

修士論文

題目

IoT 機器からの通知に基づいた機器監視サービスの開発

学籍番号・氏名

15006・宮坂 虹槻

指導教員

横山 輝明

提出日

2017 年 1 月 28 日

神戸情報大学院大学
情報技術研究科 情報システム専攻

目次

第 1 章	はじめに	1
第 2 章	IoT サービスの維持における問題	2
2.1	IoT サービスとは	2
2.2	IoT サービスの構造とは	2
2.3	IoT サービス維持の問題	3
2.4	従来の機器監視手法の適応	3
2.4.1	SNMP を用いた機器の監視	3
2.4.2	Ping を用いた機器の監視	3
2.4.3	Logstash・Elasticsearch・Kibana を用いた機器の監視	3
2.4.4	Teregraf・Influxdb・Grafana を用いた機器の監視	4
第 3 章	IoT 機器からの通知に基づく機器監視サービスの提案	5
3.1	IoT 機器監視の重要性と、問題点	5
3.2	IoT 機器からの通知に基づく機器監視サービスの提案	5
3.3	IoT 機器の監視とは	5
3.4	IoT 機器の監視に必要な機能とは	5
3.5	IoT 機器の監視に求められる制約とは	6
3.6	IoT 機器監視に求められる要件とは	6
第 4 章	機器監視サービスの実装	7
4.1	機器監視サービスの構成	7
4.1.1	エージェントプログラム	8
4.1.2	「かおりちゃん」	8
4.1.3	機器状態データベース	8
4.1.4	機器情報データベース	8
4.1.5	Web アプリケーションサーバ	8
4.1.6	Web アプリケーション	9
4.2	エージェントプログラムの実装	10
4.3	「かおりちゃん」の実装	10
4.4	機器情報データベース	10
4.4.1	機器情報テーブル	10
4.4.2	ユーザーテーブル	10
4.5	機器状態データベース	10
4.6	Web サーバーアプリケーション	11
4.7	Web アプリケーション	11
4.8	エージェントプログラムと「かおりちゃん」間の通信の実装	12
4.9	Web アプリケーションサーバと Web アプリケーション間の通信の実装	12
4.10	サービスによる監視のイメージ	13

第 5 章 機器監視サービスのユーザーテストと考察	19
5.1 シナリオ	19
5.2 機器監視サーバーの構築	19
5.3 各 IoT 機器の状態を可視化する	19
5.4 多種多様な機器への移植性が高い	20
5.5 考察	20
第 6 章 おわりに	21
第 7 章 謝辞	22
参考文献	23

図 目 次

4.1	システムのブロック図	7
4.2	エージェントプログラムと「かおりちゃん」の間のメッセージシーケンス図	12
4.3	ログイン画面	14
4.4	機器状態一覧画面	14
4.5	機器状態一覧画面（小さく表示）	15
4.6	機器状態詳細表示	15
4.7	機器追加ダイアログ	16
4.8	機器情報編集ダイアログ	17
4.9	過去の状態表示ページ	18

内容梗概

近年、半導体技術の進歩により、コンピューターの小型化・低価格化が進んでいる。また、インターネット回線の普及もあり、Internet of Things という概念が注目され、それによって収益を得る IoT サービスが登場してきた。Internet of Things(IoT) とは、様々な物がインターネットにつながり、相互に情報を交換し合うことで、様々な自動化を実現する概念である。

しかし、IoT サービスを開発・運用するには、開発コストの問題・セキュリティーの問題・稼働率の問題など様々な問題がある。

そこで、本研究では、IoT デバイスの死活監視問題に焦点を当て、IoT サービスとは独立した IoT デバイスの監視サービスを開発することにより、デバイスの故障検知に係る問題の解決を図ることにした。システムの構築に先立って、どのような機能が必要となるのか、実験し、デバイスの電源の状態（電源が入っているのか・入っていないのか）・ネットワークの状態（インターネットへ接続されているのかいないのか）が時系列に沿って整理されている事で、対処が決まる事が分かった。そこで、上記必要な機能を実装したシステムを提供し、協力者の理解を得て検証し評価を得た。

第1章 はじめに

近年、IoT が注目を集めている。IoT とは、コンピュータをさまざまなモノに取り付けることで、利便性の向上を図る概念である。近年の半導体技術の進歩により、コンピュータが安価・小型になったこと、インターネットへの通信が様々な場所で安価に行えるようになったことにより、注目が集まっている。

それらのモノが連携して提供するサービスは IoT サービスと呼ばれ、より生活に身近なサービスの登場が期待されている。IoT サービスは、IoT 機器とサーバーがインターネットを介して通信し合うことで、成り立っている。IoT 機器は、モノにコンピュータが取り付けられた物で、周囲の状況を検知、または、周囲へ働きかける機能を持つ。サーバーは、IoT 機器からの情報を蓄積・分析し、IoT 機器へ指示を送るか、ユーザーへ分析結果を表示する機能を持つこれら IoT 機器とサーバーが連携することで、IoT サービスは利便性をユーザーへ提供している。

IoT サービスを円滑に提供するには、IoT 機器とサーバーの連携を正常に維持しなければならない。そのため、IoT 機器の動作状態や通信状態の監視が重要となる。数も多く、さまざまなネットワークを介して接続される IoT 機器の監視は困難な問題である。IoT 機器が設置される様々なネットワークの構成を把握することは、IoT 機器が多量であることを考えると現実的ではない。多量の IoT 機器を個々に識別し、異常を検知することも難しい。そのため、設置されるネットワークに関係なく状態が監視できることが求められる。また、IoT 機器の状態を一覧して確認できることや、IoT 機器の過去の動作状態や通信状態を確認できることが必要である。

そこで、我々は、IoT 機器からの通知に基づいた機器監視サービスを提案する。IoT 機器が自身の過去の動作状態や通信状態を記録し、機器監視サービスがそれら記録を可視化する。この仕組みを用いることで、IoT 機器が設置されるネットワークに関係無く状態を監視することや、IoT 機器の過去の状態や通信状態を確認することを容易にする。本研究では、IoT 機器からの通知による機器の設置環境によらない機器の監視を行うことにより、IoT サービスの維持を容易にするシステムの開発に取り組む。

本論文では、IoT 機器の監視困難の問題を取り上げ、その問題解決のための監視サービスを開発し、効果を報告する。第2章では、IoT サービスの維持に関する背景と、IoT 機器の監視に関する問題を述べる。第3章では、第2章で述べた問題を分析し、IoT 機器監視サービスの機能要件について述べる。第4章では、IoT 機器監視サービスの実装の詳細について述べる。第5章では、実験により IoT 機器監視サービスがもたらす効果を検証し、考察を述べる。第6章では、本研究に関する評価について述べる。第7章では、本研究を通して得られた知見や今後の課題について述べる。

第2章 IoTサービスの維持における問題

2.1 IoTサービスとは

IoTとは、Internet of Thingsの略で「モノのインターネット」とも呼ばれる概念である。IoTでは、様々な物がインターネットにつながり、相互に情報をやり取りすることで、多様な自動化を行う。IoTサービスとは、ユーザーに対しIoTによる利便性を提供するものである。

IoTサービスは、半導体技術の進歩によりコンピュータが小型且つ安価になったこと、通信ネットワークの整備が進み様々な場所から安価に通信が利用可能になったことで登場した。

例えば、次のような物がある。

- コーヒーポット
- 太陽光発電の監視

コーヒーポットの自動化とは、コーヒーポットまで移動し、コーヒーポットの状態を確認しに行く手間を省くためのサービスである。このサービスの実現の為に、コーヒーポットに対してコンピュータを取り付ける。これらコンピュータが、コーヒー豆の残量やコーヒーが入ったか否かの情報をサーバーとやり取りする。それにより、サーバーはコーヒー豆の自動発注や、コーヒーが入ったことユーザーに知らせる。

太陽光発電の監視とは、太陽光発電所の発電量や機器の異常を確認しに行くための手間を省くためのサービスである。このサービスの実現の為に、太陽光発電所の機器にコンピュータを取り付ける。これらコンピュータが発電量や機器の異常の情報をサーバーとやり取りする。それにより、サーバーは、発電量や機器の異常をユーザーに知らせる。

このように、IoTサービスは、IoT機器とサーバーが連携し、ユーザーに利便性を提供するものである。今後も数多くサービスが登場すると考えられている。

2.2 IoTサービスの構造とは

IoTサービスは、IoT機器とサーバーが連携し利便性を提供するものである。IoTサービスの構造として、多数のIoT機器とサーバーがインターネットを介し連携する事が挙げられる。

IoT機器は、様々な環境へ設置され、周囲の状況を検知することや、周囲へなんらかの働きを行う為に使用される。コーヒーポットの例では、コーヒーが出来上がったか否かを検知する。また、コーヒーポットに対し、コーヒーを入れるよう働きかけている。

この機器からの情報を収集し、処理しているのがサーバーである。サーバーは、IoT機器からの情報を蓄積・分析し、IoT機器やユーザーに対し何らかの働きかけを行う。コーヒーポットの例では、ユーザーがコーヒーを入れた回数からコーヒー豆の残量を分析し発注を行うよう働きかけている。

サーバーにて動作するプログラムが、IoT機器と通信することで、IoTサービスを構成する。この通信に利用されるのがインターネットである。様々な通信リンクを用いてIoT機器とサーバー上のプログラムが連携する。

このように、IoTサービスの構造は、IoT機器とサーバー上のプログラムがインターネットを介し通信し、連携することで成り立っている。

2.3 IoT サービス維持の問題

IoT サービスは、IoT 機器とサーバー上のプログラムがインターネットを介し通信し合うことで成り立っている。IoT サービスを維持するためには、これらの構造を維持する必要がある。そのため、IoT 機器が正常に動作しているのか、通信が途切れていないか、監視する事が重要である。ところが、IoT 機器が多量に存在することや、IoT 機器が接続するネットワークが多様であることから、その監視には技術的困難がある。また、個別の IoT サービスに組み込まれた監視システム等を別として、一般的な監視サービスも存在しない。

IoT サービスでは、多量の IoT 機器を使用する。そのため、個々の IoT 機器を識別し、適切に管理することが困難である。

また、家庭内や屋外等、様々な環境下に置かれる IoT 機器が接続されるネットワークを予め予測することは困難を極める。接続先のネットワークでもプライベートアドレスを付与されるなどの他、IoT 機器とサーバーとの通信に制限がかかる場合もある。さらに、IoT 機器によっては、移動することを前提とした物もある。そのような場合、接続されるネットワークが頻繁に切り替わりするため、既存の機器の IP アドレスを利用した機器監視手法は適応することができない。そのため、遠隔から機器の状態を確認することが難しい。

このように、IoT サービスの維持において、IoT 機器の動作や通信状態を監視することは重要であるが、その監視には技術的な困難がある。IoT サービスの円滑な提供や今後の発展の為に、技術的な困難を越えた IoT 機器の監視の実現が重要である。

2.4 従来の機器監視手法の適応

ここで従来の機器監視手法を上げてみる。

2.4.1 SNMP を用いた機器の監視

SNMP とは、SimpleNetworkManagementProtocol の略で、ネットワーク機器を監視するために作られた。監視対象機器で動作する SNMP エージェントと、監視用機器で動作する SNMP マネージャーからなる。しかしセキュリティの観点からネットワーク機器にてブロックされることがある。また、見かけの IP アドレスと、SNMP が持つ IP アドレスが違っていると、混乱する場合がある。また、監視用機器側で、監視対象 IP アドレスを記憶しておく必要がある。機器の IP アドレスが頻繁に変わる事を考えると、現実的ではない。

2.4.2 Ping を用いた機器の監視

Ping とは、ICMP を利用したプログラムで、監視対象機器へ ICMP Echo Request というメッセージを送信し、監視対象機器は、ICMP Echo Reply というメッセージを返すことで、機器の動作状態や、ネットワークへの接続性を確認するプログラムである。これも同様に、監視用機器側で、監視対象 IP アドレスを記憶しておく必要があるため、IoT 機器の監視には向かない。セキュリティの観点からネットワーク機器にてブロックされることが多い。

2.4.3 Logstash・Elasticsearch・Kibana を用いた機器の監視

Logstash とは、機器の状態を収集し転送するプログラムである。監視対象機器と監視機器双方で動作している必要がある。Elasticsearch とは、機器の状態を蓄積するデータベースである。Kibana はデータベース内の機器の状態を可視化するプログラムである。これら三つが連携することで機器の監視を行う解決策がある。しかし、IoT 機器の上で Logstash が動作する必要がある。また、各 IoT 機器にインストールされた Logstash と、機器監視サーバ上で動作する Elasticsearch や Kibana を適切に設定する必要がある。IoT 機器が追加される度に、新たに Kibana に対し設定をしなければならないので、手間がかかる。

2.4.4 Teregraf・Influxdb・Grafana を用いた機器の監視

Teregraf とは、機器の状態を収集し転送するプログラムである。Influxdb は、機器の状態を時系列に整理し格納するデータベースである。そのデータベースの可視化プログラムとして、Grafana がある。しかし、この組み合わせも、上記 Logstash・Elasticsearch・Kibana の時と同様に各ソフトウェアに適切な設定が必要であり、IoT 機器が追加される度に Grafana 上で追加の設定をしなければならぬ。

第3章 IoT機器からの通知に基づく機器監視サービスの提案

3.1 IoT機器監視の重要性と、問題点

IoT機器の監視は、IoTサービスを停止させないために重要である。

IoT機器が正常に動作していない場合、分析を正確なものとするため、分析時に該当のIoT機器を除外するか、全てのIoT機器が動作している時間帯を選び分析を行う必要がある。そのため、IoT機器を監視し、IoT機器が正常に動作していない時間を記録しておく必要がある。

またIoT機器が正常に動作していない事が分かった場合、正確に分析できないため、サービスを提供することができなくなる。そのために、常にIoT機器を監視し、異常があれば、復旧作業を行う必要がある。

このようにIoT機器の監視は、IoTサービスを維持する上で重要である。

しかし、従来より用いられてきた手法は、様々なネットワークに接続されるIoT機器の特性上用いることは難しい。また、機器が非常に安価になっていく事を考えると、機器の設定に手間を掛けたくない。

3.2 IoT機器からの通知に基づく機器監視サービスの提案

そこで私は、IoT機器の監視に特化したIoT機器監視サービスのを提案する。IoT機器から機器監視サーバに通知を送ることで、IoT機器が接続されるネットワークによらない機器監視が行えると考えた。IoT機器の監視に特化させることで、機器の監視に手間をかけずにすむようになると思う。

3.3 IoT機器の監視とは

IoT機器の監視とは、動作の状態・通信の状態を確認することである。IoT機器の動作の状態・通信の状態を確認し、記録することは、IoTサービスを維持する上で重要である。

動作状態とは、少なくとも電源が入っているのかどうかで、通信状態とは、インターネットに接続され、サーバーと通信ができているのかどうかである。

このように、個々のIoT機器の動作状態、通信状態を確認し、記録することが、IoT機器の監視である。

3.4 IoT機器の監視に必要な機能とは

IoT機器の監視とは、個々のIoT機器の動作状態、通信状態を確認することである。そのため、次のような機能が必要となる。

- IoT機器の動作状態、通信状態を検知する機能
- IoT機器の動作状態、通信状態を記録する機能
- IoT機器の動作状態を一覧して表示する機能
- IoT機器の過去の状態を確認する機能

IoT 機器の動作状態、通信状態を検知する機能とは、IoT 機器の現在の状態を検知する機能である。

IoT 機器の動作状態、通信状態を記録する機能とは、IoT 機器の状態を時刻と共に記録する機能である。

IoT 機器の動作状態を一覧して表示する機能とは、現在の IoT 機器の動作状態を見ることができる機能である。ある IoT 機器が動作しなくなった時に、動作していないことを明確に示す必要がある。

IoT 機器の過去の状態を確認する機能とは、過去の IoT 機器の動作状態と通信状態を確認することができる機能である。過去の動作状態や通信状態を整理し、いつ動作していて、いつ動作していなかったのか、各 IoT 機器ごとに示す必要がある。

このように、IoT 機器の監視には、IoT 機器の動作状態を一覧して表示する機能、IoT 機器の過去の状態を確認する機能を持つ必要がある。

3.5 IoT 機器の監視に求められる制約とは

IoT 機器の監視には、上記機能が必要である他に、IoT 機器が設置されるネットワークにかかわらず監視ができることが求められる。何故ならば、IoT 機器が設置されるネットワーク環境は多様であるからである。

IoT 機器が設置されるネットワーク環境として、次のような環境が挙げられる。

- IoT 機器に対しプライベートアドレスが与えられる環境
- IoT 機器とサーバーの通信が制限される環境

多くの場合、IP アドレスの節約の観点から、IoT 機器に対し、プライベートアドレスのみ与えられる。この場合、インターネット側からは、IP アドレスを指定することが出来ないため、通信は常に IoT 機器から始まる必要がある。また、IoT 機器とサーバーとの通信がセキュリティの観点から制限される場合もある。HTTP 等一般的に広く使用される通信を除いてブロックされる事がある。

このように IoT 機器の監視には、IoT 機器から通信が始まることや、HTTP 等頻繁に利用される通信を利用しなければならないといった制約がある。

3.6 IoT 機器監視に求められる要件とは

これらを踏まえて、IoT 機器の監視には次のような機能要件が求められる。

- IoT 機器の動作状態、通信状態を検知する機能
- IoT 機器の動作状態、通信状態を記録する機能
- IoT 機器の動作状態を一覧して表示する機能
- IoT 機器の過去の状態を確認する機能

また、非機能要件として、次のような制約がある。

- プライベートアドレスが与えられたとしても動作する事
- インターネットの通信として一般に広く利用されている HTTP 等の通信を用いる事

第4章 機器監視サービスの実装

4.1 機器監視サービスの構成

第3章にて述べた要件に基づき、システムを構築した。システムは、エージェントプログラム、機器状態データベース、機器情報データベース、「かおりちゃん」というエージェントプログラム用インターフェースプログラム、Web アプリケーションサーバ、Web アプリケーションから成り立っている。エージェントプログラムと「かおりちゃん」、Web アプリケーションサーバと Web アプリケーションは、インターネットを介して通信しあう。

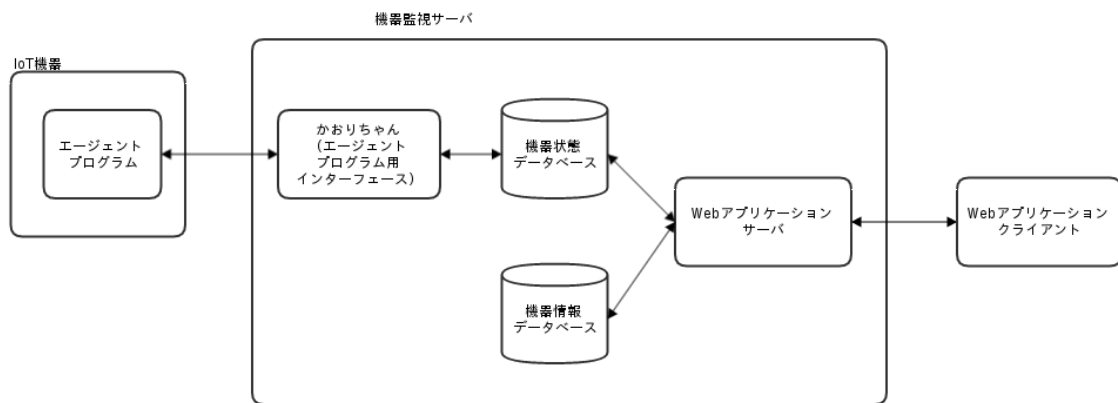


図 4.1: システムのブロック図

エージェントプログラムは、IoT 機器上で動作するプログラムである。定期的に自身の状態を状態蓄積システムへ送信する役割を果たす。定期的かつ自発的に状態を送信することで、ネットワーク環境によらない機器の監視を可能にした。

「かおりちゃん」とは、エージェントプログラム用インターフェースである。各 IoT 機器上で動くエージェントプログラムから送られてきた状態を、時刻と共に機器状態データベースへ書き込む役割を果たすプログラムで、機器監視サーバー上で動作する。

機器状態データベースとは、機器の状態を時系列に沿って蓄積するデータベースである。機器監視サーバー上で動作する。

機器情報データベースとは、機器 ID や、機器名、ユーザー名を記録するデータベースである。機器監視サーバー上で動作する。

Web アプリケーションとは、ユーザーからの入力を受けユーザーへ表示する他必要な情報を問い合わせる、ブラウザ上で動作するプログラムである。

Web アプリケーションサーバーは、Web ページや Web アプリケーション自体を配信する。Web アプリケーションからの要求に答え、現在の機器の状態や、機器名等を返答する。

これら各要素が連携することで、機器の監視を容易なものとした。

4.1.1 エージェントプログラム

エージェントプログラムとは、IoT 機器上にインストールされるプログラムである。エージェントプログラムの役割は、定期的に送信失敗回数を「かおりちゃん」へ報告することである。送信失敗回数とは、ネットワークの不具合等により、機器監視サーバーへ送信されなかった報告の数である。自発的に状態を報告するため、IoT 機器にプライベートアドレスが付与されていても、状態を検知することができる。また、HTTP を用いるため、間のネットワークにてブロックされることがない。

4.1.2 「かおりちゃん」

かおりちゃんとは、エージェントプログラム用インターフェースで、サーバー上で動くプログラムである。かおりちゃんの役割は、エージェントプログラムから送信されたメッセージを受け取り、現在の時刻と正常である旨を機器状態データベースへ書き込む。また、エージェントプログラムから送られた送信失敗回数から、IoT 機器がインターネットから切断された時刻を逆算し、機器状態データベースへ書き込む事も行う。

4.1.3 機器状態データベース

機器状態データベースとは、サーバ上で動作するデータベースである。各 IoT 機器の状態を時刻とともに記録する。機器状態監視システムの中心にあるデータベースである。

4.1.4 機器情報データベース

機器情報データベースとは、サーバー上で動作するデータベースである。各 IoT 機器の機器 ID、機器名、機器詳細情報、ユーザーのメールアドレスとパスワードを記録する。

4.1.5 Web アプリケーションサーバ

Web アプリケーションサーバとは、サーバ上で動作するプログラムである。Web アプリケーションや Web ページの配信、Web アプリケーションからの要求の処理などを行う。必要に応じて、機器状態データベースと機器情報データベースへアクセスを行う。次に、Web アプリケーションとのインターフェースを挙げ、それぞれについて説明する。

ログイン API

Web アプリケーションから、メールアドレスとパスワードを受け取り、機器情報データベースのユーザーテーブルと照合する。照合した結果、ユーザー名とパスワードが合致したユーザーが存在すれば、HTTP クッキーにセッションキーをセットし、機器状態一覧ページへのリダイレクトを返す。合致したユーザーが存在しなかった場合、エラーメッセージを返す。

ログアウト API

Web アプリケーションに、HTTP クッキーから該当のセッションキーを削除するよう要求する。

機器情報・機器状態取得 API

ログインチェックを行った後、機器情報データベースと機器状態データベースより、全 IoT 機器の機器情報と機器状態を返す。

機器 ID 生成 API

ログインチェックを行った後、機器情報データベースに存在しない、ランダムな機器 ID を返す。

機器 ID 重複チェック API

ログインチェックを行った後、Web アプリケーションから機器 ID を受け取る。機器情報データベースに該当の機器 ID が存在するかないかを返す。

機器作成 API

ログインチェックを行った後、Web アプリケーションから、機器 ID、機器名、機器の詳細と、機器の作成なのか編集なのかの指示を受け取る。機器の作成であった場合、機器 ID に重複が無いことを確認したうえで、機器情報データベースに該当のエントリを作成・機器状態データベースにメジャーメントを作成する。作成されたか、されなかったかを返す。機器の編集であった場合、機器情報データベースから、受け取った機器 ID を持つものを探しだし、編集する。編集できたか否かを返す。

機器削除 API

ログインチェックを行った後、Web アプリケーションから、機器 ID を受け取る。機器情報データベースから、受け取った機器 ID を持つものを削除する。その後、機器状態データベースから、メジャーメントを削除する。削除されたか否かを返す。

過去の機器状態取得 API

ログインチェックを行った後、機器状態データベースから、全ての IoT 機器の過去の状態をまとめ、返す。

4.1.6 Web アプリケーション

Web アプリケーションとは、ユーザーのブラウザ上で動作するアプリケーションである。ユーザーへグラフィカルインターフェースを提供する。必要に応じて、Web アプリケーションサーバへ必要な情報を要求する。Web アプリケーションは、3 つの Web ページから成り立っている。以下に各ページとそれぞれの役割を述べる。

- ログインページ
正当なユーザーであることを確認するために、メールアドレスとパスワードの入力を求める。メールアドレスとパスワードは、Web アプリケーションサーバへ送信される。
- 機器状態一覧ページ
機器状態を一覧して表示する他、機器の作成や、機器情報の編集、機器の削除等を行う事ができる。現在の機器の状態を取得するため、定期的に Web アプリケーションサーバと通信する。また、機器の作成や機器情報の編集、削除の為、Web アプリケーションサーバと通信する。
- 過去の機器状態一覧ページ
過去の機器状態を時刻と共に整理し、一覧表示するページである。現在の機器の状態を取得するため、定期的に Web アプリケーションサーバと通信をする。

4.2 エージェントプログラムの実装

エージェントプログラムの役割は、送信失敗回数を定期的に IoT 機器監視サーバーに送信することにある。約 1 分おきに、現在の送信失敗回数と過去の送信失敗回数を、「かおりちゃん」へ送信する。どのような Linux 環境でも動作することを考え、Shell スクリプトにて実装した。

エージェントプログラムの動作は次のようになる。

1. エージェントプログラムが起動されると、まず過去に記録された送信失敗回数を読み出す。
2. 「かおりちゃん」に対し、過去に記録された送信失敗回数と、現在の送信失敗回数を送信する。
3. サーバーから応答があった場合、過去に記録された送信失敗回数と、現在の送信失敗回数をクリアする。
サーバーから応答がない場合、現在の送信失敗回数をインクリメントする。
4. 1 分間スリープし、再び 2 から繰り返す。

4.3 「かおりちゃん」の実装

「かおりちゃん」の役割は、エージェントプログラムから送信失敗回数を受け取り、時刻と正常である旨を機器状態データベースへ書き込むこと、また、エージェントプログラムから送られた送信失敗回数から、インターネットより切断された時刻を逆算し、機器状態データベースへ書き込む事である。Falcon と呼ばれる API の作成に特化したフレームワークを使用し、Python にて実装した。また、機器状態データベースへの書き込みには、InfluxDBClient というライブラリを使用した。

4.4 機器情報データベース

機器情報データベースの役割は、機器の名前、機器の詳細説明、機器 ID、ユーザー ID、ログイン用メールアドレスとパスワードを記録し保持する事である。ユーザ ID とは、システムにてユーザーを識別するための識別子である。機器 ID は、システムにて IoT 機器識別するための識別子である。機器情報データベースには、SQLite3 を用いた。機器情報データベースには、次のようなテーブルが用意されている。

4.4.1 機器情報テーブル

機器 ID、ユーザー ID をキーとして、機器の名前、機器の詳細説明を記録し保持するテーブルである。

4.4.2 ユーザーテーブル

ユーザー ID をキーとして、ユーザー名とパスワードを記録し保持するテーブルである。

4.5 機器状態データベース

機器状態データベースの役割は、機器の状態を時刻と共に記録・保持することである。機器状態データベースには、Influxdb を用いた。機器 ID をメトリクス名（テーブル名）とし、時刻をキーとして、機器の状態を記録している。

4.6 Web サーバーアプリケーション

Web サーバーアプリケーションの役割は、与えられた HTTP リクエストを元に、Web ページや、各種情報を返却することにある。Flask と呼ばれる Web アプリケーションフレームワークを用いた。Python を使用している。Web サーバーアプリケーションの設計と Web アプリケーションの設計から、下記の様に実装した。先頭に付いている GET や POST は HTTP メソッド、/login 等は URL を示している。

GET /login

ログインページを返す。

POST /login

メールアドレスとパスワードを受け取る。クッキーからセッションキーを探し、存在すれば既にログインしているとして、/dashboard へのリダイレクトメッセージを返す。データベースにメールアドレスとパスワードの組が存在するか確認し、存在した場合、セッションキーを返す。存在しなかった場合、ログインエラーページを返す。

GET /logout

セッションキーを受け取り、該当のセッションを削除する。

GET /dashboard

ログインチェックをし、機器状態一覧ページを返す。

GET /devicelog

ログインチェックをし、過去の機器状態一覧ページを返す。

GET /api/device/all

ログインチェックをし、現在の状態、最後にメッセージを受け取った日時、機器 ID、機器名、機器詳細のデータを、JSON 形式にまとめたものを返す。

GET /api/deviceID

ログインチェックをし、ランダムにデバイス ID を生成し、JSON 形式にまとめたものを返す。

POST /api/deviceID

ログインチェックをし、受け取ったデバイス ID が既に存在するか確認し、その結果を JSON 形式にまとめ、返す。

POST /api/device/{DeviceID}

ログインチェックをし、デバイス ID と受け取った JSON データから、デバイスの新規作成・編集をし、結果を JSON 形式にまとめ、返す。

DELETE /api/device/{DeviceID}

ログインチェックをし、該当のデバイス ID を持つデバイスをデータベースから削除する。

4.7 Web アプリケーション

Web アプリケーションの役割は、ユーザーインターフェースを提供することである。Bootstrap, JQuery というライブラリを用いて作成した。HTML, CSS, Javascript で書かれている。定期的に Web アプリケーションサーバから状態を取得し、HTML, CSS を用いて表示する。

4.8 エージェントプログラムと「かおりちゃん」間の通信の実装

エージェントプログラムと「かおりちゃん」は、インターネットを介して、HTTP というプロトコルを用いて通信する。エージェントプログラムと「かおりちゃん」間の通信は次の様な形になる。

1. エージェントプログラムが「かおりちゃん」に対し、送信失敗回数を報告する。
2. 「かおりちゃん」は、時刻と正常である旨を機器状態データベースへ送信する。
3. 機器状態データベースより、正常に書き込んだというメッセージが帰ってくる。
4. 「かおりちゃん」は、必要に応じて送信失敗回数からインターネットから切断された時刻を逆算し、その時刻と切断されていた旨を機器状態データベースへ送信する。
5. 機器状態データベースより、正常に書き込んだというメッセージが帰ってくる。
6. 「かおりちゃん」は、エージェントプログラムに対し、正常に受け付けたというメッセージを返す。

エージェントプログラムと「かおりちゃん」の間の通信は、約 1 分おきに繰り返される。

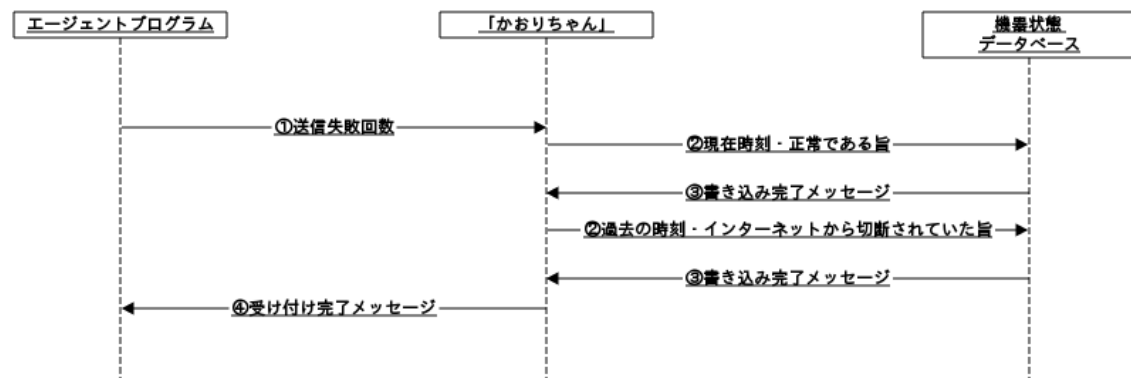


図 4.2: エージェントプログラムと「かおりちゃん」の間のメッセージシーケンス図

HTTP 上でやり取りするデータの形式としては、Javascript Object Notation(JSON) という形式を用いる。エージェントプログラムからは、次のような形式でメッセージが送られる。

ソースコード 4.1: エージェントプログラムから「かおりちゃん」に送られるメッセージの書式

```
1 { "seq":<NOW>, "stat":"OK", "log":{"seq":<PAST>}}
```

< NOW > には、現在の送信失敗回数が入る。 < PAST > には、過去の送信失敗回数が入る。
また、「かおりちゃん」からは、次のような形式で応答がある。

ソースコード 4.2: 「かおりちゃん」からエージェントプログラムへの応答の形式

```
1 { "stat":"OK", "time":<NOWTIME> }
```

ここで、< NOWTIME > にはサーバー側の現在時刻が入る。

4.9 Web アプリケーションサーバと Web アプリケーション間の通信の実装

Web アプリケーションサーバと Web アプリケーションは、インターネットを介し、HTTP というプロトコルを用いて通信する。HTTP 上でやり取りするデータの形式としては、Javascript Object Notation(JSON) という形式を用いる。

4.10 サービスによる監視のイメージ

本サービスで想定するユーザーの動きをまとめる。

- ユーザーが IoT 機器をサービスに登録する場合
 1. ユーザーは最初にサービスにログインし、機器一覧ページへ遷移する。
 2. ユーザーは機器一覧ページにある「+」ボタンを押す。すると、機器追加用ダイアログが表示される。
 3. 機器 ID が既に決まっている場合は、機器 ID 欄を書き換える。
決まっていない場合は、機器 ID 欄に表示されている機器 ID をメモしておく。
 4. 機器名、機器詳細を入力する。
 5. 機器の追加ボタンを押し、機器一覧に追加した機器が表示されていることを確認する。
 6. ユーザーは、IoT 機器へエージェントプログラムをインストールし、自動でエージェントプログラムが起動するよう設定する。
 7. ユーザーは、IoT 機器をインターネットに繋ぎ、サービスの機器状態一覧ページの表示が変わったことを確認する。
- ユーザーが IoT 機器の情報を変更する場合
 1. ユーザーは、サービスにログインし、機器一覧ページへ遷移する。
 2. 該当の機器をクリックし開く。
 3. 該当の機器の編集ボタンを押すと、機器情報編集ダイアログが表示される。
 4. 機器名、機器詳細を編集し、OK ボタンを押す。
- ユーザーが IoT 機器を削除する場合
 1. ユーザーは、サービスにログインし、機器一覧ページへ遷移する。
 2. 該当の機器をクリックし開く。
 3. 該当の機器の削除ボタンを押すと、確認ダイアログが表示されるので、OK を押す。
 4. 機器一覧ページから、機器が消えたことを確認する。
- ユーザーが現在の機器の情報、機器の状態を確認する場合
 1. ユーザーはサービスにログインし、機器一覧ページへ遷移する。
 2. 該当の機器をクリックし開くと、機器の情報ごと、現在の状態、最後に通信があった日時等が表示される。
 3. また、機器一覧ページにて機器の背景が、緑色である場合は正常で、赤色である場合は異常である。
- ユーザーが過去の機器状態を確認する場合
 1. ユーザーは、サービスにログインし、機器一覧ページへ遷移する。
 2. ナビバーから過去の機器状態ページへ遷移する。
 3. すると、機器と機器の過去の状態一覧が表示されるので、該当の機器を見つけ出し、確認する。

以下に実装したサービスのスクリーンショットを提示する。

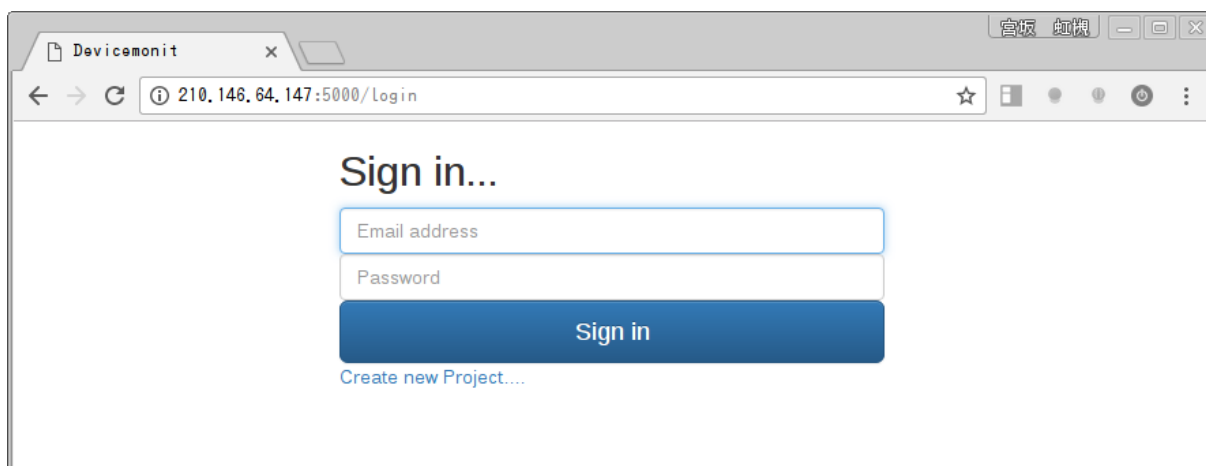


図 4.3: ログイン画面

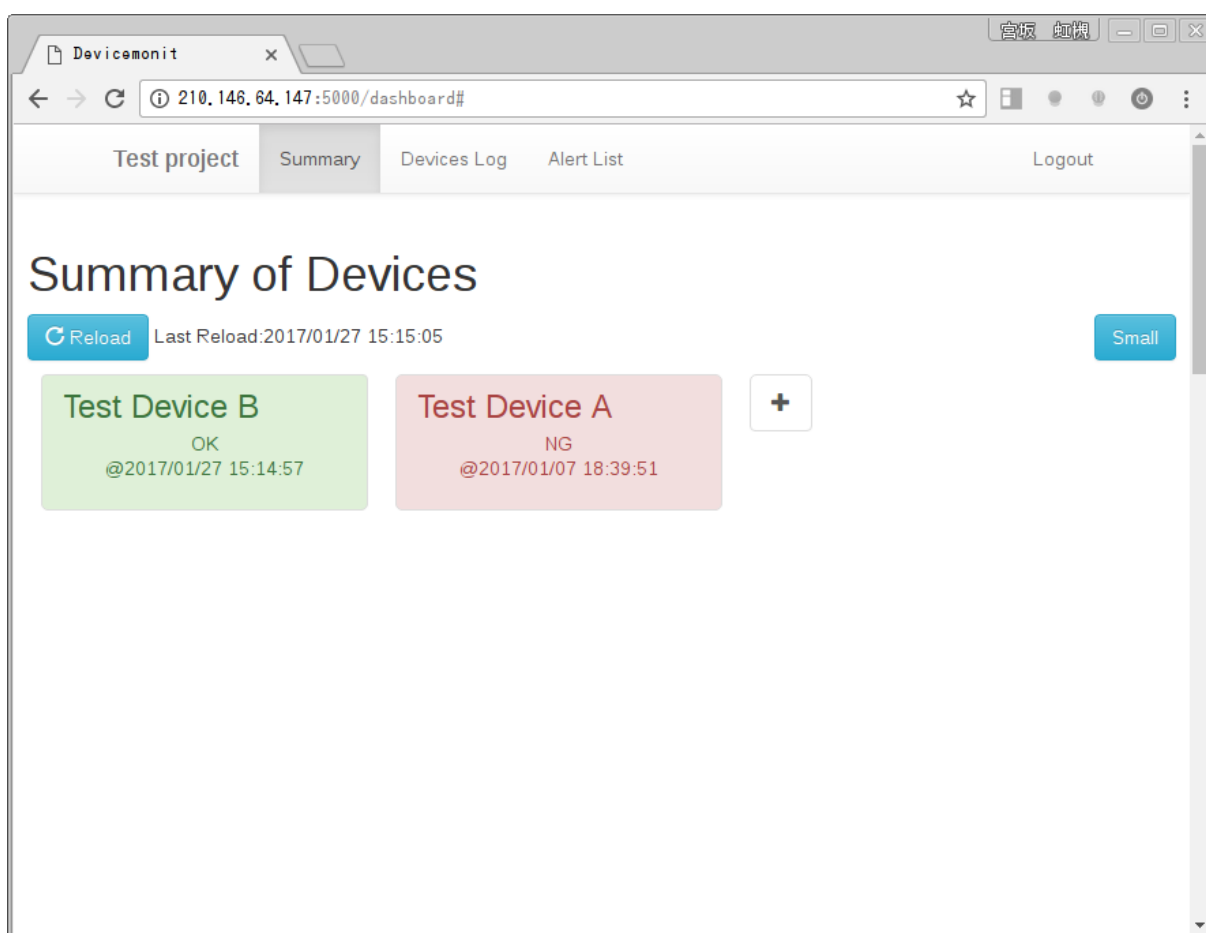


図 4.4: 機器状態一覧画面

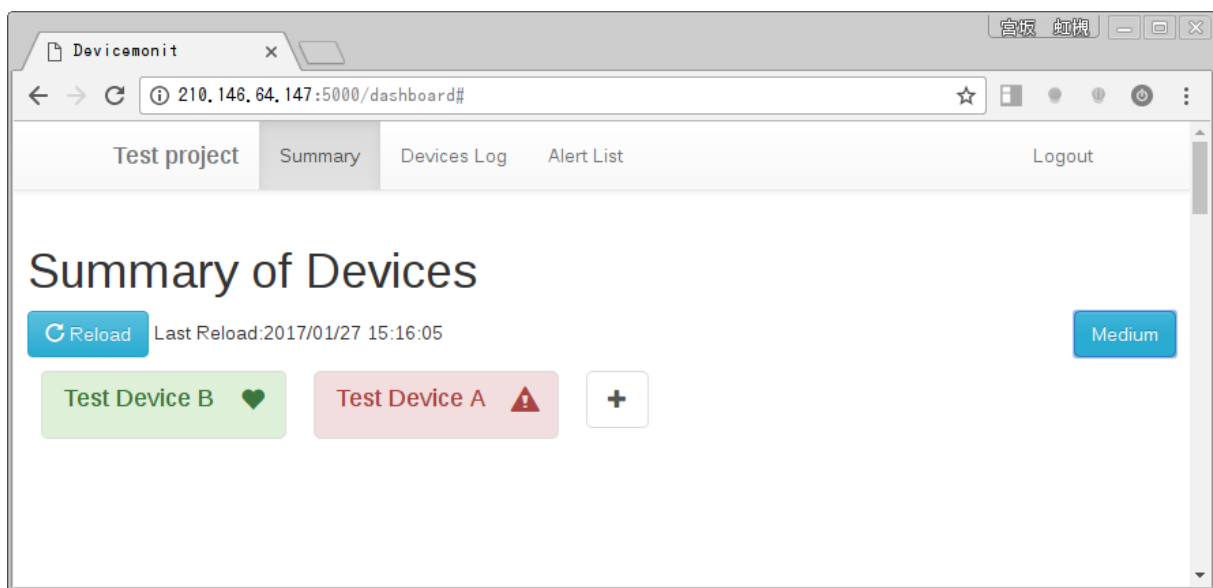


図 4.5: 機器状態一覧画面（小さく表示）

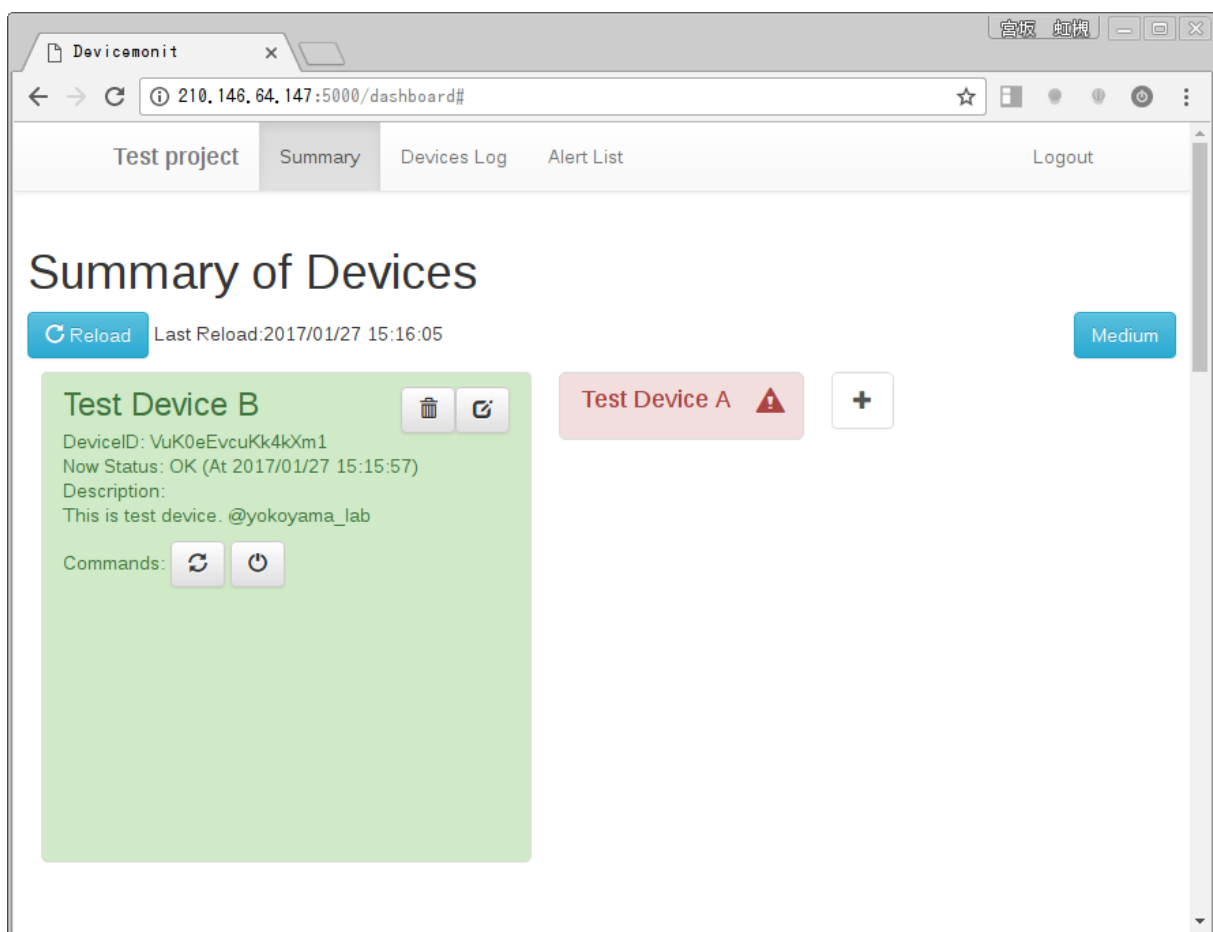


図 4.6: 機器状態詳細表示

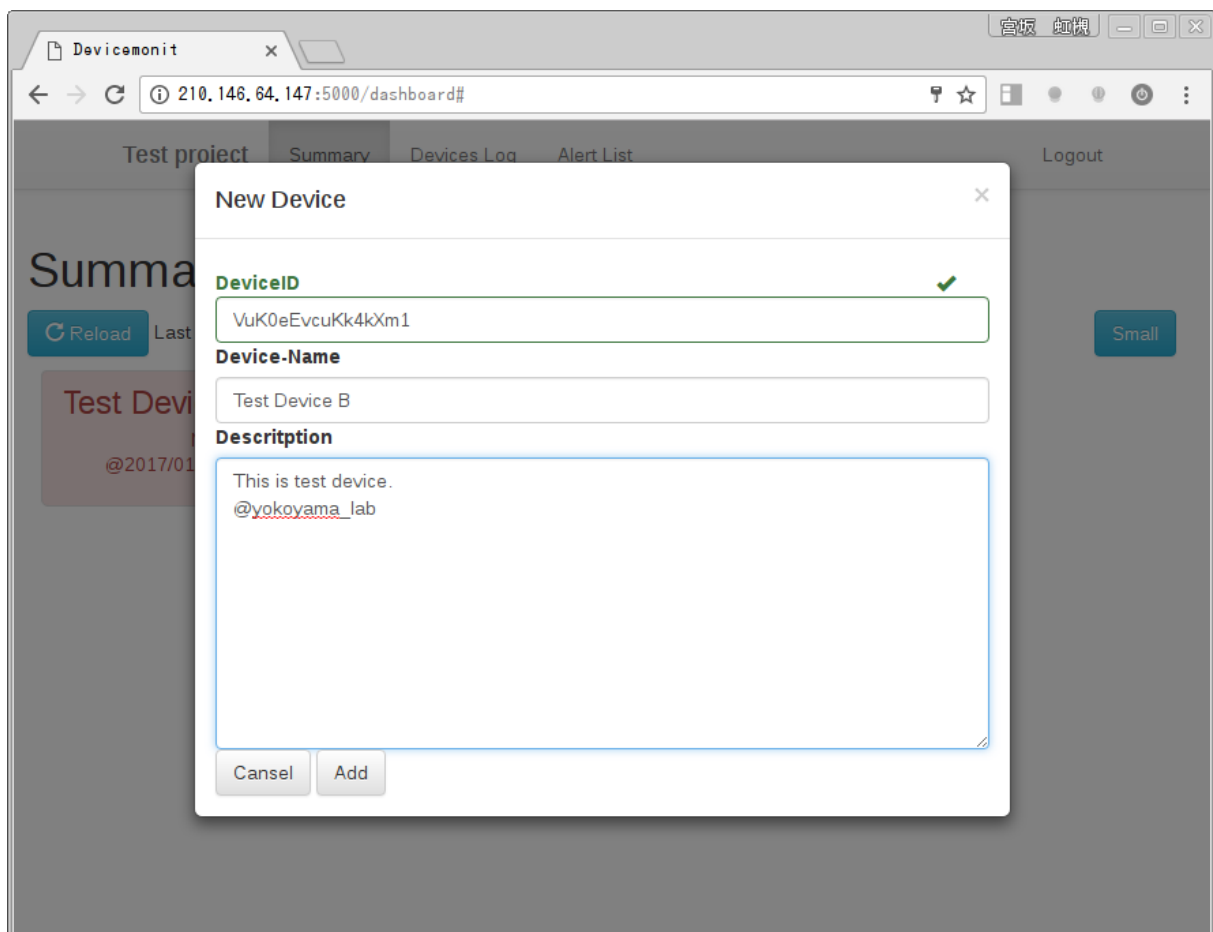


図 4.7: 機器追加ダイアログ

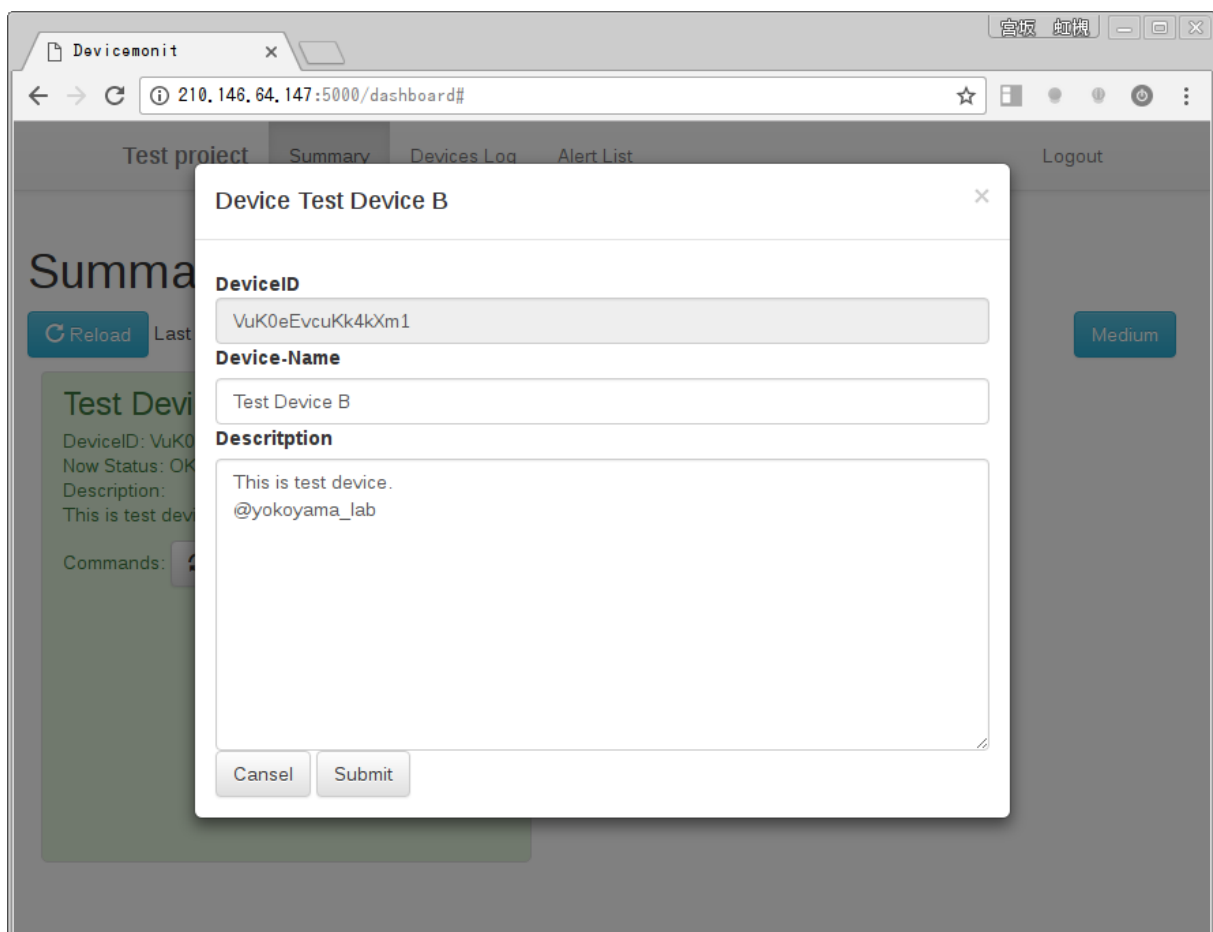


図 4.8: 機器情報編集ダイアログ

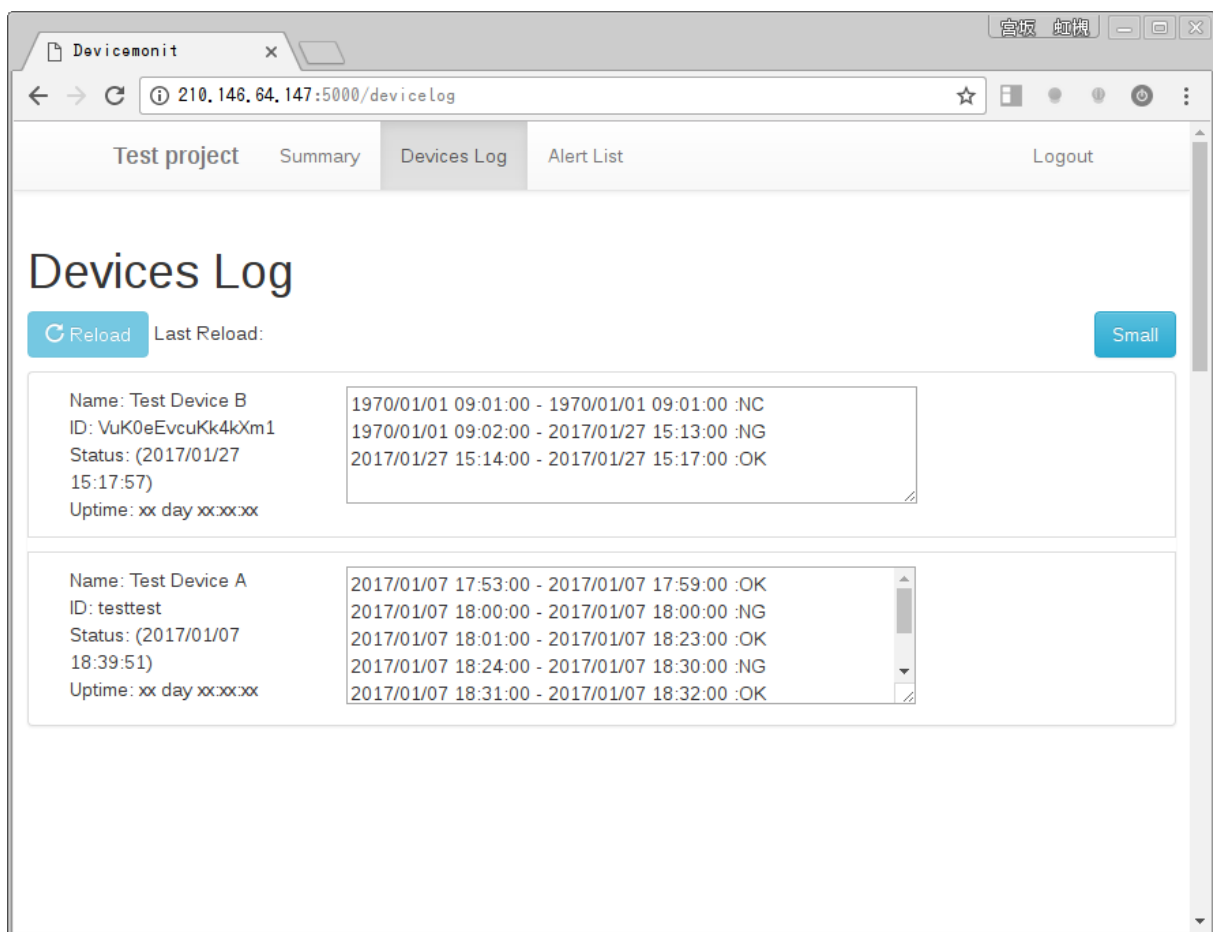


図 4.9: 過去の状態表示ページ

第5章 機器監視サービスのユーザーテストと考察

本システムの機能検証の為に、ユーザーテストを行った。本章では、ユーザーテストの結果を報告し、考察する。

5.1 シナリオ

ユーザーテストは、3 台の IoT 機器で成り立っている IoT サービスを想定し行った。

IoT 機器には、RaspberryPi と IntelEdison が使用されている。

想定した IoT サービスは、各 IoT 機器から気温を集め、各地点の気温のグラフを描画するものとした。

本検証では、従来手法による監視の手間と、本サービスによる監視の手間を比較するため、下記項目を重点的に行った。ここでは、従来の手法として、Telegraf と Influxdb、Grafana を用いた機器状態の監視システムを比較対象に挙げる。

順に結果を報告する。

5.2 機器監視サーバーの構築

従来の手法では、機器監視をするために、次の様な手間があった。

1. 機器監視の為にサーバーを用意する
2. 機器監視サーバへ Influxdb をインストールする
3. 機器監視サーバへ Grafana をインストールする
4. Influxdb に対し、Telegraf との通信に用いるインターフェースの設定を行う
5. Grafana に対し、Influxdb と連携するための設定をする。

本サービスを用いる場合、これら準備は不要となる。

5.3 各 IoT 機器の状態を可視化する

従来の手法では IoT 機器の状態を可視化するまでに以下の手順を踏んでいた。

1. IoT 機器に Telegraf をインストールする
2. IoT 機器にインストールされた Telegraf の接続先の設定を行う
3. 各 IoT 機器固有の ID を Telegraf に設定する。*
4. Grafana にログインする。
5. Grafana へ、現在の状態を表示する為のデータベースクエリを入力する。
6. Grafana へ、過去の状態を表示するためのデータベースクエリを入力する。
7. 各描画パネルに対し、機器名を設定する。

本サービスでは次の手順を踏むことで機器

1. 本サービスにログインする
2. 本サービスの機器追加ボタンを押し、機器 ID をメモ（コピー）する。
3. 本サービスに対し、機器名と機器詳細を入力する。
4. IoT 機器にエージェントプログラムをインストールする。
5. IoT 機器にエージェントプログラムを自動で起動するよう設定する。

比較すると、Grafana へデータベースクエリを入力する作業が、なくなっている。代わりに、自動起動の為の設定ファイルを設定する手順が増えている。

5.4 多種多様な機器への移植性が高い

本サービスで提供しているエージェントプログラムは、その他のパッケージに依存しない単純な構成であるため、移植性が高い。

5.5 考察

ユーザーテストから本システムは、ある程度有効であることが分かったが、以下の点について課題があることが分かった。

- 機器への設定について
設定ファイルの編集等の手間は削減されたが、エージェントプログラムを IoT 機器にインストールするのに手間がかかっていることが分かった。従来手法を用いて機器の監視をする際は、自動起動の設定を行う必要はなかったが、本プログラムでは必要としている。自動起動の為の設定ファイルを自動生成するか、あるいはエージェントプログラム配布の際、簡単なインストールスクリプト等を一緒に配布することで、大きな手間の削減になると感じている。
- ユーザーインターフェースについて
現在、過去の機器状態の記録については、文字記録として表示しているが、グラフ表示等の方が見やすいと感じた。また、期間を指定して閲覧できる機能も必要であることが分かった。

第6章 おわりに

IoT とは、様々なモノにコンピュータを取り付け、インターネットを介して相互に情報をやり取りすることで、様々な自動化を図ろうという概念である。IoT サービスとは、IoT による利便性をユーザーに提供するもので、IoT 機器とサーバーのプログラムがインターネットを介して通信し合うことで成り立っている。そのため、IoT サービスの円滑な提供のためには、IoT 機器の監視は不可欠である。

しかし、IoT 機器が多量に存在することや、IoT 機器が接続するネットワークが多様であることから、IoT 機器の監視には技術的困難がある。IoT サービスでは、多量の IoT 機器を使用するため、個々の IoT 機器を識別し、適切に管理することは難しい。また、IoT 機器が接続されるネットワークを予測することは困難である。そのため、機器の IP アドレスを使用した既存手法を適応することは現実的ではない。

そこで、本研究では、IoT 機器から通知を送ることで、IoT 機器が接続されるネットワークによらない機器の監視を可能にすることを提案した。また、機器の監視に必要な要件を抽出し、機器の監視に特化した監視サービスを提案した。

この機器監視サービスを実現する為、IoT 機器にインストールされるエージェントプログラム、機器監視サーバ上で動作するエージェントプログラム用インターフェース「かおりちゃん」、Web アプリケーションを作成した。

「Telegraf + Influxdb + Grafana」と手順や違いを比較した。

今後の課題として〇〇や〇〇があることが分かった。

第7章 謝辞

本論文は、著者が神戸情報大学院大学情報技術研究科情報技術専攻在学中に、横山研究室にて行った研究をまとめたものです。本研究に関してご指導ご鞭撻を頂きました横山輝明講師に心より感謝申し上げます。また、本論文をご精読頂き、有用なコメントと励ましをくださった藤原明生准教授に深謝致します。

そして、論文を書く際にアドバイスをくださった、嶋教授と、嶋研究室の渡邊香織さん、田頭潤さん、笠谷拓伸さん、また、研究についてアドバイスを頂いた横山研究室 OB の鄒曉明さんと、良き議論相手である京都産業大学大学院 M1 の石原真太郎さんに感謝致します。

参考文献

- [1] 平成 27 年版 情報通信白書 (総務省) 「IoT の実現に向けたアプローチと我が国 ICT 産業の方向性」より
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/html/nc254150.html>
- [2] 6 割が「IoT は流行語」－エスキュービズム調査 (ZDBet Japan) <http://japan.zdnet.com/article/35093272/>
- [3] 先進テクノロジーのハイブ・サイクル 2011 年 Gartner <https://www.gartner.co.jp/press/html/pr20110907-01.html>