

IoT の相互運用性のための意味注釈に関する研究 —スマートホームのための知識表現の拡張とアーキテクチャの設計—

M2017SE001 青山黎明

指導教員：沢田篤史

1 はじめに

近年, Internet of Things(以下, IoT) の発展に伴い, モノとネットワークがつながる様々なサービスが普及してきた [1]. 我々の生活においても, 利便性の向上に伴い家電がインターネットにつながりサービスを提供するスマートホームが普及しつつある [7][5]. 現在, IoT システムの開発は, 特定のドメインや利害関係者毎に特化したアーキテクチャやデータモデルによりシステムを開発している. それらの IoT アプリケーションは, 他のシステムやデバイスと互換性のないものが多い [2].

IoT システムにおいて相互運用性を損なう問題は, 垂直統合型システムによる水平方向の連携の低さである. 一般的な IoT の相互運用性を低下させる要因としてネットワーク層の問題, メッセージングプロトコル間の問題, 意味注釈の問題があげられる. ネットワーク層の問題は, 低電力ネットワークプロトコル (ZigBee, ZWave, Bluetooth) や, 従来のネットワークプロトコル (イーサネット, WiFi) など, ハードウェアで使用するプロトコルが異なる問題である. メッセージングプロトコル間の相互運用性問題は, アプリケーションレベルで標準となっているプロトコル (CoAP, MQTT, XMPP など) の多様化である. 互換性を高めるために, 様々なメッセージングプロトコル間の統合および変換を提供する必要がある. 意味注釈の相互運用性問題とは, データの意味が欠落しているという問題である. 異なるプロバイダから取得する場合, センサ情報は生のデータ値であり, アプリケーション構築においてその情報が何を意味するのか整理する必要がある.

本研究では, ゲートウェイによりデバイスのセンサ情報及び機能についての意味注釈を行うことで, 垂直統合型システムから水平方向の連携を目指す.

本研究のアプローチは, スマートホームのための意味注釈の枠組みを示し, その意味注釈を処理するゲートウェイのソフトウェアアーキテクチャを設計する. 意味注釈を行うにあたって, 人間や機械ともに共通理解が求められる. より説明されたオントロジを用いることで親和性, 効率性, 理解性を高める. ECHONET は, ホームネットワーク基盤技術の標準仕様や家電機器とその制御に関する知識を説明している [7]. 本研究では, oneM2M ベースオントロジ [5] を基礎に, ECHONET の機器とその制御に関する知識を拡張し, その有用性を示した.

2 背景技術

2.1 IoT

IoT(Internet of Things) とは, センサやアクチュエータ等の組込みデバイスをネットワークに接続し, 相互通

信を行なう仕組みや概念のことである. IoT アプリケーションは様々な利害関係者が関わり, 複雑な構造となっている. 図 1 は, IoT-A が提唱する参照アーキテクチャ [2] である. IoT-A の目的は主に以下の 2 点である.

- IoT ドメインの共通理解と IoT システム開発者に共通の開発基盤を提供すること.
- IoT システムアーキテクチャのインスタンスを生成することを目的としたガイドラインを提供すること.

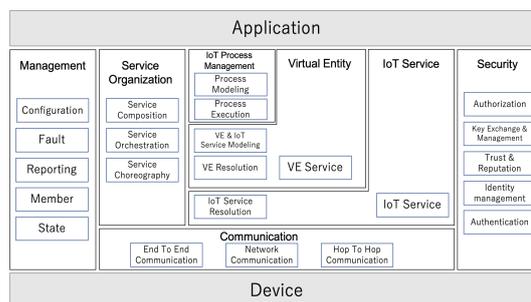


図 1: IoT-A 参照アーキテクチャ

2.2 Semantic Web

Semantic Web とは, Web の記述に意味を加えることで, データ検索やサービス連携の利便性を向上させるプロジェクトである [6]. Semantic Web の目的は, データの交換の側面に加えて意味の疎通を付け加えることにある. 例えば, Web 上にエアコンの仕様があったとして, 仕様を人が読めばこのメーカーかどの様な機能があるか理解できるが, 従来の Web 技術では機械 (コンピュータ) がエアコンとその仕様を関連付けて理解することができない. Web 上の情報を機械が読解できる様にメタデータを加え, 関連づけることによって人と機械の共通理解を得る. Semantic Web の技術階層を図 2 に示す.

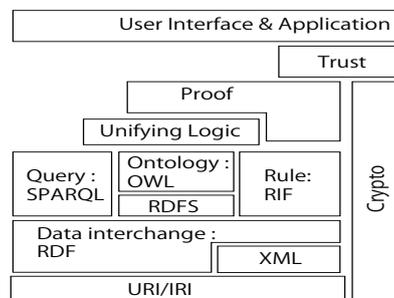


図 2: Semantic Web の技術階層

本研究で用いる主要な Semantic Web の技術要素は次に説明する.

- URI/IRI

URI (Uniform Resource Identifier) とは、モノ (オブジェクト) や概念を名前や数字で識別する識別子である。URI は普遍性, 大域性, 同一性の性質を持つ。

- XML

XML (Extensible Markup Language) とは、構造を記述するための拡張可能なマークアップ言語である。多様な情報を「情報の意味」と「情報の内容」に分けてテキストで記述する。ここで言う情報の意味とは、局所の範囲内での定義となる。

- RDF/RDFS

RDF (Resource Description Framework) とは、リソースのメタデータを記述するための枠組である。主語, 述語, 目的語のトリプル構造で表現する。RDF の基本構造を図 3 に示す。記法は大きく分けて 2 点である。URI によって Web 上の特定の資源を指定または, RDF Schema (RDFS) など規定される名前空間 (XML namespace) や表記法などの規約に従って記述する。RDF は, XML でシリアライズされることを念頭に置いている。



図 3: RDF のトリプル構造例

- OWL

OWL (Web Ontology Language) とは, オントロジ表記言語である。RDF の語彙拡張で, 用語・語彙とそこに含まれる各要素の関連の明確な表現を定義できる。RDF や RDFS を用いて, 分類体系 (クラス) やその関係, それらを推論するルールを定義する。

- SPARQL

SPARQL (SPARQL Protocol and RDF Query Language) とは, OWL で記入されたオントロジに対して検索及び取得を行う問い合わせ言語である。

2.3 オントロジ

オントロジとは, 元々は哲学用語で存在論あるいは存在に関する体系的な理論と意味する [4]。人工知能やコンピュータ科学の分野では, 概念を表現するエンティティとそれらの関係を形式的で機械が解釈可能なモデルとして, 諸概念の明示的な表現を指す。すなわち, オントロジとは, ある概念を説明するための, 普遍性のある知識体系である。

3 関連研究

3.1 ECHONET コンソーシアムによる標準化

ECHONET (Energy Conservation and Homecare Network) コンソーシアムは, 様々なベンダの白物家電, 住設機器, センサ類, コントローラなどが相互接続可能なホームネットワーク基盤技術の標準仕様を定めることを目的に活動する標準化団体である [7]。ECHONET は, ICE と

ISO によって認定された家庭用ネットワーク標準である。ECHONET Lite の特徴を大きく 2 つに分けると, プロトコル及び通信手順を定めた通信仕様と, 機器とその制御に関する知識である。

3.2 oneM2M

oneM2M は, 多様な IoT (Internet of Things) /M2M (Machine to Machine) アプリケーションをサポートする共通のサービスレイヤの標準化を行なっている。oneM2M はベースオントロジ [5] を定義している。oneM2M ベースオントロジでは, オントロジを OWL を用いて定義し, モノと諸概念の間の意味関係に関する知識を体系的に表している。oneM2M ベースオントロジを図 4 に示す。図 4 において, 丸で書かれているのがクラスであり, 矢印はプロパティを意味する。

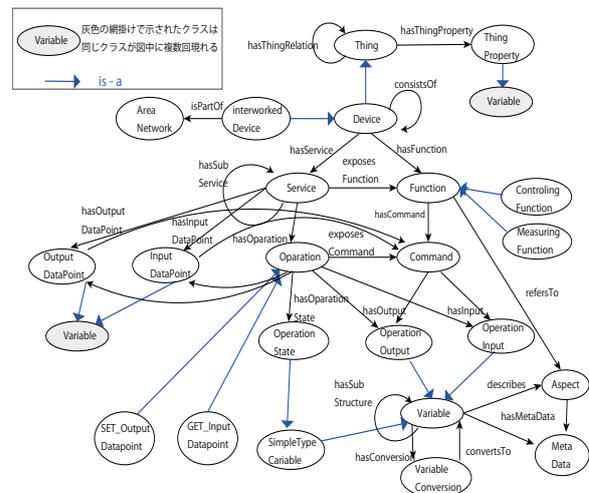


図 4: oneM2M ベースオントロジ

3.3 Pratikumar らの研究

Pratikumar らは, ゲートウェイにより意味注釈を行うアーキテクチャSGS (Semantic Gateway as a Service architecture) を提唱している [3]。SGS とは, メッセージプロトコル間の変換とゲートウェイによるデータ標準を利用した意味注釈を提供するアーキテクチャである。SGS のアーキテクチャを図 5 に示す。

SGS アーキテクチャの主要コンポーネントを次に説明

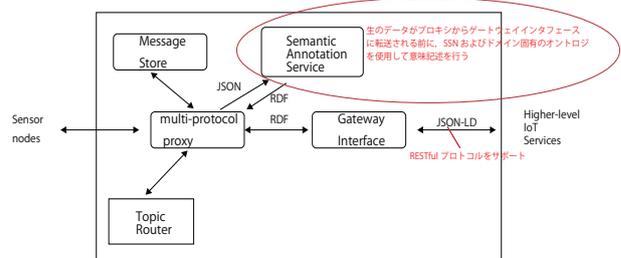


図 5: SGS アーキテクチャの概要

する。

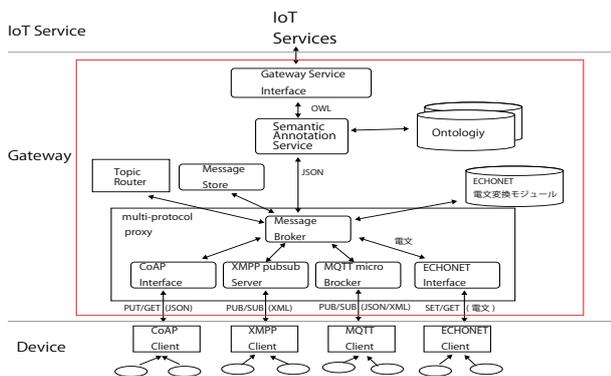


図 6: 本研究で拡張したアーキテクチャ

- multi-protocol proxy
CoAP, MQTT, XMPP のプロトコルの差異をサポートしメッセージ変換をする. センサ情報またはリソースの意味のある各状態は, トピックとして記述され, トピックルータによって管理する.
- semantic annotation service
シンクノードから受信した各センサメッセージをゲートウェイインタフェースに転送する前に意味注釈を行うコンポーネントである.
- gateway service interface
IoT アプリケーションにサービスレベルの相互運用性を提供する.

4 アーキテクチャの設計

本章では, ゲートウェイにより意味注釈を可能にするシステムのアーキテクチャを設計し, ECHONET の知識を拡張するオントロジの設計を示す.

4.1 アーキテクチャ設計指針

本研究では, 次の2つを考慮してアーキテクチャを設計する.

- メッセージングプロトコル間の相互運用性の確保
- スマートホームに関する知識を拡張したオントロジの設計

4.2 アーキテクチャ設計

スマートホームにおいて IoT システムを大きく, デバイス, ゲートウェイ, IoT サービスの3つに分類できる. デバイスから送られてくるノードをシンクノードと呼ぶ. シンクノードは, 計算資源が少なく, エネルギー制約が厳しく, 通信リソースが限られており, 家電製品または物理環境を観測するセンサで構成されている. ゲートウェイは他のシンクノードおよびサービスプロバイダとの相互接続を提供する. IoT サービスは, ゲートウェイからデータを収集し, グラフィックスインターフェイス, 通知またはアプリケーションを使用して, ユーザまたはイベント固有のサービスを提供する. Pratikumar らのアーキテクチャ[3]を参考に, 拡張したアーキテクチャを図6に示す.

4.3 メッセージングプロトコル

拡張性の高い IoT アーキテクチャは, メッセージングプロトコルの標準とは独立しているべきであると考えられる. 本論文のアーキテクチャは, 様々な標準となっているメッセージングプロトコル間の結合及び変換を提供する. メッセージングプロトコル間の相互運用性に関しては, IoT の標準となっている CoAP, MQTT, XMPP を対象に相互運用性を保証する. また, ECHONET デバイスに対応する為に, ECHONET 電文変換のモジュールを組み込む必要がある.

ECHONET 電文構成

ECHONET 機器に対応するための, 電文のやり取りと変換方法を説明する. ECHONET Lite の電文構成及びセンサとのやりとりの例を図7示す. ゲートウェイで, ECHONET 対応デバイスを扱う為に, 電文変換モジュールを規定する. 電文変換モジュールは, 電文に対応するデバイス名及びプロパティ値を取得し JSON 形式に変換をする. 逆に, ECHONET 対応デバイスを制御する場合は, 制御命令に対応する電文コードに変換する.

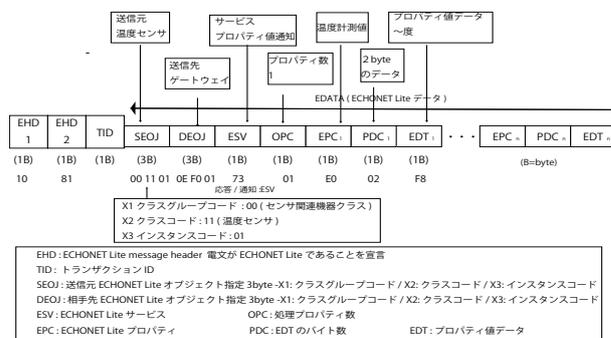


図 7: ECHONET Lite の電文構成

4.4 オントロジ拡張

4.4.1 オントロジ拡張手順

オントロジの拡張には, 同等の概念がないか予め調査を行う. すでに定義され, 広く普及している概念がある場合, 既存の語彙を拡張する. 既存のオントロジの語彙がそのまま使えない場合, 新しい語彙を既存の語彙の下位クラスまたは下位プロパティを定義する. 拡張するオントロジは, RDF(S), 及び OWL を用いて記述する.

4.4.2 スマートホームのドメインの拡張例

ECHONET 機器オブジェクト規定 [7] では, スマートホーム関連の機器を類似する役割ごと分類し, 定義している. 本研究では, 一例として ECHONET の機器オブジェクト規定をもとに, スマートホームの機器を体系的に表したオントロジを作成する. 共通理解と機器の機能の推論を得る為に, 本研究では oneM2M ベースオントロジをもとに拡張を行う. oneM2M ベースオントロジの Device クラスのサブクラスとして定義する事で, 客観的説明を可能にした, 図8に示す. また, 機器オントロジを OWL で

記入した例を図9に示す。oneM2Mでは単にDeviceとして定義されているので、拡張したオントロジを用いる事で、新たにスマートホームの機器を追加したい場合、分類にしたがって追加する事で、体系的に説明できる。

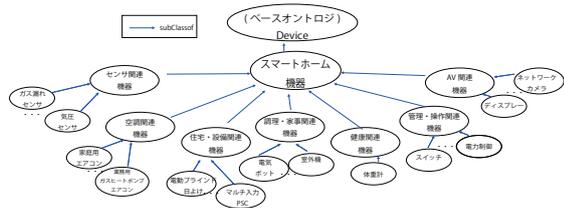


図 8: スマートホーム機器分類オントロジ

```

<owl:Ontology rdf:about="SmartHomeDevice">
  <!-- 定義箇所のURI.owl#SmartHomeDevice -->
  <owl:Class rdf:about="定義箇所のURI#SmartHomeDevice">
    <rdfs:subClassOf>
      <rdfs:subClassOf rdf:resource="https://git.onem2m.org/MAS/BaseOntology/raw/master/base_ontology.owl#Device">
    </rdfs:subClassOf>
  </owl:Class>
  ...
  <!-- クラスの定義 -->
  <!-- スーパークラスに oneM2M ベースオントロジ Device を指定 -->
  <!-- 定義箇所のURI.owl#SensorRelatedDevice -->
  <owl:Class rdf:about="定義箇所のURI#SensorRelatedDevice">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="定義箇所のURI.owl#ECHONETDevice">
  </owl:Class>
  ...
  <!-- 定義箇所のURI.owl#TemperatureSensor -->
  <owl:Class rdf:about="定義箇所のURI.owl#TemperatureSensor">
    <rdfs:subClassOf rdf:resource="定義箇所のURI.owl#SensorRelatedDevice">
  </owl:Class>
  ...
  
```

図 9: スマートホーム機器分類の OWL 表記の例

5 考察

5.1 提案したアーキテクチャの妥当性の確認

本研究の主眼は、スマートホームの拡張知識表現を採用した意味ゲートウェイのアーキテクチャを提案することである。相互運用性を考慮する為に、メッセージングプロトコル間による各プロトコルのメッセージを変換、及び意味注釈する事で機器やその情報を体系的に表現した。提案したアーキテクチャに準拠して、標準化されたオントロジに必要な知識を拡張する事で、体系的に取得したデータや機器の機能を説明でき、他システムとの互換性の向上につながる。従来の IoT システムは、特定のドメインや利害関係者毎に特化したアーキテクチャやデータモデルにより、システムを開発しており、それらの IoT アプリケーションは、他のシステムやデバイスと互換性がない。また、異なるプロバイダから取得するセンサ情報は生のデータ値であり、アプリケーション構築においてその情報が何を意味するのか整理する必要があることから、そのまま活用することが難しい。その点でドメイン知識を十分に説明したオントロジを用いて意味注釈する手法は、理解性、効率性の観点で効果的であると言える。

5.2 ゲートウェイで意味注釈することの有用性の確認

ゲートウェイには十分な計算リソースがあるため、相互運用を実現するために必要な技術を実装できる。同様に、サービスレベルで意味論的技術を利用することで、それらの相互接続も可能になる。また、利用者がゲートウェイでセンサデータを制御できるようにすることでプライバシーの問題に対処するのに適しているため、より受け入

れやすいと考える。

他の手法としてクラウドで意味注釈をするパターンも考えられるが、特定のクラウドやサービス毎にデバイス情報が分散する事によるデメリットがある。基本の情報はゲートウェイで意味注釈し、高度な情報を付け加えるのであれば各アプリケーションで必要な情報を拡張すれば良いと考える。ゲートウェイで意味注釈をするデメリットは、XMLなどのメタデータが含まれる事によって、送信コストが高くなる点である。その場合、用途によってデータを取捨するか、圧縮転送のモジュールを組み込む必要がある。

6 おわりに

本研究では、IoTの相互運用性の問題に着目し、スマートホームのための知識体系の拡張と、その意味注釈を処理するゲートウェイのソフトウェアアーキテクチャを提案した。IoTにおける相互運用の向上を目的に、各メッセージングプロトコルのサポート、意味の注釈技術に焦点を当てた。機器やデータの情報をオントロジを用いて体系化する事で、互換性がなかったシステムの共通理解が可能になり、垂直型システムから水平方向の連携の可能性を示した。しかし、本研究で拡張した知識体系はほんの一部であり、利便性や共通理解の向上を目指してさらなる知識拡張をすべきである。また、本手法はゲートウェイで意味注釈を行うので、通信コストの面での最適化を考慮しなければならない課題がある。

参考文献

- [1] Kevin Ashton: "That 'Internet of Things' Thing," *RFID Journal*, 2009.
- [2] Martin Bauer, Nicola Bui, et al: "The Internet of Things-Architecture", *Project co funded by the European Commission within the Seventh Framework Programme*, 2013.
- [3] Pratikumar Desai, Amit Sheth, Pramod Anantharam: "Semantic Interoperability Gateway as a Service architecture for IoT", *2015 IEEE International Conference on Mobile Services*, 2015.
- [4] Naoki Takubo: "About the Concept of Metadata and Ontology The Problems of the Sprawling", *情報知識学会誌 2008 Vol.18, No.5 20周年記念特別号*, 2008.
- [5] oneM2M: *Base Ontology oneM2M TS-0012 version 2.0.0 Release 2*, <http://www.onem2m.org/technical/published-drafts>, 2018.
- [6] W3C: *Semantic Web*, <https://www.w3.org/standards/semanticweb/>, 2018.
- [7] ECHONET Consortium: *APPENDIX ECHONET Release K*, *ECHONET Specification*, 2018.