

移動ロボットによる環境地図を用いた ネットワーク機器監視情報の自動収集手法

小川康一^{†1, †2} 吉浦紀晃^{†1, †2}

概要: 我々は、大学ネットワーク管理者が利用者のネットワーク機器の状態を把握するため、小型コンピュータと Web カメラを利用して監視装置を開発し、監視した情報を移動ロボットの遠隔操作によって収集する手法を提案している。しかし、移動ロボットの遠隔操作にはあらかじめ監視装置のある部屋の周辺環境についての前提知識が必要である。また、移動ロボットと操作端末間のネットワーク遅延を考慮することや、移動ロボットの操作経験などが要求され、操作を修得するまでに一定の時間を要する。そこで本稿では、移動ロボットに深度センサーやレーザ測距センサーを搭載し、あらかじめ環境地図を作成することによって、管理者が移動ロボットを直接操作せずに監視情報を半自動的に収集する手法を提案する。本手法を実装し、大学内にて遠隔操作による手法との比較実験により提案手法の有効性を確認した。

キーワード: ネットワーク障害, 利用者対応, ネットワーク監視, 移動ロボット, SLAM

A Method of Automatically Collection for Monitoring Information of Network Devices by Environment Maps of Mobile Robots

KOHICHI OGAWA^{†1, †2} NORIAKI YOSHIURA^{†1, †2}

1. はじめに

大学にとって学術情報基盤は欠かすことのできない重要な要素のひとつである。中でも学術ネットワーク（以下、ネットワーク）はインターネットの接続に不可欠である。ネットワークの利用者である教職員や学生が講義や文献検索、研究等に利用している。そのため、多くの大学がネットワークを整備し、その運用管理は情報センター（以下、センター）が行っている。

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。情報セキュリティ上の規定を遵守する必要があるものの、一定のルールを守れば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。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多く発生している。大学の利用者はネットワークの知識に精通していることが少なく、自身で障害を解決することができない。大学のネットワーク管理者はこの問題に日々対応しなければならない。

国公立大学では、年々予算が減少していく方向にあり、情報基盤に投資できる予算は限られている。センターのスタッフの人数が少なく対応に苦慮しているのが現状である。そこで、利用者の障害対応を計画的に実施するために、監視システム等を利用してネットワーク環境を把握する方法が考えられる。しかし、利用者のネットワーク機器はネットワーク監視プロトコルをサポートしておらず、一般のネ

ットワーク監視システムは利用できない。

そこで我々は、利用者のネットワーク機器を監視するために、小型コンピュータとカメラを利用した監視[1]と、その監視情報を移動ロボットの遠隔操作によって収集する手法[2]を提案している。しかし、移動ロボットの遠隔操作にはあらかじめ監視する部屋の周辺環境についての前提知識が必要であり、移動ロボットと操作端末間のネットワーク遅延を考慮することや、さらに操作経験などが要求され、問題のない操作を修得するまでに一定の時間を要する。そこで本稿では、移動ロボットにレーザ測距センサーを搭載し、あらかじめ環境地図を作成することによって、管理者がロボットを直接操作せずに監視情報を収集する手法を提案する。本手法を実装し、大学内での実験により提案手法の有効性を確認した。

2. 研究背景

本章では本研究の背景として、これまでに我々が提案している提案手法について述べる。

2.1 監視装置によるネットワーク機器の監視

利用者のネットワーク機器は、必要となる機能が最小限であり、監視プロトコルである SNMP (Simple Network Management Protocol) [3]や管理機能がない。そこで、我々は小型コンピュータと USB 接続の Web カメラを用い、ネットワーク機器を定常的に監視可能な監視装置を提案している。本手法はネットワーク管理者が普段、利用者のネットワークトラブル時の対応方法にヒントを得た。たとえば、イーサネットスイッチのループであれば、そのスイッチの

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

†2 埼玉大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Saitama University

LED ランプの状態を見て、激しく点灯しているかを確認する。ネットワーク管理者は、当たりをつけて長年の勘と経験で対処しているのが現状である。我々は、ネットワーク管理者が行う、ネットワーク機器の「目視」に着目した。ネットワーク機器のLED表示部は、機器の状態や接続箇所の状態を表している。LEDの状態を収集する手法にはLEDの表示特性に応じて2種類がある。

方法の一つは、静止画でLEDの状態を比較する方法である。カメラでLEDインジケータの情報を収集する。これを画像処理により切り出し、2値化処理を行う。白くまとまった範囲をプロブという単位で識別する。正しい状態と異常時の状態でプロブの状態が異なるので、この情報を利用してネットワーク機器の状態変化を認識する。メディアコンバータの例を示す。



図1 LEDの点灯位置による状態認識の例

もう一つの方法は、イーサネットスイッチにおけるループやバーストラフィックなど、想定外に大量のトラフィックが流れる際にはLEDの表示が高速に点滅する。このような場合には前述の方法では対処できない。この高速表示に関しては動画の動きをベクトルデータ化できるオプティカル・フローで検出する方法をとる。オプティカル・フローでベクトルデータを収集し、正常な状態と異常時の状態を機械学習によりループであることを検出した。

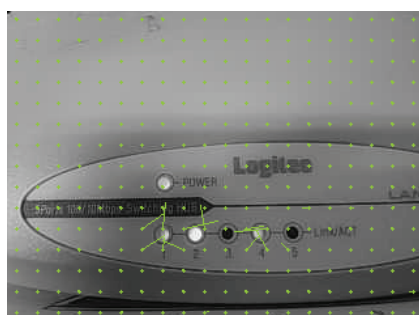


図2 オプティカル・フローによる状態認識の例

静止画の場合は、LEDの状態を撮影するカメラはそのままネットワーク機器に取り付けるとズレが生じて正しく認識ができない。このため、ネットワーク機器に取り付け可能なアタッチメントを開発した(図3)。これによりLEDの状態の認識率は100%となった。



図3 監視装置のアタッチメントの装着例

本提案手法をもとに実装したシステムは、埼玉大学で利用しているメディアコンバータを用い、3G/LTE回線を利用して情報収集できることを確認した。監視装置は小型化のためにRaspberry Piを採用した(図4)。



図4 メディアコンバータ監視システム

動画の場合は、現状では機器を特定せずに稼働可能なシステムを採用した。Raspberry Piでは高フレームレートの動画の取得に追いつかないため、小型でパフォーマンスが高いIntel NUCを採用した。カメラも広角で60フレームを取得できるカメラを採用した。システムの実装例を図5に示す。



図5 イーサネットスイッチのループ検出システム

2.2 移動ロボットによる情報収集手法

2.1 で述べた監視装置による利用者のネットワーク機器監視は、実験により一定の有効性を確認できた。しかし、監視専用のネットワークを監視装置分用意する必要があるなど、コスト面での問題があった。3G/LTE などの移動通信回線を用いる場合、少数の監視装置を運用する場合は問題とならないが、多数の監視装置を運用する場合にはコスト面の懸念がある。最終的な判断は、監視用の回線と人的リソースとのコスト比較になると思われるが、国公立大学のように年々予算が厳しくなる状況下の組織では、情報システムの運用に割り当てる新しい人員の確保が難しい。そこで、管理者の負担を軽減する新たな情報収集の手法となる。この解決策の一つとして、我々は移動ロボットを活用する手法を提案している（図 6）。

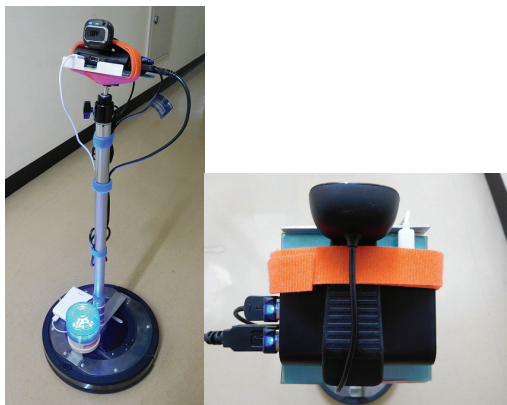


図 6 情報収集を行う移動ロボット

移動ロボットでの情報収集は、監視装置を設置した部屋の廊下を走行することにより、無線通信により収集する。図 7 にその概要を示す。

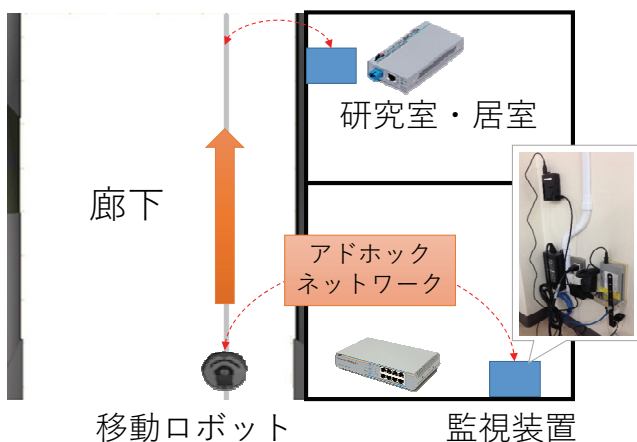


図 7 移動ロボットによる情報収集の概要

移動ロボットを遠隔操作させる際、ネットワーク管理者

が操作管理画面で移動ロボットに装着した Web カメラの映像を頼りに操作する。監視装置から取得した情報は監視情報を収集するサーバから WebSocket を利用して管理者画面にリアルタイムに表示できるようにした（図 8）。

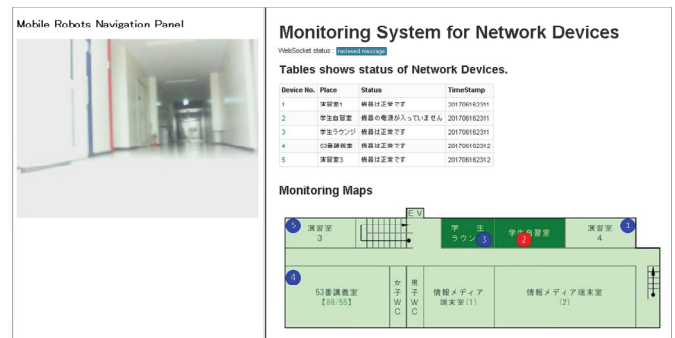


図 8 管理者の画面表示

収集した監視情報は、サーバのデータベースに蓄積する。これにより、時系列でデータを確認できるため、利用者の利用実態から障害が発生するタイミングを予測するなど原因追跡が可能となる。

3. 移動ロボットによる監視手法の課題

本章では、移動ロボットによる情報収集手法の課題について述べる。

3.1 前提知識の必要性

前章で説明したとおり、現状では移動ロボットを遠隔操作させる際、ネットワーク管理者が管理画面で移動ロボットに装着した Web カメラの映像を頼りに操作する必要がある。管理者端末の画面にどの場所に監視装置があるかは地図で図示されるが、周囲の環境の前提知識がなければ操作は困難である。また、移動ロボットが走行する路面の状態や移動ロボットの車輪の状態や摩擦などで、まっすぐ走行しないこともあり、操作に注意が必要である。つまり、移動ロボットの遠隔操作には監視装置が設置された箇所の周辺環境についての前提知識が必要となる。

3.2 環境条件の考慮の必要性

移動ロボットの利用は、ネットワークに障害がある場所に赴いて、監視装置に蓄積された監視情報を収集することが目的である。このため、当然移動ロボットは 3G/LTE などの移動回線を利用することが前提となっている。インターネット越しにロボットを接続し、VPN を構築して遠隔操作を行った結果、40~60ms の若干のずれが生じることがわかっている。このずれに加え、管理者端末に表示されるロボットに搭載したカメラ映像のずれが加わる。ネットワーク管理者がこのずれに慣れる必要があり、前節の環境情報の前提知識とあわせて考慮してロボットを操作する必要が生じている。この観点からも操作経験が要求され、問題の

ない操作を修得するまでに一定の時間を要する。

4. 提案手法

本章では移動ロボットによる情報収集における課題を解決する提案手法について述べる。

4.1 SLAM を利用した移動ロボットの半自動制御

管理者に移動ロボットを遠隔操作させずに情報収集を行うためには、自動的に監視装置の周囲を巡回して情報収集することが考えられる。そこで、あらかじめ環境地図を作成し、移動ロボットがセンサーによって自己位置を推定しながら半自動で監視装置の情報を収集する手法を提案する。

半自動で移動ロボットを動作させるには、ロボットの位置をロボット自身が把握する必要がある。このような対応には現在 SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) [4] がよく利用されている。SLAM は、深度センサーやレーザ測距センサーを装着することにより、ロボットから壁などの障害物までの距離を計測してセンサー情報を収集する。これによってあらかじめ環境地図を作成する。SLAM は、環境地図の作成と自己位置推定を同時に行う手法である。

移動ロボットの動体として車輪の回転角や加速度を利用した、オドメトリとよばれる自己位置推定手法がある。この位置推定手法はデッドレコニング法の一つであるが、誤差が蓄積すると位置の認識に大きく影響する。現在では、この誤差を修正するためにセンサーを用いて値を修正する方法がとられている。

4.2 環境地図の作成

環境地図は、占有格子地図を使用する。占有格子地図の例を図 9 に示す。占有格子地図 (Occupancy Grid Map) は、等間隔の格子に配置された確率変数で表現される地図のことである。確率変数の値が高いほど地図内の領域が物体により占められている可能性が高いことを意味する。

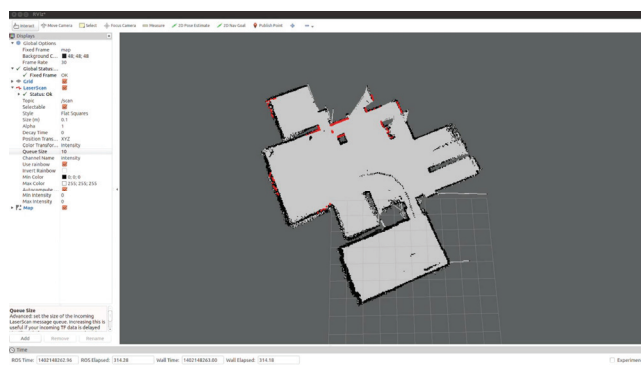


図 9 占有格子地図の例

4.3 自動巡回による監視情報の収集

監視装置の近傍をチェックポイントとして巡回することで監視情報を収集する。このような指示により半自動で指

定地点を巡回する方法はウェイポイントと呼ばれている。ウェイポイントは、前述の環境地図上の座標ポイントを指定地点として把握する。

ウェイポイントの概要を図 10 に示す。移動ロボットはスタート地点を基点として、監視装置 A を最初のチェックポイントとして経路する。次に監視装置 B を次のチェックポイントとして移動する。次のチェックポイントへ移動し、その後の動作を定義する。本稿では、移動ロボットの給電を考慮して、巡回が終わったら当初のスタート地点に戻ることとした。

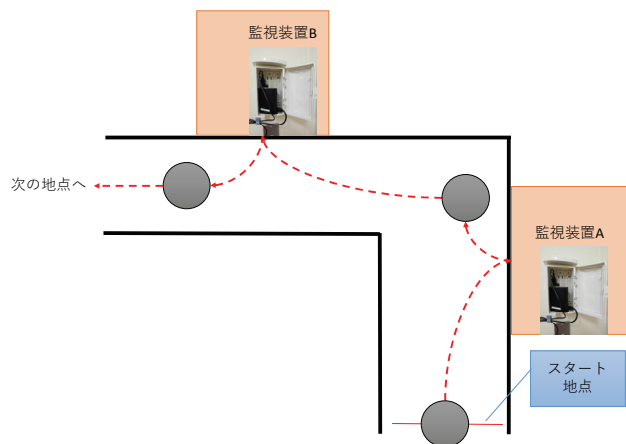


図 10 ウェイポイントの概要

5. 半自動巡回システムの実装

本章では、前章で述べた提案手法に基づき、具体的な実装方法について述べる。

5.1 移動ロボットを利用した監視システムの概要

監視システムの概要を図 11 に示す。システムは、移動ロボット、監視装置、監視情報集約サーバ、管理者端末で構成される。

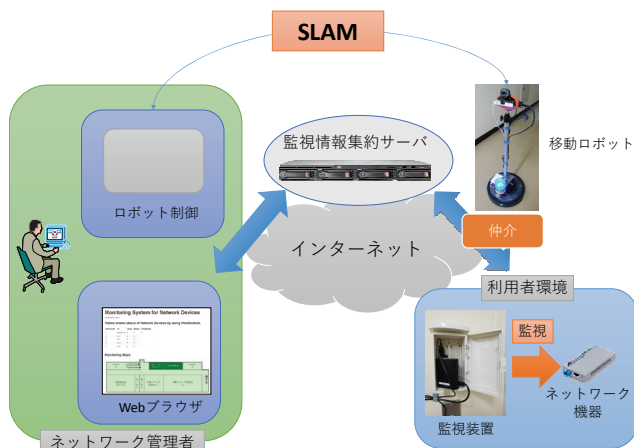


図 11 監視システム概略図

本研究では、ロボットフレームワークとして ROS (Robot Operating System) [5]を採用する。SLAM による事前の環境

地図作成や半自動巡回プログラムは、管理者端末で行う。

5.2 センサーの利用と移動ロボットの改良

レーザ測距センサー（北陽電機社製：URG-04LX-UG01）を用いた。レーザ測距センサーは、光でスキャニングしながら検出物までの距離を測定する二次元走査型の光距離センサーである。USB バスパワーで稼働できることから、ロボット搭載に選択した。

移動ロボットにも改良を加えた。今回搭載したレーザ測距センサーなど多くのデバイスを同時に稼働させる必要があるため、USB ハブ（給電式）を新たに採用した。移動ロボットに多くのデバイスを搭載するため、搭載するためのスペースをロボットに棚を作ることで確保した。棚は半透明の亚克力板を採用した。亚克力板の厚さは 5mm で、多少の機材を搭載しても十分耐えられる強度を確保した。

棚を作成する際には測距センサーの搭載位置や探索の障害にならないよう考慮する必要がある。図 12 のように、レーザ測距センサーはセンサーの周囲 240 度を探索可能なため、遮蔽物を置くことや鉄やアルミの支柱で構成する場合、障害物として誤検知し正しい値を把握できない可能性がある。そこで、透明な亚克力の円柱を用いることで障害を回避した（図 13）。円柱の中央には亚克力の芯を入れて強度を確保した。

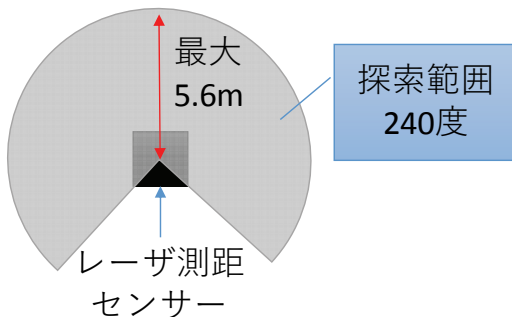


図 12 レーザ測距センサーの探索範囲

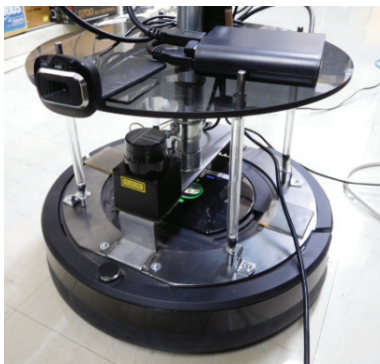


図 13 改良したロボットの台座と支柱

Roomba は、ROS のサンプルロボットとして用いられて

いる TurtleBot[6]のベースとなっているため、各種のパッケージやドライバ等が ROS に準拠している。各種搭載デバイスの稼働は、当初 Roomba のバッテリーからの給電を検討したが、ロボット自体が動作する際に電圧が変動することがある。これによりデバイスの動作が不安定となることから、現状ではデバイス類の稼働にはモバイルバッテリーを採用している。また、多数のデバイスを稼働させるためにモバイルバッテリーで給電可能な USB ハブを用いる。

5.3 通信方式

移動ロボットと管理者端末間の通信には 3G/LTE 回線を採用し、セキュリティ面を考慮し暗号化ネットワークを構成するため OpenVPN[7]を採用した。

監視装置と情報収集ロボット間の通信には、MQTT(Message Queue Telemetry Transport)[8]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。出版購読モデル(Publish/Subscribe モデル)を採用しており、プロトコルヘッダーが小さいという特徴がある。実装には、MQTT の参照実装として広く利用されているオープンソースソフトウェアの Mosquitto[9]を採用する。

MQTT は、データを送出する Publisher、データを受信する Subscriber、Publisher と Subscriber の間を取り持つ中継の役割を担う Broker で構成される。Publisher は事前にデータを必要とする配信先を知る必要がなく、自分の範囲内の Broker にデータを送信するだけで良い。

図 14 に通信方式の概要を示す。本システムにおける各機器の MQTT における役割は、監視装置は Publisher、情報収集ロボットは Broker、監視情報集約サーバは Subscriber である。通常 Publisher から送出されたデータは一旦 Broker に蓄積される。しかし、Broker の役割を担う情報収集ロボットがいつ監視装置に近接してくるかが特定できないため、監視装置と情報収集ロボットにそれぞれ Broker の役割を持たせ、Broker 間で Publish データを同期する形とした。監視情報集約サーバは情報収集ロボット内のデータを購読することにより監視データを取得する。

監視装置と情報収集ロボット間の通信は無線 LAN により、事前にアドホックネットワークを構成する。情報収集ロボットは、監視情報集約サーバと通信可能となった段階で、データの送受信を行う。監視情報は、WebSocket で直接リアルタイムに管理者の操作端末に送信する。

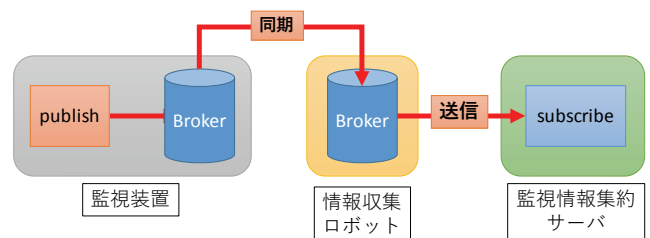


図 14 移動ロボットの通信方式

5.4 環境地図の作成

SLAMにはさまざまな手法が考案、研究されている。ROSにおいてもいくつかのSLAMがサポートされているが、今回はROSに標準で実装されているnavigationパッケージのgmappingを利用する。gmappingは、Grisettiら[10]のアルゴリズムを利用している。今回利用するgmappingは、グリッドベースのFastSLAM2.0に該当する。ROSにおけるgmappingによりSLAMを実施する手順は以下のとおりである。

1. 移動ロボットを起動し、遠隔操作が可能な状態にする。
2. スタート地点を設定し、移動ロボットに接続したレーザー測距センサーで周辺探索が可能となっていることを確認する。
3. 移動ロボットを遠隔操作することによりオドメトリとセンサー情報など、環境地図作成の基となるデータを収集する。GUI画面を確認しながら操作する。
4. 収集したデータから、環境地図を作成する。

上記の手順により作成した埼玉大学情報メディア基盤センター2Fのフロア地図を図15に示す。

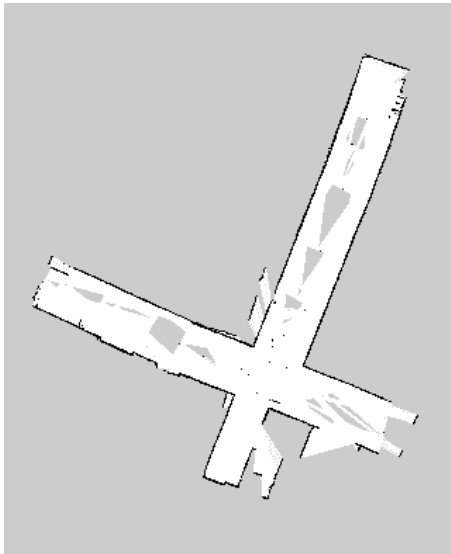


図15 gmappingにより作成した環境地図

5.5 ウェイポイントの実装

ROSでのウェイポイントの実装はactionlib[11]を使用する。actionlibはclientとServerに分けて実装可能だが、今回は簡単のため、一つのプログラムで実装する。実装にはpythonを用いた。

6. 半自動巡回システムによる実験

本章では、前章で述べた監視システムを用い、埼玉大学で実運用しているメディアコンバータを利用した実証実験

について述べる。

6.1 従来の手動遠隔操作監視システムとの比較実験

実験は埼玉大学情報メディア基盤センター2Fで実施した。情報収集する対象のメディアコンバータは、監視装置を利用して実施した。実験方法は、監視装置の情報収集を想定して、ロボット操作経験のある1名と、操作経験のない被験者2名のあわせて男女3名により実施した。被験者は文献[2]で実装した管理画面で操作を実施する。遠隔操作は管理者端末に接続したゲームパッドにより実施する。



図16 実験の様子

(左：ゲームパッドでの操作，右：移動ロボットの様子)

文献[4]によれば、ロボットの姿勢は (x, y, θ) で表される。 θ はロボットの方向である。この姿勢から方向を除いたものが位置である。よって、ロボットの位置は (x, y) の二次元ベクトルで記述する。そこで、本稿では、この位置情報の更新がどれぐらいの頻度で行われたかを縦軸に表している。同じ値をとるとき、ロボットは停止した状態とみなして移動としてカウントしない。つまり、多くの試行操作を繰り返すとこの頻度が大きくなる。取得したデータの一部を表1に示す。データは順に座標No、UNIXタイムスタンプ、 x, y のベクトル座標データである。

表1 ロボットが移動した場合の位置データ例

No	time	x	y
1	1504580990	0.003342	0.000003
2	1504580991	0.038967	0.001114
3	1504580991	0.10482	0.004539
4	1504580992	0.142836	0.006986
5	1504580992	0.144836	0.007131
6	1504580997	0.144836	0.007131
7	1504580997	0.208759	0.01262
8	1504580998	0.277321	0.020886
9	1504580998	0.305753	0.025063
10	1504580999	0.305973	0.025098

実装した半自動巡回システムを利用し、監視装置をチェックポイントとして巡回させる。移動経路を比較し、手動

操作との違いを比較する。実験は、被験者3名の遠隔操作の情報収集と提案手法による自動収集により実施する。このうち、被験者Aは遠隔操作の経験がある。図10に示す監視装置2箇所について計3回、情報収集に要した時間を取得する。3回の平均時間を図17に示す。あわせて表2に位置ベクトルの変動数を示す。

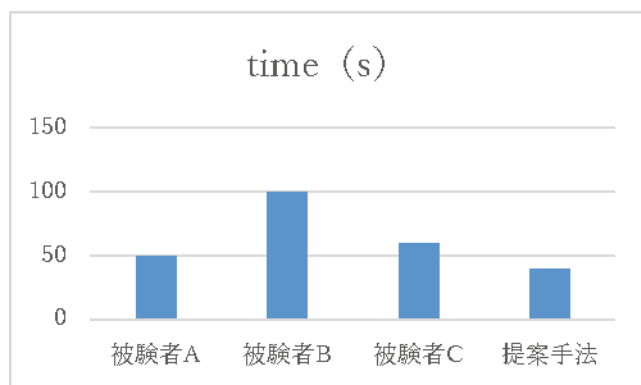


図17 情報収集に要する平均時間の比較

表2 被験者による遠隔操作と提案手法との比較
 (位置ベクトルの変動数, 3回の平均値)

被験者A	被験者B	被験者C	提案手法
172	219	160	101

本実験により、試行を繰り返して情報収集にロスが生じている手動の遠隔操作より、提案手法による自動の収集手法が優れていることがわかった。

7. 本研究における課題

本章では本研究における課題について述べる。

7.1 各要素間の通信とロボット制御の連携

移動ロボットと監視装置間の情報伝達はMQTTのBroker間通信により実施される。監視装置のデータが少量である場合は問題が起きなかった。今回の実験では通信が終わらない間に移動ロボットが監視装置の近傍を離脱することがあった。現状ではこの点が考慮されていない。これについては、データの収集と通信量の関係、通信の品質、ロボットの移動制御を相互に連携させる必要がある。

7.2 環境地図の作成コスト

本提案手法の地図作成方式は、収集したデータにより後から環境地図を作成するオフライン方式である。地図作成の負荷を他の機器にオフロードできる可能性があるものの、今回の数回のテストで作成に失敗することがあった。

また、ロボットに詳しくない管理者のために、ある程度の操作を簡便にする必要がある。これにはGUIツールや操作手順の提示などを管理者端末で行うことで実現を検討し

ている。

8. 関連研究

Falcon Eye[12]は、固定カメラで複数の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インジケータの表示から画像処理によりシステムの状態を監視する手法は本稿の手法と同一である。当該手法は、データセンターのように一箇所に複数の機器が稼働している環境では有効であるが、多数の利用者の機器が分散配置している環境の監視を行う本研究とは対象が異なる。

SCOUT[13]は、Falcon Eyeの研究の延長にある研究で、移動ロボットによりデータセンターの監視効率を向上させようという取り組みである。NFCタグを利用しており、ロボットの走行環境への依存度が高く事前準備にコストがかかる。経路制御に重点が置かれており、LEDインジケータの認識まで至っていない。

移動ロボットによる情報収集は、サーバールームやデータセンターの環境情報収集に利用する方法が試みられている。IBMは移動ロボットを利用した研究[14][15]を行っている。データセンターでは電力消費量の軽減が課題となっており、移動ロボットにより温度や湿度などの情報を巡回して取得する。システムや空調の適切な制御のために調査目的で移動ロボットを利用する研究[16]も同様の視点である。

データセンターは探索範囲が限られており、NFCやRFIDタグなどのデバイスを利用した近接通信による位置特定[17]が試みられている。また、ラインマーカーを頼りにサーバ室内を巡回する手法[18]も試みられている。このようにデータセンターは、場所が限定されており、床面などの素材をある程度カスタマイズ可能であるため、事後にセンサーを埋め込むことが容易である。

これに対し本研究の手法は、既設の部屋や建物を対象に移動ロボットを走行させることによって、利用者のネットワーク機器の状態について情報収集を成立させる。部屋の廊下は不特定多数の人が行きかう場所もあり、後からセンサーデバイスを埋め込むことは環境にも負荷がかかる。施設全体をカバーするためにはセンサーの数が膨大となり、それに応じたコストがかかる。解決策としては、本研究で使用した移動ロボットにレーザー測距センサーを搭載してSLAMを利用することや、無線の電波強度であるRSSIを利用する方法が考えられる。

9. おわりに

本稿では、我々が提案する移動ロボットによる情報収集手法の問題点を挙げるとともに、その解決をSLAMによる環境地図を作成することによって、移動ロボットによる監視装置の監視データの収集を半自動化した。また、提案手法の有効性を大学内での実験により確認した。今後は課題解決を行い、実用化に向けて研究を進めていきたい。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 17H00371 の助成によるものである。

参考文献

- [1] 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装置の開発, 研究報告インターネットと運用技術 (IOT), pp. 1-7(2017).
- [2] 小川康一, 吉浦紀晃: 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, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム(DICOMO), pp. 1354-1361 (2017).
- [3] Coexistence between Version 1, Version 2, and Version 3 of the Internet-standard Network Management Framework, The Internet Society, 2003.
- [4] S. Thrun, W. Burgard, and D. Fox. Probabilistic Robotics, The MIT Press, 2005. 上田隆一 (訳): 確率ロボティクス. 毎日コミュニケーションズ(2007).
- [5] M. Quigley, K. Conley, B. P. Gerkey, J. Faust, T. Foote, J. Leibs, R. Wheeler, and A. Y. Ng.: ROS: an open-source Robot Operating System, in *ICRA Workshop on Open Source Software*(2009).
- [6] TurtleBot (online), available from <<http://www.turtlebot.com/>> (accessed 2017-09-07).
- [7] OPENVPN: Open Souce VPN(online), available from <<https://openvpn.net/>> (accessed 2017-09-07).
- [8] MQTT (online), available from <<http://mqtt.org/>> (accessed 2017-09-07).
- [9] Mosquitto (online), available from <<https://mosquitto.org/>> (accessed 2017-09-07).
- [10] G. Grisetti, C. Stachniss and W. Burgard: Improved techniques for grid mapping with Rao-Blackwellized particle filters, *IEEE Transactions on Robotics*, Vol. 23, No. 1, pp. 34-46(2007).
- [11] actionlib(online), available from <<http://wiki.ros.org/ja/actionlib/>> (accessed 2017-09-07).
- [12] K. W. Park, W. Hwang and K. H. Park.: FalconEye: Data Center Status Extraction via Vision Transformation Techniques, *IEEE 34th Annual Computer Software and Applications Conference Workshops*, pp. 388-392(2010).
- [13] W. Choi, K. W. Park and K. H. Park.: SCOUT: Data center monitoring system with multiple mobile robots, *The 7th International Conference on Networked Computing and Advanced Information Management*, pp. 150-155(2011).
- [14] J. Lenchner, C. Isci, J. Kephart, C. Mansley, J. Connell, and S. McIntosh.: Towards data center self-diagnosis using a mobile robot, *Proceedings of the 8th International Conference on Autonomic Computing (ICAC)*, pp. 81-90(2011).
- [15] J. C. Nelson, J. Connell, C. Isci, and J. Lenchner.: Data center asset tracking using a mobile robot, In M. Harchol-Balter, J. R. Douceur, and J. Xu, editors, *SIGMETRICS*, pp. 339-340. ACM (2013).
- [16] H. Liu, T. Xie, J. Ran and S. Gao. : A modified approach for thermal distribution monitoring of the container data center by thermal image registration, *9th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI)*, pp. 259-263(2016).
- [17] J. C. Nelson, T. Santala, J. Lenchner, R. Calio, M. Frissora and J. E. Miller.: Locating and tracking data center assets using active RFID tags and a mobile robot, *10th International Conference and Expo on Emerging Technologies for a Smarter World (CEWIT)*, pp. 1-6(2013).
- [18] 矢崎俊志, 土屋英亮: 小型コンピュータと自動走行ロボットによる中小規模サーバ室の自動温度測定, 学術情報処理研究 15, pp. 114-121(2015).