

1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆研究開発課題名：サイバネティック・フロントエンドを無線化する追従型テラヘルツリンクの研究開発
- ◆受託者：東京大学
- ◆研究開発期間 令和4年度～令和6年度（3年間）
- ◆研究開発予算（契約額） 令和4年度100百万円

2. 研究開発の目標

物理世界と情報世界の間で人を取り巻くサイバネティック・フロントエンドを無線化するための研究開発を行う。現象や体験をありのまま記録する計測(例えばライトフィールドカメラ、モーションキャプチャ、レーダー、超音波エコー、多点生体電位計測、BMI等)は空間的にも時間的にも大容量のデータを生成するが、それゆえデータ伝送に有線接続が不可欠となり計測対象が狭まる。本研究開発では、分散配置可能なテラヘルツビーム走査アンテナをネットワーク化することで、ポリュメトリックセンサデータの無線伝送基盤を構築する。この技術基盤を活用することで、人の身体的・社会的な活動を妨げることなく認識行動を支援・拡張することを目指す。

3. 研究開発の成果

①追従型テラヘルツリンク	目標	成果
<p>天井等に組込可能なテラヘルツビーム走査アンテナのネットワーク化</p> <p>【提案1】2軸ビーム走査可能なアンテナ(>220GHz)</p> <p>【提案2】高速・低損失な信号切替器</p> <p>【提案3】メートル規模で配線可能な低損失伝送線路・モード変換器</p>		<p>研究開発項目1-a) 2軸ビーム走査アンテナ 220GHz～250GHz向け2軸ビーム走査アンテナを提案・設計し、試作に着手した。点励振を2次元平面波に変換し、偏向導波部の微小傾斜および漏れ波放射部の平板間距離を微小変位させることで、水平・垂直方向に30°程度の2軸ビーム走査を達成できる見込みである。</p> <p>研究開発項目1-b) 中継伝送システム 同帯域の信号を切替可能な切替器を設計し、試作に着手した。電磁界シミュレーションにより構造の最適化を図った結果、240GHz±20GHzにおいて2つのポート間で15dB以上のアイソレーションを達成しつつ0.5dB程度の挿入損失で動作可能な見込みである。</p>
<p>②ポリュメトリックセンシングに基づく認識行動支援</p> <p>大容量センサデータの無線伝送により、サイバー・フィジカルスペースのシームレスな統合を実現。</p> <p>ケーブル等でユーザを身体的に拘束することなく、運動・知覚を拡張できることを実証。</p>		<p>研究開発項目2-a) 高速有線インタフェースの無線化 200～300GHzにかけて1GBaudで16QAM変調されたIF信号を生成できること、およびベースバンド信号を復調できることを確認した。</p> <p>研究開発項目2-b) 運動学習の拡張 運動学習拡張のためのラケット型デバイスを設計した。2軸駆動可能で低慣性モーメントの平行機構を提案し、試作に着手した。</p> <p>研究開発項目2-c) 空間知覚の拡張 空間知覚拡張のため、シースルー型HMDによる画像編集に基づくインタラクションシステムを設計し、試作に着手した。</p>

①追従型テラヘルツリンク

研究開発項目1-a) 2軸ビーム走査アンテナ

テラヘルツ波ビームを2軸走査するための新たなアンテナを提案・設計し、その試作に着手した(図1)。

提案構造は導体板間をTEモードで伝搬する2次元導波構造をベースとし、給電部・偏向導波部・漏れ波放射部の3要素からなる。まず給電部では、導波管フランジから2次元等方的に拡がる放射を放物面で反射して平面波に変換する構造を提案した。その際、ポート出射端の周辺にコルゲーション構造を設けることで不要な表面波の励振を抑制し、出射端を焦点に置かれた点波源と等価とみなせるようにした。

次に偏向導波部では、導体板間に微小な傾斜を設けることで実効屈折率分布に勾配を設け、通過する伝搬波の軌跡を曲げられるようにした。そして、その軌跡が漏れ波放射部において表面に形成された導体メッシュ層から空中に漏洩し、指向性ビームを形成するようにした。

偏向導波部の微小傾斜および漏れ波放射部の平板間距離を微小変位させることで、水平・垂直方向に30°程度の2軸走査を達成できる見込みである。

研究開発項目1-b) 中継伝送システム

テラヘルツ波を2方向にスイッチング可能な導波管切替器を提案・設計し、試作に着手した(図2)。T字分岐導波管をベースとし、分岐部に設けた可動先端部を微小変位させることによって出力ポートを切替可能にした。

導波管内部に機械駆動部品を組み込む場合、外部のアクチュエータとの接続部から外部への波の漏洩が生じやすくなる。そこで、導波モードの形状を考慮して各部におけるモードの乱れおよびスリットからの波の漏洩を抑制しつつ機械部品の駆動を可能にする構造を提案した。

電磁界シミュレーションにより寸法の最適化を図った結果、240GHz±20GHzにおいて2つのポート間で15dB以上のアイソレーションを達成しつつ0.5dB程度の挿入損失で動作可能なスイッチを設計し、その試作を完了した。試作品の評価実験は次年度に執り行う。

なお、試作においては実装と制御の容易さからステッピングモータを用いるが、提案手法自体はピエゾなど他のアクチュエータを用いる場合にも拡張可能であると考えられる。

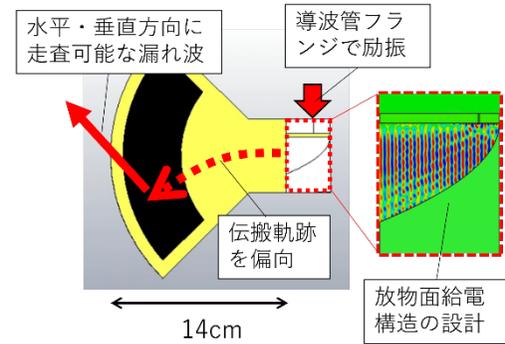


図1 2軸ビーム走査アンテナの設計.

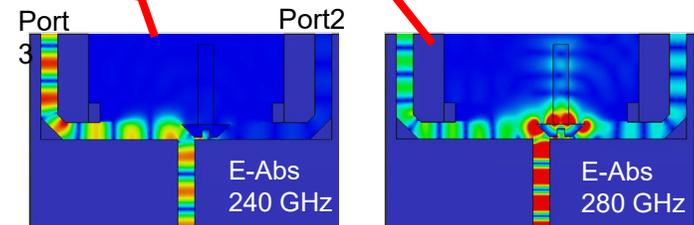
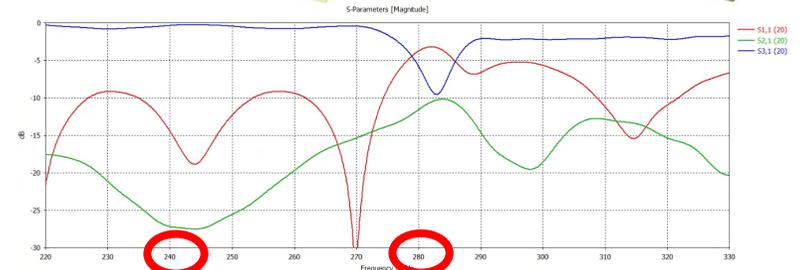
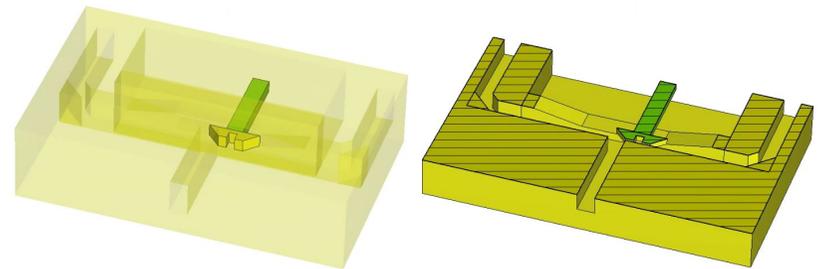


図2 切替器の設計.

②ポリュメトリックセンシングに基づく認識行動支援

研究開発項目 2-a) 高速有線インタフェースの無線化

4GSa/sの高速DAC・ADCが内蔵されたFPGAボードを用いて、1GBaudの速度で16QAM方式でデジタル変調されたIF(中間周波)信号を生成できること、IF信号からベースバンド信号を復調できることを確認した。また、AMC(Amplifier Multiplier Chain)とSHM(Sub Harmonic Mixer)を用いて220~300GHzのテラヘルツ波を生成できること、SHMを用いてテラヘルツ波からIF信号へのダウンコンバートが可能であることを確認した。また、並行して100GHzのサブテラヘルツ帯域において、ON/OFF変調による無線通信実験を行う予定である。これらの実験では空間に電波を放出するため、必要な免許を取得のための準備を進めた。

研究開発項目 2-b) 運動学習の拡張

運動学習のためのラケット型デバイスを設計し、試作に着手した(図4)。デバイスはラケットの法線方向を除く2軸の駆動自由度を持ち、かつ片手で操作可能な重量を要求機能として設計した。デバイスの外形サイズに加えて、ユーザが体感する慣性モーメントが小さくなるような構造としてパラレル機構を提案し、実際にプロトタイプを製作した。

運動計測に関しては、光学式モーションキャプチャを用いたデバイスの位置情報、多チャンネルの筋電センサを用いた運動情報、ウェアラブルな圧力センシング・触覚提示システムなどを統合的に用いることを検討していく。

研究開発項目 2-c) 空間知覚の拡張

ビデオシースルー型HMDと画像編集技術を用いて、視覚的に消失された小型移動ロボットによるインタラクション調査のためのシステムを設計し、デバイスの選定および試作に着手した(図5)。移動ロボットの視覚的消失がユーザ体験やインタラクションにどのような影響を与えるかを調査することを小目標として設定した。ビデオシースルー型HMDは入手可能な複数の機器を使用・比較することで選定した。試作コストの低さと拡張性の高さからStereolabs社のZED MiniとMeta社 Quest 2を組み合わせることにした。移動ロボットに関しては開発の容易さからSony社のtoioを用いたテーブルトップ方のシステムの開発を目指すことにした。現在プロトタイプとして、簡易的な検証が可能なシステムの構築が完了している。ロボットの視覚的消去は取得画像からクロマキーで対象物体を認識し、リアルタイムに画像修復アルゴリズムを施すことによって実現している。

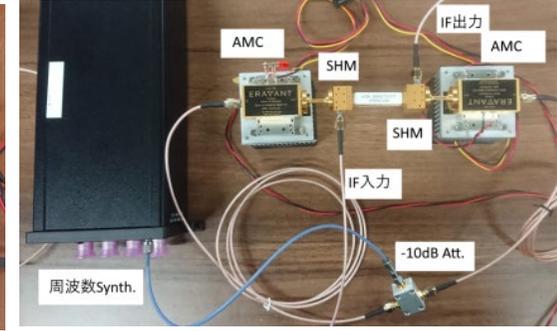
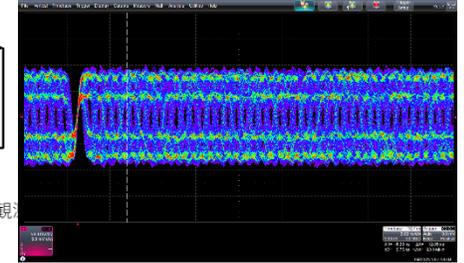
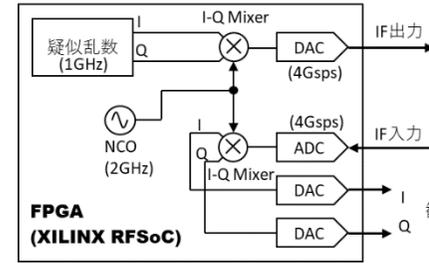


図3 FPGAを用いる 220~300 GHz 変調回路.

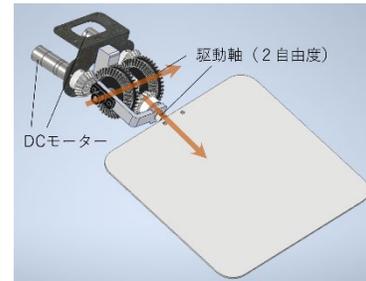


図4 運動学習の拡張のためのラケット型デバイスの設計.



図5 空間知覚拡張のためのビデオシースルーHMD画像編集の実装.

4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	標準化提案	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰
0 (0)	0 (0)	0 (0)	9 (9)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

(1) Journal of Infrared, Millimeter, and THz waves 誌にてテラヘルツビームステアリングに関するレビュー論文を執筆し、2022年度2月に出版した。研究代表責任者を筆頭著者として、中国の上海交通大学、米国のプリンストン大学との国際共著である。

(2) マイクロ波逡倍に基づいて発生されるテラヘルツ波を、FPGAを用いて任意に変調可能なシステムを構築した。その実装について2023年3月の電子情報通信学会総合大会にて口頭発表した。

5. 今後の研究開発計画

研究開発項目1 追従型テラヘルツリンク

- 水平方向へのビーム走査には下側の導体板を傾斜させて上下導体板間の実効屈折率に勾配を形成し、垂直方向への走査には下側の導体板を上下動させて伝搬軸方向の波数を変調して出射角を変化させる。ピエゾアクチュエータ等を用いてこれらを組み合わせることで高速2軸走査を実現する。
- 環境側に複数のアンテナを分散配置してネットワーク化できるようにする。低損失伝送線路およびモード変換器を開発して切替器と接続する。そして、切替器をそれらの線路間を介して接続し、数十cm以上の領域にわたってアンテナを分散配置し選択的に励振できるようにする。
- 移動する送受信点間のビームトラッキングを実装する。送受信点間の位置関係を変化させた場合であっても、100ms以内の時間でビーム方向を切り替えて帯域幅30GHz超の伝送を行うことを目指す。伝送信号レベルが最大となる送受信器間を自動選択し、途切れないテラヘルツ無線通信を実現する。

研究開発項目2 ボリュメトリックセンシングに基づく認識行動支援

- 有線高速インタフェースとして確立されている標準規格の信号をテラヘルツ波に乗せるための研究開発を行う。FPGAで高速ADC/DACを制御してベースバンド信号のエンコード・デコードを行う。2台のテラヘルツ波の送信器・受信器を上下回線でペアとして用いて双方向通信を行えるようにする。それをベースとして、以下のようなユーザ追従型の大容量データ伝送を可能にし、ユーザ支援を実現する。
- 運動に介入可能なデバイスを開発し、ユーザの運動を適切に支援し、運動能力の増強感を与えるシステムを構築する。ユーザの習熟度合いに応じて支援量を適切に調整することで、ユーザのモチベーションを維持したまま自然と技能向上を達成することを目指したユーザスタディを実施する。
- ビデオスルー型HMDIによる視覚情報提示またはその他感覚情報提示デバイスと身体動作のセンシング技術を複合的に用いた現実感編集技術を開発する。統制された環境下での視覚提示から着手し、段階的にロボットなどの移動体と同技術の統合を検討する。最終的には、対人間インタラクションに応用し、他者の表情や身体動作を編集することによる作業支援・コミュニケーション支援の原理検証を行う。