

推薦論文

移動ロボットと小型コンピュータを活用した ネットワーク機器監視手法

小川 康一^{1,2,a)} 吉浦 紀晃^{1,2}

受付日 2018年5月6日, 採録日 2018年11月7日

概要: 埼玉大学では, 利用者が, 利用者のローカルなネットワーク環境で, 様々なネットワーク機器を利用している. このため, 障害発生時には, その原因となりうるものは多岐にわたり, 障害解決を困難にしている. 特に少数のネットワーク管理者により運用を余儀なくされている場合, 管理者の負担は大きなものとなる. この問題に対し我々は, 画像処理を利用したネットワーク機器監視手法をすでに提案している. しかし, この手法では, 移動体通信回線を監視装置ごとに確保する必要があり, 監視装置が多数の場合にコスト高となる. そこで本論文では, 遠隔操作による移動ロボットを利用した監視情報の収集手法について述べる. 提案手法の有効性を確認するため, 大学のメディアコンバータの設置箇所に監視装置を設置し, 移動ロボットによる監視情報の収集実験を行った. 実験の結果, 監視情報の収集に要する時間は, 1時間分の情報では約1~2秒かかり, 1日分の情報では平均で約5秒, 最大で約9秒かかった. 実験の結果, 先行研究と同程度の通信状態を確保でき, 短時間で情報収集が可能であることが分かった. 本提案手法は, 多くのネットワーク機器を監視しなければならない状況下では, 先行研究と比較して通信コストを低減可能である.

キーワード: ネットワーク障害対応, ネットワーク機器監視, 画像処理, 移動ロボット

A Monitoring Method for Network Devices Using Mobile Robots and Small Computers

KOHICHI OGAWA^{1,2,a)} NORIAKI YOSHIURA^{1,2}

Received: May 6, 2018, Accepted: November 7, 2018

Abstract: In Saitama University, users can freely use a variety of network devices in the network environments of the users. Therefore, there are many kinds of network devices in the university network, and the solutions of network troubles are complicated. To solve this problem, we have already proposed a monitoring method of network devices by using image processing. Each monitoring device in this method, however, needs a mobile network to inform the monitored information of network operators. If the monitoring devices increase, this method takes a high cost. To solve the problem, this paper proposes a method of collecting monitored information by using a remote-controlled mobile robot. In order to confirm the effectiveness of the proposed method, we conduct experiments where monitoring devices are attached to media converters of the university, and the mobile robot collects monitored information. Collecting one-hour monitored information takes 1 or 2 seconds. Collecting one-day monitored information takes about 5 seconds on average and about 9 seconds at a maximum. The experimental results show that the proposed method have communication ability equivalent to the previous research and collect monitored information in a short time. Compared to the previous research, the proposed method reduces the communication cost in an environment of monitoring many network devices.

Keywords: network trouble management, network device monitoring, image processing, mobile robots

1. はじめに

大学にとって、キャンパスネットワーク（以下、ネットワーク）は、教育研究を支える重要な要素の1つである。今やネットワークは、大学の教職員や学生の教育研究活動にとって必要不可欠である。そのため、多くの大学がネットワークを整備し、大学の情報センタが運用管理を行っている。

大学のネットワークは、企業と比べて自由な利用環境にある。埼玉大学（以下、本学）では、情報セキュリティ上の規定を遵守する必要があるが、利用者は自由にネットワーク機器を選択し、導入して利用可能である。利用者のネットワーク機器は、イーサネットスイッチやブロードバンドルータである。本学では、全学で光直取ネットワーク [1] を整備しており、ネットワークを利用するために、利用者の部屋にメディアコンバータを設置している。利用者は、メディアコンバータに各自のネットワーク機器を接続して利用している。このように、利用者の身近にネットワーク機器が多く存在している。このため、利用者のネットワーク機器が原因となるネットワーク障害が頻発している。利用者は必ずしも IT の知識に精通しているわけではなく、利用者自身で障害を解決できない。そのため、利用者にかわり、ネットワーク管理者が障害への対応を余儀なくされている。

そこで、利用者が導入したネットワーク機器の障害対応を計画的に実施するために、監視を行う方法が考えられる。しかし、利用者のネットワーク機器は SNMP [2] などの監視プロトコルに対応しておらず、一般的な監視システムを利用できない。この課題に対し我々は、ネットワーク管理者が障害対応時に行うネットワーク機器の目視に着目し、画像処理による監視手法を提案している [3]。この手法を Web カメラと小型コンピュータで実装し、ネットワーク機器の LED インジケータ（以下、LED）を監視する監視装置を開発した [4]。この手法では、監視装置から監視情報を収集するため、移動体通信回線を利用する。監視情報の収集に大学のネットワークではなく移動体通信回線を利用する理由は、監視装置の設置箇所ですべて大学のネットワークが利用できるとは限らないためである。本学の場合、無線 LAN アクセスポイントは限定した箇所にしか設置されていない。また、学内のネットワークが停止している場合には、ネットワーク機器を監視する目的でサーバとの通信に学内ネットワークを利用できない。このような状

況への対策として、監視装置に移動体通信回線を用いる方法があり、他のネットワークの影響を受けず、監視情報を収集可能である。しかし、監視対象となるネットワーク機器が多数の場合、監視装置で利用する移動体通信回線の費用が多額となるという問題があった。

そこで本論文では、監視装置の周辺を移動ロボットが巡回し、監視装置から監視情報を収集する手法を提案する。移動ロボットは、管理者の遠隔操作により稼働する。提案手法の有効性を確認するため、本学で利用されているメディアコンバータの監視実験を行った。実験の結果、先行研究 [4] と同程度の通信状態を確保でき、短時間で情報収集が可能であることが分かった。

本論文の構成は次のとおりである。2章では、本論文の先行研究について説明する。3章では、本論文で提案する手法を説明する。4章では、提案手法の実装方法を説明する。5章では、監視システムを用いた実証実験の内容を説明する。6章では、実証実験の結果を述べ、7章で考察を行う。8章では、関連研究について述べる。9章で本論文をまとめる。

2. 画像処理によるネットワーク機器監視手法

本章では、本論文の提案手法を説明する前提として、著者がこれまでに取り組んだ先行研究 [4] について述べる。

ネットワーク管理者は、障害の状況を把握する際に、その原因となりうるネットワーク機器を目視によって確認している。そこで我々は、先行研究 [3] において、継続的な監視方法として、管理者の目の代わりとなるカメラと、その画像を保持、分析するコンピュータを用い、ネットワーク機器の状態を自動的に把握する手法を提案している。本手法の処理手順を図 1 に示す。

ネットワーク機器の障害時の LED の点灯には、一定である場合と、変化がある場合の2つがある。前者は、たとえば、電源スイッチの ON・OFF、ネットワークケーブルのアクセスインジケータ、通信の状態など、障害がある場

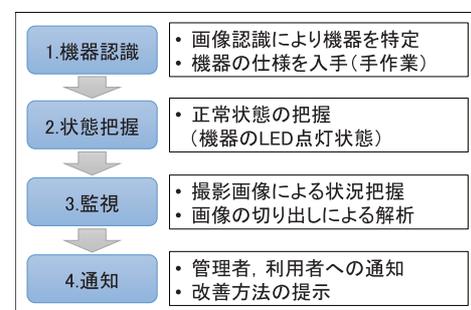


図 1 画像処理による監視手法の処理手順

Fig. 1 Procedures of monitoring method by image processing.

本論文の内容は 2017 年 6 月のマルチメディア、分散、協調とモバイル (DICOMO2017) シンポジウムにて報告され、インターネットと運用技術研究会主催により情報処理学会論文誌ジャーナルへの掲載が推薦された論文である。

¹ 埼玉大学情報メディア基盤センター
Information Technology Center, Saitama University,
Saitama 338-8570, Japan

² 埼玉大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Saitama Uni-
versity, Saitama 338-8570, Japan

a) kogawa@mail.saitama-u.ac.jp

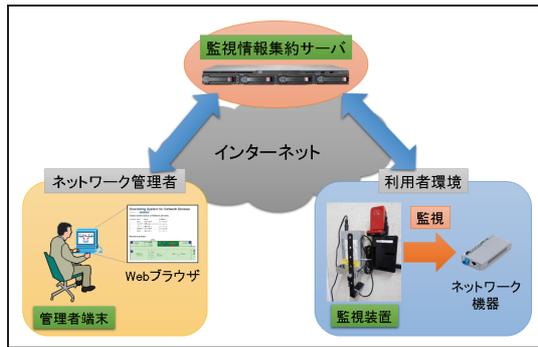


図 2 監視システムの概要
Fig. 2 Monitoring system architecture.

合に LED が点灯または消灯となる場合である。この場合、LED の静止画により障害を検知する。後者は、たとえば、イーサネットスイッチのループ形成時に、LED が激しい点滅をする場合である。この場合、動画で障害を検知する。

先行研究 [4] では、文献 [3] の提案手法をもとに監視装置を開発し、この監視装置を利用した監視システムを構築している。図 2 に監視システムの概要を示す。

このように先行研究 [4] により、ネットワーク機器の LED を利用した監視が可能となる。しかし、監視装置から監視情報を収集する場合、移動体通信回線を利用する必要があり、監視対象が多数となる場合はコスト高となる。

3. 提案手法

先行研究 [4] の移動体通信回線を利用した監視手法の課題を解決するため、本論文では、監視装置の周辺を移動ロボットが巡回し、監視装置の監視情報を収集する方法を提案する。本提案手法を考えるうえで、直接移動ロボットを部屋に入室させて監視を行う方法も検討した。しかし、扉の開閉を行い、部屋の内部に入る動作は、ロボットにとって非常に困難である。また、部屋には荷物などの障害物が存在し、移動ロボットが安全に走行して監視対象のネットワーク機器に到達できるとは考えにくい。

そこで、提案手法は、大学の建物の構造を利用する。大学の建物には、各階の中央に廊下が配置されている。監視装置は部屋の内部に設置し、移動ロボットは廊下を走行して、監視装置と通信を行い、監視情報を収集する。部屋と廊下の間には壁が存在するため、移動ロボットが監視装置と通信する方法は限定される。たとえば、Bluetooth による通信は、見通しが必要で近接通信に限られるため、利用できない。そのため、無線 LAN を利用し、監視情報を収集する方法を採用する。図 3 に手法の概要を示す。

本提案手法は、移動ロボットが巡回し、部屋に設置してある監視装置と無線通信により情報収集を実現する。移動ロボットと監視装置間の距離は、電波が到達可能な範囲内である必要がある。そのため、移動ロボットの巡回を考慮した場合、部屋に隣接する形で、廊下が配置されている建

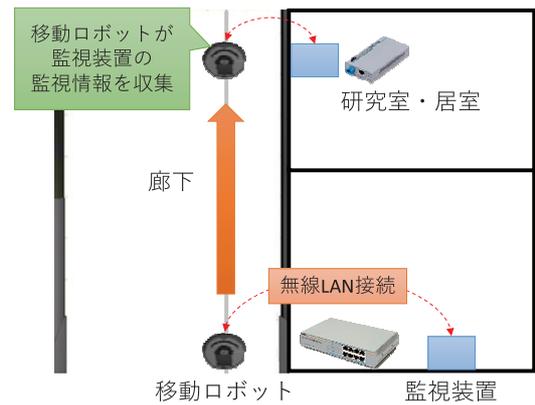


図 3 移動ロボットによる監視装置の情報収集
Fig. 3 Collecting data of monitoring equipment.

物で本提案手法は有効である。

4. 移動ロボットによる監視システムの実装

本章では、移動ロボットによるメディアコンバータ監視システムの実装について述べる。

4.1 メディアコンバータ監視システム

前章の提案手法に基づき、「移動ロボットによるメディアコンバータ監視システム」を設計した。システムは、監視装置、移動ロボット、監視情報集約サーバ、管理者端末（移動ロボット制御端末・監視情報表示端末）で構成される。システム構成の概要を図 4 に示す。システムの動作は以下のとおりである（図中の番号は以下の番号に一致）。

- ① 先行研究 [4] の監視装置を用い、移動体通信回線かわりに無線 LAN インタフェースを取り付ける。この監視装置をメディアコンバータの付近に設置し、LED の状態を定期的に監視し、監視情報を生成する。
- ② 移動ロボットは無線 LAN インタフェースを持ち、監視装置と事前に無線 LAN によるアドホックネットワークを構成し通信を可能とする。
- ③ 移動ロボットは移動体通信回線を備え、移動ロボット制御端末と通信する。ネットワーク管理者は、移動ロボット制御端末でロボットを遠隔操作する。遠隔操作は移動ロボットに備えたカメラで確認しながら行う。
- ④ 移動ロボットは、監視装置の周辺を巡回し監視情報を収集し、移動体通信回線を用いて監視情報集約サーバに監視情報を送信する。
- ⑤ 監視情報集約サーバは、最新の監視情報を監視情報表示端末に送信する。

4.2 移動ロボットによる情報収集の方法

移動ロボットは iRobot 社 [5] のルンバを用いた。ルンバは掃除専用のロボットであるが、天板上部にシリアルインタフェースを持つ。このインタフェースにシリアルケーブルを接続し、ROI (Roomba Open Interface) [6] と呼ばれ

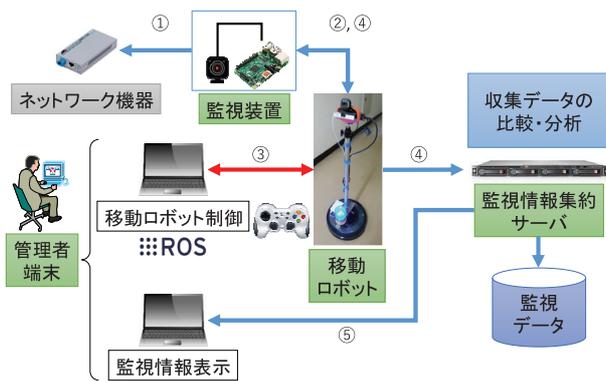


図 4 監視システム構成概要図

Fig. 4 Overview of the configuration of the monitoring system.



図 5 移動ロボットの外観 (左: 全体像, 右: 制御部)

Fig. 5 Appearance of the mobile robot (Left: Overall image, Right: Control unit).

る規格によりルンバは制御が可能である。

図 5 左に移動ロボットの外観を示す。図 5 右に示す制御部は、移動ロボットの制御および情報収集のプログラムの実行を行う箇所であり、ルンバの上部に設置された Raspberry Pi により実現される。Raspberry Pi とルンバとの接続にはシリアル変換の FTDI-USB シリアル変換ケーブル (5V) [7] を用いる。Raspberry Pi には、USB 接続の無線 LAN インタフェースを取り付け、監視装置との通信に利用する。また、Raspberry Pi にデータ通信端末を取り付け、移動ロボットの遠隔操作や監視情報集約サーバとの通信に利用する。移動ロボットには、遠隔操作のための USB 接続の Web カメラを搭載している。移動ロボットの遠隔操作は、移動ロボット制御端末に接続したゲーム用コントローラを利用する。

移動ロボットの走行制御には、ロボット用のオープンソースプラットフォームである ROS (Robot Operating System) [8] を採用した。ROS は分散システムが容易に構成可能であり、ライブラリ類が豊富で、多数のロボットの動作例が存在する。ルンバは ROS の参照実装ロボットの Turtlebot [9] にも利用されている。ROS のバージョンは、ルンバでの動作実績のある Indigo を採用する。移動ロボットの仕様は以下のとおりである。

- 移動ロボット：ルンバ 780
- Web カメラ：HD-3000

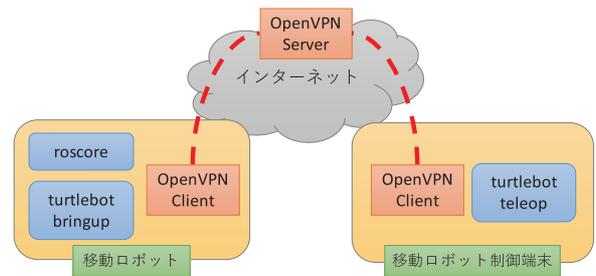


図 6 ROS における移動ロボットと制御端末の接続

Fig. 6 Connection between a mobile robot and a control terminal in ROS framework.

- コンピュータ：Raspberry Pi 2
- 無線 LAN：WLI-UC-GNM2
- データ通信端末：L-02C
- OS：Ubuntu 14.04 LTS

ルンバに取り付けたポールと台座は文献 [10] のものを利用する。Web カメラにより高い位置から走行箇所全体を俯瞰するため、ルンバのポールを含めた全体の高さは約 900 mm である。約 900 mm である理由は、ポールが約 900 mm 以上長い場合、移動ロボットの停止や走行を開始する際に触れ幅が大きく、不安定になるためである。ルンバの走行に利用する内蔵バッテリーは、走行の際に電圧が不安定となることから、Raspberry Pi の電源はモバイルバッテリーを採用する。走行時の危険回避のため、移動ロボットに警告灯を搭載した。

4.3 移動ロボットと移動ロボット制御端末間の通信方法

移動ロボットと移動ロボット制御端末間では、ROS を利用して制御情報を交換する。図 6 に移動ロボットと移動ロボット制御端末との接続を示す。ROS においてノード間でやりとりするデータの単位は、「メッセージ」[11] と呼ばれる。ROS におけるノード間の通信は、Publish/Subscribe モデルで行われ、「トピック」というインスタンスで配信される。

移動ロボット制御端末は、大学のネットワーク経由でインターネットへ接続する。移動ロボットは、移動体通信回線として OCN モバイル ONE [12] を利用し、インターネットに接続する。移動ロボット制御端末と移動ロボットはインターネットを介した直接通信が可能であるが、セキュリティ上好ましくない。そこで、ROS に関する通信は、暗号化ネットワークの VPN により暗号化する。実装には OpenVPN [13] を利用し、大学のネットワーク上に VPN サーバを用意した。

移動ロボットの遠隔操作は、搭載された Web カメラの映像を利用する。映像の配信は、配信ソフトウェアである MJPG-streamer [14] を用いる。VPN 経由では遅延が大きいため、移動体通信回線のグローバル IP アドレスを用いる。

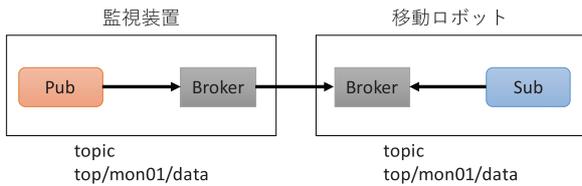


図 7 Broker 間での Topic の同期実験の概要

Fig. 7 Outline of synchronization experiment of “topic” among brokers.

4.4 監視情報の通信方式

4.4.1 移動ロボットを利用した場合の通信方式の検討

先行研究 [4] では、監視装置と監視情報集約サーバ間での監視情報の送受信は、MQTT (Message Queue Telemetry Transport) [15] を利用している。本論文においても、監視装置と移動ロボット間、移動ロボットと監視情報集約サーバ間での監視情報の送受信に MQTT を利用する。MQTT は、IoT 向けのメッセージキュープロトコルである。Publish/Subscribe モデルを採用しており、プロトコルヘッダが小さいという特徴がある。MQTT は、データを送出する Publisher、データを受信する Subscriber、Publisher と Subscriber のデータの中継の役割を担う Broker で構成される。Publisher は配信先を知る必要がなく、自分の範囲内の Broker にデータを送信し、Subscriber へのデータの送信は Broker が行う。

本論文では、Broker の実装には、MQTT の参照実装として広く利用されている Mosquitto [16] を採用する。Publisher と Subscriber は Paho-mqtt [17] で実装する。MQTT では、メッセージは Topic という単位で定義される。取得したいデータがあれば Topic を指定する。

先行研究 [4] では、監視装置を Publisher とし、監視情報集約サーバを Broker とした。通常 Publisher から送出されたデータはいったん Broker に蓄積される。移動ロボットに Broker の役割を持たせる方法が考えられるが、移動ロボットが監視装置に近接するタイミングは不定である。そこで、MQTT における Broker 間の同期機能の利用を検討する。具体的には、監視装置と移動ロボットに Broker の役割を持たせ、Broker 間で監視情報を同期させる方法である。

通信方式の検討のため、Broker の同期機能を確認する予備実験を行った。図 7 のように監視装置と移動ロボットに見立てた Raspberry Pi を並べ、双方に Mosquitto をインストールし、Broker とする。この 2 つの Broker 間でデータの同期をとるように設定する。また、通信が断絶してもデータを再送可能な、Retain メッセージ [18] を利用する。

表 1 に実験結果を示す。本論文の環境では 1 件だけであれば約 1.6 秒で同期した。一方、10 件以上では約 4 秒、50 件では約 9 秒が同期に必要である。よって Broker の同期は、最新の監視情報だけであれば即時の同期が可能であ

表 1 Broker 間での同期所要時間

Table 1 Time required for synchronization between brokers.

	1件[s]	10件[s]	50件[s]
1	1.16	5.16	8.14
2	1.87	3.87	8.89
3	1.86	3.86	9.00
4	1.20	3.20	9.23
5	1.73	3.73	9.67
平均	1.56	3.96	8.99

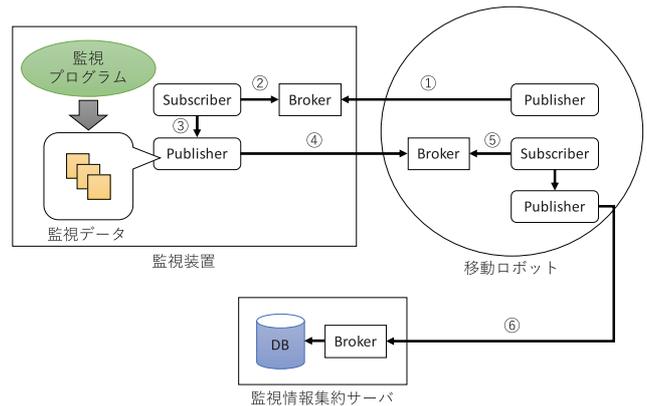


図 8 各構成要素間の通信方式

Fig. 8 Communication system between each component.

ることが判明した。しかし、時間が経過し、それまでの監視情報が Broker 内に蓄積された後であると、監視情報の取得に不定の時間を要することが判明した。

4.4.2 監視情報が蓄積されている場合の通信方式の検討

4.4.1 項の予備実験の結果から、監視装置内に監視情報が蓄積されている状況では、収集に時間がかかるため、移動ロボットを監視装置の近傍で停止させて監視情報を収集する必要がある。そこで、監視装置を待ち受け状態にすることで、移動ロボットをトリガとして監視情報を収集する方法を提案する。また、移動ロボットの停止する位置が、通信に良好な箇所である必要がある。このため、移動ロボットで監視装置の無線の受信信号強度である RSSI (Received Signal Strength Indicator) を取得し、通信状態が良好な箇所でも停止する方法を提案する。監視装置からの監視情報を収集する方法は以下のとおりである。

1. 管理者は移動ロボットを遠隔操作し、監視装置の RSSI が高い箇所まで移動ロボットを停止させる。
2. 手動操作で監視装置に蓄積された監視情報を収集する。
3. 監視情報を収集後、次の監視装置の設置箇所へ移動する。
4. 以後、1 と 2 と 3 を繰り返す。

上記手順のうち、手順 2 で行われる監視装置、移動ロボット、監視情報集約サーバ間での監視情報の通信は図 8 のようになる。以下に具体的な手順を示す (図中の番号は以下の番号に一致)。

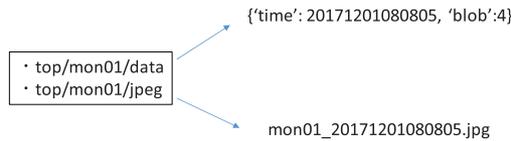


図 9 監視情報の Topic 例

Fig. 9 An example of topic of monitoring data.

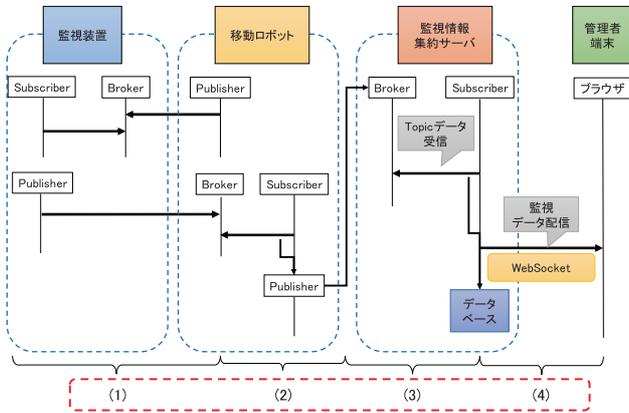


図 10 情報収集の通信フロー

Fig. 10 Communication flow for collecting information.

- ① 移動ロボットが監視装置に監視情報の送信を指示する。
- ② 監視装置は、内部の Broker を通じ、常時待機中の Subscriber で移動ロボットの指示を受信する。
- ③ 監視装置内で指示を受けた Subscriber が Publisher を起動する。
- ④ 監視装置内の Publisher が蓄積された監視情報を移動ロボット内の Broker へ送信する。
- ⑤ 移動ロボット内で待機待ち受け状態にある Subscriber が、Broker 内に蓄積された監視情報を受信し、Publisher へ指示を送る。
- ⑥ 移動ロボットの Publisher は、監視情報集約サーバ内の Broker へ監視情報を送信する。監視情報はサーバ内のデータベースに格納する。

移動ロボットは、監視装置からの監視情報を受信次第、監視情報集約サーバへ送信する。最新の監視情報は、監視情報集約サーバから WebSocket でリアルタイムに管理者の監視情報表示端末に送信される。

各監視装置では、メディアコンバータの状態を5分ごとに静止画として撮影し、2つの Topic を生成する。Topic の生成例を図 9 に示す。1つは、JSON 形式でタイムスタンプと、画像処理により認識した LED の Blob 数である。もう1つは撮影した静止画のデータである。静止画は監視装置名やタイムスタンプを記したファイル名で保存する。これら2つの Topic のデータサイズの合計は、約 13Kbyte であることを先行研究 [4] で確認している。これまでに述べた監視情報の収集の通信フローを図 10 に示す。

4.4.3 RSSI を利用した効率的な情報収集

移動ロボットの操作は、前述のとおり移動体通信回線を

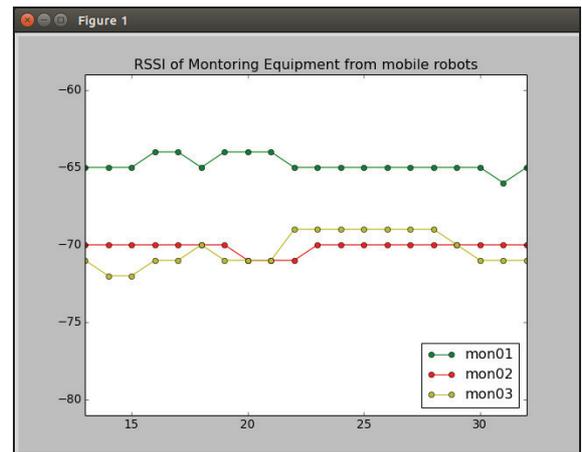


図 11 RSSI の受信状態の表示

Fig. 11 Display of the reception state of the RSSI.



図 12 実験に使用した建物の平面図

Fig. 12 A plan view of building used for experiment.

用いており、RSSI の変化に影響を受けない。しかし、移動ロボットと監視装置間の通信は、Wi-Fi による無線通信であり、RSSI により通信速度に影響がある。移動ロボットと監視装置間の通信が良好な箇所で行われるために、移動ロボットの無線 LAN インタフェースで監視装置の RSSI を収集する。この RSSI は移動ロボット制御端末で受信する。この通信にも MQTT を利用する。

監視装置の特定は、移動ロボットと監視装置間で構成するアドホックネットワーク上で確認可能な監視装置の MAC アドレスを用いる。事前に移動ロボット内に MAC アドレスと監視装置のホスト名の対応表を作成し、随時対応を確認する。また、移動ロボット制御端末では、監視装置の RSSI を表示する。この表示にはグラフ生成のライブラリである Matplotlib [19] を利用する。図 11 に表示の様子を示す。グラフの縦軸は、RSSI を表し、横軸は経過時間を表す。この例では、図 12 の監視装置 1 (凡例中の mon01)、監視装置 2 (凡例中の mon02)、監視装置 3 (凡例中の mon03) の3つの監視装置の RSSI がプロットされており、それぞれ色分けされている。色と監視装置との対応は凡例により確認する。なお、表示はリアルタイムに行われる。

RSSI の表示機能は、監視情報の収集に時間がかかり、監視システムとして期待される動作ができない場合に利用する。具体的には、管理者が移動ロボットを操作する際、移

動ロボットと監視装置間のRSSIを確認しながら、電波が良好な場所で移動ロボットを停止させ、データの送受信を迅速に行い、情報収集の作業を効率化する。

5. 実証実験

本章では前章で実装したメディアコンバータ監視システムを用い、本学構内で行った実証実験について述べる。

5.1 実験環境

実験は、本学の工学部講義棟の2階で実施した。実験には、メディアコンバータが設置されている5カ所の部屋と部屋に接している廊下を利用した。廊下の全長は39,800mmである。図12に平面図を示す。

実験では、各部屋のメディアコンバータに監視装置とWebカメラを取り付ける。実験は、管理者が移動ロボットを遠隔操作する想定で行う。メディアコンバータのある以下の5つの部屋に監視装置を配置した。括弧内は廊下の移動ロボットからの距離、床からの高さを示す。

- 監視装置1：演習室4（約3,850mm，約700mm）
- 監視装置2：学生自習室（約850mm，約1,450mm）
- 監視装置3：学生ラウンジ（約1,650mm，約500mm）
- 監視装置4：演習室3（約3,550mm，約500mm）
- 監視装置5：53番講義室（約1,450mm，約500mm）

ここで、実験を行う各部屋の環境情報を説明する。監視装置1、監視装置4の設置されている部屋は、廊下との間はコンクリートの構造壁で仕切られており、監視装置5の設置されている部屋は、壁の一部に石膏ボードを用いている。ドア（材質は鉄）の厚みは40mmで、ドアの一部にスリットガラス（縦約700mm，横約100mm）があり、廊下側から部屋内が見えるようになっている。監視装置2と監視装置3が設置されている2カ所の部屋は、部屋と廊下との間は壁ではなく、ドア（材質は鉄）と柱以外はガラスで仕切られている。

提案手法は、各監視装置の通信経路が途絶していることが前提条件である。そこで、各監視装置間の接続性の有無をpingコマンドにより事前に確認した。手前の3つの部屋（演習室4、学生自習室、学生ラウンジ）の監視装置間、奥の2つの部屋（演習室3と53番講義室）の監視装置間では接続性を確認できたが、手前の3つの部屋の監視装置と奥の2つの部屋の監視装置間では直接通信ができなかった。以上のことから実験を実施する条件が整ったといえる。

実験は安全を考慮し、人が通らない時間帯を選択し、移動ロボットの移動状況を確認しながら実施した。実験では、図13のように廊下の側面の端から約550mmの箇所に移動ロボットを設置する。この約550mm付近には廊下の床材の張り合わせ面があり、廊下の全体にわたって一直線に存在している。これを移動ロボットが走行する基準とする。前述した廊下の移動ロボットからの距離とは、この

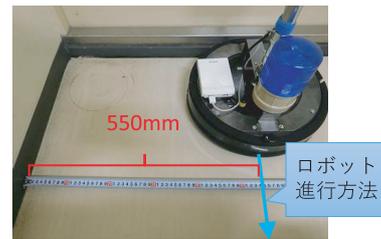


図13 移動ロボットの走行箇所

Fig. 13 Traveling location of the mobile robot.

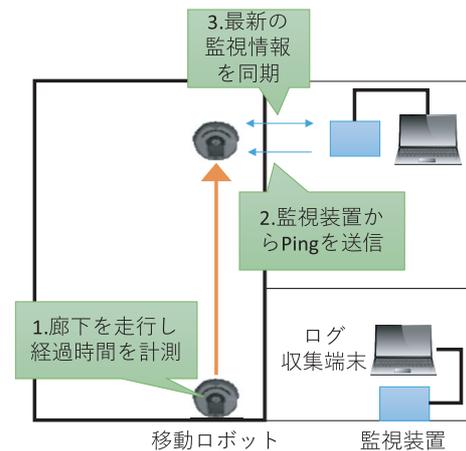


図14 移動ロボットと監視装置間の通信疎通実験の概要

Fig. 14 Outline of an experiment on communication between a mobile robot and monitoring equipment.

移動ロボットが走行する基準から監視装置までの距離を示している。

5.2 実験内容

前節の環境において2つの実験を実施した。

5.2.1 移動ロボットと監視装置間の通信疎通実験

図14に実験の概要を示す。以下を実験により確認する。

1. 廊下の端を起点として移動ロボットを遠隔操作し、走行にかかる時間を計測する。
2. 移動ロボットと監視装置が通信可能な時間を調査する。5カ所の各監視装置から移動ロボットに対してpingを送信し、変化を確認する。
3. 移動ロボットにより各監視装置で5分ごとに記録される監視情報の1回分（約13Kbyte）を収集する。監視情報の収集には4.4.1項のBroker間の同期機能を用いる。

実験は5回行う。各監視装置にログ収集端末を有線接続し、Pingコマンドの送信指示とその結果収集に用いる。監視情報の収集タイミングは、移動ロボットと各監視装置のMosquittoが出力するログにより確認する。

5.2.2 移動ロボットによる監視情報の収集実験

時間が経過し、監視装置に監視情報が蓄積された状態において、移動ロボットにより正しく監視情報が収集可能かを確認する。実験は、遠隔操作で移動ロボットを操作し、

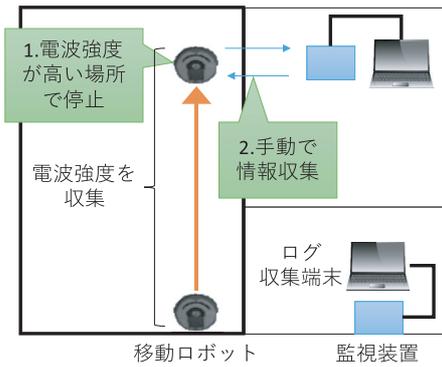


図 15 監視情報の収集実験の概要

Fig. 15 Outline of collection experiment of monitoring information.

5カ所の監視装置から監視情報を収集する。この実験では、監視情報の収集に4.4.2項の手法を用いる。図15に実験の概要を示す。

実験は、ネットワークケーブルを抜き、故意にメディアコンバータに障害を発生させて実施した。実験の目的は以下の2つである。

1. 蓄積された監視情報の収集動作の確認
2. 移動ロボット停止時の通信環境の確認

これら2つの目的のため、監視情報の収集に要した時間、RSSIを計測する。計測箇所は、図10の赤い点線で囲まれた通信フローのうち、(1)の部分に該当する。実験では、監視装置に蓄積された監視情報として、5分ごとの監視情報(約13Kbyte)を1時間分(約156Kbyte)と、1日分(約3.7Mbyte)の2つの監視情報を監視装置内に用意する。実験はそれぞれ5回実施した。各監視装置にログ収集端末を有線接続し、ログ収集に用いる。

本論文で移動ロボットは、監視装置の監視情報を仲介する役割である。つまり、先行研究[4]の監視装置と比較して、本論文の監視装置と移動ロボットをあわせて同等の役割と考えることができる。よって先行研究[4]で図10の(3)~(4)の通信は確認済みであるため、本実験では計測しない。

6. 実験結果

6.1 移動ロボットと監視装置間の通信疎通実験の結果

本節では、5.2.1項の実験結果について述べる。5回の走行実験で、廊下の端から端までは約1分40秒かかった。廊下の全長では39,800mmであることから、本論文の移動ロボットの等速度は398mm/秒であり、毎秒約400mm進むことが判明した。

監視情報の収集時刻と移動ロボットから各監視装置へのping計測の平均結果を図16に示す。監視装置1は情報収集がスタートしてから約30秒以降、通信が不安定な状態が見られ、約57秒後には通信不能となった。監視装置2は移動ロボットとの位置がスタート地点から近いことか

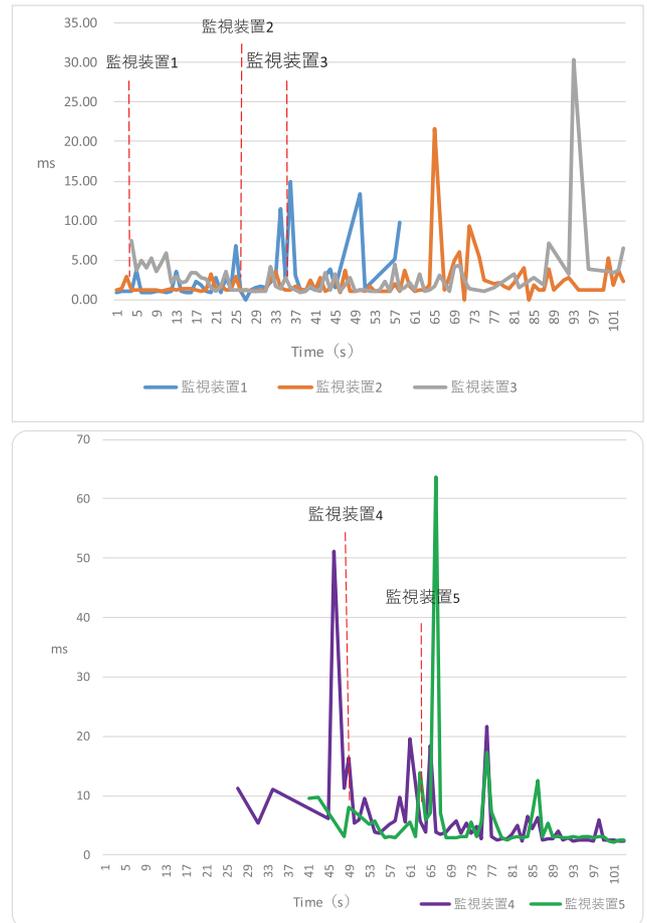


図 16 監視情報の取得時刻と移動ロボットから各監視装置への ping の結果 (平均値) (上: 監視装置 1~3, 下: 監視装置 4~5)

Fig. 16 Obtaining time of monitoring information and ping result (average value) from mobile robot to each monitoring equipment (Top: Monitoring equipment 1, 2 and 3, Bottom: Monitoring equipment 4 and 5).

ら、監視装置1と同じ通信状態がしばらく継続するが、約1分を過ぎたあたりから通信が不安定になっている。監視装置3は、移動ロボットのスタート時は通信が不安定であるが、約21秒を過ぎたあたりから通信が安定し、約1分5秒以降に通信が不安定になっている。一方、監視装置4と5は、通信が安定し始めるのがスタートから約1分7秒以降であり、移動ロボットが廊下の端まで走行する間に安定して通信可能な時間は約30秒であることが判明した。

移動ロボットが各監視装置と監視情報を同期した通信タイミングの平均結果を図16中に赤い点線で示す。Mosquittoのログ情報から移動ロボットと監視装置のBrokerが同期し、監視情報を受信できることを確認した。

以上の実験結果から、移動ロボットを遠隔操作で停止せずに走行させる方法は、最新の監視情報の収集のためには十分利用可能であると考えられる。しかし、長期間にわたり蓄積された監視情報を収集する場合には不向きであることを実験により確認した。

表 2 監視情報の収集実験の結果 (上: 1 時間分の監視情報, 下: 1 日分の監視情報)

Table 2 Result of collecting monitoring information (Top: Monitoring information per hour, Bottom: Monitoring information per day).

	mon01		mon02		mon03		mon04		mon05	
	Time [s]	RSSI [dBm]								
1	0.72	-58	1.05	-41	0.51	-53	3.16	-56	1.27	-55
2	0.96	-58	1.14	-41	0.51	-52	2.18	-57	1.25	-56
3	0.81	-59	0.87	-41	0.46	-54	2.20	-57	1.46	-56
4	0.77	-58	1.07	-42	0.54	-55	1.21	-57	1.58	-54
5	0.66	-59	1.05	-40	0.56	-55	1.41	-57	1.54	-56
平均	0.78	-58.4	1.04	-41	0.52	-53.8	2.03	-56.8	1.42	-55.4

	mon01		mon02		mon03		mon04		mon05	
	Time [s]	RSSI [dBm]								
1	3.58	-60	2.16	-43	1.12	-55	2.50	-56	1.61	-56
2	2.41	-60	1.76	-42	1.16	-55	2.48	-57	1.72	-53
3	8.15	-61	1.53	-41	1.08	-55	2.48	-57	1.77	-55
4	8.73	-59	1.54	-42	1.08	-55	2.42	-57	1.69	-56
5	2.36	-58	1.67	-43	1.02	-55	2.52	-58	1.71	-55
平均	5.05	-59.6	1.73	-42.2	1.09	-55	2.48	-57	1.70	-55

6.2 移動ロボットによる監視情報収集実験の結果

本節では、5.2.2 項の実験結果について述べる。実験結果を表 2 に示す。1 時間分、および 1 日分の監視情報を収集する実験において、それぞれ 5 回の実験で 5 回とも正しく情報収集が可能であった。1 時間分の監視情報の収集は、約 1 秒~2 秒で完了している。RSSI も -55 dBm 前後であり、良好な通信状態にあるといえる。一方、1 日分の監視情報の収集は、平均で約 5 秒要しており、最大で約 9 秒で処理が完了している。以上の結果から、1 時間の監視情報であれば、移動ロボットが停止せずに走行する状態であっても、特に問題なく収集可能である。よって、短時間の停止を許容すれば、1 日分の監視情報でも定期的な巡回のスケジュールを設定可能であると考えられる。

移動ロボットを走行させた際に RSSI を計測した結果、監視装置の近傍で電波強度が高いという結果が得られた。この結果は、著者の別の研究 [20] で収集した RSSI の傾向と異なっている。その理由は、実験に用いた建物が異なること、また、監視装置の設置位置や廊下を隔てる壁やドアの形状などの環境条件が異なること、移動ロボットと監視装置の距離が異なるためであると考えられる。

IBSJapan 社の Web ページ [21] によれば、リアルタイムアプリケーションを利用するうえで欠かせない電波強度の基準の -67 dBm を上回っており、-55 dBm 前後の電波強度は通信に良好な数値であるといえる。

7. 本論文における考察

7.1 監視装置と移動ロボット間の通信方法

6.1 節の実験結果により、移動ロボットを遠隔操作で停止せずにそのまま走行させた場合、通信可能な時間が限定

表 3 先行研究 [4] と本論文の提案手法とのコスト比較
Table 3 Comparison of costs between the proposed method and the previous method.

初期費用	先行研究		提案手法	
	項目	金額 (円)	項目	金額 (円)
	監視装置	264,000	監視装置	264,000
	移動通信端末	150,000	無線LANモジュール	30,000
	監視装置合計	414,000	監視装置合計	294,000
	-	-	移動ロボット (2 台)	240,000
	SIMカード初期費用	27,000	SIMカード初期費用*	3,800
	初期費用合計	441,000	初期費用合計	537,800
運用費用	基本料金/ データ通信料金	10,000	データ通信料金*	1,000
	運用費用合計	10,000	運用費用合計	1,000

*1 つの契約で複数枚の SIM カードを利用可能 (枚数により要追加費用)。

される。4.4.2 項での通信方式の検討結果を反映し、通信方式の工夫により、移動ロボットが到着する時間が不定であっても、監視装置を待ち受け状態にすることで、移動ロボットをトリガとして監視情報を収集する方法を提案し実装した。さらに、移動ロボットと監視装置の間で RSSI を取得し、良好な通信箇所まで停止して情報収集する方法を実装した。6.2 節の実験結果により、各監視装置において良好な通信状態が確認できた。以上の実験結果から、移動ロボットの 1 回あたりの巡回時間は、6.1 節の実験で確認した走行時間に、6.2 節の通信時間を加えたものとなる。

7.2 情報収集の自動化の検討

本論文の提案手法では、管理者が移動ロボットを遠隔操作する。本論文の提案手法を適用する場合には、移動ロボットの操作方法の習得が必須となる。また、遠隔操作を前提とするため、移動ロボットを走行させる環境を事前に管理者が熟知している必要がある。このような課題を解消するためには、移動ロボットが定期的に監視装置を巡回し、監視状況を報告する自動化が望ましいと考えられる。移動ロボットの巡回走行の自動化には、SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) が広く採用されている。SLAM は、移動ロボットに Depth センサ、レーザ測距センサなどを搭載し、自己位置の推定と環境地図の作成を行う手法である。現在、SLAM を利用した移動ロボットによる監視情報の自動収集手法についての研究 [20] を進めている。

7.3 コストの議論

本節では、当初の研究目的であるコストの低減について議論する。本学では、多いところで 1 フロアあたりメディアコンバータが 30 カ所設置されている。そのため、この 30 カ所を監視する前提で先行研究 [4] とのコスト比較を行う。表 3 に比較表を示す。

先行研究 [4] では、監視装置に通信端末と SIM カードが必要となる。移動体通信回線の費用は、ソラコム社が提供

する IoT 向けの通信サービスである SORACOM Air for セルラ [22] の価格をもとに算出した。30 台を監視する場合、監視装置の初期費用として約 41 万円がかかる。一方、本論文の提案手法では、監視装置に無線 LAN モジュールが必要となり、監視装置の初期費用は約 29 万円である。よって、監視装置の構成だけでも約 12 万円の違いがある。移動ロボットのコストは、1 台あたり初期費用が約 12 万円であり、移動ロボット 1 台につき、SIM カードが 1 枚必要となる。SIM カードは、契約時に事務手数料の初期費用がかかる。この SIM カードには前述のとおり OCN モバイル ONE を利用している。OCN モバイル ONE では、1 回の契約で複数枚の SIM カードを利用可能である。毎月の運用コストは、先行研究 [4] では約 1 万円であり、本論文の提案手法では約 1,000 円である。ただし、提案手法では、監視情報の収集の頻度は、移動ロボットのバッテリーの充電時間に依存する。監視情報の収集頻度によっては、移動ロボットを複数台運用する必要がある。本論文での移動ロボットは、1 回の充電に約 3 時間、連続稼働が 1 時間となっており、監視情報の収集頻度を 3 時間ごとであれば 1 台で収集が可能である。それより短い頻度であれば複数台の移動ロボットが必要となる可能性がある。仮に 2 台の移動ロボットで運用した場合、初期費用として 24 万円かかり、監視装置、SIM カードの初期費用とあわせて約 54 万円であり、先行研究 [4] と比較して約 10 万円高額となる。提案手法の運用コストは、先行研究 [4] の運用コストと比較して 1 カ月あたり 9,000 円安価であるので、約 1 年間で初期費用の金額差を埋めることができる。移動ロボットが各階をエレベータなどで移動してさらに複数の監視装置の情報を収集可能であれば、移動ロボットを用いる提案手法にメリットがあると考えられる。また、移動ロボットを、ネットワーク機器の監視情報を収集するだけでなく、無線 LAN アクセスポイントの電波状態の確認や、構内の見回りサービスなど、複数の目的に利用できるという利点もある。

7.4 監視システムとしての実現性の議論

本論文において、移動ロボットの巡回により監視装置から監視情報を収集する方法を実現した。しかし、監視システムとしての完成度を高めるためには、継続的な議論が必要である。現状で 2 件の課題がある。1 つは、移動ロボットの巡回頻度である。監視する巡回頻度が少ないと、障害の発生を見落とす可能性が高い。この課題については、監視対象の重要度に着目して巡回する箇所を限定することや、監視対象のサービスレベルに合わせて巡回スケジュールを構成する運用を考えている。もう 1 つは電源の問題である。特に、移動ロボットの充電時間と稼働時間が課題となる。このことは前述の監視を行う頻度にも関連する。移動ロボットの仕様によるが、実装に利用したルンバは約 3 時間の充電で約 1 時間の連続利用が可能となっており、走

行可能な時間は限定されている。この課題については、監視を実施する時間帯を限定することや、複数のロボットを交互に走行させる方法を検討している。

8. 関連研究

Falcon Eye [23] は、固定カメラで機器の LED を監視する手法である。従来の監視システムではなく、LED の表示から画像処理により機器の状態を監視する手法は本論文の手法に類似している。当該手法は、データセンタのように 1 カ所にサーバやネットワーク機器が複数集積して稼働している環境では有効であるが、利用者の機器が分散配置している環境で監視を行う本論文とは監視対象が異なる。

SCOUT [24] は、移動ロボットによりデータセンタの監視効率を向上させようという取り組みである。NFC タグを床面に埋め込む必要があるため、事前準備にコストがかかる。当該手法は、サーバールームなどの限定された室内では有効であるが、本論文の環境とは異なる。

IBM [25], [26] は、本論文と同様にルンバをベースとして移動ロボットを開発し、データセンタ内を巡回させている。一方で、移動ロボットにより監視を目的とする手法 [27] も研究されている。しかし、これらの研究は、主にデータセンタの消費電力や空調制御などエネルギー効率化が目的となっている。Nelson ら [28] はデータセンタにおいてサーバの LED を検知する方法を提案しているが、主な目的が資産管理である。本論文の手法とは異なり、異常を検知して管理者に通知する監視手法は提示されていない。また、無線センサネットワークを維持するために、ロボットを活用する方法 [29] も提案されている。

本論文の手法のように、通信経路が確保不可能な場合の対応策の 1 つとして、遅延耐性ネットワーク (Delay Tolerant Network, 以下 DTN) [30] がある。DTN は、災害発生時には通信手段が電源の喪失などで利用不能となることから、避難所の情報収集に活用する方法 [31] が提案されている。この方法では、屋外でスマートフォンの GPS 機能が利用可能な環境にあり、本論文のように屋内での通信を対象として位置同定が困難な場合と状況が異なる。本論文では各構成要素間の通信方式として、通信途絶した場合に通信拠点を移動して情報収集し、通信可能な送信先に運ぶ、Data Mule [32] とメッセージフェリー [33] に関連する。本論文ではメッセージフェリーを行う移動体として、移動ロボットを用いている。

センサネットワークどうしを移動ロボットにより仲介して通信する方法 [34] も有効であるが、監視装置どうしが通信可能な範囲にあるとは限らず、適用範囲は限定される。本論文と同様に MQTT を利用した移動ロボットによるセンサネットワークノードからの情報収集を行う研究 [35] があるが、手法の提案にとどまっている。本論文のように、ネットワーク機器の監視を行う監視装置の情報を移動ロ

ボットで収集する手法の研究はいまだ行われていない。

9. まとめ

本論文では、監視装置の近傍を移動ロボットが巡回することにより、監視情報の収集を行う手法を提案した。本手法は、先行研究 [4] で課題となっていた、監視装置ごとに必要であった移動体通信回線を不要とした。代わりに監視装置ごとに無線 LAN のインタフェースが必要となるが、初期投資のみでランニングコストは不要である。また、移動ロボットと監視装置間で監視情報を送受信するための通信方式を検討した。実証実験により、ネットワーク管理者が利用者の部屋まで足を運ばずにネットワーク機器の状態を把握可能であることを実証した。本論文の移動ロボットによる情報収集手法は、ネットワークの運用管理にとどまらず、通信経路が確保できない場合に应用可能であると考えられる。今後は、本論文の課題を解決するとともに、監視システムとしての完成度を高め、ネットワーク管理者が容易に利用可能な形態に実装を進めていく予定である。

参考文献

- [1] 小川康一, 吉浦紀晃: 埼玉大学における光ファイバ直取型ネットワークの運用経験について, 情報処理学会研究報告インターネットと運用技術 (IOT), Vol.2015-IOT-30, No.10, pp.1–8 (2015).
- [2] Coexistence between Version 1, Version 2, and Version 3 of the Internet-standard Network Management Framework, The Internet Society (2003).
- [3] 小川康一, 吉浦紀晃: 画像処理を用いた汎用性の高いネットワーク機器監視システムの提案, 情報処理学会研究報告インターネットと運用技術 (IOT), pp.1–7 (2016).
- [4] 小川康一, 吉浦紀晃: 小型コンピュータと画像処理技術を活用したネットワーク機器監視手法の提案と実装, 情報処理学会論文誌, Vol.59, No.3, pp.1026–1037 (2018).
- [5] iRobot 社ホームページ (オンライン), 入手先 <https://www.irobot-jp.com/> (参照 2017-10-05).
- [6] iRobot Roomba 500 Open Interface (OI) Specification (online), available from <http://www.irobot.lv/uploaded_files/File/iRobot_Roomba_500_Open_Interface_Spec.pdf> (accessed 2018-02-08).
- [7] TTL-232R TTL TO USB SERIAL CONVERTER RANGE OF CABLES Datasheet Version 2.03 (online), available from <http://www.ftdichip.com/Documents/DataSheets/Cables/DS_TTL-232R_CABLES.pdf> (accessed 2018-02-08).
- [8] Quigley, M., Conley, K., Gerkey, B.P., Faust, J., Foote, T., Leibs, J., Wheeler, R. and Ng, A.Y.: ROS: An open-source Robot Operating System, *ICRA Workshop on Open Source Software* (2009).
- [9] Turtlebot (online), available from <http://www.turtlebot.com/about/> (accessed 2018-02-08).
- [10] 藤田正典, 青柳一之, 大橋 修, 落合瑛史, 常盤嘉昭, 加藤由花: 仮想環境を用いた移動ロボット用遠隔操作システムの提案, 情報処理学会研究報告, マルチメディア通信と分散処理 (DPS), Vol.2014-DPS-158, No.15, pp.1–6 (2014).
- [11] ROS ホームページ: ROS の msg と srv を作る (オンライン), 入手先 <http://wiki.ros.org/ja/ROS/Tutorials/CreatingMsgAndSrv> (参照 2017-10-05).
- [12] OCN モバイル ONE (オンライン), 入手先 <https://www.ntt.com/personal/services/mobile/one.html> (参照 2018-08-03).
- [13] OpenVPN (online), available from <https://openvpn.net/> (accessed 2017-10-06).
- [14] MJPG-streamer (online), available from <https://sourceforge.net/projects/mjpg-streamer/> (accessed 2017-10-06).
- [15] MQTT (online), available from <http://mqtt.org/> (accessed 2017-10-06).
- [16] Mosquitto (online), available from <https://mosquitto.org/> (accessed 2017-10-06).
- [17] Paho-mqtt (online), available from <https://pypi.python.org/pypi/paho-mqtt> (accessed 2017-10-06).
- [18] MQTT man page: Retained Messages (online), available from <https://mosquitto.org/man/mqtt-7.html/> (accessed 2017-10-06).
- [19] Matplotlib (online), available from <https://matplotlib.org/> (accessed 2017-10-06).
- [20] 小川康一, 吉浦紀晃: 利用者のネットワーク機器を監視する移動ロボットの自動情報収集のための通信制御手法, 情報処理学会インターネットと運用技術シンポジウム 2017 論文集 (IOTS2017), pp.9–18 (2017).
- [21] IBS Japan ホームページ, RSSI について (オンライン), 入手先 <http://www.ibsjapan.co.jp/tech/details/metageek-solution/understanding-rssi.html> (参照 2018-02-08).
- [22] SORACOM Air for セルラー (オンライン), 入手先 <https://soracom.jp/services/air/cellular/> (参照 2018-08-03).
- [23] Park, K.W., Hwang, W. and Park, K.H.: FalconEye: Data Center Status Extraction via Vision Transformation Techniques, *IEEE 34th Annual Computer Software and Applications Conference Workshops*, pp.388–392 (2010).
- [24] Choi, W., Park, K.W. and Park, K.H.: SCOUT: Data center monitoring system with multiple mobile robots, *The 7th International Conference on Networked Computing and Advanced Information Management*, pp.150–155, IEEE (2011).
- [25] Nelson, J.C., Santala, T., Lenchner, J., Calio, R., Frissora, M. and Miller, J.E.: Locating and tracking data center assets using active RFID tags and a mobile robot, *International Conference and Expo on Emerging Technologies for a Smarter World (CEWIT)*, pp.1–6 (2013).
- [26] Lenchner, J., Isci, C., Kephart, J., Mansley, C., Connell, J. and McIntosh, S.: Towards data center self-diagnosis using a mobile robot, *Proc. 8th International Conference on Autonomic Computing (ICAC)*, pp.81–90 (2011).
- [27] Liu, H., Xie, T., Ran, J. and Gao, S.: A modified approach for thermal distribution monitoring of the container data center by thermal image registration, *International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI)*, pp.259–263 (2016).
- [28] Nelson, J.C., Connell, J., Isci, C. and Lenchner, J.: Data center asset tracking using a mobile robot, *SIGMET-RICS*, Harchol-Balter, M., Douceur, J.R. and Xu, J. (Eds.), pp.339–340, ACM (2013).
- [29] Tseng, Y.C., Lai, W.T., Huang, C.F. and Wu, F.J.: Using Mobile Mules for Collecting Data from an Isolated Wireless Sensor Network, *International Conference on Parallel Processing*, pp.673–679 (2010).

- [30] Fall, K.: A delay-tolerant network architecture for challenged internets, *Proc. 2003 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications (SIGCOMM)*, pp.27–34, ACM (2003).
- [31] 河本美穂, 重安哲也: 災害発生時における DTN 手法を導入した効果的な被災情報収集システムの開発, *情報処理学会論文誌*, Vol.57, No.2, pp.643–656 (2016).
- [32] Anastasi, G., Conti, M. and Di Francesco, M.: Data collection in sensor networks with data mules: An integrated simulation analysis, *IEEE Symposium on Computers and Communications*, pp.1096–1102 (2008).
- [33] Bhadauria, D. and Isler, V.: Data gathering tours for mobile robots, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.3868–3873 (2009).
- [34] Chen, T.C., Chen, T.S. and Wu, P.W.: On Data Collection Using Mobile Robot in Wireless Sensor Networks, *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics–Part A: Systems and Humans*, Vol.41, No.6, pp.1213–1224 (2011).
- [35] Kazala, R., Taneva, A., Petrov, M. and Penkov, St.: Wireless Network for Mobile Robot Applications, *IFAC-Papers Online*, Vol.48, No.24, pp.231–236 (2015).

推薦文

本論文は、遠隔操作による移動ロボットを、大学におけるネットワーク機器の運用監視に利用する手法を提案するものである。提案手法では、ロボットを実世界で制御することやロボットが収集したデータを集約することの困難さを様々な工夫で解決している。ネットワークの管理運用に携わる者にとって示唆に富んだ内容であると思われる。

(インターネットと運用技術研究会主査 宮下健輔)

小川 康一 (学生会員)

1974 年生。2014 年産業技術大学院大学産業技術研究科修了。情報システム学修士(専門職)。現在、埼玉大学大学院理工学研究科博士後期課程に在学中。2007 年より同大学情報メディア基盤センター勤務。

吉浦 紀晃 (正会員)

1968 年生。1991 年東京工業大学工学部情報工学科卒業。博士(学術)。東京工業大学助手、群馬大学助教授を経て、現在、埼玉大学大学院理工学研究科教授。