

令和 5 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号        222C03  
研究開発課題名    ウイルス等感染症対策に資する情報通信技術の研究開発  
                         課題 C アフターコロナ社会を形成する ICT  
副        題        新生活様式におけるコミュニティ形成のためのサイバーフィジカル空間共有基盤

(1) 研究開発の目的

本研究では、我々が存在・活動するパーソナル現実空間を適切なプライバシー制御のもとで共有することを可能とする、サイバーフィジカル空間共有基盤の設計開発を行う。同基盤は、プライバシー機敏情報を含むフィジカル空間を精緻にセンシング可能なデバイスが偏在する環境を想定し、それらが捉える高精細映像や音声などのセンシングデータや、そのデータから直接あるいは間接的に推定されるコンテキストに対し、どの内容のデータをどのように加工するか、あるいはアクセス可能とするかの制御を行い、パーソナル空間を提供するユーザに安全安心を与える技術を開発する。

(2) 研究開発期間

令和 3 年度から令和 5 年度 (3 年間)

(3) 受託者

国立大学法人大阪大学<代表研究者>  
株式会社 KDDI 総合研究所  
国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学

(4) 研究開発予算 (契約額)

令和 3 年度から令和 5 年度までの総額 60 百万円 (令和 5 年度 20 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 物理空間の精緻センシングと共有技術の開発

研究開発項目 1-1… 人間行動の精緻センシングとモデル化 (大阪大学)  
研究開発項目 1-2… モノと空間の精緻センシングとモデル化 (大阪大学)  
研究開発項目 1-3… 精緻データのポリューム最適化技術の開発 (大阪大学)

研究開発項目 2 人間理解に基づくプライバシー要求獲得技術の開発

研究開発項目 2-1… コンテキスト推定による状況理解技術の開発 (奈良先端科学技術大学院大学)  
研究開発項目 2-2… 複合コンテキストによるプライバシー表現モデルの構築 (奈良先端科学技術大学院大学)  
研究開発項目 2-3… 深層強化学習によるプライバシー要求獲得技術の開発 (奈良先端科学技術大学院大学)

研究開発項目 3 セキュアな空間情報共有のための通信技術の開発

研究開発項目 3-1… 空間共有のための通信モデルの開発 (KDDI 総合研究所)  
研究開発項目 3-2… 空間共有のためのセキュリティモデルの開発 (KDDI 総合研究所)

研究開発項目 4 サイバーフィジカル空間共有基盤の開発と基礎評価

研究開発項目 4-1… 空間データベースの開発 (大阪大学)  
研究開発項目 4-2… 精緻センシングを支えるエッジ・クラウド連携アーキテクチャの設計開発 (奈良先端科学技術大学院大学)

(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	2	2
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	4	2
	その他研究発表	34	15
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	2	2
	展示会	1	1
	受賞・表彰	3	1

(7) 具体的な実施内容と最終成果

研究開発項目 1 物理空間の精緻センシングと共有技術の開発

- 研究開発項目 1-1 人間行動の精緻センシングとモデル化  
複数の LiDAR を用いて人間の行動や姿勢を高精度にセンシング・追跡する技術を開発。複数人の合体や接近による観測の欠落を、人数予測を含む新たな手法で補正することで、CLEAR 指標の MOTA 95%以上の高精度な人物検出・追跡を実現するとともに、姿勢推定においても 99%以上の認識精度を達成した。
- 研究開発項目 1-2 モノと空間の精緻センシングとモデル化  
3次元点群データから机や椅子、壁などの物体の属性を 90%以上の精度で認識・理解する技術を開発した。空間内の物体の種類や配置状況を高精度に把握することを可能とした。
- 研究開発項目 1-3 精緻データのボリューム最適化技術の開発  
意味理解に基づくデータストリーム最適化でのデータボリューム抑制手法を開発した。オブジェクト単位でのダウンサンプリングや時間軸方向の間引きにより、データ量を 1/10 以下に削減しつつ、LTE 環境においても 300ms 以下の低遅延での空間共有を実現した。

研究開発項目 2 人間理解に基づくプライバシー要求獲得技術の開発

- 研究開発項目 2-1 コンテキスト推定による状況理解技術の開発  
人間のプライバシー要求に影響を与える行動・環境・ソーシャルコンテキストを特定し、それらを獲得する手法を開発した。家庭内における様々な行動コンテキスト（調理の準備、調理中、食事中など）を 90%以上の精度で認識する技術を開発した。
- 研究開発項目 2-2…複合コンテキストによるプライバシー表現モデルの構築  
様々な行動コンテキストと環境コンテキスト、ユーザ属性を複合的に考慮し、オブジェクト毎のプライバシー要求レベルを表現するモデルを構築した。モデルに基づき、適切なプライバシー制御を行うための指針を得た。
- 研究開発項目 2-3…深層強化学習によるプライバシー要求獲得技術の開発  
BIG5 パーソナリティを用いたユーザ別プライバシー推論技術や未知オブジェクトに対するゼロショット推論技術を開発した。またクラウドソーシングにより収集した大規模なプライバシー要求レベルのデータセットを構築し、それを用いて教師あり学習および転移学習による深層学習モデルを開発した。これにより、未知のオブジェクトに対するプライバシー要求レベルを、個人差を吸収した上で推論可能とした。

研究開発項目 3 セキュアな空間情報共有のための通信技術の開発

- 研究開発項目 3-1 空間共有のための通信モデルの開発  
ROS2 と Zenoh を用いたエッジブローカ連携型の通信アーキテクチャを設計し、100 人規模の同時接続におけるスケラビリティを実証した。エッジブローカを介することで、ネット

ワーク内のトラフィックを局所化し、広域ネットワークの負荷を大幅に低減できることを示した。

- 研究開発項目 3-2 空間共有のためのセキュリティモデルの開発  
プライバシーレベル毎に共通鍵を割り当て、ユーザのグループ化と鍵の動的な更新を組み合わせることで、コンテンツに基づく動的なアクセス制御を実現した。提案するアクセス制御方式のスケラビリティ評価として、100人規模の配信時の鍵更新制御信号数を評価し、従来方式と比較して、信号数を89%削減可能なスケラブルな手法を確立した。

#### 研究開発項目 4 サイバーフィジカル空間共有基盤の開発と基礎評価

- 研究開発項目 4-1 空間データベースの開発  
空間データを扱う ROS Master (broker) として空間データベースを開発した。
- 研究開発項目 4-2 精緻センシングを支えるエッジ・クラウド連携アーキテクチャの設計開発  
エッジノード群およびクラウドサーバが連携してリアルタイムに点群を処理する際に必要となる QoS 制御に向けた点群データ変換機構を開発した。特に、点群データの圧縮機構を開発し、91%以上の圧縮率を達成しつつ、1秒以下の低遅延を実現した。
- 研究開発項目 4-3 サイバーフィジカル空間をつなぐヒューマンマシンインターフェースの開発

本基盤で用いるインタフェースの一例として料理教室ユースケースで利用する IoT まな板を開発し、臨場感を高めるための物理空間映像投影システムを開発した。

- 研究開発項目 4-4 マルチユーザ間オブジェクト共有機構の開発  
エッジ・ブローカ連携型通信アーキテクチャにおけるマルチユーザ間のオブジェクト共有機構を開発した。
- 研究開発項目 4-5 コンポーネント統合による空間共有基盤の実装  
空間統合サーバを含む空間共有基盤の設計・プロトタイプを実装し、人物追跡・オブジェクトの属性理解に基づく、空間共有のプロトタイプを実装、性能評価を実施
- 研究開発項目 4-6 ローカル 5G を用いた空間共有基盤の基礎性能検証  
シビアな 4G 下における遅延抑制を評価。帯域制約の厳しい LTE 環境を用いて、開発した空間共有基盤の基礎的な性能検証を行った。

#### 研究開発項目 5 空間共有基盤を用いたコンセプト実証実験

- 研究開発項目 5-1 商業店舗間でのイベント共有実証実験  
大型商業ビルグランフロント大阪の The Lab.において、開発したサイバーフィジカル空間共有基盤を用いたイベント共有の実証実験を行った。キャンプ空間と自宅空間をシームレスに接続し、プライバシー制御機能を備えた没入型の遠隔コミュニケーション体験を、11日間に渡り333名の一般来場者に提供した。アンケートの結果、約8割の体験者から高い評価を得ることができた。

- 研究開発項目 5-2 教育支援を目的とした実証実験

料理教室を想定したユースケースにおいて、コンテキストに応じたプライバシー制御の評価実験を計画し、大阪大学-奈良先端大間の接続実験を通して、オブジェクト毎のプライバシーレベル設定や、リアルタイムなコンテキスト変化検知に基づくプライバシー制御の実現可能性を検証した。

- 研究開発項目 5-3 家族関係強化や介護高度化を目的とした実証実験

遠隔ユーザが空間共有により一緒に料理をすることで家族関係を強化するシナリオを設計し実装した。一般の体験者を対象とした提案システムの実証実験を行うために、空間共有システムの体験会を実施した。体験会は11月11日および18日の2度実施した。いずれの体験会も、奈良先端科学技術大学院大学内のスマートホームおよび、隣接した部屋に設置したキッチンスペースにて実施した。また、各体験会には、大学の近隣エリアである生駒市の一般市民に参加いただいた。

1 度目の体験会には、公募により参加いただいた 41 名の方にシステムを体験いただき、2 度目の体験会では、奈良先端大のオープンキャンパスの企画として多くの一般市民に体験いただいた。

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

- 実用化を目指すにあたり、技術独占ではなく、プライバシーに配慮した 3 次元データ処理基盤の一部をオープンソース化し、コミュニティを通じて機能拡張と潜在的ユーザ基盤の拡大を図ることが望ましいアプローチであると考えます。オープンイノベーションの概念を取り入れることで、技術の応用範囲が広がり、市場のニーズに応える製品開発につながる可能性が高まる。
- XR、AR、VR デバイスは未だ発展途上であり、家庭内での現実環境と遠隔空間の情報を自然に重ね合わせられる安価なデバイスや表示媒体の普及にはまだ時間を要するが、今後 5 年間のデバイス普及と市場拡大を視野に入れた研究開発が求められている。
- 本プロジェクトでは、人間の受容性、プライバシーの定量化、点群データの高速度処理、多人数による大容量メディアのリアルタイム共有を可能にする効率的なネットワーキングなど、多岐にわたる課題に取り組んできた。これらをまとめたシステム設計論の国際論文および著書の執筆に挑戦し、一部データセットや実装を公開することで、研究成果の応用に向けた新たな機会を生み出したい。
- ビジネス面では、点群処理技術において協力関係にある HULIX をはじめとするベンチャー企業や新鋭企業と緊密に連携し、研究成果の事業化を模索する。こういった試みが、3 次元センシング技術の家庭内外での応用範囲拡大と普及を促進すると期待する。