

## 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 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
- ◆受託者 国立大学法人大阪大学、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
- ◆研究開発期間 令和3年度～令和5年度(3年間)
- ◆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)

## 2. 研究開発の目標

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。

## 3. 研究開発の成果

### 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

←公共空間に設置した複数のLiDARから3次元点群を収集。提案手法による広域の歩行者追跡性能を評価

3D Scene (点群)

物体属性情報

3D再構築

Source Point Cloud

Semantics

↑2D画像に対するオブジェクト属性分類(Yolo)と3D点群の分離(セグメンテーション)を組み合わせる意味理解

物体の表現(点群)

予め定義した相対的重要性と測定帯域に基づき、各オブジェクトの点群の密度とフレームレートを制御し精緻データのボリューム最適化

### ・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:

複数視点からの高精度映像・空間深度計測デバイスによる人物追跡技術を開発・実装し、CLEAR指標による性能評価を実施。MOTA 95%以上の高精度な人物検出・追跡を実現。姿勢推定においても99%以上の認識精度を達成。

### ・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。

### 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

提案手法: 分散表現でオブジェクトを区別

今後提案手法の有用性を検討

学習フェーズ

分散表現 C

プライバシーレベル 推定モデル

推論フェーズ

分散表現 D

プライバシーレベル 推定モデル

オブジェクトの推論は本学習者が取得した学習データが適切に学習することで適切な推論を実現

文章の分散表現を用いた未知のオブジェクトへの効率的な推論手法を設計

Training phase

Object name A, B, C

Privacy level A, B, C

Text Feature A, B, C

Testing phase

Object name A, B, C

Text Feature A, B, C

Privacy level A, B, C

Unknown object (Object name D)

Approximate inference for unknown object D

### ・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。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)の認識で90%以上の精度を達成。

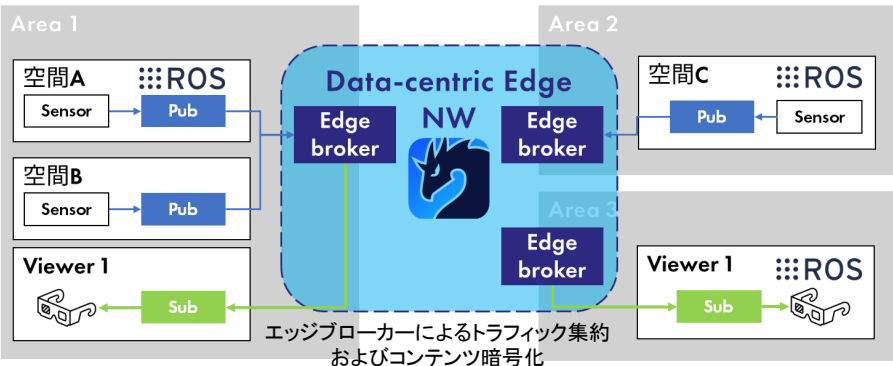
### ・研究開発項目2-2 複合コンテキストによるプライバシー表現モデルの構築:

遠隔料理教室や遠隔介護等の各種シナリオに合わせたプライバシー主観評価手法の開発。

### ・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の開発。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。

### 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:  
 多人数の空間共有を実現する通信モデルとしてROS2とZenohを用いたエッジキャッシュ連携型のスケーラブルPub/Sub通信を開発。100人規模の同時接続におけるスケーラビリティを実証した。
- ・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:  
 スケーラブルPub/Sub通信に対して適切なアクセス制御を付与可能なコンテンツ暗号化及びセキュア・グループ鍵管理プロトコルを設計。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%削減可能なスケーラブルな手法を確立した。

- ・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ー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。
- ・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オブジェクト共有機構について負荷試験を実施。
- ・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。
- ・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4: サイバーフィジカル空間共有基盤の開発と基礎評価

カラー画像と深度画像を、実際の3D点群に変換するプロトタイプの開発  
 圧縮モジュールのプロトタイプの開発  
 オリジナルの点群を9.78MBからわずか443KBIに圧縮

...to compression module

.plyファイルの生成

G-PCCによる圧縮

インターフェース開発  
 IoTまな板の要件

- ・講師の精緻な調理動作を見ながら調理可能
- ・自分の調理動作を講師や他の生徒に見せられる

ディスプレイ内蔵IoTまな板

プロジェクターと組み合わせた配置図

### 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

統合された仮想空間の表示

ARデバイスによる仮想空間の共有

タブレットで各々の空間内オブジェクトや背景のオブジェクトを制御

空間A (センサー), 空間B (センサー)

仮想空間の投影

Objects the user wants to hide

Privacy Filtering

Spatial Information

Room A, Room B, Virtual World

1 Room A, Room B

グランフロント大阪 The Lab.に再現した遠隔空間と空間共有基盤(上)と構築した環境

料理教室ユースケースの体験会システム概要図

- ・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実施。
- ・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:  
 高齢者世帯を対象とした遠隔家族交流の実証実験のシナリオと、介護士による遠隔介護実験のシナリオを開発。

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・採択	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰
2 (2)	0 (0)	4 (2)	34 (15)	0 (0)	2 (2)	1 (1)	3 (1)

※成果数は累計件数、( )内は当該年度の件数です。

(1) 受託者間連携について

受託者間で相互の強みを活かした連携を実現するためのオンライン会議を月1回のペースで実施。各機関が進めた要素技術を統合し、複数のサイバーフィジカル空間共有基盤の実証実験を実施。

(2) 一般市民を対象とした大規模な実証実験の実施

大阪のグランフロント内商業施設「The Lab」における11日間のデモ展示

2023年11月24日～12月4日、The Lab Active Lab スペースに構築し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、333名の一般来場者に提供。体験者アンケートでは約8割から高評価を獲得し、本技術の有用性と社会的な期待の高さを確認。

遠隔料理教室・遠隔家族交流シナリオの体験会(近鉄ケーブルテレビ『KCN情報発信スタジオ Kスタ!』で報道。)

奈良先端大学のスマートホーム施設を活用した遠隔家族交流シナリオの体験会も複数回実施し、ユーザ属性に応じたきめ細やかなプライバシー制御の必要性など、実運用に向けた貴重な知見を獲得。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。近鉄ケーブルテレビ『KCN情報発信スタジオ Kスタ!』で報道。

5. 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。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年間で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。