

令和元年6月28日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K00119

研究課題名(和文) IoT時代に資するセキュリティゲートウェイとその同期運用機構に関する研究

研究課題名(英文) Research on security gateway and its synchronous operation mechanism contributing to the IoT era

研究代表者

大野 浩之(OHNO, HIROYUKI)

金沢大学・総合メディア基盤センター・教授

研究者番号：90213818

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：多数の超小型電子機器や無数のセンサやアクチュエータ類が世界規模で相互接続する情報通信ネットワークの新たな時代は、IoT(Internet of Things)の言葉とともに、この数年間で広く認知されるようになった。

本研究では、IoT環境の情報セキュリティを確保するための「超小型のセキュリティゲートウェイ」(Raspberry Gate)を開発するとともに、当該装置の設定等を最新の状態に保つセキュリティアップデートを「ソーシャルネットワークを活用した意思決定機構」(Raspberry Guardian)が作成し配布するしくみについて研究した。さらに、これらの成果の国内外への普及啓発も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究申請時に指摘したIoT機器の情報セキュリティ確保は、現実には大きな問題になっている。本研究で開発したRaspberry Gateは、オープンソースで誰でも改良が可能、ブリッジモードも実現し、既存のIoTネットワークにあとづけで設置することも可能、この3年間の間にRaspberry Piの性能向上を受けて高速な処理が可能になるなど、実社会での利用が可能になった。また得られた知見をもとに、本研究をさらに発展させる試みは国内外で行われ、特にカナダのノバスコシア州立ダルハウジー大学では、利活用研究が本格的に始まるなど、普及啓発においても大きな成果を得た。

研究成果の概要(英文)：A new era of worldwide interconnection of a large number of microelectronic devices and innumerable sensors and actuators has arrived. This technology is called IoT (Internet of Things) and has become widely known in the last few years.

In this research, we developed a "micro security gateway" (Raspberry Gate) to secure information security in IoT environment. We also studied the mechanism that "the decision making mechanism using social network" (Raspberry Guardian) creates and distributes the security update that keeps the setting of this device updated. We also carried out the spread enlightenment of these results in and out of the country.

研究分野：情報通信

キーワード：情報通信 情報セキュリティ IoT インターネット技術 ネットワーク構成 ネットワーク運用 ネットワーク管理 ソーシャルネットワーク

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

1. 研究開始当初の背景

本研究を申請した当時は、多数の超小型電子機器や無数のセンサやアクチュエータ類が世界規模で相互接続する情報通信ネットワークの新たな時代が到来しつつあり、IoT (Internet of Things) という言葉が利用され始めた時期だった。研究者らは、近い将来 IoT 関連機器が爆発的に普及し、IoT 機器を中心とするネットワークの情報セキュリティ確保が、大きな問題になると考え、本研究を開始した。IoT 機器を中心としたネットワークは、これまでのインターネットと同じ通信技術を使うという意味ではこれまでの延長に位置するが、IoT 機器に特徴的な問題として、物理的形狀もコンピュータとしての能力も情報を確保するメモリ領域の大きさも、極めて小型であって、既存の情報セキュリティ技術をそのまま導入するには制約が多いという問題がある。

2. 研究の目的

多数の超小型の電子機器や無数の超小型のセンサやアクチュエータ類が世界規模で相互接続可能になる、情報通信ネットワークの新たな時代すなわち、IoT 時代の到来に鑑み、本研究では以下を研究の目的とした

- (1) IoT デバイスの情報セキュリティ確保に資する「超小型のセキュリティゲートウェイ装置」の開発
- (2) 当該装置の機能更新と適切な設定の維持を担保するための「ソーシャルネットワーク」を活用した意思決定機構
- (3) 上記(2)によって行った意思決定に同期した運用体制(同期運用機構と呼ぶ)の開発

これらにより本研究が提唱する手法が IoT 時代の IoT デバイスのセキュリティを確保し、情報化社会の安全と安心の確保に貢献することを示す。

さらに、以下も研究上の重要な目的とする

- (4) これらの知見の国内外への普及啓発

3. 研究の方法

前項(研究の目的)で挙げた項番に対応させて述べる

(1) IoT デバイスの情報セキュリティ確保に資する「超小型のセキュリティゲートウェイ装置」は Raspberry Gate と名付け、その名から類推できるとおり、Raspberry Pi 財団が開発し低価格で販売されているボード型コンピュータの Raspberry Pi を用いて実現した。Raspberry Pi を採用したのは、同コンピュータでは Linux オペレーティングが稼働し、これまでに世界中で開発されてきたオープンソース・ソフトウェアが利用可能であること、小型軽量かつ安価であるため、同様の傾向にある IoT 機器が多数含まれるネットワーク(以下、IoT ネットワーク)との組み合わせに適していることなどが理由である。これらの特徴、すなわち UNIX 系 OS 上でオープンソース・ソフトウェアが利用可能で、小型軽量安価な機体であれば Raspberry Pi に限定するものではない。Raspberry Pi では、既存の知見をもとに同期を OSI7 階層モデルにおける第 2、3、7 層のセキュリティゲートウェイ装置として構成できる。一般にこれらの各層のゲートウェイは、順にブリッジ、ルータ、アプリケーションゲートウェイと呼ばれる。

(2) 上記(1)で設計・実装したセキュリティゲートウェイを実効的に運用するためには、適切なセキュリティアップデートを適用する必要がある。セキュリティアップデートの先行事例としては、パソコンの定期更新のしくみがあり、Microsoft 社の Windows や Apple 社の macOS などは商用 OS であるため定期的な更新が生成され、自動的に配布されている。この更新は OS 自体の更新の場合もあれば、OS 上で動くアプリケーションや、その設定の更新の場合もある。

これらの更新は OS の開発元が生成して配布するため、その内容は適切で確実であるのが普通だが、ひとたび OS のサポートが終了してしまうと定期更新も行われなくなり、危険な状態になることはよく知られている。なお、Microsoft 社は各 OS のサービス終了を公式にアナウンスするが、Apple 社はサービス終了を公式にはアナウンスしないが事実上数世代前の OS 定期更新を全くしていない。いずれにせよ、商用 OS は、明示的であってもなくてもひとたびサポートを終了してしまえば、定期更新も途絶えてしまい危険な状態になるが、Linux のようなオープンソースな OS では、OS のサポート打ち切りは存在しているが、仮にサポートがなくなっても自主的にメンテナンスする道は残されている。なお、オープンソース・ソフトウェアで構成されているシステムの場合、定期的な更新が行われている期間であっても、原則的にその内容については無保証である。

Raspberry Gate の場合は、ベースとなる OS が Linux であるため、OS まわりの定期更新は

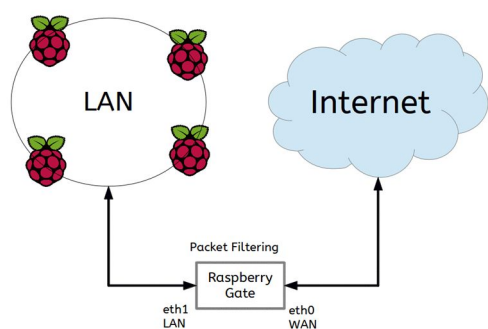
存在するが、完全な自動更新ではない。さらに、Raspberry Gate がセキュリティゲートウェイとして使用するソフトウェア自体は更新があって最新が維持されても、設定についてはゲートウェイの位置付けに配慮した記述を現場で行う必要がある。この記述はネットワーク構成を反映するため、通常のネットワークでは当該ネットワークの管理者が現状にあわせて設定せざるを得ない。Raspberry Gate では、対象とする IoT ネットワークの構成を単純化することにより、必要な設定も単純にできるため、共通の設定を構成でき自動配布することができる。

(3) 同様な構成の IoT ネットワークのために共通のセキュリティ更新生成して配布できるようになると、その更新そのものを誰が作るかが問題となる。ここで導入するのが Raspberry Guardian という Raspberry Gate 利用者や Raspberry Gate に興味を持つ者からなる開発者集団(Developer)と配布者(Deployer)である。彼らはソーシャルネットワークのしくみを利用して意見交換をしつつ常に次のセキュリティアップデートの内容を議論する。これまでの通常のネットワークであれば、ネットワーク構成が異なれば設定も異なるので、設定を共通化することはできず、セキュリティアップデート更新後にそれぞれのネットワークに対応した設定を反省させる作業が必要になるが、ネットワーク構成が単純で均一であることで設定を含めた配布が可能になる。こうして、Raspberry Gate を使う多くのネットワークでセキュリティ設定を同期させることが可能になる。これをソーシャルネットワークを利用した同期運用機構と呼ぶ。

(4)Raspberry Gate と Raspberry Guardian を使った同期運用機構が実現可能になるとしても、この考え方を理解して協力してくれる Developer や Deployer が必要になる。そのため、研究成果の普及啓発は、単に研究成果を理解してもらうだけでなく、実際に Raspberry Gate / Raspberry Guardian の枠組みに一人でも多く入ってもらうことが極めて重要である。そこで、興味をもってくれた組織あるいは個人にはできるだけ直接出向いて技術供与を含めて普及啓発を行う必要がある。

4 . 研究成果

・Raspberry Gate の設計実装は、既存の Linux 上の類似の実装を参考に比較的早くから動き出した。



上図(左)は、Raspberry Gate の挿入場所を示したもので、LAN と記した部分が IoT ネットワークである。このコンセプトに基づいて実装した Raspberry Gate の実機の例を上図(右)に示す。この写真は初期型の Raspberry Pi に USB イーサネットインタフェースを追加して 2 ポート構成にしている。

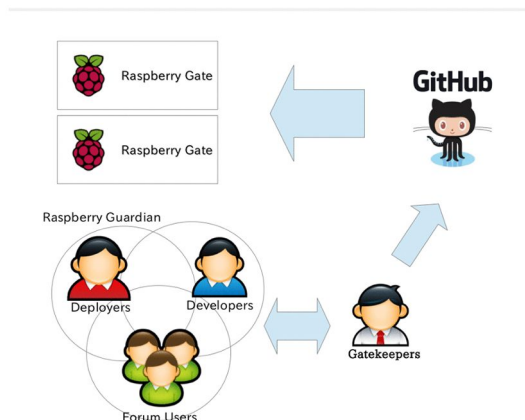
平成 27 年度には、プロトタイプを製作し基本性能の測定が可能になった。

平成 28 年度には、台数を増やして評価を継続した。

平成 29 年度から平成 30 年度には、運用を継続するとともに、国内外の活動場所に持ち込み、いつでも実際に使えることを示す活動を行った。

研究期間終了後の平成 31 年度現在、自らの研究室や関連部署だけでなく、各所に出向いて IoT 関連の実験をする際には、Raspberry Gate を持参して装着し、セキュリティを確保してから実験を開始する体制が整っている。

・Raspberry Guardian については、ソーシャルネットワークに着目すると下図のような構成になる。当該研究は以下のように推移した



平成 27 年度には、基本概念の確立と机上でのシミュレーションを行い、動作を確認した。平成 28 年度には、本件研究者が選んだボランティアに現状を説明して運用を担当してもらう状態になった。平成 29 年度から平成 30 年度には、海外での活動拠点を確保し、そこでの運用を目指して情報の普及啓発に努めた。

平成 30 年度末の時点でも Raspberry Guardian の運用は限定的で、多数のユーザを獲得する状況にはならなかった。しかし、研究代表者が平成 29 年度 10 月から 1 年間のサバティカルを取得し、その前半は国内（慶應義塾大学環境情報学部）で、後半は海外（カナダ国ノバスコシア州立ダルハウジー大学）で過ごした際、Raspberry Gate/Guardian の運用や普及啓発を滞在先で行い、特に後半のダルハウジー大学では多くの大学院生や教員向けに Raspberry Gate / Guardian に関する講義やハンズオンを行なって多くの支持を得た。また Raspberry Gate/Guardian を実際に利用した研究を検討する大学院生も現れた。研究期間終了後の平成 31 年度（令和元年度）になってからはさらに積極的な研究開発が進んでおり、Raspberry Gate の最新ハードウェア上での性能測定や、Raspberry Guardian 構成の準備が海外拠点となったダルハウジー大学で進んでいる。この成果の一部はすでに、ダルハウジー大学の大学院生を筆頭著者にして国際会議に投稿されており、2019 年 6 月現在、査読結果待ちの状態にある。海外に活動拠点を設けて継続的な普及啓発を行う体制は、本研究の目指すところの一つであったが、一応の達成を見た。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

Hiroyuki Ohno, Yoshiaki Kitaguchi, A Design and Implementation of the Raspberry Gate - A Small Security Gateway for IoT Generations --, Workshop on Internet Architecture and Applications 2016 (IA2016), Taipei, 2016

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：北口善明

ローマ字氏名：KITAGUCHI Yoshiaki

所属研究機関名：東京工業大学

部局名：学術国際情報センター

職名：准教授

研究者番号（8桁）：30537642

(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。