

複数回線を活用して素早くしっかりコントロール ～MP-TCP制御パケット重複送受信方式～

国立研究開発法人情報通信研究機構

ネットワーク研究所

ワイヤレスネットワーク研究センター

ワイヤレスシステム研究室

研究員 川崎 耀

2024年10月24日

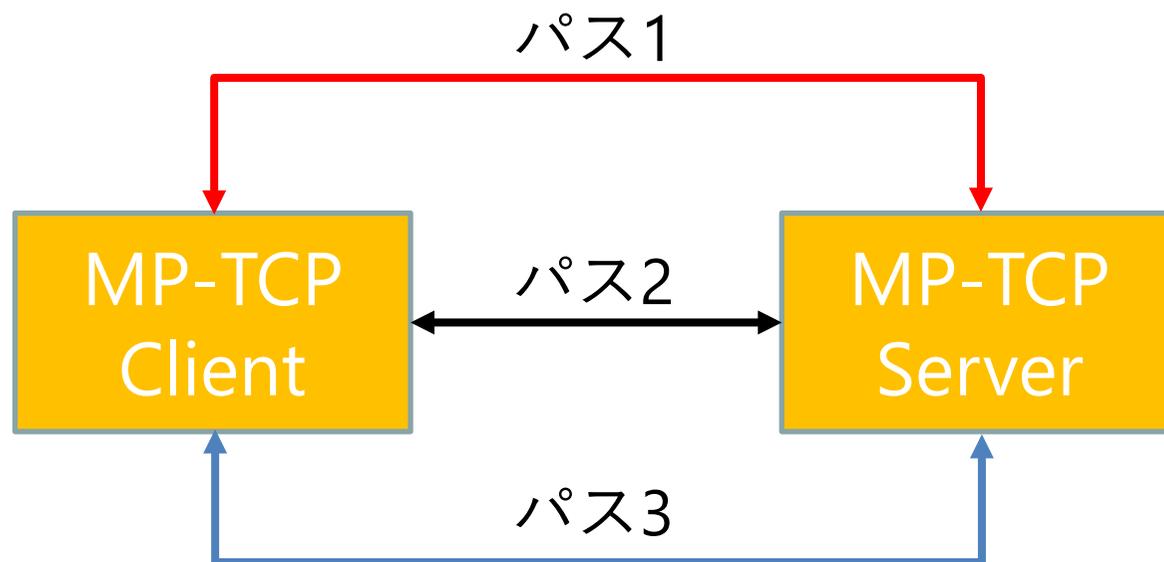
自己紹介

- 名前：川崎 耀（かわさき ひかる）
- 年齢：34歳
- 専門：無線通信における物理層や
トランスポート層の高度化技術開発
 - 公衆網-自営網連携技術、5G/ローカル5G
 - 直交周波数分割多重（OFDM）方式、
ソフトウェア無線
 - 理論から実装まで幅広く
- 受賞歴
 - 2020年11月、令和2年度通信方式研究会委員長賞、IEICE CS
 - 2019年11月、2019 Global Best Paper Award、WPMC
 - 2018年07月、平成30年度通信方式研究会奨励賞、IEICE CS
 - 2016年02月、第12回IEEE関西支部学生研究奨励賞、IEICE関西支部
 - 2015年07月、平成27年度通信方式研究会奨励賞、IEICE CS



MP-TCPはTCPの拡張技術

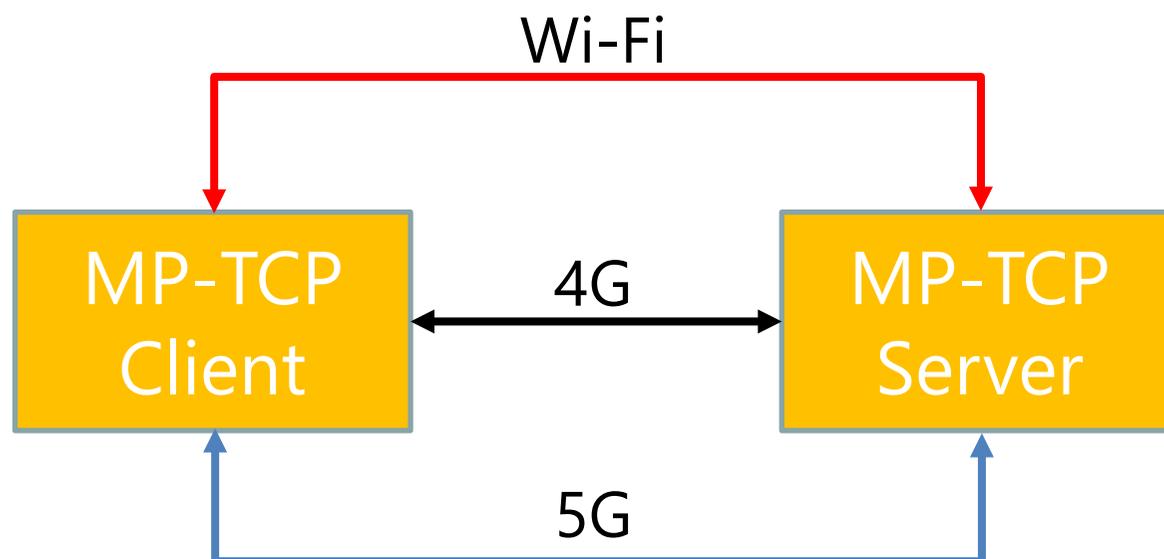
- デバイスが同時に複数の物理的通信経路（パス）を利用して通信することでスループットなどの通信品質向上が可能



MP-TCP: multipath TCP
TCP: transmission control protocol

MP-TCPの無線通信への応用

- モバイル端末にWi-Fi、4G、5G/L5Gなど複数の通信インタフェースが標準装備
- MP-TCPの技術を利用した通信品質向上が可能に（例：Siriの通信安定度向上）



MP-TCP: multipath TCP
TCP: transmission control protocol

従来実装の問題点

- 従来のMP-TCP実装は複数パスが存在しても制御パケットはパス1つのみを使って伝送
 - 制御パケットを伝送するパスの**遅延やパケットロス率**が大きいと**通信品質に悪影響**
 - **無線通信では**一時的な混雑や障害物の影響による**遅延やパケットロスが不可避**
 - 従来のMP-TCPを活用しても、音声・ビデオ通話、オンラインゲーム、遠隔制御などの**リアルタイム性が重要なアプリケーションの通信品質を改善するには限界**

新技術による効果

- MP-TCPにおける複数パスを利用して制御パケットを重複送信

改善例：3-Way Handshake（TCPコネクション確立処理、1往復半の通信）の場合

従来技術（Pのみで制御処理）

新技術（PとS両方で制御処理）

公衆網やNTNのような
広いエリアの高遅延パス

Primary Path (P):

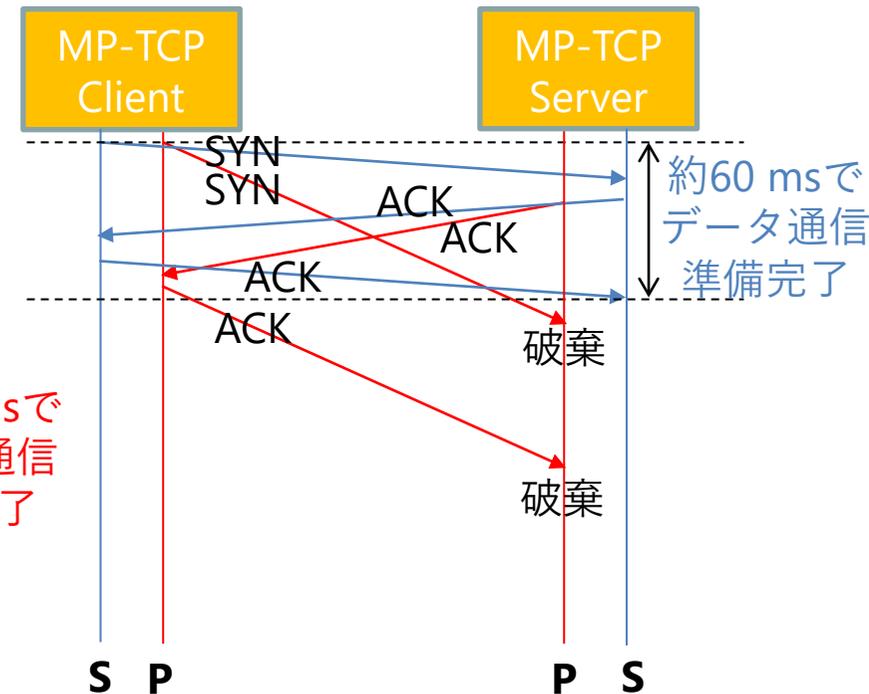
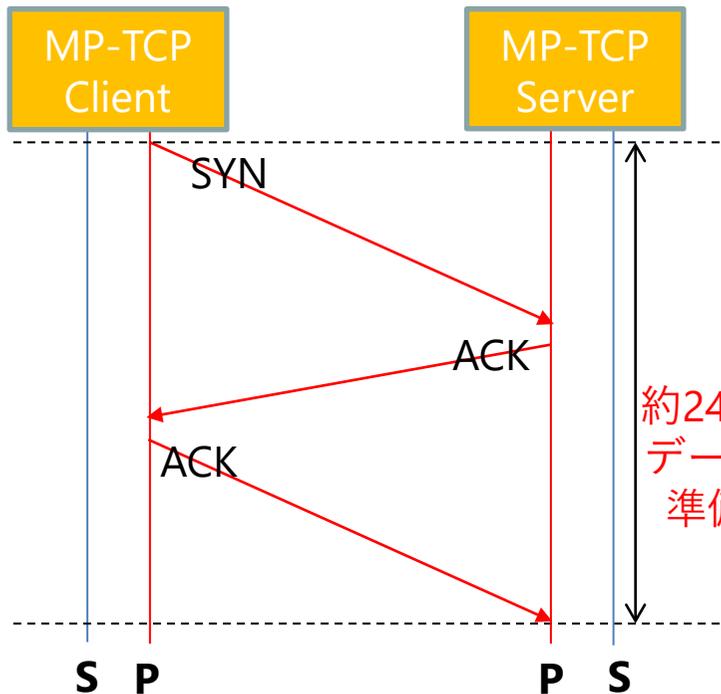
→ UL: 100 ms
← DL: 40 ms
RTT 140 ms



Secondary Path (S):

→ UL: 20 ms
← DL: 20 ms
RTT 40 ms

Wi-FiやL5Gのような
スポット的な低遅延パス



NTN: 非地上系通信網 (non-TN)
TN: 地上系通信網 (terrestrial network)
RTT: 往復時間 (round-trip time)
SYN: 同期 (synchronization) パケット
ACK: 肯定応答 (acknowledgement) パケット

新技術による効果

- MP-TCPにおける複数パスを利用して制御パケットを重複送信

改善例：3-Way Handshake（TCPコネクション確立処理、1往復半の通信）の場合

従来技術（Pのみで制御処理）

新技術（PとS両方で制御処理）

公衆網やNTNのような
広いエリアの高遅延パス

Primary Path (P):

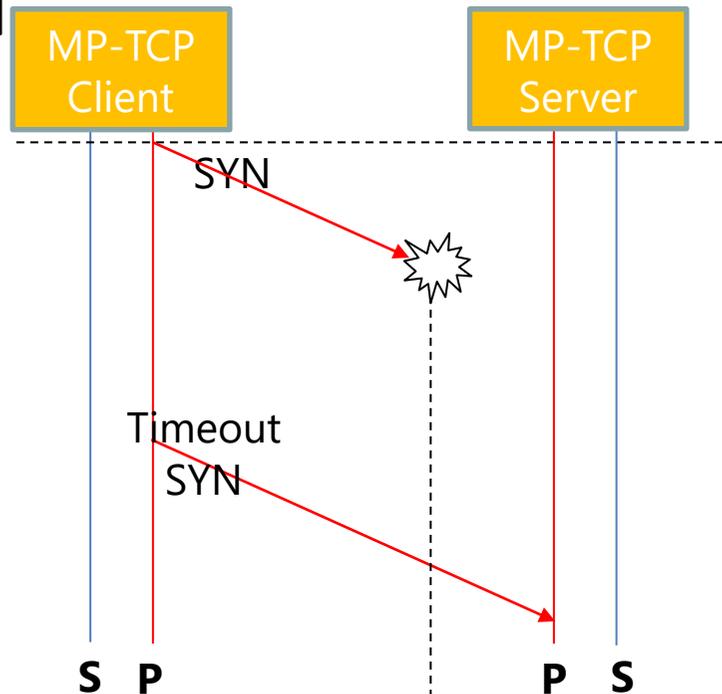
→ UL: 100 ms
← DL: 40 ms
RTT 140 ms



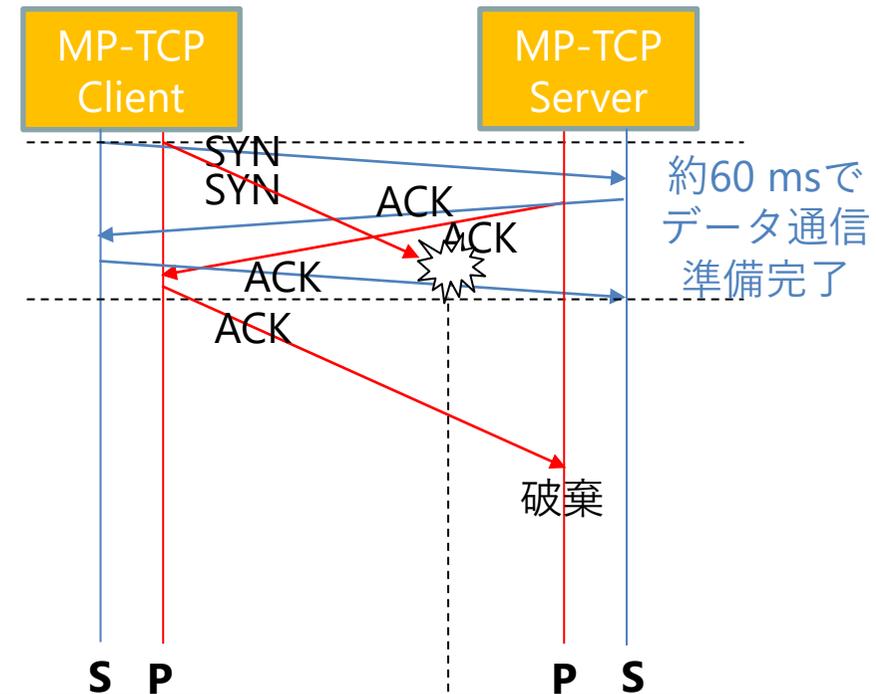
Secondary Path (S):

→ UL: 20 ms
← DL: 20 ms
RTT 40 ms

Wi-FiやL5Gのような
スポット的な低遅延パス



パケットロス→再送までPのTimeout
(最大でPのRTT=140 msの8倍分の遅延発生)



どこかでパケットロス→重複
または再送されたうち先着の
パケット利用で高速制御可能

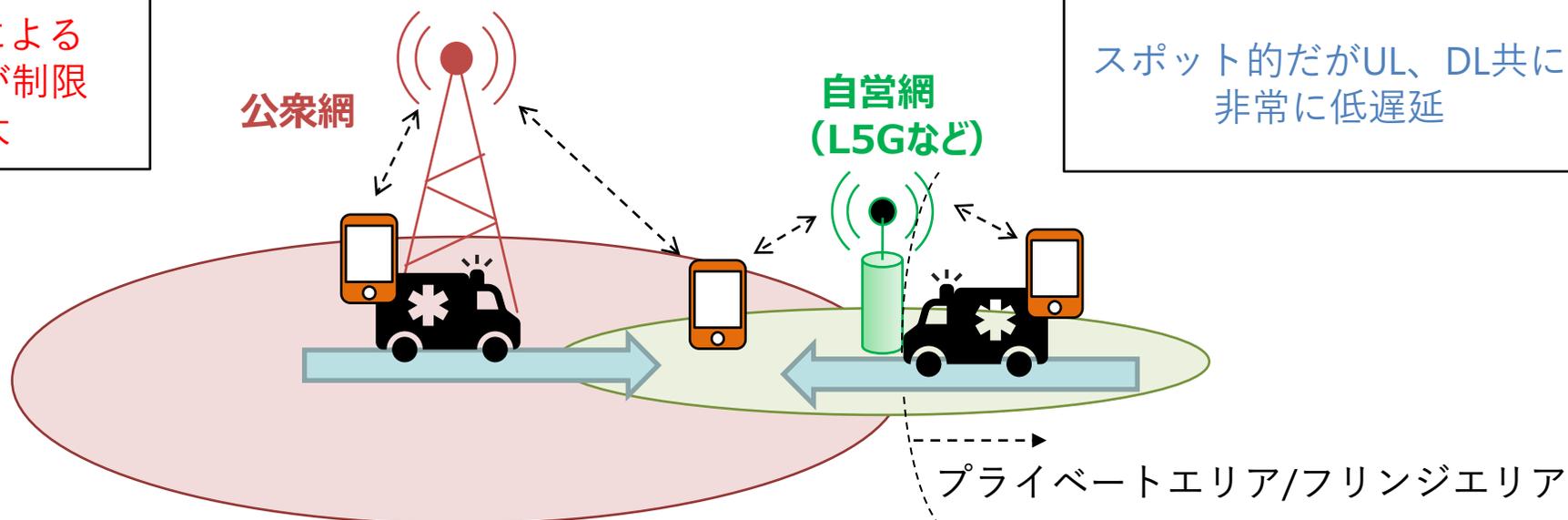
約60 msで
データ通信
準備完了

新技術の特徴

- 不安定な通信環境でもアプリケーションを素早くしっかりコントロール可能
- 高遅延パスを利用した信頼性向上が可能
- Wi-Fi、4G、5Gなど3パス以上でも有効
- 端末・基地局のハードウェアはそのままに、ソフトウェア改造だけで新技術を追加可能

特徴1: 無線通信サービスで 高速かつ確実な制御を可能に

多数の公衆ユーザによる
動画視聴などでDLが制限
DLの遅延が増大

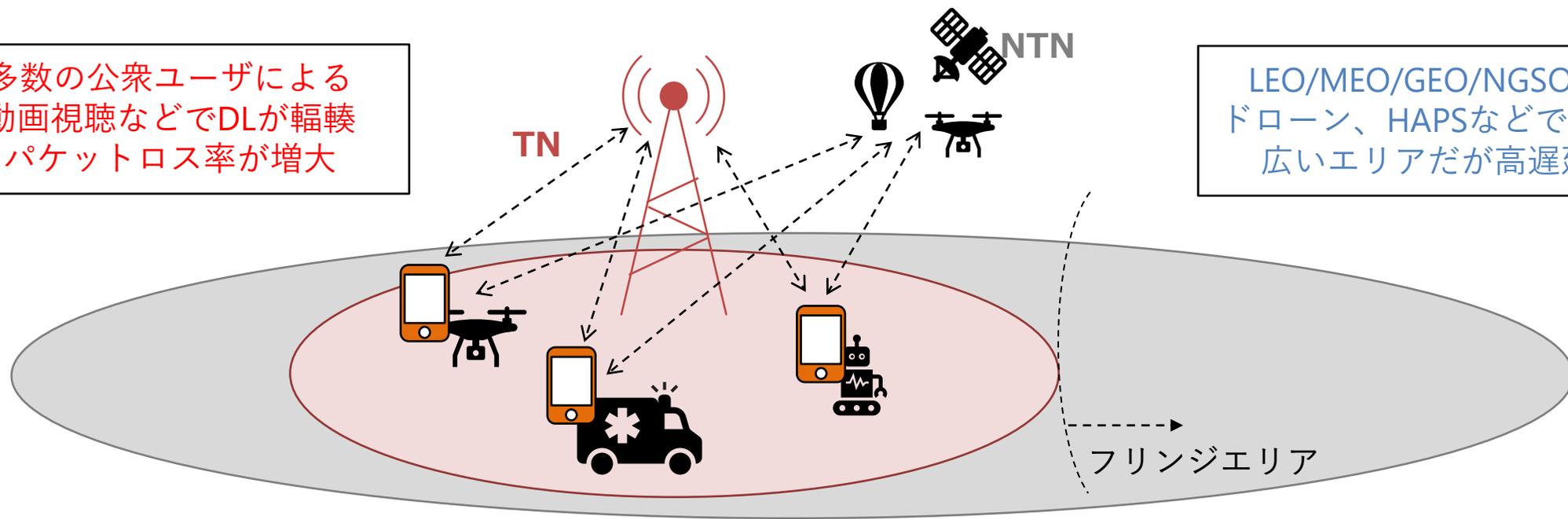


- 異なる通信ネットワーク間を移動しても、途切れにくく安定した通信が可能に
 - 公衆網と自営網を組み合わせるサービス品質を素早く切り替えられるように
 - 従来技術と比較して高速通信が使えるスポットエリアの利用範囲が拡大
 - エリアの切り替わりやデータの到着をより素早く確認可能に
 - 従来技術と比較してデータの送り直しを減らし次のデータをより早く送信

特徴2: 低遅延制御のために 高遅延パスを活用する方法

多数の公衆ユーザによる
動画視聴などでDLが輻輳
パケットロス率が増大

LEO/MEO/GEO/NGSO、
ドローン、HAPSなどで構成
広いエリアだが高遅延



- NTNを組み合わせることでTN側のアプリケーションの通信品質を向上
 - もしTNからの肯定確認が失敗しても予めコピーしたNTNからの肯定確認が先着
 - データを送り直す必要が減り、次のデータを素早く送信
 - 従来技術と比較して肯定応答が遅れたり通信が混雑する可能性を低減

LEO: low earth orbit
MEO: middle earth orbit
GEO: geostationary orbit
NGSO: non-geostationary satellite orbit

想定される用途

- 公衆網と自営網の同時活用
- TNとNTNの同時活用
- リアルタイムアプリケーションの品質改善
 - スムーズに対話できる音声・ビデオ通話
 - 快適なオンラインゲーム
 - ドローンやロボットの正確な遠隔操作
 - 安全な自動運転を実現

実用化に向けた課題

- 複数種類ある制御パケットのうち同期パケットについてはLinux上で独自開発済みだがその他の種類についての対応が未解決
- PCとスマートフォン両方でライブラリやアプリケーションとしての開発が重要
- 新技術を一般社会へ普及させるにはMP-TCPの標準化団体であるIETFへの文書入力も必要

企業への期待

- 新たなユースケースの発見やサービスの創造に協力してほしい
- 一般社会へ普及させるため、標準化に協力してくれる企業・団体を募集

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 制御パケット送信システム、
制御パケット送信方法、
及び制御パケット送信プログラム
- 出願番号 : 特願2022-163256
- 出願人 : 国立研究開発法人情報通信研究機構
- 発明者 : 川崎 耀、伊深 和雄、村上 誉、松村 武

お問い合わせ先

情報通信研究機構
イノベーション推進部門
知財活用推進室

T E L 042-327-6950
e-mail ippo@ml.nict.go.jp