

採択番号 07301

研究開発課題名 屋内環境における情報・電力伝送統合自営 B5G/6G の研究開発

(1) 研究開発の目的

本研究開発では、情報のみでなく電力伝送をも無線化し、時間・周波数・空間・電力などの多次元的な無線資源のダイナミックな割り当てにより周波数の有効利用を実現する技術を確立する。特に、通信状況の過酷な屋内環境における周波数有効利用および情報・電力伝送での周波数共有を目指し、機器や端末の物理的制御と多次元無線資源割当を統合的に行うことで、屋内自営 B5G/6G をターゲットにした情報・電力同時伝送を可能にする技術シーズを創出する。次世代スマートファクトリのデモを設計・構築し、実環境を用いた実証実験によりその将来性を明らかにする。

(2) 研究開発期間

令和 4 年度から令和 6 年度 (3 年間)

(3) 受託者

国立大学法人電気通信大学<代表研究者>
株式会社山本金属製作所
国立大学法人東京大学
国立大学法人広島大学

(4) 研究開発予算 (契約額)

令和 4 年度 99 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 情報・電力共有ハイブリッド無線技術

研究開発項目 1-a) 屋内無線環境データベース化技術の検討 (電通大)

研究開発項目 1-b) 情報・電力同時伝送における多次元資源割当の検討 (電通大)

研究開発項目 1-c) 電波の仮想保護エリア確保手法の検討 (東大)

研究開発項目 1-d) 時空間同期を用いた無線環境把握技術の検討 (広島大)

研究開発項目 2 B5G/6G のための情報・電力共有ハイブリッド無線技術の実証

研究開発項目 2-a) 次世代スマートファクトリの設計と開発技術の実証
(山本金属製作所)

研究開発項目 2-b) 実環境における情報・電力共有ハイブリッド無線技術の検証
(電通大・東大・広島大)

(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	0	0
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	1	1
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	0	0
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発項目 1 情報・電力共用ハイブリッド無線技術

研究開発項目 1-a) 屋内無線環境データベース化技術の検討 (電通大) : 屋内無線環境データベースの基本設計のため統計化する項目の整理を実施した。また、屋内無線環境データベースの精度検証を実施するために、電気通信大学構内に設置したローカル 5G および無線 LAN アクセスポイントに対して、構造物の無い屋内環境で受信信号電力誤差の性能評価を実施し、端末位置既知として、1m×1m メッシュでの受信電力平均化した統計値について、推定誤差平均で 5dB を達成し年度目標をクリアした。さらに、スループット特性の導出と、屋内に什器が入った環境での観測実験を行い、屋内無線環境データベースの性能評価を当初目標以上ペースで進めている。

研究開発項目 1-b) 情報・電力同時伝送における多次元資源割当の検討 (電通大) : 屋内工場環境を模擬した環境において、空間・周波数資源割当に関する基礎検討を実施した。計算機シミュレーションにより、所望通信レートを満足するユーザ端末数を 10%以上改善できることを確認した。また、屋内工場環境を移動する自動搬送ロボットを想定し、屋内無線環境と物理的障害物を考慮した無線資源・移動経路割当手法を提案した。計算機シミュレーション評価により、無線環境を考慮しない移動経路を通った場合と比較して、通信成功率を 10%以上改善できることを示した。

研究開発項目 1-c) 電波の仮想保護エリア確保手法の検討 (東大) : 仮想保護エリア確保手法として、ヌル領域を有するビームフォーミング方式の理論構築および計算機シミュレーションを行った。仮想保護エリアに向けて照射される電波を相殺することにより、メインローブへの影響を抑制しつつ、仮想保護エリアにおける電波強度を低減する。計算機シミュレーションにより、相殺電波生成のためのビームフォーミングウェイトは 1 秒未満で計算可能であり、その電波強度低減効果は平均値および最大値ともに目標値である 3dB 以上であることを確認した。また、開発評価環境の構築に向け、シールドテントを用いた送電模擬実験環境の整備を行った。

研究開発項目 1-d) 時空間同期を用いた無線環境把握技術の検討 (広島大) : 現状のスマートファクトリ内における電波環境を正確に把握するために、既存の無線信号解析システムを用いた実測評価を行った。広島大学ナノデバイス研究所における 5 箇所の測定点にて、920 MHz 帯、2.4 GHz 帯、5 GHz 帯の 3 周波数帯を既存のリアルタイムスペクトラムモニタを用いて評価した。また、2023 年度に予定していた実空間情報取得のための基本検討として、3 次元実空間センシングのための Depth Camera と LiDAR の測定系の簡易評価を今年度先行して行った。

研究開発項目 2 B5G/6G のための情報・電力共用ハイブリッド無線技術の実証

研究開発項目 2-a) 次世代スマートファクトリの設計と開発技術の実証 (山本金属) : ドリル加工中に発生するアコースティックエミッション (AE) について、サンプリングレート最大 10 [MHz] で信号をリアルタイムに収集しつつ、正常・異常の判定が可能である事を示した。正常・異常判断の判定については、時間領域・周波数領域での閾値判定、基準データに対する距離、機械学習モデルによる推論を対象として検討した。その結果、高速 Fourier 変換 → バンドパスフィルタ → 実効値 (RMS) 演算を行い、異常時にのみ発生する周波数帯の RMS で閾値判定を行うのが、計算速度と検知能力のバランスから、最も有効であった。また、今回の実験では、工具が折損する直前に、その予兆をとらえる事ができた。予兆発生後、約 10 [ms] 後に工具が折損したことから、無線通信の遅延は数 ms であることが求められる。

スマートファクトリに求められる高速かつ低遅延な通信環境としてローカル 5G システムの構築を進めているところである。この際、各端末から基地局への通信(アップリンク)と基地局から各端末への通信(ダウンリンク)のタイミングを制御する、準同期と呼ばれる機能を有した機器を選定した。これは、各種センサから得られる大量のデータに対して、データをもとに加工機やロボットへの制御信号を送る際に必要とされるデータ量は小さいためである。

スマートファクトリ内では産業用ロボットが絶えず動作しており、電波の周辺環境も常に変化している。そのような実験環境を構築していくため、一般的な工場で導入されるロボットシステムに求められる汎用性、簡易に動作変更できる簡易性、実験に対する安全性の確保が実現可能な産業用ロボットシステムを選定した。さらに、選定した産業用ロボットシステムを導入し、実験に必要な外部 PC からの制御信号を受け付けることを確認した。

(8) 今後の研究開発計画

研究開発項目 1-a) 屋内無線環境データベース化技術の検討 (電通大) : 契約締結から2月末までの時点で、電気通信大学構内に設置したローカル 5G および無線 LAN アクセスポイントを利用して、端末位置既知とし、受信電力平均化した統計値の導出を行い、受信信号電力誤差の性能評価を実施・評価を完了した。この成果により、最終目標達成に向けたベースラインを明らかにできた。令和5年度からは、無線環境データベースの実装、実環境でのデータ取得を通して、無線環境把握精度の詳細な検証を実施する。本年度は、端末位置を既知としていたが、端末位置を推定する手法として、部分的に位置が既知となっている送信機や天井に備えたビーコン信号を活用して端末位置を推定し、実際の位置との誤差特性の導出を行う予定である。次に、比較的大きな電力を扱う無線電力伝送における無線電波をデータベース化するため、無線環境観測用に設けた無線センサを活用した無線環境推定の研究を開始する。

研究開発項目 1-b) 情報・電力同時伝送における多次元資源割当の検討 (電通大) : 令和4年度は、屋内工場環境を模擬した計算機シミュレーション環境を構築することで、多次元無線資源割当のアルゴリズム提案並びに評価を行った。令和5年度からは、今年度の基礎検討ならびに基盤技術検討により得られた研究成果に基づき、検討手法の高度化ならびに実観測により得られた結果に基づく評価検討を進め、最終目標を達成する。今年度行った検討は、標準化資料などに記載されているチャンネルモデルを用いた基礎検討となっている。今後は、他の課題で得られた実観測情報や数値結果を用いて、実環境をエミュレーションし評価を行う。また、自動搬送ロボットの無線資源ならびに経路設計に関しては、山本金属が導入予定のロボットに実際にインプットすることで実効性を評価し、最終目標達成に向けて検討を進める。

研究開発項目 1-c) 電波の仮想保護エリア確保手法の検討 (東大) : 今年度検討したビームフォーミング方式を来年度さらに高度化するとともに、その特徴を考慮したアンテナ配置方式を検討することにより、最終目標を満たす性能向上を実現する。仮想保護エリア確保に向け、ヌル領域を有するビームフォーミング方式を開発し、計算機シミュレーションによりその性能の評価検証を行っており、順調に研究開発が進行している。令和5年度以降は、最終目標に向けて、ビームフォーミングの研究開発ならびに開発評価環境の構築を進めていく。

研究開発項目 1-d) 時空間同期を用いた無線環境把握技術の検討 (広島大) : 令和5年度は多地点・複数周波数同時センシングのために3台以上のスペクトラムモニタを用いた同時センシングシステムの詳細設計ならびに実装を行う。その機能を実現するために、特に複数台のスペクトラムモニタ間の時刻同期方法の検討を行う。また、一部2022年度に先行して実施している高精度実空間情報の取得手法の検討として、LiDAR や Depth Camera を用いたスマートファクトリ内の実空間情報取得の時空間同期性能(位置情報の精度やリアルタイム性)の評価を行う。

研究開発項目 2-a) 次世代スマートファクトリの設計と開発技術の実証 (山本金属) : 令和4年度では、機械加工時の AE 信号を収集できるシステムを構築した。さらに、本研究課題の中核となる Learning Factory での実験に必要なネットワーク環境ならびにロボット制御システムの構築に関しては、L5G システムの導入など年度目標通りに進めている。令和5年度以降、異常検知ならびに Learning Factory での通信実験を進め、最終目標を達成する。

研究開発項目 2-b) 実環境における情報・電力共用ハイブリッド無線技術の検証 (電通大・東大・広島大) : 令和4年度に研究開発項目1を通して開発した屋内無線環境把握技術および実空間推定を元にした無線環境把握技術の性能を評価するため、研究開発項目2-aで構築したラーニン

グファクトリでの実観測を通して、無線環境データベースの構築を行う。さらに、ラーニングファクトリ内に設置した無線機器からログを収集し、実際の加工工場内の電波環境の把握を行う。収集したデータを基にして、屋内環境把握の精度確認として、無線電波伝搬推定精度の性能評価、位置情報把握精度の性能評価、時空間同期精度の性能評価を随時実施する。また、並行して無線電力伝送装置から電力伝送を行う際の電波状態について、無線電力送信装置や受信機器に設置されたセンサからの無線信号を無線環境データベースに取り組むことで把握し、無線電力伝送装置から送信される電波の周辺環境での状態の把握精度の確認を行い、最終年度である令和6年度で最終目標を達成するように検討を進める。