

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 協調型自律ネットワークの研究開発
- ◆受託者 沖電気工業(株)、楽天モバイル(株)、名古屋大学
- ◆研究開発期間 令和3年度～令和4年度(2年間)
- ◆研究開発予算(契約額) 令和3年度から令和4年度までの総額809百万円(令和4年度656百万円)

2. 研究開発の目標

2024年度までに様々なサービスへの対応要求が必要となるネットワークのオペレーションをこれまで以上に自動化し、自律的にネットワークがサービス要求にあわせて変化するような自律ネットワーク技術を開発するとともに、トラフィックの増加の主な要因と想定される①映像配信サービスのためのCDN制御と②IoTサービスを融合したサービスである高精細ディスプレイ等の付いた自律移動ロボットの研究開発を行う。

3. 研究開発の成果

研究開発項目1:自律ネットワーク基盤

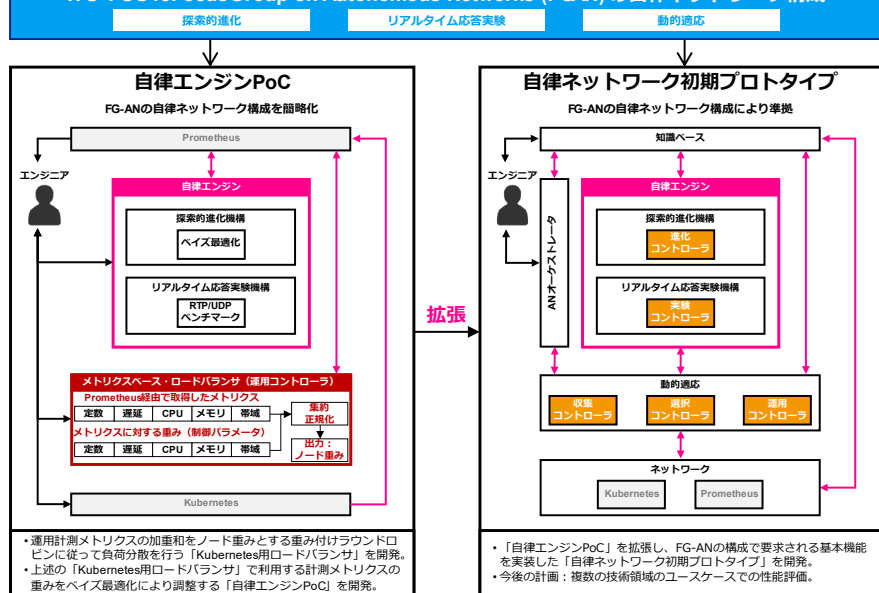
研究開発目標

研究開発成果

研究開発項目1:自律ネットワーク基盤の研究開発

- 自律ネットワーク(AN)基盤の開発と、AN構成・仕様記述形式の標準化、AN・アプリケーションの高度連携に向けたAPI標準化と実証実験を行う。

ITU-T SG13 Focus Group on Autonomous Networks (FGAN)の自律ネットワーク構成



1-a) 自律ネットワーク基盤の「進化機構」の研究開発

- 「進化機構」の要求解析を実施し、その結果を基にITU-T SG13のFocus Group on Autonomous Networks (FG-AN)の自律ネットワーク(AN)構成案を改良。
- 「自律エンジンPoC」の主要構成要素として「進化機構」のPoCを開発。
- CDN制御コントローラの進化戦略に関する論文1件が、遺伝的・進化的計算に関する国際会議GECCO 2022の遺伝的改善に関する国際ワークショップGIIに採択。

1-b) 自律ネットワーク基盤の「オンライン検証機構」の研究開発

- 「オンライン検証機構」の要求解析を実施し、その結果を基にFG-ANのAN構成案を改良。
- 「自律エンジンPoC」の主要構成要素として「オンライン検証機構」のPoCを開発。
- クラウドネットワーク基盤の検証実験用デジタルツインの構築技術に関する論文1件が、未来のネットワークに関する国際会議NoF 2022に採択。

1-c) 自律ネットワーク基盤とアプリケーションの高度連携に向けたインタフェースとAPIの研究開発

- 1-a)と1-b)の今年度成果である「自律エンジンPoC」をFG-ANのAN構成案を基に拡張し、「自律ネットワーク初期プロトタイプ」の設計開発と基本機能の検証を完了。
- コントローラの構成部品としての利用可能な能動的キュー管理のアルゴリズムに関する論文1件が、IFIPのネットワークに関する国際会議IFIP Networking 2022に採択。

1-d) 自律ネットワーク基盤とアプリケーションの高度連携の実証実験

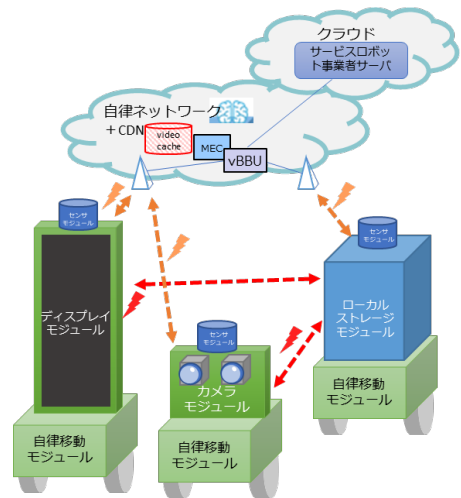
- AN・CDN・ロボット間の高度連携のための要件定義を三者共同で実施。
- ANIに対する「CDN・ロボットの要求に応じた遅延制御」の要件に対し、1-a)と1-b)の成果である「自律エンジンPoC」を利用し、クラウドネットワーク基盤上のロードバランサによる自律遅延制御とAN・CDN・ロボット間の初期連携の検証を完了。

以上に加え、国外特許出願3件・口頭発表4件・標準化採択2件と標準化提案7件(含共同提案)を完了。AN基盤の開発とAN構成・仕様記述形式の標準化の成果目標に対し、AN基盤の初期プロトタイプの開発を完了し、ITU-T SG13に提案AN構成の勧告作成を提案・承認された。今後は、初期プロトタイプの機能改善と様々なユースケースでの詳細な性能評価および仕様記述形式の勧告作成の提案と承認を目指す。概要図において「進化機構」は「探索的進化機構」に、「オンライン検証機構」は「リアルタイム応答実験機構」に対応。

- : 基本構成要素 (令和4年開発)
- : ユーザ定義可能構成要素 (令和4年開発)
- : 既存OSS
- : 手動制御
- : 自動制御 (令和4年開発)

研究開発項目2: 自律移動ロボット

研究開発項目2: 多様なサービスを柔軟に統合するAN活用自律移動ロボットの研究開発



サービスの効率化やリソースの有効活用を自律的に行い、ネットワーク側との連携を可能とするロボット・ネットワークのリファレンスモデルを開発し標準化を行う。
エッジコンピュータ(MEC)上での制御など、コストやネットワークの状況に応じた柔軟な配置を可能にする。

2-a) 多様なサービスを柔軟に統合する自律移動ロボットの研究開発

- 自律移動ロボットモジュールとして 4WS Hakobase を使い、システム連携と自律走行のソフトウェア基盤として ROS2/Autoware.Universe を使い、さらにDDSを用いたモジュール間通信の設計、自律走行に必要なLiDARモジュールの設置検討などを実施。
- 球体ディスプレイと360度カメラを用いたメタバース・実世界連携の枠組みを提案し、MetaPoとして発表。国内・国際特許(PCT)出願済。国際学会SIGGRAPH 2022、国内展示会Hatch Technology Fes. 2022、国内学会インタラクティブ2023などで研究発表・展示。インタラクティブ2023ではインタラクティブ発表賞を受賞。
- 公道での動作実績を積むため「つくばチャレンジ」に参加。各種の実験走行と、本番走行に参加。つくば市役所敷地の確認エリアをクリアし、本番エリアを走行しながら、モジュール形態変更や設定変更などの課題を確認。

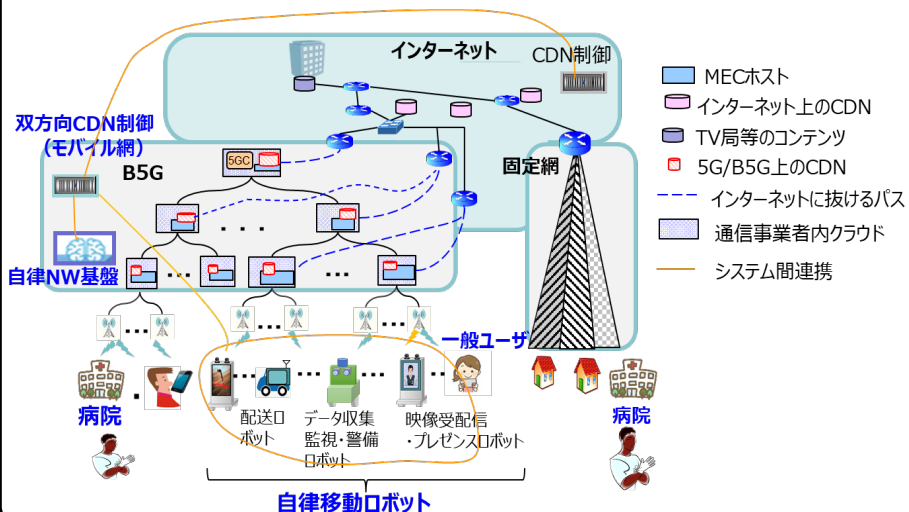
2-b) サービスに応じてANにQoS要求を行う自律移動ロボットの研究開発

- 実世界とVR空間の接続のためのシステム構成や施策について検討を進め、VR機器からMetaPoに接続し、ロボットハンドでコミュニケーションできるシステムを構築。ロボットハンド操作・映像配信などの遅延についてサービス品質の課題を確認。
- 自動運転車いすを用いたXRコミュニケーションシステムについて、高度なVR配信システムを構築し、デモを行い、情報処理学会DICO2022シンポジウムにて最優秀デモ賞(野口賞)を受賞。国際学会IoT 2022で発表済、国際学会HCII 2023に採択済。

研究開発項目3: AN連携双方向CDN

研究開発項目3: 双方向サービスを可能とするAN連携双方向CDN制御の研究開発

自律NW基盤と連携してCDNリソースの有効活用を自律的に行い、ロボット・ネットワークのリファレンスモデルを開発し標準化を行う。



3-a) AN連携双方向CDN制御基盤技術の研究開発

- B5Gの複数MEC上に実装するAN連携双方向CDNの基本機能をMEC-CDN制御と異種端末同期制御としアーキテクチャを設計し国内・国際学会発表を行った。
- 複数MECにCDN用のキャッシュサーバを構築した際にディスクを効率的にアクセスする方式を設計し特許として出願した。
- AMRを遠隔MECのキャッシュサーバとして扱うことでNWの乱れた場合でもAMRで撮影した映像を乱れなく配信する方式を開発し特許として出願した。

3-b) AN連携双方向CDN制御処理技術の研究開発

- 単体サーバ上の14個の仮想マシン環境で13個のコンテナを用い基本機能を確認するシステムを設計し9月末までに実装し評価した。ANとの密なI/Fを設計実装し、2023年3月にNICTテストベッド上で連携を確認した。
- 2025年3月末には約200個のMEC上に双方向CDNを実装し効果を確認する。

3-c) AN連携双方向CDN制御の協調処理技術の研究開発

- ANが制御する複数MECの一部にキャッシュサーバが存在するB5G環境において、ANと双方向CDNが密に連携するインターフェースを検討した。上記3-b)に沿って実装中。

3-d) AN連携双方向CDN制御技術の標準化

- AN連携双方向CDNの普及には典型的な端末であるAMRとのインターフェースの標準化のために通信機能を有するAMRの要求条件の標準化開始を提案し承認された(2022年10月開催のSG16に提案し2024年勧告化を予定)

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 | プレスリリース 報道 | 展示会 | 受賞・表彰 |
|----------|----------|----------|------------|-----------|---------------|----------|----------|
| 3 (3) | 4 (4) | 0 (0) | 26 (20) | 10 (9) | 1 (0) | 0 (0) | 2 (2) |

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

- (1)「自律型ネットワーク」に関するフォーカスグループ(FG-AN)に標準化提案
本研究開発の研究者であるLeon Wong(楽天モバイル)が議長を務めるITU-T SG13配下のFG-AN会合にて、「Introduction to coordinated type autonomous networks research and development for autonomous mobile services」というタイトルで協調型自律ネットワークの研究内容を紹介した(2022年1月)。今後は協調型ネットワークのアーキテクチャ、機能要素、各機能要素間のインタフェース等を規定した標準案を作成し、SG13本会合(11月)にて提案する予定。
- (2)DICOMO2022シンポジウムにて野口賞を受賞
2022年7月13日(水)～7月15日(金)に情報処理学会が主催する「マルチメディア、分散、協調とモバイル(DICOMO2022)シンポジウム」において、名古屋大学が本研究開発の成果として行ったXRデモ「はなれてたって、ぼくらはいっしょ! 車椅子の XR コミュニケーションシステム」が、産業への貢献が期待される優秀なデモンストレーションに授与される野口賞(優秀デモンストレーション賞)を受賞した。
- (3)SIGGRAPH2022にて発表
2022年8月11日 米コンピュータ学会(ACM)が主催するCGを扱う国際会議・展覧会SIGGRAPH2022にて、名古屋大学が「MetaPo: A Robotic Meta Portal for Interspace Communication」と題してポスターセッションにて発表を行った。
- (4) IEEE ComSoc ICAIIC 2023にて発表
2023年2月20日～23日にインドネシアで開催されたICAIIC2023にて「Co-ordinated autonomous networks for remote synchronized video services with the autonomous mobility robots - prelude implementation」と題し、3者共同で講演を行った。

5. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

- 自律ネットワークはネットワーク機能の制御を行う「ネットワーク運用コントローラ」の自己適応・自己改善を行う「進化機構」を備える自律ネットワーク基盤 PoC、「オンライン検証機構」を開発する。また、他の自律ネットワーク実装との相互運用性の向上のために、自律ネットワークの構成とネットワーク運用コントローラの仕様記述形式の標準化を目指す。近年のモバイルネットワークの大規模障害を念頭に、自律ネットワークをデジタルツイン等の高度なネットワーク検証実験技術と連携することで、ネットワークの障害耐性の向上を目指す。
- 自律移動ロボットにおいては、モジュール化を進めて、多様なロボットモジュールが自由に利用できる世界を目指す。そのために、デファクトとなりつつある ROS2を採用し、さらにモジュール間通信の枠組みを提案することにより、高度なサービスロボットを短期間で構築できる制御プロトコル側の標準を進める。
- 双方向CDN制御では、2030年の環境を模擬するテストベッド上(MEC上の双方向CDN数 200個程度)で、複数の自律移動ロボットなどのIoT端末や人の移動やネットワーク障害などの急激なネットワーク状態の変化に対して、AN連携双方向CDN制御が無い場合に映像が乱れるか、もしくは画質を低下させるような状態に対して、AN連携双方向CDN制御を導入することで、その90%を高画質な状態に保持できることを確認する。
- 知財標準化戦略に沿って、特許出願、標準提案(ITU-T SG13, SG16)を進め知財獲得・標準制定を目指す。