

報告番号	第号	氏名	ブラウーン アモーンタマウット	
	氏名	職名	氏名	職名
論文審査員	主査 早川栄一 教授		蓑原 隆 教授 高橋 丈博 教授 岩澤 京子 教授 林 誠治 教授	

上記5名による審査委員会は、本論文について精査を行い、大学院工学研究科電子情報工学専攻における博士後期課程学位審査基準を充足しているか否かについて、慎重に審査を行った。

本研究は、これからの産業で重要な役割を果たすモノのインターネット（Internet of Things, 以下IoT）について、システム開発を容易にする開発環境に関する研究を行い、IoTプログラミングに必要なソフトウェアアーキテクチャについて考察したものである。

論文は、7章から構成されている。第1章では、緒言として、IoT誕生の背景および社会的な必要性および研究の目的について述べている。この中で、特にIoTに係るエンジニアの不足に着目し、本研究のターゲットとして教育環境での利用およびプロトタイピングを設定した。

第2章では、現在のIoT開発のためのソフトウェアプラットフォームについて調査を行い、本研究の位置付けを明確にした。特に多様なIoTの定義に対して、本研究ではネットワーク、特にWebを介してセンサやアクチュエータを接続したシステムと設定した。ここで、IoTエンジニアの教育で発生する問題を分析した。台数および種類の増加による設定および複雑さ、ネットワークおよびオペレーティングシステム（OS）のシステム動作やオーバーヘッドを計測、分析し、対応可能にするシステムの必要性、設定コストを低下させた利用環境の提供の重要性を提案した。この問題に対応するために、OSレベルでのシステム動作取得環境の開発、ブラウザベースのIoT開発環境、それをを用いたIoT教育における効果測定、さらに、複数のIoTシステムでの相互運用性を向上させる機構の開発を行った。

第3章では、圧縮を用いたLinuxのプロセストレース機構を開発した。IoTの構成要素である組込みシステムでは、プロセスの挙動が重要であり、その挙動をトレースして取得、解析する必要がある。このデータを圧縮してシステム内に保持することで、メモリの使用量を低減した。また、トレースデータの外部への送信をOS内部で行うことにより、プロセススケジューリングへの影響を低減した。取得データサイズを40%、スケジューリングへの影響を与える割込みの発生回数を60%低減することが可能になった。結果として、同一のメモリを持ったマシンで、より長時間に渡ってデータの取得が可能となった機構を実現した。

第4章では、IoT開発を教室環境などで容易に可能なウェブベースの開発環境を構築した。組込みシステムノード、ゲートウェイ、およびブラウザの三つのコンポーネントによって連携して動作し、ユーザからは各ノードはデバイスの種類によらず、仮想的に統一されたノードとして動作する。接続性を確保するためにHTTPベースの通信プロトコルを提供した。さらに、ブラウザ上でエディタ、プログラム実行、コンソール、可視化機能を提供し、ブラウザだけで多くのノード群の操作および監視機構を提供した。システムオーバーヘッド、開発コードサイズおよび時間、可視化機構による改良事例について評価を行った。低オーバーヘッドでシステム動作に影響の少ない機構が提供でき、コードサイズについては高機能なAPIを提供することで90%近くを削減した。また、RTTの可視化を通して実行場所によるRTTの低減をブラウザだけで監視、変更可能な機構を容易にできた。

第5章では、第4章で開発した環境を実際に教育環境に適用し、その有効性について本学学部生に対して、IoTの基本的なアプリケーション開発を行い、コード行数および開発時間を測定し、その有効性を確認した。LED点灯、PWMなどの基本項目に加えて、IoTに適した応用例として複数のセンサ状態を取得し、対象を特定する課題を用意した。結果として、どの課題も30分以内に完了することが可能であり、授業や講義で用いるには有効な環境であることが確認できた。また、20台のマシンについても短時間でのセットアップが可能であり、教室環境での教授者の負担の低減が可能であることが明らかになった。

第6章では、IoTにおける利用デバイスの多様性に対応するために、ロボット操作のミドルウェアであるROSをターゲットとしてプロトコル変換および接続機構を用意し、本環境から異なるシステムを利用することを可能にした。ゲートウェイ上でのプロトコル変換を用意することで、双方のコードを変更することなく、透過的に利用が可能になった。また、可視化機構からアクセス可能にすることで、第4章で開発したブラウザ上で透過的にROSノードの可視化を可能にした。プロトコルのオーバーヘッドは平均20m秒であり、ロボットの操作に対しては十分小さなオーバーヘッドであることを確認した。

第7章では、これらの4つの研究テーマを通して、研究の成果および得られた知見をまとめている。IoTは、その多種多様性から、ネットワークシステム、OSからミドルウェアおよびアプリケーション層間で依存関係を持つ。システムを統合して扱う場合にオーバーヘッドのトレードオフを検証可能なようにモニタリングを中心としたプログラミング機構を用意することで、学習者にとってIoTのシステム構造が理解しやすく、プログラミングしやすい環境を提供することが可能であると結論づけている。

各章の結果については、5件の査読付き国際学会および学術論文として、すでに外部の評価を受けており、学術的な新規性を認めることができる。また、作成したツールの一つは、2016年のICT-ISPC 2016のソフトウェアイノベーション部門において、Third Prize Awardを受賞するなど高い評価を得ている。

以上の審査結果から、審査委員会は、本論文は博士(工学)の学位論文として認められると判断した。