

# IoT アプリケーションにおける耐故障機能に関する考察

2011SE124 川井康平 2012SE004 天野裕也 2012SE155 宮川莉果

指導教員：沢田篤史

## 1 はじめに

近年，ハードウェアの高性能化やインターネット技術の発達により，組込みシステムに通信機能をもたせた Internet of Things(以下，IoT) が注目を集めている．IoT とは，世の中に存在する様々なものに通信機能を持たせ，インターネットに接続し相互に通信することで，自動認識や遠隔操作を行なうことができる仕組みや概念である [5]．Evans によると，2020 年には 300 億個以上のデバイスがインターネットにつながるとされている [1]．インターネットにつながるデバイスが急増することで，IoT アプリケーションの活用範囲が広がる．IoT アプリケーションとは，インターネットに接続されたデバイス群を利用して，特定の目的を達成するためのソフトウェアのことである．IoT アプリケーションの開発で考慮すべき重要な問題は，接続されるデバイスのスケーラビリティ，耐故障性，セキュリティ，構成管理の 4 つとされている [3]．これらの問題を考慮した IoT アプリケーションを一から開発するのは困難であり，開発の効率化が重要視されている．

WSO2 により IoT のための参照アーキテクチャ [2] が提案されている．IoT のための参照アーキテクチャでは，接続されているデバイスの監視を行なうなど，デバイスを管理する機能は存在する．しかし，デバイスが故障した際に代替のデバイスを推奨するなどして処理を継続するための機能は存在しないので，接続されるデバイスの耐故障性が十分に考慮されていない．

本研究の目的は IoT アプリケーションをデバイスの耐故障性を考慮して開発するための支援の提供である．耐故障性を考慮したアプリケーションアーキテクチャの提案を行なうことで，耐故障機能を持つ IoT アプリケーションの体系的な開発を行なうことができる．

本研究では，参照アーキテクチャから，耐故障性に関する横断的関心事を分離したアスペクト指向アーキテクチャを提案する．空調管理を行なう IoT アプリケーションを基に，一般的な IoT アプリケーションの構成と振る舞いをシーケンス図を用いて整理し，耐故障性に関連するメッセージを抽出する．その結果から，耐故障性を保障する機能を持つアスペクトモジュールを設計する．更に，設計するアスペクトモジュールを織り込んだ IoT アプリケーションの振る舞いを整理する．整理結果を基に，耐故障性に関する関心事が，IoT のための参照アーキテクチャに横断する範囲を特定する．

本研究でのアプローチの有用性を考察するために，平均値をとる機能をもつアスペクトモジュールの設計および IoT のための参照アーキテクチャのプロローカ層に，耐故障機能を組み込んだ IoT アプリケーションの開発のアプリ

ーチとの比較を行なう．

## 2 IoT アプリケーション開発と，その問題点

### 2.1 IoT

IoT とは様々なものに通信機能を持たせることで，遠隔操作などを行なうことができる仕組みや概念である．IoT を用いることで，必要な情報をリアルタイムで取得することが可能となる．IoT アプリケーションとは，インターネットに接続されたデバイス群を利用して，特定の目的を達成するためのソフトウェアのことである．インターネットに接続されたデバイスの増加に伴い，IoT アプリケーションの活用範囲が広がる．

### 2.2 IoT アプリケーション開発の問題点

IoT アプリケーション開発における考慮すべき重要な問題として，接続されるデバイスのスケーラビリティ，耐故障性，セキュリティー，構成管理の 4 つがあるとされる [3]．IoT アプリケーション開発において，これらの問題を考慮したものを一から開発するのは困難である．

### 2.3 IoT のための参照アーキテクチャ

IoT のための参照アーキテクチャが WSO2 により提案されている [2]．図 1 は IoT のための参照アーキテクチャの概念図である．

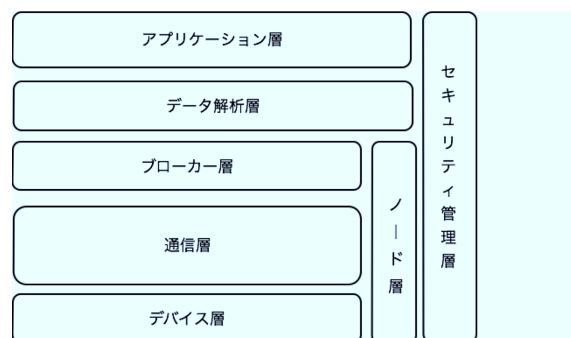


図 1 IoT のための参照アーキテクチャ [2]

この IoT のための参照アーキテクチャは以下の 7 つの階層により整理されている．

- デバイス層  
デバイス (センサやアクチュエータなど) を示す層である．
- 通信層  
デバイス間の通信を保証する HTTP や MQTT などのネットワークプロトコルを示す層である．

- ブローカー層  
ESB や Message Broker など、センサデータ等の集約、仲介、流通を行なう機能を示す層である。
- データ解析層  
センサデータに関わるイベントの処理や分析機能を示す層である。
- アプリケーション層  
Web や設定、API を通じ、アプリケーションとの間のインタフェースを提供する機能を示す層である。
- ノード層  
デバイスの接続性や構成の管理を行う機能を示す層である。デバイス層、通信層、ブローカー層の各層に横断的に関連する。
- セキュリティ管理層  
認証とアクセス管理に関する機能を示す層である。他の6つの層に横断的に関連する。

この参照アーキテクチャでは、接続されているデバイスの監視を行なうなど、デバイスを管理する機能は存在する。しかし、デバイスが故障した際に代替のデバイスを推奨するなどして処理を継続するための機能は存在しないので、接続されるデバイスの耐故障性が十分に考慮されていない。

### 3 耐故障性を考慮した IoT アプリケーションアーキテクチャの設計

本章では耐故障性を考慮した IoT アプリケーションアーキテクチャの設計について述べる。空調管理を行なう IoT アプリケーションを基に、IoT アプリケーションの構成と振る舞いをシーケンス図を用いて整理する。整理結果から、耐故障性に関連するメッセージを抽出する。抽出したメッセージを参考に、耐故障性を保障する機能を持つアスペクトモジュールを設計する。設計したアスペクトモジュールを織り込んだ IoT アプリケーションの振る舞いを基に、耐故障性に関する関心事が、IoT のための参照アーキテクチャに横断する範囲の特定を行なう。耐故障性に関する関心事を分離することで、耐故障性を考慮した IoT アプリケーションアーキテクチャの設計を行なう。

#### 3.1 IoT アプリケーションの構成と振る舞い

空調管理を行なう IoT アプリケーションを基に、一般的な IoT アプリケーションの構成と振る舞いをシーケンス図を用いて整理する。整理したシーケンス図を、以下の図 2 に示す。

センサは検知した温度情報をプッシュ通信で Message Broker(以下、MB) に送信する。MB はセンサから送信されたデータを集約し、アプリケーション(以下、APP) が MB からプル通信で受信する。APP は受信したデータを分析し、分析結果に基づきアクチュエータを起動、または停止させる処理命令を MB にプッシュ通信で送信する。アクチュエータは処理命令を MB からプル通信で受信する。

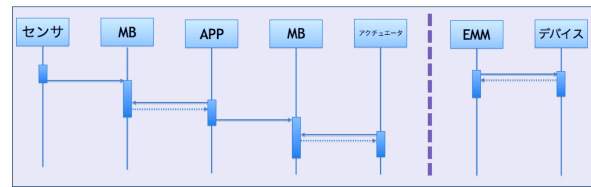


図 2 IoT アプリケーションの構成と振る舞い

受信した処理結果に基づいてアクチュエータが動作する。Enterprise Mobility Management(以下、EMM) はセンサやアクチュエータなどのデバイスの情報を監視している。

#### 3.2 IoT アプリケーションにおける耐故障性の保障

MB と APP 間の通信において、APP が MB からプル通信でセンサ情報を受け取る際にセンサが故障していた場合、MB に集約されている代替のセンサ情報を受け取ることによって、耐故障性の保障ができる。また、APP が MB にプッシュ通信で処理命令を送信する際にアクチュエータが故障していた場合、MB に集約されている代替のアクチュエータへ処理命令を送信することで、耐故障性の保障ができる。したがって、IoT アプリケーションにおいて、耐故障性に関連するメッセージを以下の図 3 のように抽出した。

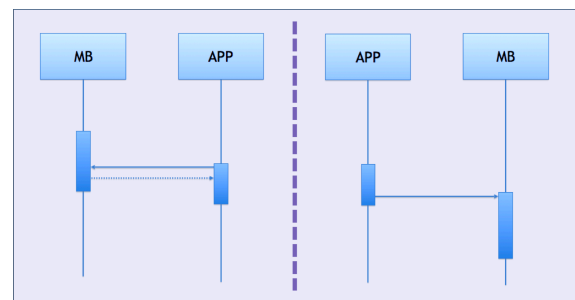


図 3 抽出した耐故障性に関連するメッセージ

APP が MB からプル通信でセンサ情報を受信する際と、APP がプッシュ通信で MB にアクチュエータ情報を送信する際に、耐故障性を考慮する必要がある。耐故障性に関連するメッセージに、耐故障性を保障するアスペクトモジュールをフックすることによって、IoT アプリケーションの耐故障性の保障が実現できる。

#### 3.3 耐故障性を考慮したアスペクトモジュールの設計

耐故障性を保障するアスペクトモジュールとして、3つのモジュールを設計した。それぞれを故障発見モジュール、蓄積モジュール、付け替えモジュールとし、これらのアスペクトモジュールを IoT アプリケーションに織り込むことで、耐故障性を保障できると考える。故障発見モジュールは故障したデバイスを発見する機能を持つ。蓄積モジュールは接続されている全てのデバイスの情報を蓄積する機能を持つ。付け替えモジュールは故障したデバイスを代替のデバイスに付け替える機能を持つ。以下

の図 4 で各アスペクトモジュール間の振る舞いを示す。

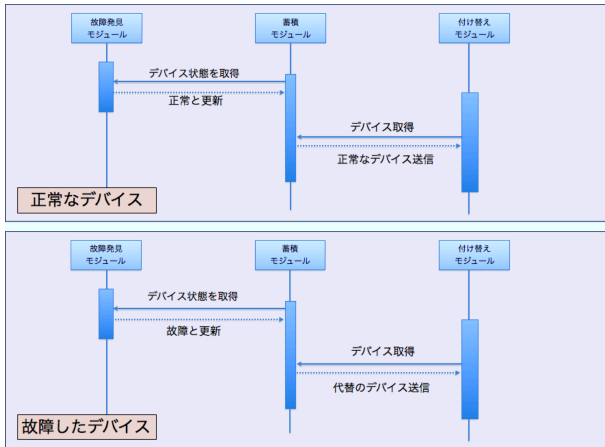


図 4 各アスペクトモジュール間の振る舞い

蓄積モジュールは故障発見モジュールからデバイス状態を取得する。故障発見モジュールはデバイスが正常に動作するかを判断し、蓄積モジュールに判断した結果を送信する。付け替えモジュールは蓄積モジュールからデバイス情報を取得する。デバイスが故障していた場合は、代替のデバイス情報を送信する。

各アスペクトモジュールを IoT アプリケーションに織り込んだ振る舞いを、本研究室で提案されている E-AoSAS++[4] の UML 記述方式を基に、シーケンス図を用いて示す。

### 3.3.1 故障発見モジュールの振る舞い

故障発見モジュールの振る舞いを、以下の図 5 に示す。

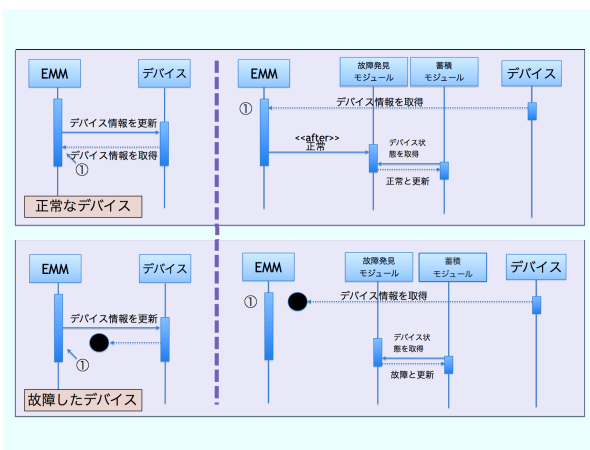


図 5 故障発見モジュールの振る舞い

EMM がデバイスからデバイス情報を取得した後はジョインポイントとし、正常にデバイス情報を取得できた際には、故障発見モジュールに正常動作していると通知する。デバイス情報を取得できなかった際には、故障発見モジュールに通知が行なわれない。そうすることで故障発見モジュールは故障デバイスを判断し、判断結果を蓄積モジュールに送信する。

ジュールに送信する。

### 3.3.2 蓄積モジュールの振る舞い

蓄積モジュールの振る舞いを、以下の図 6 に示す。

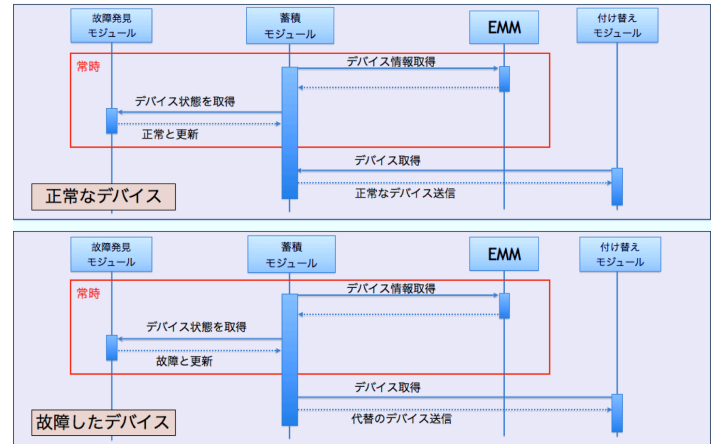


図 6 蓄積モジュールの振る舞い

蓄積モジュールは EMM と通信し、動的にデバイス情報を取得する。蓄積モジュールは故障発見モジュールからデバイス状態を取得し、正常なデバイスまたは故障したデバイス情報に更新する。

### 3.3.3 付け替えモジュールの振る舞い

付け替えモジュールの振る舞いを、以下の図 7 に示す。

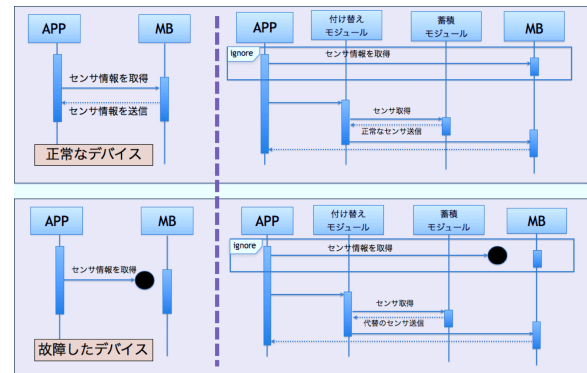


図 7 付け替えモジュールの振る舞い

APP が MB からセンサ情報を取得する前後をジョインポイントとする。APP は付け替えモジュールからセンサ情報を取得する。センサの故障時には、付け替えモジュールは蓄積モジュールから代替のセンサ情報を取得し、その情報を MB に送信する。

## 3.4 アスペクト指向アーキテクチャ

設計したアスペクトモジュールを基に、耐故障性に関する関心事が、IoT のための参照アーキテクチャに横断する範囲の特定を行なう。故障発見モジュールは EMM とデバイス間のメッセージにフックしているので、IoT のための

参照アーキテクチャのデバイス層、通信層、ノード層に横断する。蓄積モジュールは EMM と動的に通信を行なっているため、通信層、ノード層に横断する。付け替えモジュールは APP と MB 間の通信にフックしているため、通信層、ブローカー層、データ解析層、アプリケーション層に横断する。IoT のための参照アーキテクチャから、耐故障性に関する関心事を分離したアスペクト指向アーキテクチャを提案する。

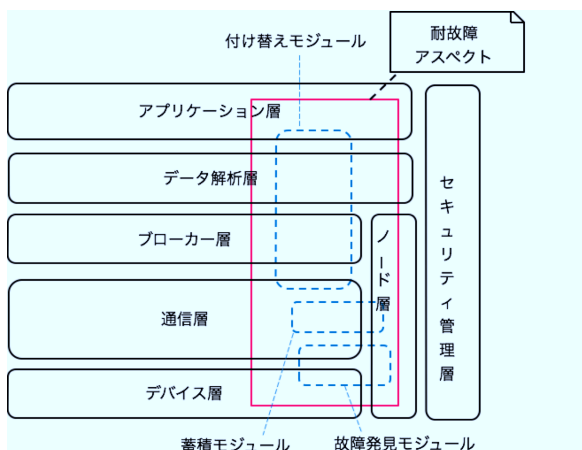


図 8 アスペクト指向アーキテクチャ

## 4 考察

本章では、本研究のアプローチと、平均値をとるアスペクトモジュールの設計およびブローカー層に耐故障機能を組み込んだ IoT アプリケーションの開発のアプローチとの比較をする。比較結果を基に、本研究のアプローチの有効性を考察する。

### 4.1 デバイス情報の平均値をとるアスペクトモジュールとの比較

本研究では、アスペクトモジュールの機能として、故障したデバイスを正常に動作するデバイスで代替する手法で、耐故障性を保障したアスペクトモジュールを設計した。別の手法として、デバイスが故障した際に、正常に動作する多量のデバイスが検知した情報の平均値で代替するアスペクトモジュールの設計が考えられる。本研究のアプローチでは、代替したセンサ情報が故障したセンサ情報と大きく異なる可能性がある。センサ情報の平均値をとることで、故障したセンサデータの近似値で代替することができる。しかし、この手法は平均値をとることができないセンサ情報の際には適用することができない。アクチュエータにおいても、APP から起動、停止などの処理命令を受信する際には、平均値をとることができない。このように、IoT アプリケーションにおいて、平均値で代替するアスペクトモジュールを適用することができない場合がある。本研究で行なった手法では、平均値をとれない値の際にもアスペクトモジュールの適用が可能である。したがって、本

研究で設計したアスペクトモジュールは有用であると考えた。

### 4.2 ブローカー層に耐故障機能を組み込んだ開発との比較

本研究では、耐故障性を保障する手法として、IoT のための参照アーキテクチャから、耐故障性に関する横断的関心事を分離したアスペクト指向アーキテクチャを提案した。別の手法として、IoT のための参照アーキテクチャのブローカー層に耐故障性機能を組み込む手法が考えられる。この手法で IoT アプリケーションを開発することで、アスペクト指向技術を適用せず、耐故障性を保障することができる。しかし、この手法ではブローカー層に耐故障機能を保障するための様々な記述が必要となる。また、この手法ではブローカー層が様々な層に横断的に関連することで、IoT アプリケーションの開発が複雑化する。本研究では、アスペクト指向アーキテクチャを提案したことで、ブローカー層に耐故障機能を保障する記述を行なうことなく、IoT アプリケーションの体系的な開発を行なうことが可能となった。

## 5 おわりに

本研究では、IoT のための参照アーキテクチャから、耐故障性に関する横断的関心事を分離したアスペクト指向アーキテクチャを提案した。アスペクト指向アーキテクチャ提案したことで、接続されるセンサやアクチュエータの耐故障性を保障した IoT アプリケーションの開発支援を行なうことができるようになった。今後の課題として、本研究で提案したアスペクト指向アーキテクチャを基に、IoT アプリケーションを開発し、RaspberryPi を用いて耐故障性を保障できるかを検証することが挙げられる。

## 参考文献

- [1] D. Evans, "The internet of things How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything," <https://www.cisco.com>, 2011.
- [2] WSO2, "A Reference Architecture for the Internet of Things," <http://wso2.com>, 2015.
- [3] Code Zine, "IoT アーキテクチャ構築における 4 つの課題と、AWS サービス群の使いどころ," <http://codezine.jp/>, 2015.
- [4] M. Noro, A. Sawada, Y. Hachisu, and M. Banno, "E-AoSAS++ and its Software Development Environment," Proceedings of the 14th Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC2007), pp. 206-213, 2007.
- [5] 藤井 章博, "IEEE 論文に基づく IoT 研究動向の計量書誌学的調査," 科学技術動向研究, vol.149, pp.19-24, 2015.