

マルチエージェントに基づく異種 IoT デバイスの協調制御手法

横山 真悟^{†,‡} 加藤 匠^{†,‡} 高橋 秀幸^{†,‡} 木下 哲男^{†,‡}

[†]東北大学大学院情報科学研究科 [‡]東北大学電気通信研究所

1 はじめに

Internet of Things (IoT) 技術の発展によって、通信機能を持つ小型のセンサ、家電、ロボットなどのデバイスが登場し、環境センシング、遠隔監視・制御などの様々な分野における利活用が期待されている。本研究では、自走ロボット、センサ、家電などの性質や動作の異なる IoT デバイス群によって構成する IoT システムが、外部環境の変化や各 IoT デバイスの内部状態の変化に応じて、適応的に協調・連携動作を行うための制御機構の実現を目的とする。本稿では、エージェント型 AIoT (AIoT) デバイスの基本設計、行動ポリシー切り替えによるデバイス制御機能、AIoT デバイス間協調機能の概要、及び、各種基本機能の設計について述べる。また、自走ロボット、家電、センサなどを用いた試作システムについて述べる。

2 関連研究と技術的課題

ロボット、家電、センサデバイスなど、異種デバイス間の協調方式や環境変化への自立的な適応制御に関する様々な研究が行われている。異種デバイス連携に関する研究[1]では、IoT デバイスをエージェントが管理することで、異なる API やプロトコルの透過的な利用方法を提案している。また、ロボットの動作制御に関しては、複数のポリシーに従ってロボットの振る舞いを適宜切り替えることで状況変化への対応を目指したアーキテクチャが提案されている[2]。さらに、自律移動ロボットの適応方式[3]では、複数のロボットが、デッドロックなどの問題を回避し、協調するための仕組みを提案している。しかし、デバイスごとに協調動作、及び、振る舞いを予め与える必要があり、今後、さらに多種多様化、数の膨大化が進む IoT デバイスごとに、事前に動作環境を想定すること、協調のための制御や振る舞いに関する処理や動作について予め組み込むことは現実的ではない。また、当初、想定されていない IoT デバイス同士の連携、提供する機能やサービスの競合が発生する機会が増加するため、用途と状況に応じて適切に協調・連携を行う仕組みが必要となる。そこで、本稿では、以下の 2 つの課題、(P1)様々な状況に応じて、各デバイスの振る舞いを変更することが困難、(P2)様々なデバイスが多様な用途に応じて連携することが困難に焦点を当てる。P1 は、IoT デバイスを取り巻く位置、温度、通信環境などの外部環境、消費電力や故障などのデバイス内部状態の変化に応じて、動作や制御方針を動的に変更することが難しい点、P2 は、異なる機能、役割を持った様々な IoT デバイスが用途と状況に応じて即興的に連携動作を行うことが難しい点に起因する。本稿では、各 IoT デバイスが適応的に振る舞いを変更しながら、即興的に IoT デバイス間の連携を実現する AIoT デバイスの協調制御機構を提案する。

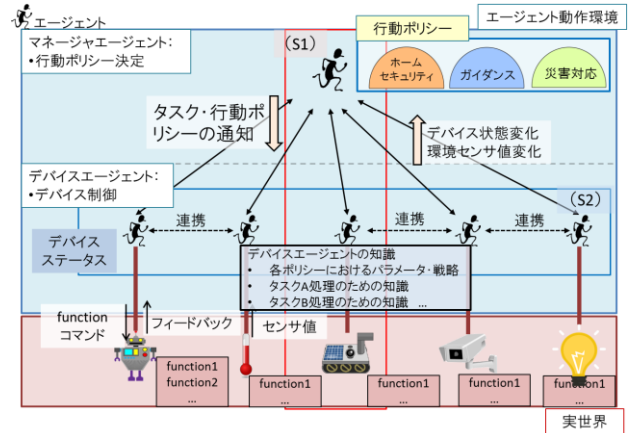


図 1. AIoT デバイスの協調制御機構の概要

3 AIoT デバイスの協調制御機構

エージェント型 IoT (AIoT) デバイスの協調制御機構を図 1 に示す。本協調制御機構では、知的に動作するエージェントが各 IoT デバイスを管理・制御する。本機構は、動作制御の基本となるプラン知識に基づき、行動ポリシーを切り替えながら適応的な振る舞いを実現する (S1) 行動ポリシー切り替えによるデバイス制御機能と、各デバイスが管理する状態 (デバイスステータス) に基づきエージェント同士が用途に応じて適宜連携動作を行うための (S2) AIoT デバイス間協調機能を備える。各 IoT デバイスは、外部環境と内部状態に応じて、制御パラメータの調整、動作制御方針の切り替えを行いながら、用途に応じて、他の IoT デバイスとの協調動作を実現する。

エージェントによって制御される IoT デバイスを AIoT デバイスと呼び、本稿では、IoT デバイスを制御するエージェントをデバイスエージェントとする。本機構は、デバイスエージェントと、複数のデバイスエージェントをまとめるマネージャエージェントから構成される。

3.1 行動ポリシー切り替えによるデバイス制御機能

本機能は、エージェントによる動的な行動ポリシー切り替えによって、AIoT デバイスが状況に応じた行動選択を行うことで動作制御を行う機能である。行動ポリシーは、タスクに応じた処理の基本方針を表すものである。行動ポリシーの選択は、マネージャエージェントが行い、選択された後に統括するデバイスエージェント群に通知される。通知を受けたそれぞれのデバイスエージェントは、選ばれた行動ポリシーに対応するように、タスクとタスク中の振る舞いを変更する。マネージャエージェントは、行動ポリシーの切り替え知識を持っており、デバイスエージェントから送信されるデバイス情報や環境情報の変化を受けて、制御パラメータの調整だけでは対応できない場合に、制御方針となる行動ポリシーの変更を行う。例えば、ホームセキュリティタスクを実行中に、火事発生の通知を受け取った場合、災害対応のタスクに切り替え、制御方針となる行動ポリシーを変更する。

Mutiagent-based Cooperative Control Method for Heterogeneous IoT Devices

Shingo Yokoyama^{†‡}, Takumi Kato^{†‡}, Hideyuki Takahashi^{†‡}, Tetsuo Kinoshita^{†‡}

[†]Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

[‡]Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

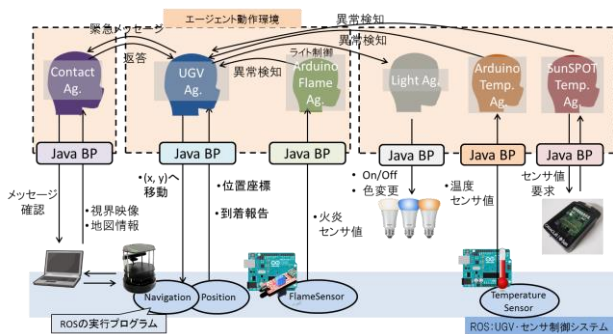


図 2. 試作システムにおけるエージェントの構成

さらに、避難指示や危険な場所のセンシングなど、災害時に必要となる機能、動作に応じて、制御パラメータを変更する。状況に適した行動ポリシーを自律的に選択し、それぞれの AIoT デバイスが大きく振る舞いを変更することで、適応が可能となる。

3.2 AIoT デバイス間協調機能

本機能は、エージェントが管理するデバイスステータスによって、様々な AIoT デバイス同士の競合を回避しながら、即時的な協調を実現する機能である。デバイスステータスとは、デバイスの種類、実行中のタスク、位置情報など、デバイスエージェントが制御する AIoT デバイスに関する情報である。デバイスエージェントは、他のデバイスエージェントと連携する際、デバイスステータスを参照し、状況に適したデバイスを、アクセスの競合がないように選択することで、様々なデバイス間の協調を可能とする。例えば、荷物運搬を行う Unmanned Ground Vehicle (UGV) が、他の UGV と協力しながら運搬する行動ポリシーが選択された場合に、周囲の UGV のデバイスステータスを参照して、協力可能な UGV を適切に選択する。また、同じ環境において、複数の UGV が様々なタスクを実行している場合などは、デッドロックを回避しながら協調することが可能となる。

4 設計と実装

本協調制御機構に基づき屋内安全監視システムのプロトタイプを実装した。本システムは、自律移動可能な UGV が、UGV と環境に設置したセンサ、及び、家電と連携しながら各部屋の巡回・監視を行う。本システムにおける IoT デバイスとして、UGV、2 種類の照明器具、温度センサ、火炎センサを用いた。UGV とセンサの基本制御には、Robot Operating System (ROS) を用いた。UGV には、TurtleBot2 (Yujin Robot, Co., Ltd.) を利用し、フロアマップ情報に基づいた自己位置推定、動作制御を行う。照明器具には、Philips Hue (Philips Lighting B.V.) と ECHONET Lite 対応のシーリングライトを利用した。UGV には、Arduino Uno と火炎センサを、室内には、Oracle 社の SunSPOT の温度センサを設置した。

試作システムにおけるエージェントの構成を図 2 に示す。各 IoT デバイスを制御・管理するエージェントの実装には、ADIPS/Dash フレームワークを用いた。デバイスエージェントは、種類、能力、位置座標などのデバイスの情報を記述したデバイスステータス、起動・停止、移動、センシング、メッセージ送信など、タスク処理に関する知識、各行動ポリシーの設定に関する知識を持つ。各エージェントは、デバイスステータス、センサデータを参照しながら、動作変更や制御を行う。

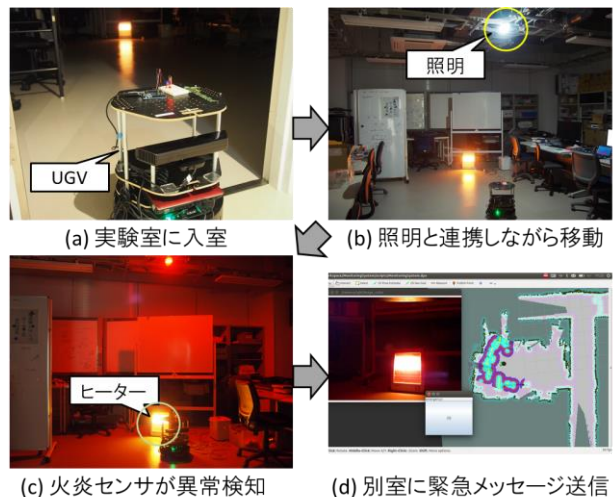


図 3. 安全監視システムの動作例

実装した安全監視システムにより、火災・煙探知時の動作確認実験を行った。図 3 に動作例を示す。UGV がフロアの巡回・監視中に、1 つの部屋(実験室)で、Arduino Temp. Ag. が温度の異常検知し、UGV Ag. に緊急度の高い確認要求を送信する。要求を受け取った UGV Ag. は、平時の巡回・監視動作から緊急時の行動ポリシーに切り替え、実験室へ移動する。次に、図 3(a)のように、UGV は、実験室に移動し、図 3(b)のように、最寄の照明と連携し、順次、照明を点灯させながら、温度センサが設置されている位置へ移動した。その後、図 3(c)のように、UGV の火炎センサ(Arduino Flame Ag.)から、ヒーターの光源を検知し、異常箇所の照明の色を通常の白から赤に変更し、さらに、利用者のデバイスにある Contact Ag. に対して火災予兆検知を通知した。Contact Ag. は、図 3(d)のように、現場のカメラ映像、地図情報、緊急事態メッセージを表示した。以上のように、UGV の行動ポリシー切り替えと、デバイスステータスによる UGV と照明、各種センサの連携により、状況に応じた AIoT デバイスの行動変更・協調制御が可能であることを確認した。

5 おわりに

本稿では、AIoT デバイスの適応制御機構を提案し、試作システムを開発し、AIoT デバイスが状況の変化に適応しながら協調的な動作を行えることを動作実験により確認した。今後は、適応制御機構の定量的評価を検討する。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 16K00118 と 15J06341 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] H. B. Pötter and A. Sztajnberg, "Adapting Heterogeneous Devices into an IoT Context-Aware Infrastructure," Proc. of the 2016 IEEE/ACM 11th International Symposium on Software Engineering for Adaptive and Self-Managing Systems (SEAMS), pp. 64-74, 2016.
- [2] J. C. Georgas and R. N. Taylor, "Policy-Based Self-Adaptive Architectures: A Feasibility Study in the Robotics Domain," Proc. of the 2008 International Workshop on Software Engineering for Adaptive and Self-managing Systems (SEMS), pp. 105-112, 2013.
- [3] V. Matena, T. Bures, I. Gerostathopoulos and P. Hnetyka, "Model Problem and Testbed for Experiments with Adaptation in Smart Cyber-Physical Systems," Proc. of the 2016 IEEE/ACM 11th International Symposium on Software Engineering for Adaptive and Self-Managing Systems (SEAMS), pp. 82-88, 2016.