

氏 名（本 籍）	顧 優輝（東京都）
学 位 の 種 類	博士（工学）
学 位 記 番 号	甲第 214 号
学位授与の日付	平成 30 年 3 月 22 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学 位 論 文 題 目	IoT アプリケーションを開発するためのエージェントプラットフォームに関する研究
論 文 審 査 委 員	（主査）教 授 菅原 研次 （副査）教 授 熊本 忠彦 教 授 宮崎 収兄 教 授 屋代 智之 東北大学 教授 木下 哲男

## 学 位 論 文 の 要 旨

### IoT アプリケーションを開発するためのエージェントプラットフォームに関する研究

Kevin Ashton 等により提唱されたモノのインターネット（Internet-of-Things/IoT）は、センサやアクチュエータ技術の発展とコストの低減化、スマートフォンの爆発的普及、組み込み型コンピュータの性能の大幅な向上と低コスト化などが進み、社会を支える重要な基盤技術として注目を浴びている。

モノに対してセンサやアクチュエータ等のデバイスを内蔵及び外付けし、インターネットにより現実空間とクラウドを接続することで、ユーザの必要とするサービスを提供するシステムのことを IoT アプリケーション（以下、IoT-App）と呼ぶ。IoT-App は、物理空間や人の社会と密接に関係するため、それぞれの物理空間の特性や社会の特性に合わせて設計することが必要であり、さらに環境や状況の変化に合わせて動作条件が変化する。また、クラウドにおける大規模データの高度な処理から物理空間のデバイスの制御などの幅広い分野の技術を組み合わせるので、様々な機能や特性が異なる多数の要素の相互作用により目的とするサービスが実現される。しかしながら、これまでのシステム開発方法論により、このような環境の変化に対処するシステムの開発する場合、開発・運用者に大きな負担がかかることが予想されているため、IoT-App のための新たな開発技術が必要となっている。

そこで、本研究では、環境や状況の変化に対応することが可能な IoT-App のためのエージェン

ト指向開発方法論を提案し、これに基づいたエージェントプラットフォームを開発することを目的とする。次にこれを利用して、オフィスワーク支援のための **IoT-App** を試作し評価実験を行い、提案した開発方法論の妥当性の評価を行う。

まず、クラウドのデータの分析などを行うプロセスと物理空間のデバイスの制御プログラムなどの異なる要素の相互作用を柔軟に行うために、**IoT-App** のエージェント指向開発方法の検討を行った。**IoT-App** を構成する要素に対して、エージェントの性質を付加する操作をエージェント化と呼ぶ。デバイス、データおよびプログラムをエージェント化するために、本研究ではリソースコネクタと呼ぶエージェントモデルの提案を行った。リソースコネクタを用いてデバイスをエージェント化することにより、クラウドのプログラムとデバイスの制御プログラムを独立に設置することができ、これらがエージェントメッセージにより協調を行うことにより、アプリケーションプログラムからデバイスの機能を動的に呼び出すことが可能になった。これにより、状況の変化や要求の変化に対して、アプリケーションがデバイスを選択して利用することが可能になった。

次に、リソースコネクタのモデルに基づいてデバイス、データおよびプログラムをエージェント化するためのツールとして、リソースコネクタを設計・実装・運用するためのエージェントプラットフォームを開発した。これにより、**IoT-App** の要素をエージェントとして実装し、動的に協調を行うことができる基盤を実現した。

そして、リソースコネクタモデルに基づいて、**IoT-App** を開発するための構成方法の明確化を行った。この構成方法は、エージェント化される要素間の通信回線（これをチャンネルと呼ぶ）とエージェント同士の通信回線を独立に構成できることに特徴がある。このことにより、**IoT-App** の機能や性能をエージェント間の協調により動的に変更することが可能になり、**IoT-App** に必要な環境や状況の変化に適応する仕組みが実現できる。

最後に、上述のエージェントプラットフォームの実験による評価を行うために、テストベッドとしてオフィスワーク支援の分野を選択した。オフィスワーク支援の典型的な例として、マルチメディアの要素がより重要視される遠隔地でのブレインストーミング会議の支援に焦点を当てた。実験の結果、クラウドの要素と物理空間のカメラなどのデバイスの要素が動的に連携することを確認した。また、チャンネルの概念に基づき、同期的・非同期的なチャンネルを状況や環境に応じて適応的に追加・削除することを可能とし、スケーラブルなアーキテクチャの実現が確認できた。そして、チャンネル間の連携を行うことで資産化したブレインストーミングの成果の再利用が可能である事を確認した。

以上により、本研究のエージェント指向開発方法論に従ったエージェントプラットフォームは、**IoT-App** を設計し実装するために有効であることを明らかにした。これまでの開発方法論では、変化する環境の中で多数の要素が複雑な相互作用を行うシステムを記述するためには、設計者に大きな負担を伴っていた。これに対して、提案した開発方法論では、要素の機能や利用法を内部データとして用い、メッセージにより相互調整するエージェントのモデルを採用することにより、クラウドの要素とデバイスの要素の連携を自律的に行わせることが可能となる。インダストリー

4.0 やインダストリアルインターネットなどのように、産業基盤や日常生活の基盤に IoT・App が浸透していくことが予想されているが、本研究で提案した方法論は、IoT アプリケーションの効率的な開発に貢献する。

## 審査結果の要旨

Kevin Ashton 等により提唱されたモノのインターネット (Internet-of-Things/IoT) は、センサやアクチュエータ技術の発展とコストの低減化、スマートフォンの爆発的普及、クラウド技術の大幅な向上と低コスト化などが進み、社会を支える重要な基盤技術として注目を浴びている。この IoT アプリケーションを開発するための方法論は、現在大きな課題になっており、特に、アプリケーションのクラウド要素とエッジ要素を統合する垂直連携方式が重要になっている。

本研究の目的は、エージェントモデルを用いることにより、動的な垂直連携を行うことが可能な、IoT アプリケーションの開発方法論を提案することにある。この設計方法論を実現するために、はじめにエージェントプラットフォームの提案、設計、実装を行っている。次に、このエージェントプラットフォームを開発環境として、エージェント型 IoT アプリケーションのアーキテクチャと開発方法を提案している。最後に、IoT アプリケーションの開発のテストベッドとして、多地点間の企画会議をマルチメディア環境で支援するリモートブレインストーミング支援システムの開発を選定し、提案したエージェント型設計方法論を適用し、目的とするアプリケーションを開発することにより方法論の効果を評価した。

本学位論文の構成は、第 1 章序論と第 2 章関連研究で、IoT アプリケーションの設計方法とテストベッドのリモートブレインストーミングの調査を行い、問題点を分析している。第 3 章では、あたらしい設計方法論の開発基盤としてエージェントプラットフォームの提案を行い、初期モデルの設計と実装と評価を行っている。その結果、提案する IoT アプリケーションの設計方法論の開発環境として機能は十分であるが、実用システムとして利用する場合の性能の面で足りない点が明確になった。第 4 章では、実用性を考慮する観点から、インターネットおよびクラウドの最新技術を取り込んだエージェントプラットフォームの新しいアーキテクチャの提案と開発を行い、モデルの機能と性能とにおいて十分な開発環境を実現した。これをもとに第 5 章では、IoT アプリケーションの実用的な開発方法論を提案した。本提案方法論は、エッジ要素とクラウド要素の垂直連携をエージェント機能により統合できる点に新規性がある。第 6 章では、テストベッドとしてのブレインストーミング支援システムに本開発方法論を適用し、共同研究者のムーラン准教授（仏国、コンピエーニュ工科大学）と実験を行い、提案した設計方法論と開発環境が適用分野に十分実用的であることを示した。さまざまなマルチメディアアプリケーションを垂直連携して目的とする機能と性能を実現できた。第 7 章では、本研究で開発したエージェントプラットフォームと IoT アプリケーションの開発方法論がアプリケーション機能および性能の実現の面で有効であることを示した。

本研究の貢献は、今後発展すると考えられている IoT アプリケーションのための効率的な設計方法論とその開発環境を提供する点にある。

以上に示すように、本研究は今後重要な産業分野になると考えられる IoT のための新規性の高い技術開発を行っている。これらの成果は、4 編の学術論文および 12 件の国際会議の有審査論文として発表されている。

従って、学位申請者顧優輝は博士(工学)の学位をえる資格があるものと認定する。