

令和 5 年度研究開発成果概要書

採択番号 06101
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

(1) 研究開発の目的

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。

(2) 研究開発期間

令和 4 年度から令和 5 年度（2 年間）

(3) 受託者

国立大学法人東京大学〈代表研究者〉

(4) 研究開発予算（契約額）

令和 4 年度から令和 5 年度までの総額 200 百万円（令和 5 年度 100 百万円）
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

- 研究開発項目 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 (東京大学)
 - 研究開発項目 1-b) 中継伝送システム (東京大学)
 - 研究開発項目 1-c) ビームトラッキング (東京大学)
- 研究開発項目 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 (東京大学)
 - 研究開発項目 2-b) 運動学習の拡張 (東京大学)
 - 研究開発項目 2-c) 空間知覚の拡張 (東京大学)

(6) 特許出願、外部発表等

| | | 累計（件） | 当該年度（件） |
|-------|------------|-------|---------|
| 特許出願 | 国内出願 | 0 | 0 |
| | 外国出願 | 2 | 2 |
| 外部発表等 | 研究論文 | 1 | 1 |
| | その他研究発表 | 20 | 11 |
| | 標準化提案・採択 | 0 | 0 |
| | プレスリリース・報道 | 0 | 0 |
| | 展示会 | 1 | 1 |
| | 受賞・表彰 | 1 | 1 |

(7) 具体的な実施内容と最終成果

研究開発項目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

(東京大学)

テラヘルツ波を2軸ビーム走査するための平面アンテナを提案・設計し、試作・評価を行った。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。給電部では、導波管フランジから給電されるテラヘルツ波を平面波に変換する。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る。そして、導体メッシュ層からなる漏れ波放射部より、平板間距離に依存した指向性ビームを放射する。提案手法により、280GHzにおいてビームを水平方向に $\pm 37^\circ$ 、垂直方向に 18° 傾けられることを明らかにした。その3dB帯域幅は9.7GHz、10dB帯域幅は17.3GHzであった。

研究開発項目1-b) 中継伝送システム

(東京大学)

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・評価した。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。導波モード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、電磁界シミュレーションにより寸法の最適化を図った。そして、試作器の評価実験を行った。平均スイッチング時間は36.8msで、オン状態における270GHzでの挿入損失は2.6dBであり、3dB帯域幅はWR3.4帯での測定帯域幅110GHzよりも広がった。オフ状態におけるアイソレーションは20dBであった。

研究開発項目1-c) ビームトラッキング

(東京大学)

送受信機間の距離が動的に変化する状況において、半波長ごとに生じる受信感度の低下を抑える手法を実現した。具体的には、位相シフトを発振器後段かつ周波数通倍器前段に挿入する信号位相追従型同期検波回路を開発した。通信データをパケット化して先頭に同期信号を付与し、同期信号の期間に位相シフト電圧をスイープすることで、振幅が最大になる点を見つけて固定する。これにより、周波数通倍型のテラヘルツ帯無線通信機全般に対して適用可能な、ミキサ1台によるホモダイン検波回路構成を実現した。以上の内容について特許を出願するとともに、自由空間に電波を放出しながら実験を行うために必要な免許を取得した。

研究開発項目2 ポリユ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

(東京大学)

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220~320GHzのテラヘルツ波を生成できることと、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。上記テラヘルツ波に10Gイーサのパケットを乗せて伝送できることを確認した。

研究開発項目2-b) 運動学習の拡張

(東京大学)

道具を用いた運動技能を汎用的に支援するための装着型システムを考案した。具体的な実装として、ユーザによって把持される道具に対して前腕から力覚提示を行う装置を開発した。装置および把持した道具の位置・姿勢は外部のモーションキャプチャシステムによって約300Hzで計測され、それをもとに提示するカフィードバックが計算されることで運動介入や支援、ユーザへの触力覚提示を行う。開発した装置の刺激提示・運動介入性能、およびユーザが知覚しうる刺激の特性を評価するため、基礎的な評価実験を実施した。その結果、装着装置でありながらユーザに対して外力として知覚されるような力覚を提示できることがわかった。また、本システムにより、ユーザの運動を任意の3次元方向に誘導可能であることが示唆された。

シースルー型 HMD と画像編集技術を用いて、遠隔地にいる複数のユーザが、それぞれの環境と体験を相互共有可能な対称型ウェアラブル・テレプレゼンス・システムを開発した。このシステムでは、各ユーザが 360°カメラと AR グラスを装着して映像の送信と受信を同時に行い、自身の視界に他者の視界を重畳表示する。これにより自身および他者が存在している複数の空間を同時に知覚できるようになる。このシステムによって生み出される体験やコミュニケーションの調査を目的としたフィールドスタディでは、参加者が自分の環境の探索と他ユーザーの動画配信の視聴をシームレスに切り替え、時には他ユーザーの AR コンテントを自分の環境に重ね合わせることで、一緒に歩いている感覚を得られたことが示唆された。

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

本研究開発で実現するビーム走査技術について、デバイスの製造方法に限らず、ビーム走査に基づくトラッキングアルゴリズムなどについても実用的な仕様を定め、関連知財を出願するほか、学術論文・国際会議にて発表していく。そのうえで、SNS 等を用いたオンライン発信に加えて、各種展示会などでの展示・実演を行って広く周知していく。

提案するビーム走査技術は、通信キャリアと端末メーカーのそれぞれの事業において必要となる技術である。前者では例えば街灯や建物の天井などに組み込まれ、後者ではスマートフォンや AR グラスなどのモバイル・ウェアラブル端末に搭載される見込みがある。これらの事業者との協業により B5G 通信の実現に貢献する。また、具体的な応用イメージを喚起することで、関連技術の開発を促進させる。

同時に、高速大容量・低遅延に感覚情報を送受信する基盤を応用することで、本研究開発で取り組んできた運動学習・空間知覚の拡張について、より実践的な取り組みを進めていく。例えば、視覚の時間分解能を超えたフレームレートのデータや複数人分の視界データなどを伝送しつつ、その情報を感覚に還元するアプローチを検討する。また、力触覚を介した運動感覚支援によって特定の技能・拡張体験の実現やモチベーション支援を行うアプローチを検討する。これらを通して、高速大容量・低遅延なデータ伝送がユーザの認識や行動にもたらず変化を考察していく。