用技術です。無線通信のタフさを改善することにより、途切れることのない情報伝送や遠隔操作の実現という非連続イノベーションを達成したところに意義があります。

今後実用化を進めることによって、大規模災害における通信手段の安定性を飛躍的に向上させるとともに、インフラ・設備点検などへの広い波及効果が期待されます。

<研究の背景と経緯>

広い範囲にわたって移動しながら活動するロボットを操縦者が遠隔制御するためには、多くの場合、電波による無線通信が用いられます。しかし、ロボットが厚い壁、建物、樹木、あるいは山などの障害物の反対側(見通し外)に回り込んだ場合、電波は遮られて通信が切れ、ロボットの遠隔制御ができなくなります。またその場合、ロボット側から送られてくる位置や姿勢などのデータも届かなくなります。

この問題の対策として、これまでも他のロボットを経由して目的のロボットを制御するアドホック・マルチホップ通信(※1)の技術はありましたが、その多くは、主にインターネット用として設計された無線 LAN の技術をそのまま流用していたため、制御には適しておらず、複数のロボットを経由し、その通信経路が周囲の環境の変化に応じて切り替わった場合に通信が一度切れてしまい、その間、制御が停止するという問題がありました。人が入ることができないような災害現場を考えると、遠隔制御が出来なくなることや、通信が途切れることはロボットの活動に深刻な影響を与える可能性があります。

また、これまでの多くのロボットは、制御用の電波として無線局免許が不要でデバイスの価格も安い 2.4GHz 帯が使用されていますが、この周波数帯は、パーソナルコンピュータやスマートフォンに標準搭載されている無線 LAN だけでなく電子レンジ等にも使われており、混信を受けるリスクがあると同時に、障害物による遮へいや減衰を受けやすいという課題がありました。

※1 通信機同士自律的に無線がつながったり、複数の通信機をパケツリレーのように数珠つなぎに結ぶ通信方式。

<研究の内容>

本研究では、障害物によって電波が遮られる見通し外に遠隔制御対象となるロボットが置かれた場合でも、ネットワークを構成する他のロボットを経由して対象とするロボットの遠隔制御やその状態監視(テレメトリ)を行う新たな通信方式に関する技術を開発しました(図 1)。

本技術を用いることで、操縦者とロボットが見通し外の位置関係であっても、無線が同時に複数局に対して送信する性質を活用して、制御データ及びテレメトリデータを、中継局を経由する複数の通信経路によって冗長性を持たせて伝送することで、ロボットを途切れなく遠隔制御することを可能にしました。

本技術を実現できたポイントは、無線 LAN 等の既存の通信方式を根本から見直し、“ロボットの制御用”であることに特化し、“中継伝送すること”を前提として、応答遅延時間が小さく、かつ、通信信号同士が互いに干渉しないことを両立させた新たな通信手順(アクセス制御プロトコル)を設計・開発したことによります。具体的には、制御局—中継局間、中継局—中継局間、あるいは中継局—ロボット局間などの各経路に対し、通信信号をやりとりする時間のタイミングをあらかじめ割り振る「時分割多元接続」方式をロボット制御用として採用することで、データ伝送における時間スロットを効率的に使用できるとともに、無線 LAN 等のように端末間の自由競争によるアクセス制御プロトコルと異なり通信路を確保するために応答遅延時間を一定に保つことができ、途中の中継局を経由してもロボットが受信する制御データの“鮮度”を一定に保つことが可能になります。

また、従来の通信方式では主に端末の位置が固定、あるいはあまり頻繁には動かない場合を前提としており、時間がかかっても必要なデータを全て送るために、通信開始前に中継経路の探索や設定などが行われています。本技術ではこの手順をなくし、移動する端末を対象とした制御用として単純化しました。具体的には、異なる経路を経由して受信される信号を上記の時分割多元接続方式を用いて常にすべて受信し、受信側にてどちらか強い信号だけを受け取るという手法をロボット制御用の中継方式として初めて採用しました。これらの技術により、これまで条件によって数十ミリ秒～数百ミリ秒まで変動していた中継局経由の応答遅延時間を、今回の開発装置では制御データの送信周期である 50 ミリ秒以内に抑え(※2)、制御の不安定化の回避を可能にするとともに、中継経路がロボットの移動によって変更された時に発生する通信の切断をなくすことを実現しました(※3)。

開発した無線装置(図 2、図 3)は、920MHz 帯を制御信号とテレメトリ信号の双方向で使用しています。この周波数帯は、これまで多く使われている 2.4GHz 帯に比べて遠く(※4)に電波を飛ばすことができ、かつ 2.4GHz 帯等の Wi-Fi と同じく無線装置の技術基準適合証明は必要ですが、無線局免許や無線従事者資格は不要で、デバイスの価格も安価になってきています。なお、本実証実験で使用した無線装置も技術基準適合証明を取得しています。また、相互の干渉なく安全に電波を共用するための規格が定められており、混信を受けるリスクは小さくなっています。

また、今回 NICT と産総研は、本技術を検証するため、試作装置を用いた屋外におけるフィールド実証実験を実施し、操縦者から見て見通し外にある小型四輪ロボットの安定な遠隔制御及びそのテレメトリ信号受信の実証に成功しました。中継装置は、ドローン(マルチロータ型無人航空機)に搭載し、上空高度約 20m~30m でホバリングさせ(※5)、これを経由して小型四輪ロボットへの無線通信回線を構成しました(図 4、図 5)。ドローンを経由して他のロボットを制御し、かつ中継経路が途中で切り替わっても通信を切断させない技術は、世界でもまだ実現した例がありません。

- ※2 この数値はロボット操縦者の重視するものが応答速度なのかデータ量なのかによって設定可能。
- ※3 中継経路の変更に要する時間についても、本開発装置の場合、50ミリ秒以内となり、その間に失うデータは最小限に抑えることが可能。
- ※4 無指向性のアンテナを送受信に用いた場合、地上・上空間で約1km程度。
- ※5 実験におけるドローンの飛行は、改正航空法(平成27年12月10日施行)に従って行いました。

＜今後の課題と展望＞

今回実施した実証実験では、地上の小型四輪ロボットを制御対象としましたが、今後は、制御対象を飛行するドローンに拡張する予定です。また、無線による通信の信頼性をより高めるため、920MHz帯に加えて、緊急時のバックアップ用として、チャンネル数は限られるものの、更に遠くに電波を飛ばすことができるVHF帯(300MHz以下)を追加した無線装置に拡張する予定です。

開発した技術は今後、電波が伝わりにくい建物内やその近傍などでの災害時のロボットによる調査だけでなく、山間部でのドローンの低高度飛行によるモニタリング調査や物資の配送などへの応用、さらには複数のロボットやドローンが自律的にお互いに協調しながら高い信頼性を持つ無線ネットワークを構成するシステムの実現の基盤になることが期待されます。

＜参考図＞

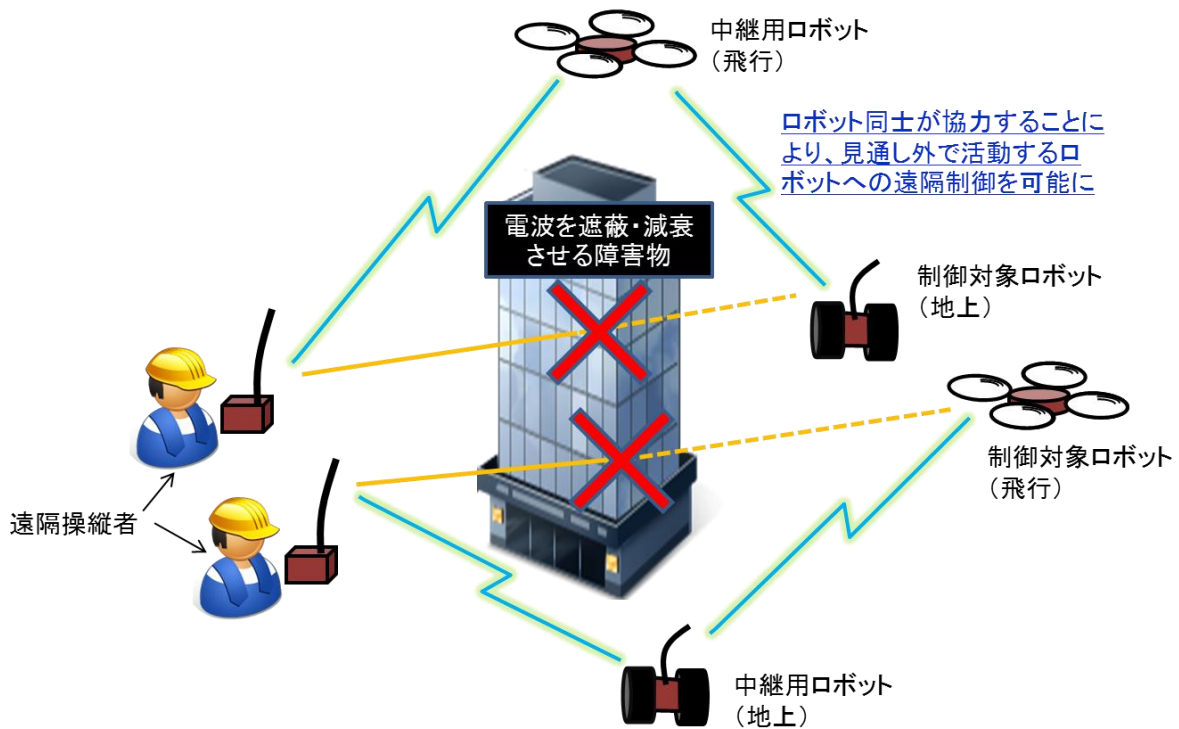


図1 システム概念図

(ロボット同士が協力することで、電波を遮へい・減衰する厚い壁、建物、樹木、山などの障害物がある環境(見通し外)においてもロボットの遠隔制御を可能にします。)

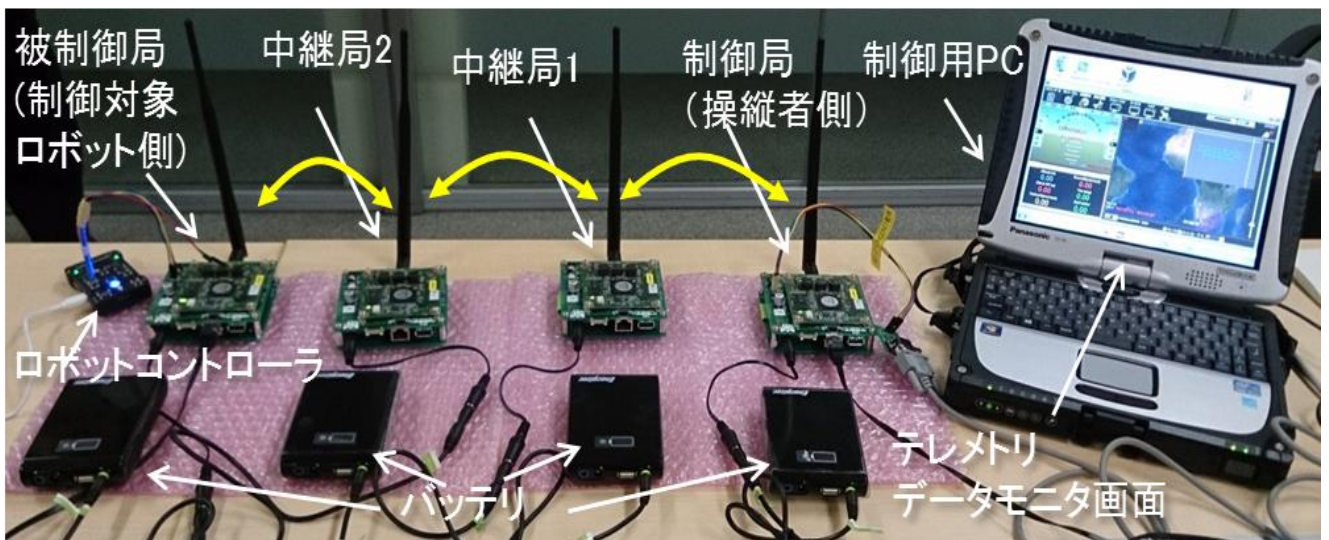


図2 試作開発した無線装置



周波数	920MHz 帯 (特定小電力無線局)(※6)
送信電力	20mW 未満
伝送速度	最大約 100kbps
サイズ (アンテナ含まず)	96mm × 93mm × 31.7mm
重量	約 155g (バッテリーを含まず)
連続動作時間	約 7 時間

図3 試作開発した無線装置
(制御局・中継局・被制御局共通仕様、バッテリー駆動)

※6 総務省が定める免許取得が不要な無線局の1つ



図4 中継局を搭載したドローン
(ミニ・サーベイヤー(※7))

※7 (株)自律制御システム研究所製

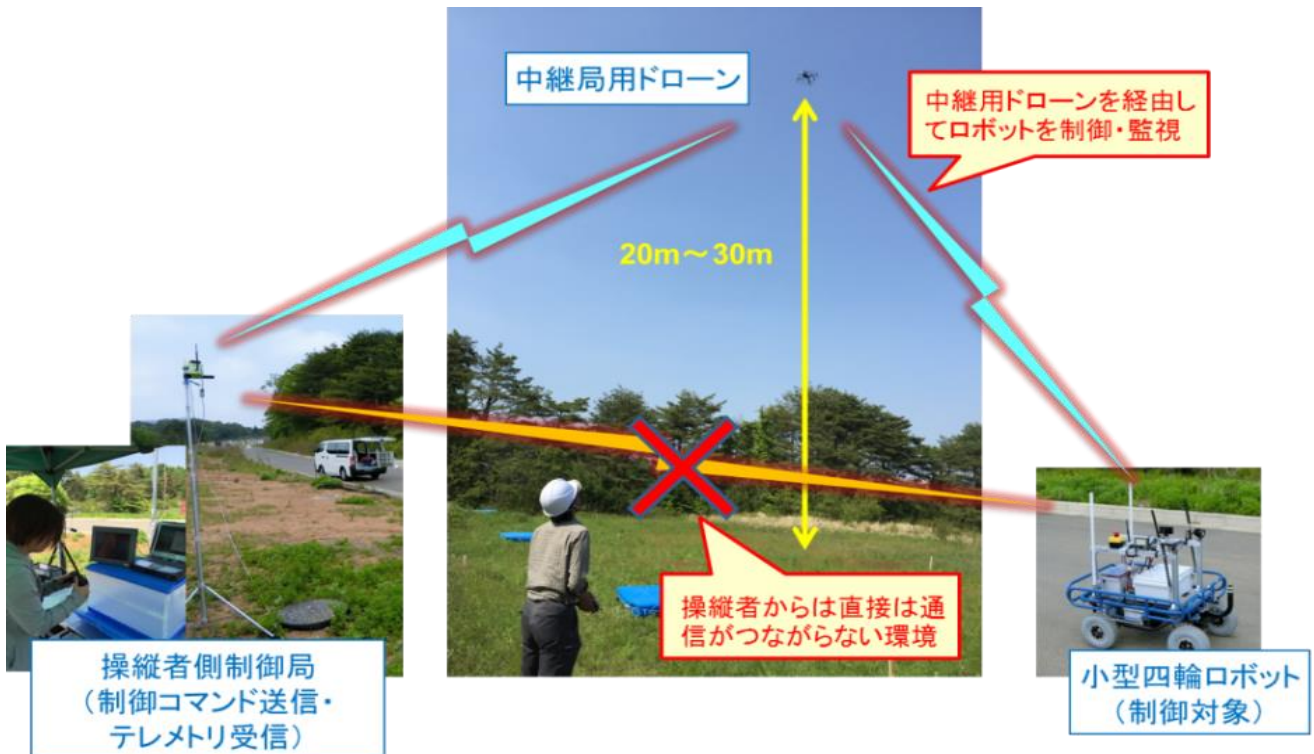


図5 フィールド実証実験

(平成28年5月18日と6月2日、東北大学青葉山キャンパスにて実施し、上空でホバリングするドローンを中継し、操縦者から見通し外にある小型四輪ロボットの制御と監視が可能であることを実証しました。)

<お問い合わせ先>

<研究に関すること>

三浦 龍(ミウラ リュウ)

国立研究開発法人情報通信研究機構 ワイヤレスネットワーク総合研究センター 上席研究員

〒239-0847 神奈川県横須賀市光の丘 3-4 YRP1 番館 2 階

Tel: 046-847-5445

E-mail: ryu@nict.go.jp

加藤 晋(カトウ シン)

国立研究開発法人産業技術総合研究所 知能システム研究部門 フィールドロボティクス研究グループ

研究グループ長

〒305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第 2

Tel: 029-861-7127

E-mail: shin.kato@aist.go.jp

<ImPACT の事業に関すること>

内閣府 革新的研究開発推進プログラム担当室

〒100-8914 東京都千代田区永田町 1-6-1

Tel: 03-6257-1339

E-mail: g.sentan.pro@cao.go.jp

<ImPACT プログラム内容及び PM に関すること>

国立研究開発法人科学技術振興機構 革新的研究開発推進室

〒102-0076 東京都千代田区五番町 7 K's 五番町

Tel: 03-6380-9012 Fax: 03-6380-8263

E-mail: impact@jst.go.jp

<報道担当>

国立研究開発法人情報通信研究機構 広報部 報道室

〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1

Tel: 042-327-6923 Fax: 042-327-7587

E-mail: publicity@nict.go.jp

国立研究開発法人産業技術総合研究所 企画本部 報道室

〒305-8560 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第 1

つくば本部・情報技術共同研究棟 8F

Tel: 029-862-6216 Fax: 029-862-6212

E-mail: press-ml@aist.go.jp

国立研究開発法人科学技術振興機構 広報課

〒102-8666 東京都千代田区四番町 5 番地 3

Tel: 03-5214-8404 Fax: 03-5214-8432

E-mail: jstkoho@jst.go.jp