

研究開発項目

1. スマートスポットセル (SSC) の構成技術

2023年度までの進捗状況

1. 概要

サイバネティック・アバター(CA)の遠隔操作の信頼性を確保するためには、CA 制御のための無線通信技術の高信頼化が不可欠です。無線通信の性能は、CA と基地局間の距離、CA の密集度、周辺環境などの条件によって変動します。また、CA のサービスを受ける人とのやりとりなどの内容によって制御の応答時間やデータ通信容量など、無線通信の性能に関する要件も異なります。CA の遠隔操作を持続させるために、信頼性の高いローカル 5G に加え Wi-Fi も配置し、CA の動作や密集度に応じて柔軟に通信エリアを構築するスマートスポットセル (SSC) を開発しています (図 1)。また、SSC の効果的な運用を実現するため、電波環境や通信状況を可視化し、CA 通信の信頼性を事前に評価できる CA 信頼性評価シミュレータを開発しました。これにより、CA 遠隔操作に必要な通信品質を安定的に確保するための SSC エリア構築プロセスを効率化できることが期待できます。

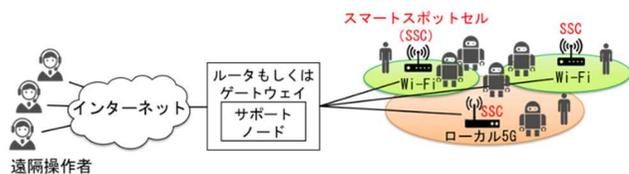


図 1 ローカル 5G と Wi-Fi によるスマートスポットセル

2. これまでの主な成果

大規模な CA 運用環境では 100 体以上の CA が運用されることが想定されます。加えて、CA はサービスを受ける人とやりとりを行うため、その周りに多くの人が集まることも想定されます。そこで、SSC を構成するローカル 5G および

普及が進んでいる Wi-Fi 6 を用いて大規模 CA 運用環境における CA 遠隔操作の通信特性を評価でき、通信に不具合が発生する場合にはその原因をグラフィカルに示すことができる CA 信頼性評価シミュレータを開発しました (図 2、図 3)。

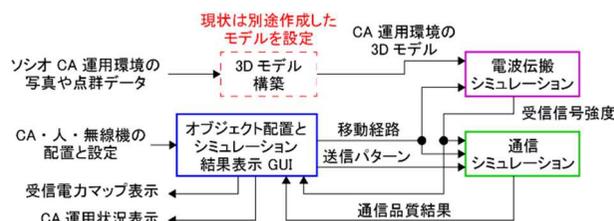


図 2 開発した CA 通信の信頼性を評価する CA 信頼性評価シミュレータの機能ブロック図

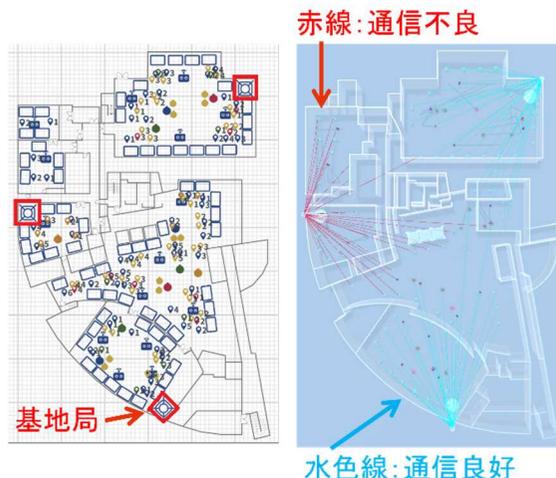


図 3 開発した CA 通信の信頼性を評価する CA 信頼性評価シミュレータの表示例 (左: CA や人の配置例、右: 通信状況の表示例)

CA と通信を行うローカル 5G/Wi-Fi の親局との間に別の CA や人が入り込むと、電波が遮蔽されて弱くなります。開発した CA 信頼性評価シミュレータには、実験を通じて取得した CA や人による電波遮蔽の影響を模擬できる電波遮蔽モデル (図 4) も組み込みました。

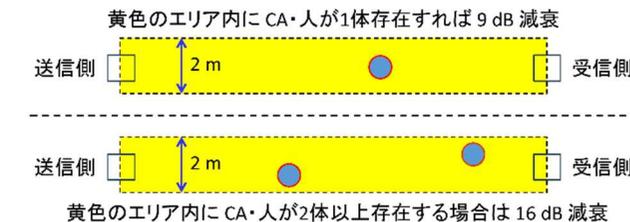


図 4 構築した電波遮蔽モデル

3. 今後の展開

2024 年度からは研究開発項目の「1. スマートスポットセル (SSC) の構成技術」および「2. 操作者と CA を繋ぐ E2E ネットワーク最適構成技術」の連携を強化し、新たに「4. CA 無線通信環境の最適化技術」として、機械学習による変動予測も加えた CA 無線通信環境の最適化技術を開発します。そして、CA 信頼性評価シミュレータを用いて大規模 CA 運用環境において本プロジェクトが開発するネットワーク制御技術の有効性を検証するとともに、実無線ネットワークへの実装を進めます。ユーザー目線での CA 通信の信頼性を示す数値指標を策定し、電波や通信の状況をより直感的に理解できるように表示系の改良も進めます。

研究開発項目

2. 操作者とCAを繋ぐE2Eネットワーク最適構成技

2023年度までの進捗状況

1. 概要

高信頼、低遅延、高効率なネットワークを実現し、安定したCA遠隔操作を継続可能とする通信技術として、(1)無線通信インテリジェントローカルネットワーク(ILN)の研究、(2)CAと遠隔操作者のエンドツーエンド(E2E)通信の研究により、CAの遠隔操作に要求される通信品質を常に確保できるネットワークの実現を目標としています。

CAの無線通信エリアは、ローカル5GやWi-Fiなどを組み合わせたスマートスポットセル(SSC)と、複数のSSCで構成するILN(図1)で形成します。複数のSSCが連携してCA通信の無線接続や通信エリアを最適に保ち、切れにくい高品質な無線通信の実現を目指します。遠隔操作者とCAの間のE2E通信プロトコルの研究では、情報指向型通信技術(ICN)を拡張し、高信頼、低遅延、高効率を実現する情報指向型通信技術拡張(Cin)の開発を進めています。

CAの移動・密集度に合わせてSSCのカバーエリアを柔軟に設定

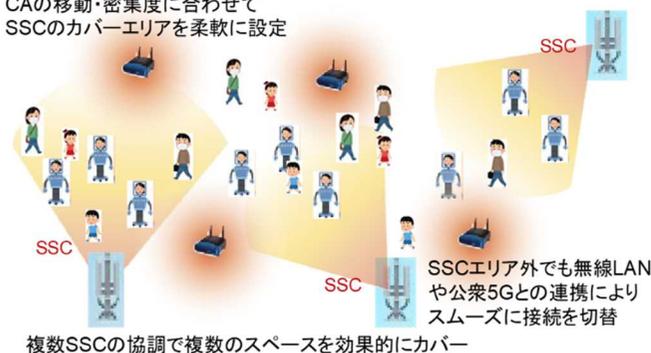


図1 インテリジェントローカルネットワークのイメージ

2. これまでの主な成果

(1) 無線通信インテリジェントローカルネットワーク(ILN)の研究

CAの無線通信、ILNの研究開発においては、各CA通信の品質要求を満たすために、学習型のパラメータ最適化アルゴリズムを開発しました。図2に示すパラメータ最適化システムでは、通信状況(CAの位置や接続数等)、通信パラメータ、過去の通信品質等の情報を、ILNを管理するサーバ上のOptimal CA Communication Area Computing Database(OCAC DB)に保存し、機械学習によって通信品質を推定し、CA無線通信のパラメータを最適化します。提案手法を、CA無線リンク、SSCパラメータの最適化に適用し、OCAC DBに情報が追加されることによって、CA通信の品質を改善できることをシミュレーションで確認しました。100体のCAが行き交う混雑環境においても、受信電力ベースの基地局選択手法よりも高いスループットが得られることを示しています。

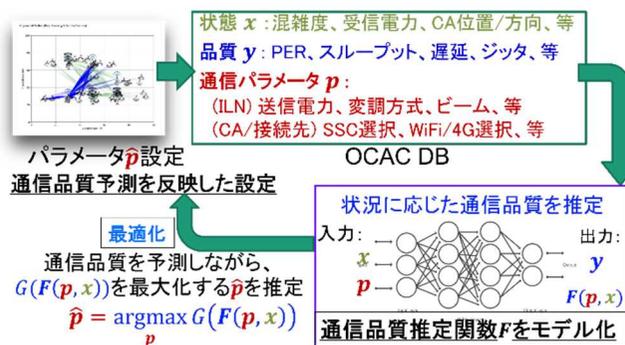


図2 ILNのパラメータ最適化システム

(2) CAと遠隔操作者のエンドツーエンド(E2E)通信の研究

CAと遠隔操作者のE2E通信の研究においては、広帯域・低遅延なICNxを実現するために、オープンソースであるCefore[1]を用いた開発を行いました。転送パケットが欠落したことをネットワーク内で検知し、迅速な再送要求を行うプロトコルを初期実装し、最大100Mbpsの通信が可能であることを確認しました。さらに、図3に示すように、ICNxをPCおよびAndroidタブレット端末に実装し、マルチキャストを用いた効率的かつ高品質な1対多通信ができることを確認しました。

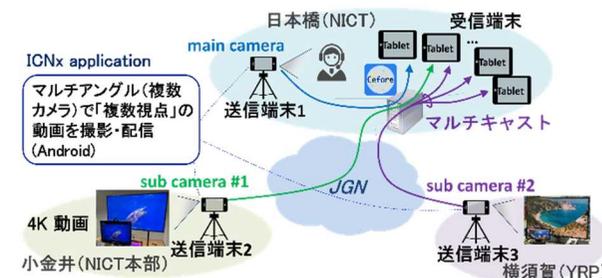


図3 ICNxを実装したPC/タブレットによる映像転送実験

3. 今後の展開

CAの無線通信、ILNの最適化アルゴリズムの有効性をシミュレーションで示してきましたが、今年度はローカル5Gの無線基地局や端末を用いた実システムにも実装し、実環境でのCA通信の信頼性確保の実証を目指します。E2E通信用プロトコル、ICNxの研究では、ネットワーク内キャッシュによる高速なデータリカバリ方式を開発し、更なる遅延の削減が可能となるプロトコルの実現を目指します。

[1] Cefore, ICN通信を実現するオープンソース実装, <https://github.com/cefore/>

研究開発項目

3. ジッタ低減と低遅延化による信頼性確保プラットフォームの構築

2023年度までの進捗状況

1. 概要

本研究開発項目では、サイバネティック・アバター(CA)遠隔操作の信頼性確保基盤(プラットフォーム)の研究開発と、関連する標準化・制度化について調査を実施しています。

CA遠隔操作の信頼性確保基盤として、エンドーエンド間の通信アーキテクチャを策定しました。本アーキテクチャは、現在のインターネット上に①動的経路制御機能と②通信品質把握・監視機能の2つの機能を有する「サポートノード」を導入します(図1)。インターネット上のIPアドレスによるルーティング(通信経路設定)に加えて代替の通信経路も予め確保して冗長化を図り、最適な経路に切り替えが可能な動的経路制御機能にて信頼性を確保します。切り替えの判断は、通信品質把握・監視機能と連携して行います。現在のインターネット通信では、通信経路上の混雑によるパケットロスや到達遅延、通信障害を回避することが難しいですが、本研究では、これらの問題の発生予兆を検知し、使用中の通信経路上に問題が生じる可能性がある場合に、事前に代替経路に切り替えることを目指します。本機能により、通信の不安定性に起因するCA遠隔操作の不安定化を回避し、操作者が違和感なく遠隔操作できるようになり、CAと触れ合うサービスユーザも安心してCAや遠隔操作者とのインタラクションができるようになります。

また、現在進められている標準化及び制度化の動向を調査しました。例えば、本プロジェクトが担当する通信分野ではインターネット関連の規格を議論しているIETFやIRTF、及び携帯電話の規格を策定する3GPPの動向等を調査対象とし、概要を調査報告書としてまとめました。

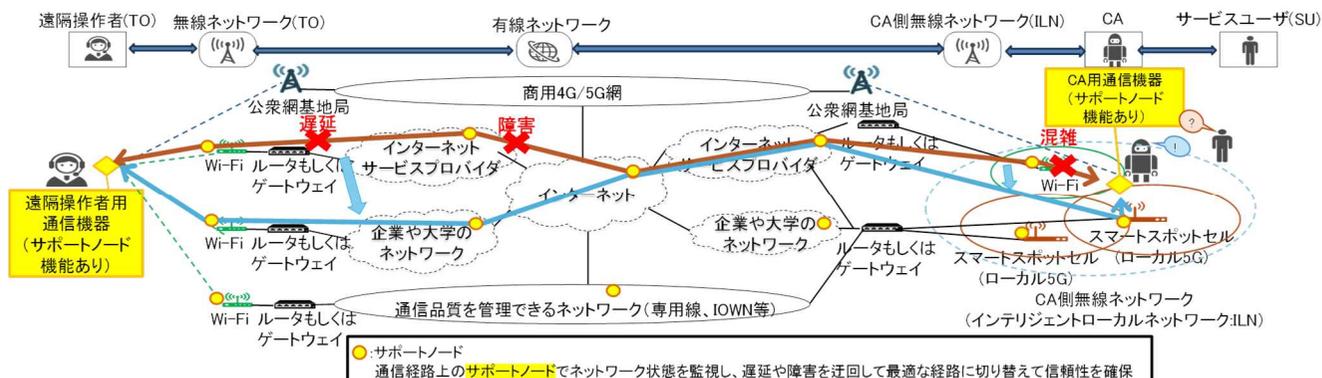


図1 「サポートノード」による信頼性確保基盤アーキテクチャ

2. これまでの主な成果

策定したCA信頼性確保基盤アーキテクチャに基づき、その初期プロトタイプを実装しました。CAの遠隔操作に活用できるようにするため、インターネット上で容易に導入できるように、サーバ等に機能実装する方針としました。そのため、令和5年度の初期プロトタイプの実装においては、①の動的経路制御機能はIPネットワーク上で経路選択を行うオーバーレイネットワークを構成し、②の通信品質把握・監視機能は近隣のサポートノード間で定期的にプローブパケットを交換して品質推定を行うこととしました。

本プロトタイプについて、情報通信研究機構の日本橋オフィスに遠隔操作者が、横須賀オフィスにCA及びサービスユーザがいるというシナリオの下、機能検証試験を実施しました。遠隔操作者側は2種類の回線を、CA側は3種類の回線をそれぞれ接続可能とし、インターネットを介して6通り(2×3)の通信経路を利用できる環境を構築しました。ネットワークの接続点や、管理主体が異なる各ネッ

トワーク上にサポートノードを配置し、通信品質を常時監視することで、現在通信中の経路だけではなく、代替候補となる経路の状況も把握できることを確認しました。有線ネットワークの混雑状態や無線通信区間のパケットロスなどを模擬した結果、サポートノードによって想定通りに代替通信経路への切り替えや、ジッタ発生時の遠隔操作された機器の動作のブレが吸収でき、安定した遠隔操作通信が維持できることを確認しました。サポートノードの導入により、経路の特徴や性能を自動で学習し、互いに情報共有しながら状況に応じて動的な経路切り替えが可能となり、現在のネットワーク上で従来にない通信信頼性を実現する仕組みの第一歩となりました。

3. 今後の展開

令和6年度には、プロジェクト内の無線区間高信頼化技術と組み合わせたエンドーエンド間制御方式を実装し、他プロジェクトの実証サイトにおいて通信制御試験を実施し、その有用性を評価します。また、標準化動向概要をまとめた調査報告書について、外部に対して公開する計画です。