

## ＜基本計画書＞

### アクティブ空間無線リソース制御技術に関する研究開発

#### 1. 目的

無線通信の用途は日々拡大しており、中でも高精細な画像や動画の伝送は画像検査などの産業分野、遠隔手術や見守りなどの医療・介護分野、イベントにおける映像配信などの娯楽分野など、多岐にわたる様々な用途での活用が始まりつつあり、今後もこの流れは加速すると考えられる。5G 時代や Beyond 5G 時代においては、これらのアプリケーションが生み出す大量かつ低遅延性が求められるトラヒックを、無線通信ネットワークを通じて伝送する必要がある、携帯電話ネットワークのみならずプライベートなローカルエリアネットワーク（LAN）も、重要な役割を担う必要がある。

代表的なプライベート無線ネットワークである無線 LAN（Wi-Fi）は周波数を切り替えることなくベストエフォートの CSMA（キャリアセンスにより無線チャネルの利用有無を確認し、他の機器が送信している間は送信を停止する方式）方式を用いるため、大容量・低遅延伝送を大量に收容するためには、一定量の通信帯域を継続して確保する点が課題となる。特に、民間予測において「2025 年にはトラヒック量は 4 倍になる」という試算もあることを踏まえると、トラヒックの多いプライベートネットワークが互いに隣接した場合、大容量・低遅延トラヒックの收容に必要な通信帯域や通信機会の確保が困難な「干渉爆発」の状態になり、前述の課題がより顕著となる。

また、アプリケーションの利便性および信頼性を確保する観点からは、大容量・低遅延伝送を行う端末が電波の不感地帯に陥らないようにすることが重要である。

さらには、大容量・低遅延伝送を行うにはまとまった通信帯域が必要となることから、そのような通信を行う際には比較的高い周波数帯域を用いることが必要となるが、高い周波数帯域においては遮蔽により不感地帯が発生しやすくなるため、通信端末において良好な伝搬状況を維持することも大きな課題となる。

そのため、本研究開発課題では今後のプライベート無線ネットワークにおけるトラヒック増加に伴う干渉爆発、ならびに不感地帯の発生を回避すべく、伝搬路状況や干渉発生状況に応じてアンテナ指向性や信号の空間多重度を適応的に制御する技術（アクティブアンテナシステム）と、反射波の発生状況を変化させる Intelligent Reflecting Surface（IRS）や受信信号を再生して再放射するレピータといった伝搬路状況可変機構を用いて伝搬路状況を制御する技術と連携動作させ、通信端末の位置に応じて伝搬路を動的に制御して干渉や不感地帯を低減する、インテリジェント伝搬路制御技術を確立する。これに加えて、無線環境を把握して、必要となる無線リソースを効率的に管理して大容量・低遅延トラヒックの收容を可能とするレイヤ間連携アクセス制御技術を確立する。これらの技術の活用により、プライベート無線ネットワークの周波数利用効率の一層の向上を図る。

## 2. 政策的位置付け

- ・「統合イノベーション戦略 2020」（令和 2 年 7 月 17 日閣議決定）

「第Ⅲ部 各論 第 1 章 知の源泉 （１）社会のデジタル化を支える基盤整備」において、「研究開発として、超低遅延や超高信頼性等を保証可能な通信機能複合型ネットワーク技術や、光・電波融合アクセス技術として 6 G 時代以降のアクセス網での Tbps 級通信容量の実現に資するサブ Tbps 級メディア調和アクセス基盤技術の確立、複数の自動運転システム群・ドローンに確実にかつ効率的に接続するための無線技術の研究開発、極限的な環境でも確実に接続するためのワイヤレス拡張技術等の 5 年をめどとした技術の確立を目指す。」旨の記載あり。

- ・「新たな情報通信技術戦略の在り方」（令和 2 年 8 月 5 日情報通信審議会答申）

「第 2 章 国として重点的に取り組むべき研究開発」において、「タフ環境に適応する無線アクセス技術の研究開発：外来干渉や複雑な構造によるマルチパス等によって電波の利用が困難な環境（タフ環境）において、低遅延・高信頼を提供する無線ネットワークが必要になる群ロボットの制御等への適用を想定し、リアルタイム性を備えた電波の伝わり方の可視化技術、可視化された情報をもとにした周波数チャネル・通信経路等の通信資源最適化技術、高信頼・低遅延・多数同時接続を両立させる無線アクセス技術、及び電力・周波数の利用効率や接続性の向上を図る無線ネットワーク技術を確立する。」旨の記載あり。

- ・「周波数再編アクションプラン（令和 2 年度第 2 次改定版）」（令和 2 年 11 月 13 日総務省公表）

「新しい電波利用の実現に向けた研究開発等」において、「施設内等の狭空間において、無線 LAN や IoT システムの無線通信システムの稠密な利用を可能とするため、電波環境に応じて周波数・通信方式等を制御する技術や、既存チャネルを複数に分割・冗長化し高信頼性の無線通信を実現する技術等の研究開発を推進する。」、「920MHz 帯、2.4GHz 帯及び 5GHz 帯の電波を利用する IoT システムにおいて、IoT の超多数同時接続や低遅延化に対応するため、ネットワーク仮想化技術やプラットフォーム技術等を応用することにより、IoT 機器とネットワークの有線・無線一体となった IoT システム全体を最適に制御し、周波数の有効利用を図る技術等の研究開発を推進する。」旨の記載あり。

## 3. 目標

以下の課題ア、課題イで研究開発した技術を統合して、それらの技術を使用しない場合に対し、大容量・低遅延トラヒックに関する面的周波数利用効率（単位面積・単位周波数当たりの収容可能トラヒックの比）を 4 倍以上に改善する。また、アクセスポイントを増やすことなく不感地帯を減らすために大容量・低遅延トラヒックを収容可能な場所率（エリア全体に対する大容量・低遅延トラヒックを利用可能

なエリアの面積比)を2.25倍以上(距離換算で1.5倍以上)に改善する。

#### 4. 研究開発内容

##### (1) 概要

本研究開発ではプライベート無線ネットワークにおける多数の大容量・低遅延トラヒック収容の実現に向けて、課題ア 干渉抑圧と不感地帯対策を両立させるインテリジェント伝搬路制御技術、課題イ レイヤ間連携アクセス制御技術の研究開発を行う。なお、確立する技術の適用先周波数帯としては2.4 GHz帯、5 GHz帯(ならびに将来的な6 GHz帯への適用も含む)、および60 GHz帯を想定する。

##### (2) 技術課題および到達目標

###### 技術課題

課題ア 干渉抑圧と不感地帯対策を両立させるインテリジェント伝搬路制御技術

###### アー１ インテリジェント伝搬路制御技術の研究開発

大量の大容量・低遅延トラヒックを同時に収容するためには、同一無線チャネルを利用する無線装置(アクセスポイントや端末)間での与・被干渉を極力抑えとともに、場所率改善のために端末が電波の不感地帯に陥らず、アクセスポイントとの間で良好な伝搬状況を維持する必要がある。そのためにはレピータやIRSなどにより構成される伝搬路状況可変機構を導入するとともに、これとアクティブアンテナシステムとを適切に制御し、与・被干渉の低減と所望信号の受信電力の確保を実現する必要がある。

そのため、同一無線チャネルを利用するアクセスポイントや端末が多数存在する干渉爆発環境下において、アー２にて確立する端末トラッキング技術との連携や、既存技術の適切な制御等を行うことにより、与・被干渉の低減と不感地帯を解消し、大容量・低遅延トラヒックの収容数改善に寄与する伝搬路状況可変機構とアクティブアンテナシステムの制御技術の確立に向けて、以下の技術の研究開発を実施する。

###### アー１－(a) 伝搬路状況可変機構方式の検討

与・被干渉を極力抑えとともに、場所率を改善するように伝搬路状況可変機構を適切に制御するためには、無線装置間や、無線装置と伝搬路状況可変機構の間などの伝搬路状況を正確に把握する必要がある。これを行うにはプローブ信号などを送信する必要があるが、特に送受信機で多数のアンテナ素子を利用する場合や、レピータやIRSを活用する場面は把握すべき伝搬路が多く、オーバヘッド増大の原因となり得る。そのため、低コストで伝搬路状況を正確に把握可能な技術を開発する。

また、伝搬路状況可変機構を構成するIRSについては、プライベート無線ネッ

トワークでの利用を想定し、低アンテナ高や屋内環境などの利用環境に適した IRS の構成について検討を行う。さらに、同一無線チャネルを利用するアクセスポイントや端末が多数存在する干渉爆発環境下において与・被干渉や不感地帯の解消が可能となるよう、無線装置のキャリアセンス等を考慮した上で、適切に伝搬路状況可変機構を制御する指針、および小さな制御オーバーヘッドで伝搬路状況可変機構を制御する具体的な手法を開発する。

#### アー１－(b) アクティブアンテナシステムの検討

伝搬路状況可変機構が利用可能な環境に適したアクティブアンテナの構成を確立するとともに、伝搬路状況可変機構制御方式やアー２にて確立する端末トラッキング技術と連携し、これらを効率的に活用して与・被干渉の低減と不感地帯を解消するアクティブアンテナ制御手法を開発する。開発するアクティブアンテナは 2.4 GHz 帯、5 GHz 帯、60 GHz 帯などの複数の周波数帯に適用可能なものとし、6 GHz 帯以下では 8 多重程度、ミリ波帯では、ビーム幅 10～20 度、2～4 多重程度とする。

#### アー２ 端末トラッキング技術の研究開発

利用可能な周波数幅が広いミリ波帯などでは回折や散乱による見通し外伝搬が期待できないことから、端末の位置を高精度に把握しておくことにより、インテリジェント伝搬路制御における伝搬路状況可変機構およびアクティブアンテナシステムの制御に際して、制御の高精度化や制御オーバーヘッドの著しい低減が実現できると期待される。

高精度に位置情報を取得する手段として GPS があるが、無線 LAN が主に利用されている屋内ではこれを利用することができない。現在の無線 LAN ではフレームの受信側において既知信号を用いた伝搬路推定を行っているものの、それにより得られる伝搬路情報のみからでは、端末位置を推定することはできない。

そのような状況下で、トラフィックが削減される事を目指し、端末位置を推定するため、以下の技術の研究開発を実施する。

##### アー２－(a) 端末位置検出技術

既存の位置検出技術として、受信電力や電波の到来方向を用いる方法が存在する。しかしながら、屋内では電波の反射波の影響により、電波の到来方向と端末位置の一致が難しく、また、デッドスポットと呼ばれる電波の弱い場所が生じるため、電波の強度・方向のみでは正確な位置の推定が難しい。一方、端末内には、GPS 以外にも位置情報把握の一助になりうる様々なセンサが内蔵されていることから、端末位置検出に有効な手段と考えられる。これらの状況を踏まえ、複数のアクセスポイントからの電波や異なる周波数の電波、端末内のセンサ情報などを適切に活用して、位置情報の検出精度を向上させる技術を確立する。

## アー２－(b) 移動端末位置予測技術

屋内では電波の到来方向は複雑となり、またフェージングにより電波の強度も大きく変動するため、距離と受信電力が必ずしも対応しない。よって、電波のみを用いる位置推定方式では、複数の位置候補が検出される可能性がある。予め端末の位置や動きを予測することが出来れば、複数の位置候補の中から正しい端末位置を特定することができる。そのため、端末の属性や移動ベクトル、過去の移動履歴などを活用して端末位置を予測する技術を開発する。

## 課題イ レイヤ間連携アクセス制御技術

常に高い通信レートを必要とするような大容量アプリケーションを安定的に伝送するためには、無線リソースを十分に確保する必要があるが、干渉爆発が生じると無線リソースの割当てが困難な状況に陥ることとなる。また、従来の考え方では、ネットワークインターフェース層(物理層、媒体アクセス制御層)による時間・空間・周波数領域の無線リソース制御と、アプリケーションの要求条件に直接影響を与えるアプリケーション層ならびにトランスポート層におけるプロトコル制御は、独立に行われてきたため、例えば、アプリケーションの要求条件に対して、過剰な無線リソースが設定され、他のアプリケーションに設定する無線リソースが枯渇するような状況が発生する。特に無線リソースが限られる干渉爆発環境下においては、その影響は大きい。

そのため、無線リソースが限られる干渉爆発環境下においてもアプリケーションの要求を満たすために、時間・周波数・空間の各無線リソースの効率的な活用、並びに無線リソース制御によって達成し得るネットワークインターフェース層の通信品質をトランスポート層やアプリケーション層と共有し、レイヤ間の効率的な情報連携を実現するインターフェースを備え、各アプリケーションに設定する伝送プロトコルの動的制御を行うことにより、従来手法とは異なり、アプリケーション層から、無線レイヤまでを一括して制御する、レイヤ間連携アクセス制御技術が必要となる。

### 到達目標

課題ア 干渉抑圧と不感地帯対策を両立させるインテリジェント伝搬路制御技術

## アー１ インテリジェント伝搬路制御技術の研究開発

伝搬路状況可変機構を利用しない従来のアクティブアンテナシステムと比較して高い伝送レートで通信可能なエリアを拡大し、面的周波数利用効率を、伝搬路状況の制御に必要となるオーバーヘッドを加味した上で２倍以上に改善し、大容量・低遅延アプリケーションが実現可能な場所率を１.５倍以上改善することを性能目標とする。

## アー２ 端末トラッキング技術の研究開発

端末位置の推定精度として、最も近いアクセスポイントから５m離れた位置に

において誤差 10cm を性能目標とする。

#### 課題イ レイヤ間連携アクセス制御技術

アプリケーションを実行したとき、レイヤ間連携アクセス制御を用いない場合と比較して、レイヤ間連携アクセス制御を用いた場合に、利用可能な周波数帯や帯域幅を変えずに、面的周波数利用効率を 2 倍以上に改善し、大容量・低遅延アプリケーションが実現可能な場所率を 1.5 倍以上改善することを性能目標とする。

なお、上記の目標を達成するに当たっての年度毎の目標については、以下の例を想定している。

#### <令和 3 年度>

##### 課題ア 干渉抑圧と不感地帯対策を両立させるインテリジェント伝搬路制御技術

###### アー 1 インテリジェント伝搬路制御技術の研究開発

- ・伝搬路状況可変機構の構成に関する基本検討を行うと共に、伝搬路制御方式の基本方式を考案する。
- ・伝搬路状況可変機構の利用を念頭においた、アクティブアンテナシステム制御の基本方式を考案する。

###### アー 2 端末トラッキング技術の研究開発

- ・端末位置の推定に用いる情報の選定と、その入手手法およびこれを用いた端末位置推定手法の基本設計を行う。

#### 課題イ レイヤ間連携アクセス制御技術

- ・アクセスポイント単体における空間多重・マイクロ波・ミリ波連携に関する基本検討を行うとともに、無線リソース制御方式の基本方式を考案する。
- ・アクセスポイント単体におけるレイヤ間連携アクセス技術のプロトコルに関する基本検討を行うとともに、レイヤ間インターフェースの基本方式を考案する。

#### <令和 4 年度>

##### 課題ア 干渉抑圧と不感地帯対策を両立させるインテリジェント伝搬路制御技術

###### アー 1 インテリジェント伝搬路制御技術の研究開発

- ・伝搬路状況可変機構の構成に関する詳細検討を行うと共に、伝搬路制御方式の改良方式を考案する。
- ・伝搬路状況可変機構の利用を念頭においた、アクティブアンテナシステム制

御の改良方式を考案し、計算機シミュレーションによる機能検証を行う。

#### アー２ 端末トラッキング技術の研究開発

- ・ 端末位置の推定に用いる情報の入手手法および端末位置推定手法に関する詳細設計を行い、実デバイスを用いた機能検証を行う
- ・ インテリジェント伝搬路制御技術への端末位置情報提供方式の基本設計を行う。

#### 課題イ レイヤ間連携アクセス制御技術

- ・ アクセスポイント連携も含めた時空間リソース最適制御方式に関する詳細検討を行うとともに、計算機シミュレーションによる機能検証を行う。
- ・ 大容量アプリケーションの実行を念頭において、レイヤ間連携アクセス技術の改良方式を考案し、評価用無線通信システムへの機能実装を進める。

#### <令和５年度>

#### 課題ア 干渉抑圧と不感地帯対策を両立させるインテリジェント伝搬路制御技術

##### アー１ インテリジェント伝搬路制御技術の研究開発

- ・ 伝搬路状況可変機構とアクティブアンテナシステムの統合制御手法を考案し、性能目標達成の見通しを得る。
- ・ 端末位置推定系と連携動作するインテリジェント伝搬路制御系を構築し、機能検証を行う。

##### アー２ 端末トラッキング技術の研究開発

- ・ インテリジェント伝搬路制御技術と連携動作する端末位置推定系を構築し、機能検証を行う。
- ・ 必要に応じて端末位置推定手法を改良し、性能目標達成の見通しを得る。

#### 課題イ レイヤ間連携アクセス制御技術

- ・ 評価用無線通信システムへの機能実装と評価を実施し、性能目標達成の見通しを得る。
- ・ 課題アとの技術連携への拡張性も確保しつつ、各種アルゴリズム改良について検討を行う。

#### <令和６年度>

#### 課題ア 干渉抑圧と不感地帯対策を両立させるインテリジェント伝搬路制御技術

##### アー１ インテリジェント伝搬路制御技術の研究開発

## アー２ 端末トラッキング技術の研究開発

### 課題イ レイヤ間連携アクセス制御技術

- ・インテリジェント伝搬路制御系、端末位置推定、レイヤ間連携アクセス制御系の各要素技術が連携動作する系を構築する。
- ・干渉爆発環境下において各要素技術を統合したシミュレーションや実験による評価を実施し、必要に応じて各種制御技術の改良および拡張可能性について検討を行い、総合的な性能目標の達成を確認する。

## 5. 実施期間

令和３年度から６年度までの４年間

## 6. その他

### （１）成果の普及展開に向けた取組等

#### ①国際標準化等への取組

国際競争力の強化を実現するためには、本研究開発の成果を研究期間中及び終了後、速やかに関連する国際標準化規格・機関・団体へ提案を実施することが重要である。このため、研究開発の進捗に合わせて、国際標準への提案活動を行うものとする。なお、提案を想定する国際標準規格・機関・団体及び具体的な標準化活動の計画を策定した上で、提案書に記載すること。

#### ②実用化への取組

研究開発期間終了後も引き続き取り組む予定の「本研究開発で確立した技術の普及啓発活動」及び令和１０年度までの実用化・製品展開等を実現するために必要な取組を図ることとし、その活動計画・実施方策については、提案書に必ず具体的に記載すること。

### （２）提案および研究開発に当たっての留意点

提案に当たっては、基本計画書に記されている目標に対する達成度を評価することが可能な具体的な評価項目を設定し、各評価項目に対して可能な限り数値目標を定めること。また、従来の技術との差異を明確にした上で、技術課題及び目標達成に向けた研究方法、実施計画及び年度目標について具体的かつ実効性のある提案を行うこと。

研究開発の実施に当たっては、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方等、研究開発全体の方針について幅広い観点から助言を頂くと共に、実際の研究開発の進め方について適宜指導を頂くため、学識経験者、有識者等を含んだ研究開発運営委員会等を開催する等、外部の学識経験者、有識者等を参画させること。

なお、本研究開発において実用的な成果を導出するための共同研究体制又は研究協力体制について、研究計画書の中にできるだけ具体的に記載すること。