

1 対 1 固定無線通信用ミリ波帯空間多重伝送通信の 理論的検討と実証

所属： 東京工業大学 工学院 電気電子系

助成対象者：戸村崇

共同研究者：Guillermo Carpintero del Barrio

概要

本研究課題では一対一固定無線通信の通信速度を増加させる方法として空間多重通信を研究する。空間多重通信では送受信アンテナ間にあたたかも複数のケーブルがあるかのように通信容量を拡大できる。本研究課題ではソフトウェア処理を不要とするアンテナと光学的コンポーネントによる無線通信回路を用いて空間多重通信の実証実験を行った。無線通信実験により二多重無線通信が可能であるところを確認した。また、最高速度は各回線 5.0Gbps と 3.0Gbps の合計 8.0Gbps を実現できることを確認した。

abstract

This project researches spatial multiplex communication to increase capacity for fixed point-to-point wireless communication. Spatial multiplex communication enables to increase of channel capacity as if there are multiple cables between transmitting and receiving antennas. A spatial multiplex communication experiment was conducted using a wireless communication configuration composed of antennas that do not require software processing and optical components. The results of the experiment showed that two multiplex communication is possible. The maximum communication speed was 8.0 Gbps in total 5.0 Gbps and 3.0 Gbps for each channel.

研究内容

背景・目的

本研究の最終目標は過疎地へ超高速通信回線を提供することである。発展途上国においては都市部には光ファイバによる高速通信がある。しかし地方では光ファイバの代わりに無線通信によってネットワークが構築され、低速通信を強いられているのが実情である。固定無線通信の通信速度を劇的に向上させるのが本研究の目的である。これにより遠隔授業や遠隔医療の提供、ICT産業により発展し、地域・情報格差の解消が期待できる。

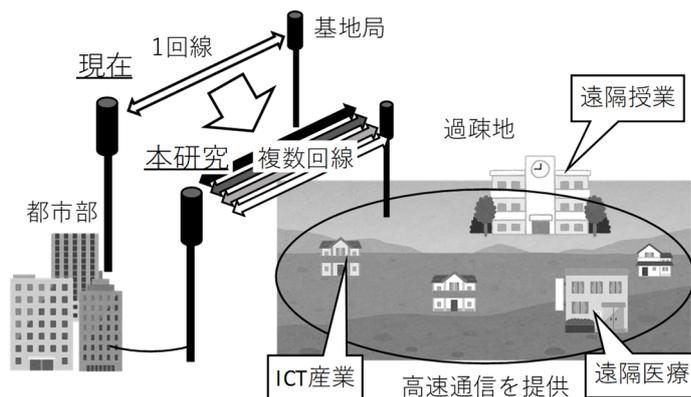


図 1. 本研究の適用例

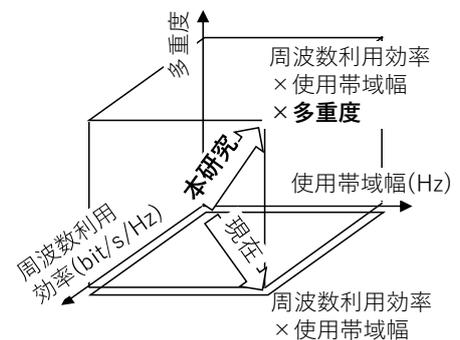


図 2. 通信速度の概念図

方法

通信速度を増加させる方法として空間多重通信を研究する。これは送受信アンテナ間にあたかも複数のケーブルがあるかのように、多重度数に応じて通信容量を拡大できる。無線通信速度の概念図を図 2 に示す。現在の固定無線通信の速度は周波数利用効率と使用帯域幅の積に比例する。そのため多値変調や偏波多重といった周波数利用効率の向上や広帯域に動作するコンポーネントの研究がなされている。本研究の空間多重無線通信の速度は多重度と周波数利用効率、使用帯域幅の 3 つのファクターの積で決まる。つまり多重度分だけ従来の速度を上昇でき、現在の通信速度を劇的に向上させることが可能である。多重無線通信は他の通信技術と共用できるため、そのインパクトは大きい。

提案する空間多重無線通信系を図 3 に示す。送受信アンテナともに 4 つのポートを持ち、それぞれ異なる形状の電波を放射する。これら電波の形状は直交しており、同一空間内でも混ざり合うことなく伝搬する。受信アンテナではこれらの電波が分離され、送信アンテナのポート 1 に入力した情報は受信アンテナのポート 1' に伝達される。他のポートでも同様に働き、あたかも空間に 4 つのケーブルがあるかのように動作する。これにより通信速度を 4 倍にできる。

直交する電波の形状を放射する際に，電波の向き・極性を利用するのが本研究の最大の特徴である．図 4 に示すマジック T と呼ばれるコンポーネントを組み合わせることで，広帯域にこの電波の形状をハードウェアで生成かつ分離できる．さらにはこのマジック T を縦続接続して，多重度を容易に拡張可能である．

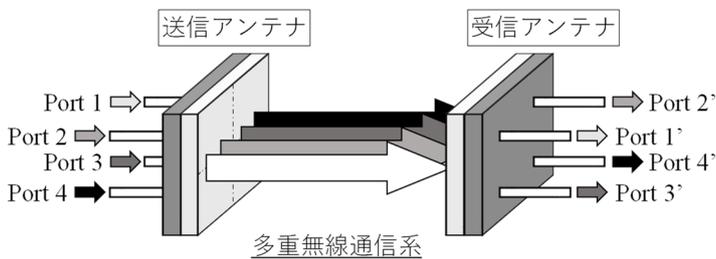


図 3. 多重無線通信系

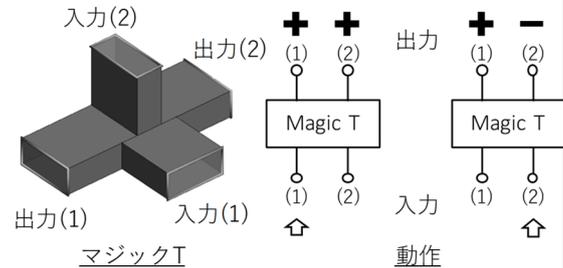


図 4. マジック T の構造と動作

結果

1. アンテナ設計

アンテナから放射される電波の分布を計算し，送受信アンテナ間で伝送量が最大となる条件を求める．通信距離拡大に向け自由空間の固有モードであるビームモードにより解析する．導出した伝送量最大化の条件を満たすアンテナの実構造を設計する．素子配置や励振係数を設計し，給電構造および放射構造を設計する．給電構造にはミリ波でも高効率特性を実現できる導波管構造とする．広帯域化が可能なトーナメント分配方式とする．電力分配器の分配比を調整し，所望の開口分布を実現する[1]．設計したアンテナを図 5 に示す．

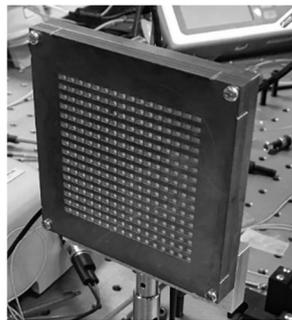


図 5. 導波管スロットアレーアンテナ

2. 無線通信実験

先に設計したアンテナを用いて 2 多重伝送評価を実施した．実験に用いた構成及び実験時の写真を図 6 及び 7 に示す．本構成は変調や増幅などの処理を光信号で行い，アンテナに入力する直前に光信号を電気信号に変える方式である．伝送レートを 5.0Gbps, 3.0Gbps としたときのアイパターンを図 8 に示す．アイが開いており良好な信号特性が得られている．この時のビット誤り率 BER は 3.0×10^{-4} である．

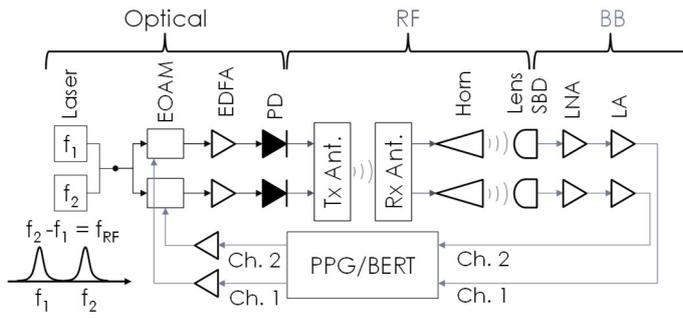


図 6. 無線通信回路の構成

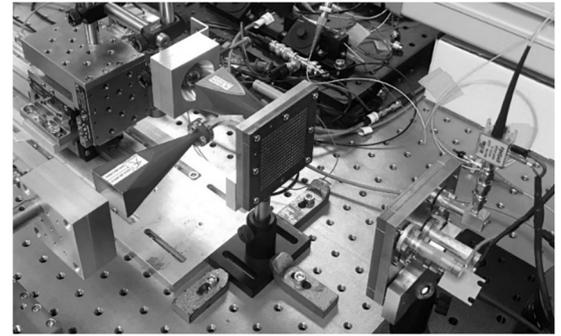


図 7. 無線通信回路の実際の構成

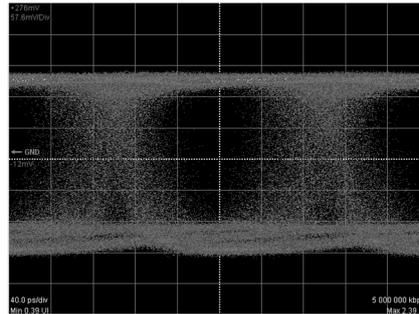


図 8. アイパターン

まとめと今後の展望

本研究では固定無線通信のさらなる高速化を目的とし、空間多重通信の理論的検討と実証を行った。空間多重通信に適したアンテナを設計し、光コンポーネントベースの無線通信回路を構築した。2 多重通信を行い、最大で 5.0Gbps, 3.0Gbps の多重通信が可能であることを実験から確認した。今後はさらなる通信速度の向上を目的としてテラヘルツ波帯へ本方式を適用する。

引用文献

- [1] R. Ohashi, T. Tomura, and J. Hirokawa, “Transmission enhancement in rectangular-coordinate orthogonal multiplexing by excitation optimization of slot arrays for a given distance in the non-far region communication,” *IEICE Trans. Commun.* (2020), no. 2, pp. 130-138.

本助成に関わる成果物

[論文発表]

T. Tomura, J. Hirokawa, M. Ali, G. Carpintero, “Millimeter-Wave Multiplexed Wideband Wireless Link Using Rectangular-Coordinate Orthogonal Multiplexing (ROM) Antennas,” *Journal of Lightwave Technology* (under review).