

平成 30 年 6 月 1 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12017

研究課題名(和文)超小型飛行ロボットを利用したサイバー・リアルコンピューティング基盤技術の創生

研究課題名(英文)Creation of Cyber-Real Computing Platform using Ultra-small UAV

研究代表者

菅沼 拓夫 (Suganuma, Takuo)

東北大学・サイバーサイエンスセンター・教授

研究者番号：70292290

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：超小型飛行ロボット技術とサイバー・リアルコンピューティング技術の高度な融合により、斬新な人間・環境調和型の情報環境を実現する「超小型飛行ロボットを利用したサイバー・リアルコンピューティング基盤技術」を研究開発した。具体的には、同コンピューティング基盤のアーキテクチャの策定と、それに基づく超小型飛行ロボットの開発、および自律飛行型センサネットワークやナビゲーションシステムへの応用を通じ、本基盤技術の実現可能性と有効性を示した。

研究成果の概要(英文)：We have proceeded research and development of "cyber-real computing platform using ultra-small flying robot (UAV)" that realizes innovative human-environment harmonious information environment by advanced fusion of UAV technology and cyber-real computing technology. Specifically, we confirmed the feasibility and effectiveness of this basic technology through design of the platform architecture, development of the ultra-small UAV based on the architecture, and applications to autonomous flying-sensor networks and human navigation system.

研究分野：情報通信ネットワーク

キーワード：サービス構築基盤技術 UAV 超小型飛行ロボット センサネットワーク

## 1. 研究開始当初の背景

人と情報システムの高度なインタラクション技術として、日本国内では JST の CREST において、平成 21 年度から「人間と調和する情報環境を実現する基盤技術の創出」研究領域が実施され、国外では、EU における ICT の Framework Program などが「Ambient Intelligence」の研究に積極的に取り組むなど、研究開発が進んでいる。特にロボットを介した情報システムとのインタラクションに関しては、近年のクラウドコンピューティング環境の進歩に伴い、多数のセンサを組み込んだロボットにより環境の状況をモニタリングし、センサデータをクラウド上に蓄積・分析してその結果をロボットにフィードバックし、ロボットによりリアル空間にアクチュエーションを行う「クラウドネットワークロボット」に注目が集まり、様々な萌芽的研究開発がスタートしている。

これまで研究代表者は、人と IT が調和する新しいコンピューティングの概念である「共生コンピューティング」を提案し、それに基づく利用者指向情報通信システムの研究開発に従事してきた。共生コンピューティングは、情報通信システムと人間が対等な立場で互いの不具合を調整しつつ、双方にとってより良いサービスを作り上げていく考え方であるが、これまでは、ロボットを介した人と情報システムの共生については検討が進んでいなかった。一方、研究分担者の千葉は、超小型の UAV に各種センサを装備した超小型飛行ロボットに関する研究開発を行ってきた。以上の研究成果から、共生コンピューティングの構成要素として超小型飛行ロボットを組み込むことで、人と情報システムとの共生がより一層推し進められ、様々な斬新かつ先進的なシステムやサービスを創生することが可能となるであろうという着想に至った。

## 2. 研究の目的

本研究では、超小型飛行ロボット技術と先進ネットワーク技術、サイバー・リアルコンピューティング技術の高度な融合により、リアル空間でのデバイスの物理的配置を自律的に調整してサイバー空間での情報流を制御したり、サイバー空間の情報に基づきリアル空間での人の動きをナビゲーションすることで所望の状況に至らせたりすることが可能な、斬新な人間・環境調和型コンピューティング環境を実現することを目的とし、その基礎的技術として「超小型飛行ロボットを利用したサイバー・リアルコンピューティング基盤技術」について検討する。これにより近未来志向のサイバー・リアル融合型アプリケーションの創生と、その有用性、実現可能性、効果について明らかにする。

## 3. 研究の方法

「超小型飛行ロボットを利用したサイバー・リアルコンピューティング基盤技術」の実現に向け、期間内に以下の(1)~(4)の4つの研究課題に取り組んだ。

### (1) 超小型飛行ロボットを利用したサイバー・リアルコンピューティングアーキテクチャの開発

本研究課題では、提案基盤技術の基本モデル、アーキテクチャ、フレームワークについて研究開発を行う。具体的には、以下の2項目について研究開発を行う。

- 基本アーキテクチャの開発
- システムアーキテクチャの開発

### (2) 超小型飛行ロボットの開発

本研究課題では、(1)の基本アーキテクチャ、システムアーキテクチャに基づき、超小型飛行ロボットを設計・開発する。具体的には、以下の4項目について研究開発を行う。

- 超小型飛行ロボットの基本構成
- 超小型飛行ロボットのハードウェア試作
- 超小型飛行ロボットの姿勢制御機構の設計・実装
- 超小型飛行ロボットのセンサ、通信機能の設計

### (3) 自律飛行型センサネットワークの開発

本研究課題では、(2)によって開発する超小型飛行ロボットに無線アドホックセンサネットワークのセンサノードを設置し、センサネットワークの稼働状況からネットワークポロジのボトルネックを回避する位置にセンサノード自身が自律的に飛行移動してネットワーク効率化をはかる、自律飛行型センサネットワークの研究開発を行う。具体的には、以下の4項目について研究開発を行う。

- センサネットワークポロジ変更アルゴリズムの設計・実装
- 自律飛行トポロジ変更機能の設計・実装
- システムの動作実験
- 提案技術の総合評価

### (4) リアル空間ナビゲーションシステムの開発

本研究課題では、(2)によって開発する超小型飛行ロボットの GPS 機能を活用し、人の持つスマートフォン等のデバイスを介したインターネット GIS サービスとの連携により、人の目的地までの道順を、人の前を飛行することで指示する、リアル空間ナビゲーションシステムの研究開発を行う。具体的には、以下の3項目について研究開発を行う。

- システムの開発
- システムの基礎実験環境の構築と実験
- 提案技術の総合評価

## 4. 研究成果

「超小型飛行ロボットを利用したサイバー・リアルコンピューティング基盤技術」の実現に向け、期間内に取り組んだ研究成果について、(1)~(4)の4つの研究課題ごとに以下に示す。

### (1) 超小型飛行ロボットを利用したサイバー・リアルコンピューティングアーキテクチャの開発

まず、初年度において、提案基盤技術の基本モデル、システムアーキテクチャ、フレームワークの設計を行った。

次に、初年度の設計・実装実績を踏まえ、基本アーキテクチャおよびシステムアーキテクチャの再検討を行い、モデルの精緻化を実施した。

### (2) 超小型飛行ロボットの開発

まず、初年度において、(1)の基本アーキテクチャ、システムアーキテクチャに基づき、超小型飛行ロボットを設計した。具体的には、超小型飛行ロボットの基本構成の設計と、センサ、通信機能の設計を行った。

次に、初年度の設計に基づき、試作機の。実装を進めた。具体的には、超小型飛行ロボットのハードウェア試作、および、超小型飛行ロボットの姿勢制御機構の設計・開発を行った。

さらに、初年度に実施した設計に基づくセンサ、通信機能の実装を行った。具体的には、タクトの動きでドローンの操作を行うインターフェイスを提案し、簡単なタクトの振り方で直感的なドローン操作を行えるシステムを開発した。またドローンを使用した通信範囲の拡張として、IEEE802.15.4に準拠した無線通信を行うウェアラブルセンサ(MONOWIRELESS社TWELITE2525A)の情報をLoRaWANの無線通信に変換する中継器を開発し、ドローンに実装した。

### (3) 自律飛行型センサネットワークの開発

まず、初年度において、同様の最新研究動向調査を実施し、利用可能なセンサネットワークの選別や、既存技術の検証と、それに基づく本システムのフィジビリティ評価を行った。

次に、初年度の検討をもとに、各種アルゴリズムの設計と実装を行った。具体的には、センサネットワークの稼働状況から、より効率的なネットワークへとトポロジを変更するためのアルゴリズムを設計・実装した。またこのアルゴリズムによって指定されたより効果的なネットワークトポロジに変更するように、センサノードが超小型飛行ロボットによって自律飛行して移動する機能を設計した。

さらに、開発したアルゴリズム、機能をプロトタイプシステムに導入し、シミュレーシ

ョンにて検証実験を行った。また、実験の結果を分析・整理し、本提案手法の有効性、フィジビリティ、適用範囲、実用性等の検証を行うとともに、今後に向け研究課題を整理した。

### (4) リアル空間ナビゲーションシステムの開発

まず、初年度において、同様の最新研究動向調査を実施し、利用可能な既存技術の検証と、それに基づく本システムのフィジビリティ評価を行った。

次に、初年度の検討をもとに、本システムの概念設計、全体設計、詳細設計を進めた。

さらに、同システムのための情報流通基盤として、スマートフォン等の小型情報端末間でアドホックネットワークを構成するプラットフォームを開発し、小規模実験環境を設置して、基礎実験を実施した。また、実験の結果を分析・整理し、本提案手法の有効性、フィジビリティ、適用範囲、実用性等の検証を行うとともに、今後に向け研究課題を整理した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計8件)

- [1] Takuma Oide, Toru Abe and Takuo Suganuma, "Infrastructure-less Communication Platform for Off-the-shelf Android Smartphones," Sensors 2018, Vol.18, Issue 3, 776 (March 2018), 査読有 DOI: 10.3390/s18030776
- [2] 生出拓馬, 小川絢也, 阿部亨, 菅沼拓夫, "Android 端末を対象にしたマルチホップ通信可能なアドホック D2D 通信基盤の設計と実装," 第25回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2017), pp.124-131 (October 2017), 査読有
- [3] Takuma Oide, Toru Abe, and Takuo Suganuma, "COSAP: Contract-Oriented Sensor-based Application Platform," IEEE Access, Vol.5, Issue.1, pp.8261-8275 (April 2017), 査読有 DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2696027
- [4] 武田怜也, 千葉慎二, "ウェアラブルセンサからのLQIに基づく徘徊者探索システムの開発," 情報処理学会第80回全国大会, 6ZE-07, 2017, 査読無
- [5] 大坂久登, 阿部亨, 菅沼拓夫, "UAVを用いた屋外センサ位置推定の精度向上に関する基本設計," 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.116, No.361, IN2016-76, pp.63-68 (December 2016), 査読無
- [6] Hisato Osaka, Toru Abe and Takuo

Suganuma, "Basic Design of A Sensor Position Estimation Method Using UAV for Outdoor WSN Management," 平成 28 年度 電気関係学会東北支部連合大会, 1A16 (August 2016), 査読無

- [7] 大坂久登, 阿部亨, 菅沼拓夫, "UAV を用いた屋外センサネットワーク管理の高度化に関する一考察," 第 78 回情報処理学会全国大会予稿集, 3S-09, pp.3-157-3-158 (March 2016), 査読無
- [8] 村岡諒, 阿部亨, 菅沼拓夫, "AR を用いた屋外アドホックネットワーク管理支援手法の実装," 2015 年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会 通信講演論文集, Vol.2, p.88 (September 2015), 査読無

〔学会発表〕(計 7 件)

- [1] 生出拓馬, "Android 端末を対象にしたマルチホップ通信可能なアドホック D2D 通信基盤の設計と実装," 第 25 回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2017), 2017.
- [2] 武田怜也, "ウェアラブルセンサからの LQI に基づく徘徊者探索システムの開発," 情報処理学会第 80 回全国大会, 2017.
- [3] Hisato Osaka, "Basic Design of A Sensor Position Estimation Method Using UAV for Outdoor WSN Management," 平成 28 年度 電気関係学会東北支部連合大会, 2016.
- [4] 大坂久登, "UAV を用いた屋外センサ位置推定の精度向上に関する基本設計," 電子情報通信学会情報ネットワーク研究会, 2016.
- [5] 菅沼拓夫, "IoT/M2M におけるネットワークと応用技術," 日本機械学会 2016 年度年次大会, 先端技術フォーラム「IoT と M2M」, 2016. (招待講演)
- [6] 大坂久登, "UAV を用いた屋外センサネットワーク管理の高度化に関する一考察," 第 78 回情報処理学会全国大会, 2016.
- [7] 村岡諒, "AR を用いた屋外アドホックネットワーク管理支援手法の実装," 2015 年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, 2015.

## 6 . 研究組織

### (1) 研究代表者

菅沼 拓夫 (SUGANUMA, Takuo)  
東北大学・サイバーサイエンスセンター・教授  
研究者番号 : 70292290

### (2) 研究分担者

千葉 慎二 (CHIBA, Shinji)

仙台高等専門学校・ICT 先端開発センター・教授  
研究者番号 : 50290698