

令和元年6月19日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04470

研究課題名(和文) IoT活用のための「場所単位での統合的機能調整システム」に関する実験的研究

研究課題名(英文) Experimental research on local integrator system that enhances functional coordination in the application of domestic internet of things

研究代表者

野城 智也 (Yashiro, Tomonari)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：30239743

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：人工環境のそれぞれの「場」に、複数種のIoTアプリケーション・ソフトウェアが作用する際に不具合が生じないよう、個々の場の状況にあわせてコマンド間の優先度を与えることができる統「場所単位での統合的機能調整システム(local Integrator)」の構成を考案・試作し、プロトコルの相違や、プライベート・クラウドの枠を超えて有効に働きうることを確認した。
このシステム構成(IoT-Hub方式)を前提に、ソフトウェアの更新間隔と、人工環境を構成するThingsの更新間隔の相違によって、ライフサイクルのある段階でIoTが機能しなくなるリスク(世代管理問題)への対処方策について検討し、知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

主題とした「場所単位での統合的機能調整システム(Local Integrator)」は、建築学が取り扱ってきた人工環境(物理的世界)と、サイバー空間とを連携させる仕組みで、新たな学術分野開拓の緒となることが期待される。

また、考案したIoT-Hubと称するシステムの構成は、単一主体が全てのデータセットを占有するのではなく、個人のプライバシー・人権の保護を大前提に、アントレプレナーを含む多様な主体のノウハウ・情報・データを尊重しつつ組み合わせ、様々なIoTサービスを人工環境で生み出していくための基盤となりうるという、社会的意義をもつ。

研究成果の概要(英文)：This research has created the framework of IoT-Hub that enables local integrator to harmonize the services provided by different IoT application software respecting on the context of each place in the built environment. IoT-Hub assures interoperability in connecting "things" beyond the differences in protocol and private clouds on which service providers depend. The scenario writing research and experiments implemented in the research has given the confidence in the effectiveness and usability of IoT-Hub as a basis of a local integrator. The research has created the knowledge on the method how to mitigate the problems caused by the gap in the frequency of version-up/replacement over time between IoT application software and "things" in the built environment.

研究分野：サステナブル建築・建築生産

キーワード：IoT Local Integrator IoT-Hub 相互接続 世代管理問題 ライフサイクル Web-API 状況認識

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 今後 IoT(Internet of Things)の普及とともに、人工環境(建築及びその包含物)を構成するモノが、徐々にネットワーク介したアプリケーション・ソフトウェアの制御の対象として組み込まれていくことが予想される。

(2) その結果、人工環境の一つの場(単位空間、部屋など)には、異なる主体から提供される複数種の IoT のアプリケーション・ソフトウェアが作用していくことが予想されるが、これらが、バラバラに作用すると、その場に身をおく人にとって、不具合が生じるおそれがある。

(3) こうした不都合を防ぐためには、それぞれの場の状況を把握する必要があるが、カメラなどにより空間や、居住者・ユーザーの状況を把握する方法にはプライバシー保護や尊厳保持の観点から問題があることから、視覚・画像情報に依存しない方法で、場の状況を推定する手法を開発する必要がある。

2. 研究の目的

(1) 複数種の IoT アプリケーション・ソフトウェアが、人工環境へ一つの場に働くことにより生じうる不具合を防止・抑制し、IoT による便益の最大化するためには、場所単位での統合的機能調整システム(local Integrator)が不可欠であると着想し、そのシステム構築の基盤となる知見を得る。

(2) 建築のライフサイクルにわたって IoT サービスが機能していくためには、どのような多世代管理をしていかなければならないかについて、知見を得る。

3. 研究の方法

(1) シナリオアプローチ: 人工的環境(built environment)のなかで将来 IoT に組み込まれていく可能性のある Things を 個別識別性、ネットワークへの接続可能性、作動様態及び制御性の観点からリストアップし、設置可能なセンサー類を考慮したうえで、人工環境に導入されてくる可能性のある IoT サービスのシナリオを作成した。そのうえで、下記の二つの仮説を設定した。

各シナリオについて、どのような「場の状況」を認識することが前提となるのかを整理したうえで、如何なるセンサーを配置し、如何なるデータを集め、如何に解析すれば、「場の状況」を推定できるのかについて仮説を作成した(仮説1)。

異種の IoT サービスが同じ場に作用した場合、どのような齟齬が生じうるのかについてリスク・シナリオを設定した(仮説2)。

(2) 試作アプローチ: 仮説1に基づいて実験住宅にセンサーを配置して、目論みどおりに状況が把握できるのかを検証した。また、仮説2に基づき、場の状況にとって不都合なコマンドが実行されないようにするためのアルゴリズムを作成したうえで、コマンド実行中止が実際に働くのか、実験住宅にて試用し検証した。以上の検証に基づき、場所単位での統合的機能調整システム(local Integrator)の構成を考案し・試作し、その有効性を検証した。

(3) 上記のシステム構成を前提に、アプリケーション・ソフトウェアと、人工環境中の Things との更新間隔の相違がもたらしうる不具合を構造化し、それぞれの要因ごとにとりうる対策を図上検討した。

4. 研究成果

以下のような知見が得られた。

(1) 人工環境の一つの場に働く複数種の IoT のアプリケーション・ソフトウェアのプロトコルは必ずしも同一のものではない。場所単位での統合的機能調整システム(local Integrator)が有効に働かせるために、これらを標準化して統一することも考えられる。しかしながら、プロトコルの使用実態を調査すると、住宅・建築に用いられる構成材や機器には、赤外線通信など簡易な通信方式も用いられており、これらをより高機能の通信方式に置き換えることは、当面は困難であると考えざるを得ない。むしろ、場所単位での統合的機能調整システム(local Integrator)は、プロトコルの相違を超えて有効に機能しなければならない。

(2) Web-API 方式の考案：本研究では、プロトコルの相違を乗り越えて、人工環境内の Things 同士の普遍的な接続性を保証するため、図 1 に示すように Web-API を用いた相互接続性を考案した。Web-API はクラウド上に置かれ、二つのブロックから成っている。一つは、API(Application Program Interface)部である。ここは、汎用されている文法(http や JSON など)に従ってアプリケーションを作成し Things を動かすコマンドを送ることができる。もう一つは、機器インタフェース (I/F)部であり、ここに Things(モノ)の製造者(メーカー)の責任で、製作・提供された「Things ドライバ」がそれぞれの通信プロトコルにあわせて、ここに搭載される。本研究においては、図 1 に基づく接続方式を試作し、実験住宅などで試用することで、それぞれの Things が独自に用いているプロトコルに依存せずに接続されてコマンドが伝達され、複数種の Things を制御できることを確認した。

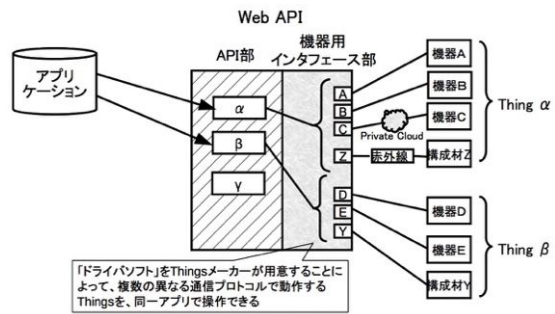


図 1 Web-API 方式による普遍的な相互接続性の実現

(3) 状況認識手法について：本研究では、在宅状況、居住者が体感する室内気候状況を画像情報に依存せずに推定する方法についてケーススタディすることで、シナリオ研究で作成した仮説 1 を検証した。在宅状況については、いわゆる電子錠が用いられている場合は、その開閉情報を用いることができる。但、在宅・不在の判定をより確実にするためには、室内での機器の作動や、人感センサーの感知情報、ドアなどの開閉情報を組み合わせる必要がある。一方、居住者が体感する室内気候状況については、空気温・湿度のセンシングだけでは不十分であり、床・壁・天井・開口部の表面温度を計測するとともに、室内気候の不均一性を考慮したセンサー配置をする必要がある。

(4) 不都合な組み合わせが生じた場合のコマンド実行抑止について：異種のサービスが、同じ場に作用した場合生じうる齟齬にかかわるリスク・シナリオには、次のような状況が含まれる。
異種アプリケーションのコマンド同士の不都合な組み合わせ(例、望まないコマンドが優先されて実行されてしまう、同じモノに矛盾するコマンドが届けられてしまうなど)アプリケーションとそれぞれの場の状況の不都合な組み合わせ(その場の状況にとって不都合なコマンドが実行されてしまう。)

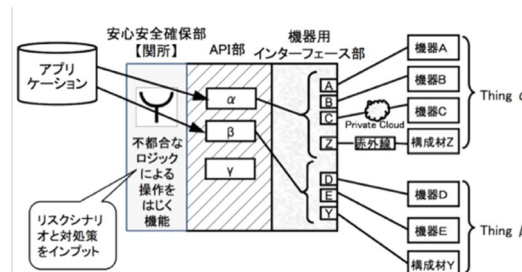


図 2 関所システムによる不都合な組み合わせによるコマンドの実行の抑止

本研究においては、図 1 に示した Web-API の枠組みを基盤に、図 2 のようなコマンド実行を選択的に抑制させる「関所システム」を付加すれば、不都合な組み合わせによるコマンドの実行を抑止することができると着想し、いくつかのリスク・シナリオに基づき「関所システム」を試作した。実験住宅にて試用したところ、「関所システム」は、コマンドが抑止できることが確認できた。

(5) システム構成の改良：本研究期間中に、IoT の普及は急速に進展し、ICT 系企業や、住宅生産・部材設備供給企業が、それぞれ別個に IoT にかかわるプライベート・クラウドを形成する動きが加速した。こうした事態の急速な変化に対応し本研究では、複数のプライベート・クラウドを普遍的に相互接続できるように、場所単位での統合的機能調整システム(local Integrator)のシステム構成を改良し、IoT-Hub と呼ぶべき相互接続方法を考案した(図 3)。ここで、各プライベート・クラウドに対応してクラウド・ドライバ、及び Things

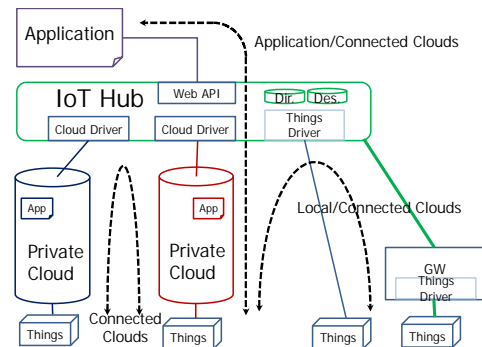
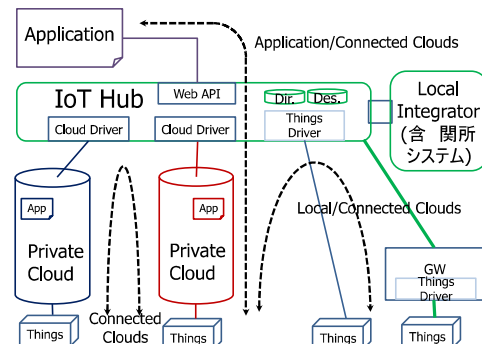


図 3 IoT-Hub 概念図

に対応した Things ドライバをサイバー空間上の存在である IoT-Hub 上におくことによって、アプリケーション・ソフトウェアからのコマンドを、各プライベート・クラウドを介して繋がっている Things にも届けることができるようになっている。



(6) local Integrator のシステム構成上の位置づけ：場所単位での統合的機能調整システム (Local Integrator) は、それぞれの場の状況を推定し、作用する複数種の IoT サービス間の機能を調整しつつ、その場の総合的な機能調整を行う。場、及び Things をユニークに識別する手段を与えることができるならば、図3のシステム構成に対して、Local Integrator は、図4に示すようなシステム上の位置に位置づけられる。

クラウド・ドライバ、Things ドライバを介して、Local Integrator には、場の状況を推測するためのセンサーからのデータも入力される。

図4 Local Integrator の位置づけ

推定される場の状況、もしくはユーザーからの入力に基づき、Local Integrator は、同じ場に働く、複数種のアプリケーション・ソフトウェア間のコマンドの優先度づけを行う。

Local Integrator は、関係システムの役割も内包する。すなわち、コマンドの優先度づけにコマンドの実行の抑止を含む。

Local Integrator を住宅・建築のライフサイクル期間にわたり働かせていくためには、特定の場に所在する Things のインベントリを作成しデータベースとして保持するとともに、Things の付加・交換・更新に対応し、そのインベントリを改訂・更新していく必要がある。なお、Local Integrator は、IoT-Hub に付帯させることが適切であると考えられる。というのは、仮に特定のプライベート・クラウドに Local Integrator を付帯しても、異なるプライベート・クラウドを介して繋がる Things 同士を繋ぐ、複数種のアプリケーション・ソフトウェアの実行におけるコマンドの優先度づけ(不都合な組み合わせによるコマンドに実行の抑止を含む)が構造上できないからである。

(5) 世代管理問題：世代管理問題とは、ICT 技術の進展速度と、設備・部材などが交換・更新される速度とが異なることにより、IoT サービスが機能しなくなる問題を指す。本研究においては、IoT サービスが機能しなくなる局面を図5の①～④に分類し、各局面について、考えられる対策を整理した。

例えば、図6に示すように、モノの製造者(メーカー)にとって、Things ドライバの更新が重荷になり、その更新を止めてしまう場合、モノの製造者が廃業、事業撤退する場合、モノの製造者が、外部のアプリケーション・ソフトウェアに操作されて起きたトラブルに懲りて Things ドライバを撤去してしまう場合、図6の ①の局面に齟齬が生じ、IoT サービスは機能しなくなる。こうした事態に対応するためには、コマンドをモノの動きに変換する

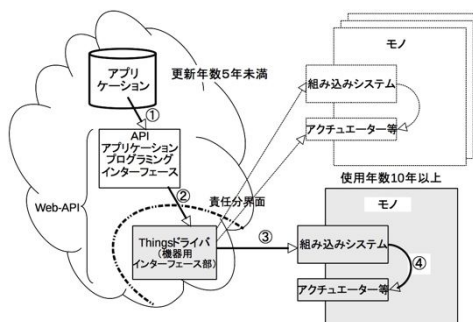


図5 世代管理問題の発生様態を整理するための、アプリケーション・ソフトウェアとモノ(Things)との接続関係モデル(概念図)

機構(アクチュエーター等)には、すでに確立し、今後も使われ続けると考えられる汎用的で安定した技術を用いることでドライバの更新頻度を抑制できるようにしておくこと、あるいは、ドライバの維持管理を受託する組織を拡充し、モノの製造者自身からみてドライバの維持管理を委託できる体制を整備することなどが考えられる。

また例えば、図7に示すように、そのサービスの高度化、多様化、深化のニーズに対応し、アプリケーション・ソフトウェアの動作・制御命令も高度化、多様化させようとした場合、仮に、図7の

②のルートで新種のコマンドが伝達されても、組み込みシステムがそのコマンドに呼応できる論理構造を持っていないと Things を作動させることはできない。こうした事態への対策としては、組み込みシステムがネットワークを介して更新できるようにする、あるいは、組み込みシステムがモジュール化された部品としてモノに組み込まれていて、その部品を交換することで更新できるようにする、などが考えられる。

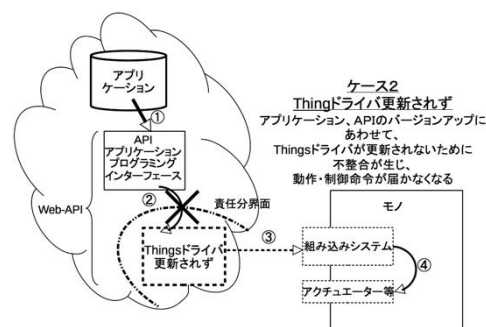
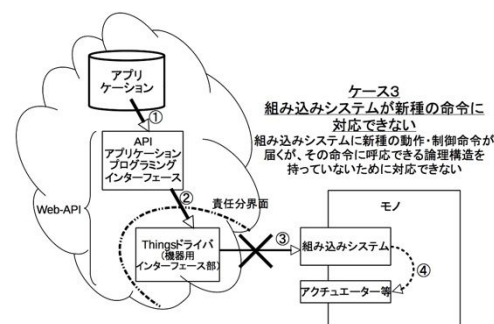


図6 Things ドライバが更新されない事態(概念図)

(6) 人制御との混在問題

実験住宅への見学者等を擬似的居住者と見立ててインタビューすることで、人間が制御する範囲と、場



作・制御命令に対応できない事態(概念図)

所単位での統合的機能調整システム(local integrator)による自動制御に委ねる範囲をどのように仕分ければよいのかについて検討しようとした。しかしながら、得られた情報を系統的・統計的に分析し、科学的知見を得るまでには至らなかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 10 件)

1. 森下有,馬郡文平,野城智也, IoT による環境調整におけるサプライ/ユーザー・インターフェイスに関する研究, 日本建築学会建築生産シンポジウム論文集, vol.32, pp205-pp210, 2016 年
2. 馬郡文平,野城智也,森下有, 場所単位でのインテグレーション・システムとしてのエネルギーマネジメントシステムに関する研究(IoT と建築生産に関する研究,日本建築学会建築生産シンポジウム論文集, vol.32, pp199-pp204, 2016 年
3. 野城智也,馬郡文平,森下有, IoT の普及が建築生産に与える影響に関する考察,日本建築学会建築生産シンポジウム論文集, vol.32, pp211-pp216, 2016 年
4. 野城智也,建築における組み込みシステムの「世代管理問題」に関する考察,日本建築学会建築生産シンポジウム論文集,vol.33, pp93-pp98, 2017 年
5. 野城智也,住宅・建築分野における IoT の普及発展のための道筋,新都市ハウジングニュース,Vol.85,pp1-3,2017 年
6. 野城智也,住生活 IoT (特集 IoT/物流と住宅設備), ALIA news,vol.156(通号), pp8-15, 2017 年
7. 野城智也,住空間 IoT における組織間の責任分担のあり方に関する考察, 日本建築学会建築生産シンポジウム論文集,vol.34, pp37-42,2018 年
8. 馬郡文平, 野城智也,小規模商業施設における年間を通じた自然換気と機械換気の組合せ有効活用に関する省エネルギー上の課題と IoT を活用した解決のための仕組みの提案 日本建築学会建築生産シンポジウム論文集,vol.34, pp43-48,2018 年
9. 野城智也, 建築設備分野における Digital Transformation の可能性, 日本冷凍空調学会誌「冷凍」,第 94 巻 第 1098 号, pp3-8,2019 年
10. 野城智也, 情報テクノロジーの進展がもたらす近未来社会の姿を考える すまいまわりの IoT に係わる三つの課題, TASC monthly,no.514,2018 年

〔学会発表〕(計 1 件)

森下有,野城智也,住宅情報と IoT に関する一考,日本建築学会学術講演梗概集建築社会システム 205-206,2016 年

〔図書〕(計 1 件)

野城智也,馬場博幸,生活用 IoT がわかる本 暮らしのモノをインターネットでつなぐイノベーションとその課題, インプレス R&D,総ページ数 218,2017 年

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

特になし

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名:

ローマ字氏名:

所属研究機関名:

部局名:

職名:

研究者番号(8桁):

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。