

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

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カメラを利用した監視と、その監視情報について移動ロボットを用いて、遠隔操作で収集する手法や自動で収集する手法を提案している。しかし、移動ロボットと監視装置間の通信については、監視装置に蓄積された情報量や、移動ロボットと監視装置間の通信品質が考慮されていないために、移動ロボットとの適切な通信が成立しないという問題点があった。そこで本稿では、移動ロボットの制御により、移動ロボットと監視装置との通信を最適に行うための移動ロボットを制御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。

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, 通信制御

A Method of Communication Control for collecting Information by Mobile Robots that monitor Network Equipment of Users

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一つである。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、利用者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、利用者はネットワーク監視プロトコルをサポートしていない安価な製品を選択するため、一般のネットワーク監視システムは利用できない。

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装置[1]と、その監視情報について移動ロボットを用いて、遠隔操作で収集する手法[2]や自動で収集する手法[3]を提案している。しかし、移動ロボットと監視装置間の通信については、監視装置に蓄積された情報量や、移動ロボットと監視装置間の通信品質が考慮されていないために、移動ロボットとの適切な通信が成立しないという問題点があった。

そこで本稿では、移動ロボットと監視装置との通信を最適に行うための移動ロボットを制御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。

本稿の構成は次のとおりである。第2章では、提案手法を理解する前提としてこれまでの研究について述べる。第3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。第4章では、本稿で提案する手法を説明する。第5章では、提案手法の実装を説明する。第6章では、実装したシステムによる実験とその結果について説明する。第7章では、本研究の考察を行う。第8章では関連研究について説明する。第9章で本稿をまとめる。

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) [4]や管理機能がない。そこで、我々

^{†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

は小型コンピュータと Web カメラを用いてネットワーク機器の LED インジケータ（以下、LED）の点滅状態を取得することで定常的な監視を行う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おこなう、ネットワーク管理者が障害対応の際、ネットワーク機器を「目視」で確認する点に着目した。ネットワーク機器の表示部は、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 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。そのため現状では、色の状態変化には対応できない。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図 1 に示す。



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 LED 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・フローでの状態識別の例を図 2 に示す。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。

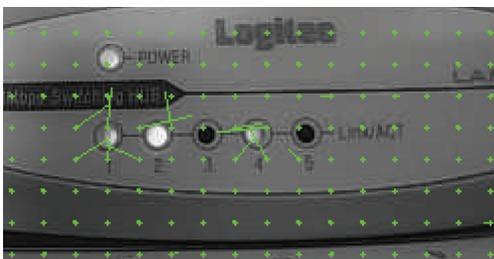


図 2 オプティカル・フローによる状態認識の例

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[1]。

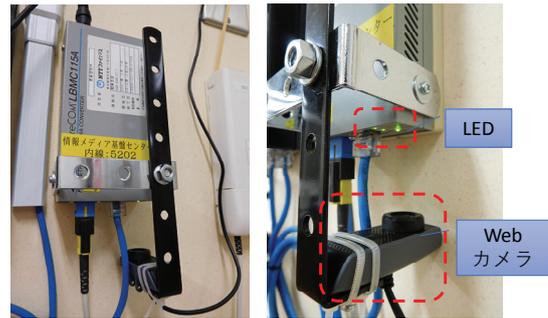


図 3 監視装置のアタッチメントの装着例

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監視対象として実験を行い、3G/LTE の移動体通信回線（以下、移動体通信回線）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 Raspberry Pi を採用した（図 4 右）。



図 4 監視システム（右：メディアコンバータ監視システム、左：イーサネットスイッチループ検出システム）

動画の場合は、多くのネットワーク機器に対応できるように、機種を限定せずに機動性を備えたシステムを採用した（図 4 左）。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[5]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。

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[1]。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。ネットワーク障害時には、監視対象のネットワーク機器が管理する有線ネットワークや Wi-Fi 通信網は利用できない。そのために、移動体通信回線を利用する。移動体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が必要となる。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5)。

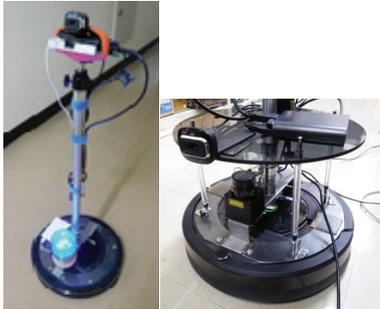


図5 情報収集を行う移動ロボット

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6にその概要を示す。

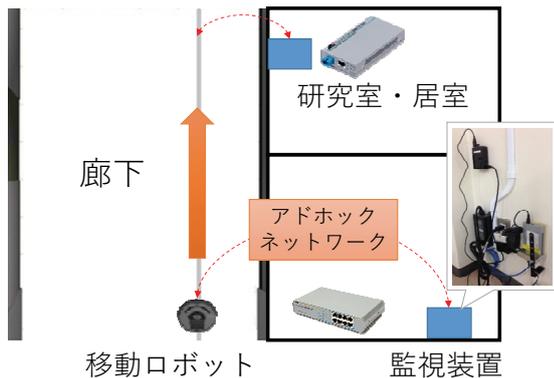


図6 移動ロボットによる情報収集の概要

ここで、移動ロボットを利用した監視システムの全体像について図7に示す。

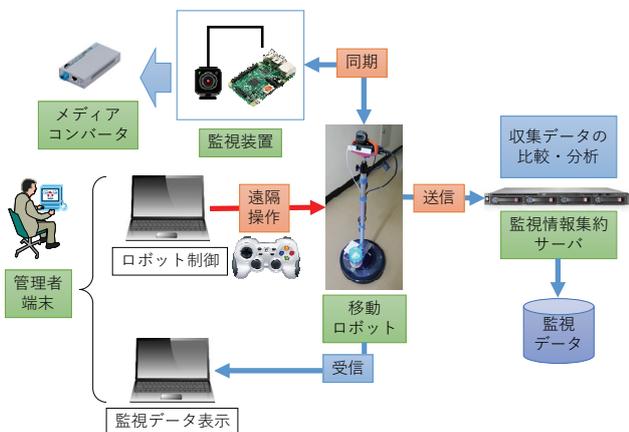


図7 移動ロボットを用いた監視システムの概要

本システムは、監視装置、移動ロボット、監視情報集約サーバ(以下、サーバ)、管理者端末(監視データ表示、ロボット制御の2台)で構成する。監視対象のネットワーク装置ごとに監視装置を設置する。監視装置は無線インターフェースを持ち、移動ロボットとアドホック接続を可能とする。移動ロボットは移動体通信回線で通信を可能とする。移動ロボットの移動制御プログラムは管理者端末のうちロボット制御を担当する端末で稼働する。

本システムの動作を説明する。監視装置設置箇所の近傍を通信機能のある移動ロボットが巡回する。監視装置が取得したデータは、移動ロボットが近傍に訪れる際にデータを移動ロボット経由でサーバに転送する。サーバに監視装置からのデータを集める。ネットワーク管理者は、サーバから最新の監視状況を管理者端末のブラウザで受信するとともに、必要に応じてサーバに蓄積された監視情報を閲覧できる。

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)。

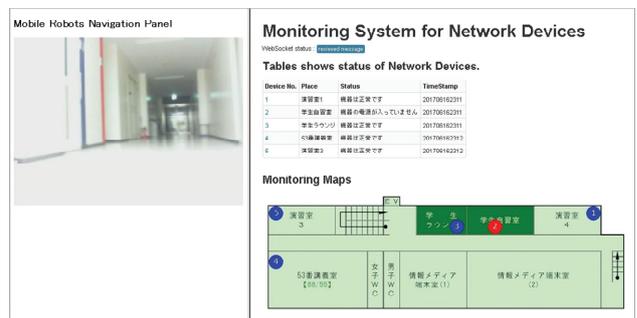


図8 管理者の画面表示

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。

しかし、遠隔操作を実施するには、監視装置周辺の知識や操作経験が必要となるなど、管理者への負担が大きい。そこでレーザー測距センサー(図5右)を搭載し、環境地図をあらかじめ作成することにより自動での情報収集[3]を実現した。

本システムの実稼働の想定は、廊下に移動ロボットを常設し、特にネットワーク障害が多い場所を対象としている。移動ロボットが走行する頻度は、監視対象となるネットワーク機器に合わせて対応する。現状の移動ロボットでは1時間の走行が限度であり、3時間の充電が必要となる。そ

のため、現状では即時の対応を必要とする障害には対応できない。本システムでは、原因が不明で、1日のうちどこかの時点でネットワークが利用できなくなるようなネットワーク障害に対応可能である。監視装置で5分ごとに監視データを収集し、これを1日1回収集するような動作であれば十分対応できる。

3. 移動ロボットによる情報収集手法の課題

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 データの収集状況を考慮したロボットの移動制御

本研究では、移動ロボットが移動しながら監視装置からデータを取得する想定である。しかし、これまでの実験で監視装置に蓄積されたデータ量が多い場合、データの転送が完了しないうちに移動ロボットが監視装置と通信可能な場所から離れてしまうことがあった。そのため、データ収集の進捗状況を移動ロボットの移動制御に反映する必要がある。

3.2 最適な通信環境の確保の必要性

本研究の想定は、大学の教員の居室や研究室でのネットワーク障害への対処である。その原因特定のために監視装置を設置する。そのため、部屋内に人がいることや、人や物が移動することも考慮する必要がある。鳴海らの研究[5]により、室内に人物が介在することで無線の電波状態が変化することがわかっている。人以外にも電波が外乱によって弱まることも想定される。よって、日時や周辺の状況により監視装置との無線通信の状態が変化することも考慮する必要がある。

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 提案手法の全体像

第2章で述べた先行研究を踏まえ、第3章の課題を克服する前提条件として、移動ロボットの停止位置を設定するために、SLAMにより行う自己位置推定と環境地図の作成について説明する。次に、移動ロボットの停止位置の指標を検討し、検討の段階での予備実験について説明する。予備実験を受け、通信とロボット制御の関係を整理する。最後に、SLAMを前提とした通信とロボット制御の関係を明らかにしながら、提案手法を説明する。

4.2 SLAMを利用したウェイポイントによる自動巡回

本提案手法は、SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) [6]を利用したウェイポイントの利用が前提となる。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自動で監視装置の情報を収集する手法を提案する。

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、移動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。

4.2.1 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11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。

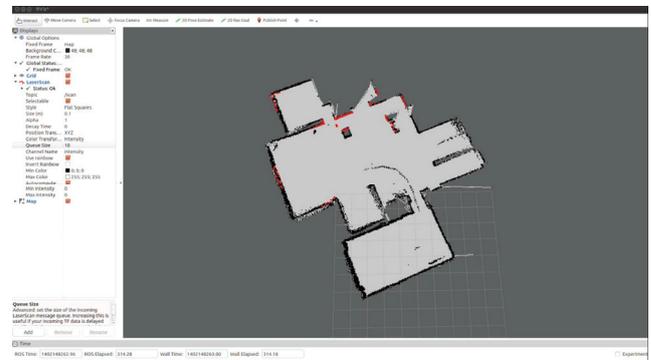


図9 占有格子地図の例

4.2.2 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12に示す。各ウェイポイントは図中に青色の円で示す。まず、廊下の監視装置Aの部屋前の任意の場所を一つ選んで最初のポイントとする。次に、監視装置Bの部屋前の任意の場所を一つ選んで次のポイントとする。移動ロボットは、スタート地点を基点として2

つのポイントを経由し、次のポイントへ移動し、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にした。

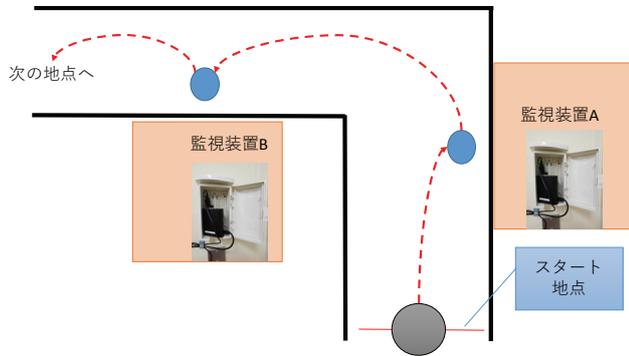


図 10 ウェイポイントの概要

4.3 移動ロボットの停止位置指標の検討

移動ロボットが監視装置との通信を実施するために、その目印となる指標が必要となる。本研究で用いる無線の受信電波強度である RSSI (Received Signal Strength Indicator) を含め、4つの方法の可能性について比較検討した。

1. Bluetooth
2. QR/AR コード, ランドマーク
3. RSSI
4. RFID, 回転磁石, ビーコン

1の Bluetooth は、見通しのよい近接通信に限られ、ドアを閉めた状態では通信が不可能であった。

2の QR/AR コードは、カメラが正しく認識するための方向を定める必要がある。認識できた場合であっても、監視装置とかならず通信できる保証があると限らない。QR/AR コードを印刷し、設置の手間がかかることや、画像を誤認識する場合も想定される。

3の RSSI の値の取得は、予備実験では閉め切ったドア越しでも問題なく通信ができた。これは本研究において移動ロボットによる巡回で既に確認済みである。

4に関しては設置コスト、既存の環境に前もって準備をする必要があり、採用が難しい。

以上の検討により、本研究では RSSI を停止位置の指標とすることとした。

4.4 RSSI 値の場所による変化確認の予備実験

最適な RSSI 値をもとに通信を実施するために、移動ロボットをどの程度動かす必要があるかを予備実験により確認する。予備実験の環境を図 11 に、各構成機器の大きさと設置位置について図 12 に示す。監視装置が設置されている部屋の廊下において、壁面から 30cm 間隔で計測地点を設

定する。部屋のドアは埼玉大学において、研究室で一般によく利用されているものである。実際に監視装置が設置されている場所は部屋内の壁面から 260cm 離れた場所である。壁の厚さは本学の環境では約 15cm 程度であった。

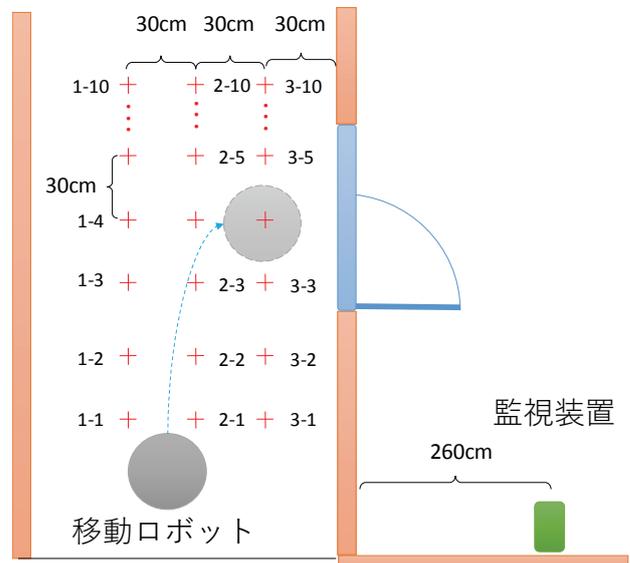


図 11 RSSI の観測地点ごとの確認

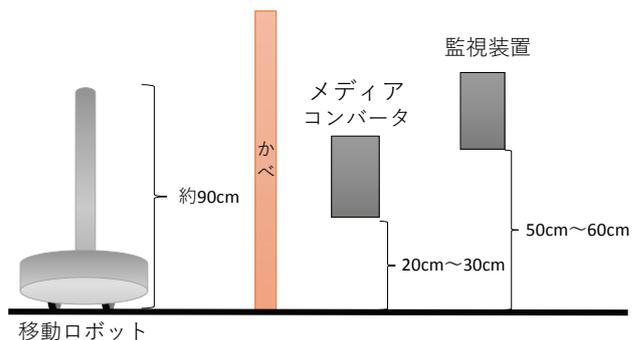


図 12. 各機器の大きさと設置位置

部屋のドアは閉め切った状態で、移動ロボットを模した Raspberry Pi を用い、各計測地点において監視装置の RSSI の値を計測する。今回は簡単のために移動ロボットの姿勢は長手方向をつねに向くものとする。

観測地点は、廊下の手前側から 1-1 とし、長手方向に加算し 1-10 までの観測地点を配置する。各観測地点で 3 回取得した。これらの計測した結果から平均値を割り出した。表 1 に取得した値を示す。

表 1 各観測地点における RSSI の計測値

point	rssi (dBm)	point	rssi (dBm)	point	rssi (dBm)
1-10	-76	2-10	-74	3-10	-72.5
1-9	-75.5	2-9	-75	3-9	-74
1-8	-71	2-8	-72	3-8	-79
1-7	-73.5	2-7	-78.5	3-7	-80.5
1-6	-77	2-6	-80	3-6	-79.5
1-5	-71	2-5	-80	3-5	-75.5
1-4	-68	2-4	-79	3-4	-73.5
1-3	-71	2-3	-80	3-3	-69
1-2	-73.5	2-2	-75	3-2	-79
1-1	-73	2-1	-71	3-1	-71.5

縦 300cm, 横 90cm の間でも RSSI の値に大きな差が見られた。引き続き、それぞれの地点での通信帯域を表 2 に示す。各観測地点で 3 回取得した。これらの計測した結果から平均値を割り出した。通信帯域の確認には iperf を用いた。

表 2 各観測地点における通信帯域

point	Mbps	point	Mbps	point	Mbps
1-10	6.07	2-10	5.24	3-10	7.66
1-9	5.85	2-9	6.34	3-9	6.21
1-8	1.54	2-8	5.67	3-8	0.59
1-7	1.79	2-7	0.64	3-7	0.07
1-6	1.20	2-6	1.57	3-6	0.90
1-5	8.23	2-5	0.26	3-5	1.88
1-4	8.07	2-4	0.93	3-4	2.53
1-3	7.42	2-3	1.06	3-3	7.82
1-2	6.57	2-2	1.82	3-2	0.80
1-1	6.24	2-1	6.00	3-1	6.85

この予備実験では、3 回の計測で各地点の状況が微妙に変化していることがわかった。具体的には、監視装置に近い観測地点で RSSI 値が良好であるとは限らないことや同じ観測地点でも数分後には RSSI 値が増減していることがわかった。よって、時間と状況に応じた通信制御の必要性が確認された。

それぞれの観測地点では良好な地点は -68dBm で 8Mbps, -70dBm 以上では 7Mbps の帯域が確保できている。監視装置で収集したデータの量は、メディアコンバータを監視対象としたシステムの場合、MQTT のデータ形式である Topic

データとして、Blob のカウント数、タイムスタンプ、LED の画像ファイル等を合わせて 13Kbyte であり、1 日で約 7.2Mbyte, 1 ヶ月で約 220Mbyte である。仮に 1 日ごとに移動ロボットが巡回する設定であった場合には約 10 秒程度の停止時間を確保できればデータの交換が完了する。

今回の実験環境では、通信に適した RSSI は -70dBm 周辺が最適値であると考えられる。本システムでのデータ転送には -70dBm 以上の電波強度が必要であると考えられるので、移動ロボットはそれを満たす地点まで移動する必要がある。

4.5 移動ロボットと監視装置間の通信について

移動ロボットと監視装置との通信について以下のように定義する。通信の手順を図 10 に示す。

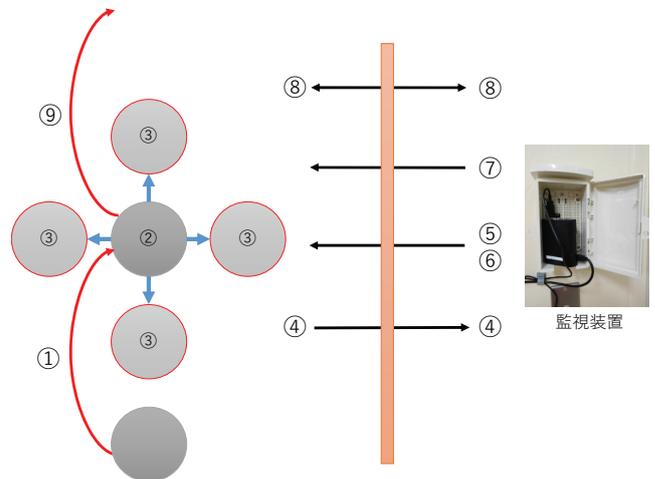


図 13 移動ロボットと監視装置との通信手順

なお、移動ロボットは、SLAM を利用して環境地図を作成し、監視装置の近傍の任意の場所をウェイポイントとして設定し、指示通り移動できるものとする。

- ①移動ロボットは環境地図をもとに監視装置の近傍に移動し停止
- ②移動ロボットは、監視装置の MAC アドレス情報を元に周囲の RSSI 値を確認
- ③移動ロボットが監視装置と通信する最適な位置を探索し、RSSI が -70dBm 以上の位置で停止
- ④移動ロボットと監視装置間で Hello パケットを交換
- ⑤監視装置で送信するファイルの全体容量を計算
- ⑥監視装置は必要となる通信容量を移動ロボットへ送信
- ⑦移動ロボットと監視装置間で監視データの同期
- ⑧移動ロボットと監視装置間で通信完了パケットを交換、通信プロセスを終了
- ⑨次のポイントへ移動

このうち、手順②の RSSI の確認は以下の手順で行われる。

■RSSI 値による探索アルゴリズム

1. 停止した地点の RSSI 値を取得
2. 前後左右に移動, 各地点の RSSI 値を取得
3. 5つのうちで最も高い RSSI 値を選択
4. 万々5つの RSSI が同じ値の場合, 停止位置で通信開始

5. 通信制御を考慮した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 13 に示す。システムは、2.2 で示したシステムの構成と同様に、監視装置、移動ロボット、サーバ、管理者端末（監視データ表示、ロボット制御の 2 台）で構成される。

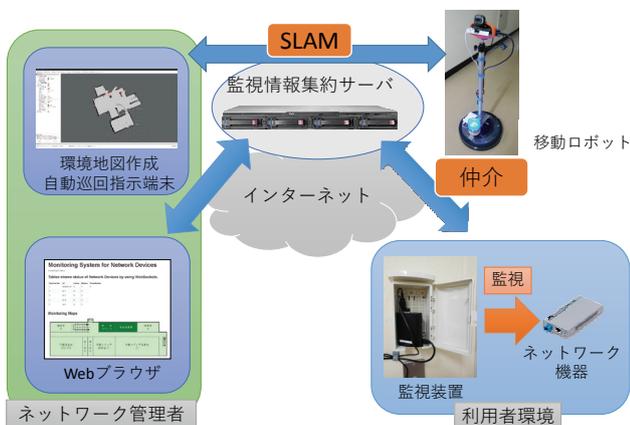


図 14 監視システム概略図

本研究では、ロボットフレームワークとして ROS (Robot Operating System) [7]を採用する。SLAM による事前の環境地図作成や自動巡回プログラムは、管理者端末で行う。

5.2 通信方式

5.2.1 監視データの通信方式について

監視装置と移動ロボット間、移動ロボットとサーバ間の通信には、MQTT(Message Queue Telemetry Transport)[9]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（出版購読モデル）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[10]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 15 に監視データの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 と Broker を兼務する。移動ロボットは Broker, 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、監視装置と移動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。サーバは、移動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。

監視装置と移動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。移動ロボットは、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。移動ロボットとサーバの間の通信は移動体通信回線を用い、このネットワーク上で MQTT を利用する。

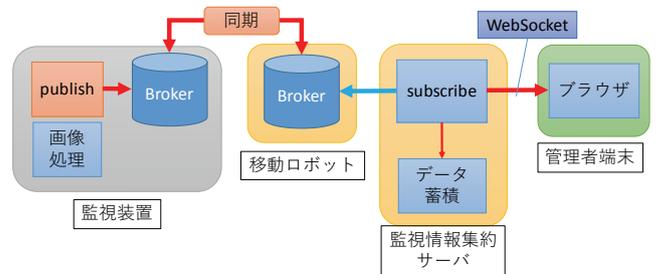


図 15 監視データの通信方式

5.2.2 移動ロボットの通信方式について

移動ロボットは移動体通信回線を利用する。移動ロボットと管理者端末との通信はセキュリティ面を考慮するため、暗号化ネットワークを構成する OpenVPN[8]を採用した。

5.3 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、Grissetti ら[11]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。

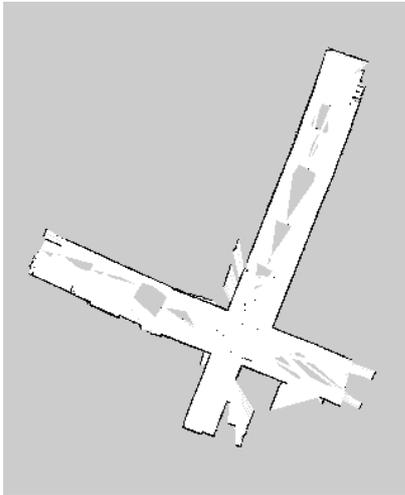


図16 gmappingにより作成した環境地図

5.4 ウェイポイントとロボットの探査移動の実装

ROSでのウェイポイントの実装はactionlib[12]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。また、移動ロボットのRSSI値探査のために、ROSで前後左右に移動する命令を記述した。移動ロボットの動き幅は、4.3節の予備実験で行った30cmの範囲となるよう調整した。

6. 実験

本章では、前章で述べた監視システムを用い、埼玉大学で運用しているメディアコンバータを監視対象とした実験について述べる。

6.1 自動巡回システムにおける通信制御の比較実験

提案手法を採用した場合と、採用しなかった場合の状態を比較する。実験場所は予備実験を実施した情報メディア基盤センター2Fの2箇所の監視装置設置箇所を用いた。各監視装置にはあらかじめ1日分の監視データ(7.2Mbyte)を蓄積する。一つは、提案手法を採用してデータを取得する(条件A)。もう一つは、提案手法からRSSIの探索手順をはずして移動ロボットを停止させ、データを取得する(条件B)。各ポイントにおけるデータ収集にかかる時間を計測した。比較の実験は各3回実施した。表3に比較実験の結果を示す。つまり、表3のうち、Bは4.4節の図10の手順②と③を含んでいない。

表3 実験による通信時間の比較

試行No	手法	監視装置1[s]	監視装置2[s]
1	A	8.2	9.2
	B	60	72
2	A	10.7	8.5
	B	87	60.2
3	A	37	11.2
	B	10.5	56.8

実験結果より、提案手法を用いたAではRSSIの値が良好な場所でデータの転送が行われていることを示している。しかし、3回目の実験では監視装置1において提案手法よりも、RSSIの探索手順を用いない場合のBのほうが上回るという結果となった。これは移動ロボットの移動幅が現状では固定されているためであると考えられる。

7. 本研究における考察

本章では本研究における考察について述べる。

7.1 RSSIによるウェイポイントの実現性

現状ではレーザ測距センサーを用いて、あらかじめ環境地図を作成してウェイポイントにより監視装置の設置している近傍まで移動する方法をとっている。今回採用したRSSIによる手法を応用し、電波強度が強い場所をポイントとして巡回する方法が考えられる。

7.2 移動ロボットの探索の動き幅の決定方法

提案手法では、移動ロボットが監視装置と通信するために、前後左右に位置を移動し最適な通信箇所を探索する。この探索の動き幅は、現状では固定化されている。この動き幅を臨機応変に調整する必要がある。これには、環境地図を作成する際にRSSIのデータを事前に収集し、機械学習の手法を活用して動き幅を自動調整することが考えられる。

7.3 サービスの実現性とコスト比較

先行研究である文献[1]の各監視装置に移動体通信回線を用いる方法と本稿の提案手法のコストを比較する。移動体通信回線として、監視装置で用いる回線はSORACOM Air[20]で算出した。移動ロボットのSIMカードは、現在実際に用いているOCNモバイルONE[21]で算出した。表4に結果を示す。単純な比較は難しいが、初期費用を含めて検討した場合、移動ロボットが30台の監視装置を監視できれば、本稿の提案手法である移動ロボットによる監視情報の収集の優位性が主張できるものと考えられる。

しかし、この比較には注意が必要である。移動ロボット

を長時間動作させる場合、一定期間モーターを休ませる必要がある。また、移動ロボットのバッテリーを充電する時間を考慮する必要がある。よって、現実的には複数の移動ロボットを交互に利用して監視を行う必要があると考えられる。

表 4 監視装置に移動体通信回線を用いる場合と本稿の提案方式を用いた場合のコスト比較

監視装置に移動体通信回線を利用する場合	本稿の提案手法を用いる場合
※SORACOM Airを利用した場合 初期費用 USBドングル1台あたり約5,000円 ランニングコスト (カッコ内はUSBドングル費用) 10枚で約14,000円 (50,000円) 30枚で約40,000円 (150,000円) 50枚で約67,000円 (250,000円)	初期費用 移動ロボット1台約200,000円 ランニングコスト SIMカード 1枚約1,000円 (月)

- ※注意
- ・ランニングコストは、SORACOM Air for セルラー基本料金にSIMカードの初期費用が含まれています。(利用日数30日)
 - ・SIMカードはデータ通信のみです。
 - ・速度クラスはs1.minimum(32Kbps)です。
 - ・データ量は日中が15600KB,夜間が3120KBです。

移動ロボットの代わりに動力として、人が監視データの収集を行う場合を想定すると、5分ごとに廊下を移動する必要があり、その人手が占有されてしまうことになる。人件費を考慮すると移動ロボットと比較しても高コストとなる。

7.4 管理者端末の問題

現状で管理者端末は、監視データ表示、ロボット制御の2台が必要となる。監視データ表示は移動ロボットの数に関係がなく、管理者の専用端末でなくとも、大画面に表示して情報センターの人員で監視状態を確認する方法がとれる。しかし、ロボット制御端末は1台の移動ロボットにつき1台が必要である。これらを解消する手法については別途検討を進めたい。

8. 関連研究

Falcon Eye[13]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[14]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、移動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[15][16]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。

移動ロボットにRSSIを利用した研究[17][18]がある。しかし、既存研究はRSSIを位置推定の指標として用いており、本研究のようなワイヤレスセンサーとの通信最適化に利用する視点とは異なる。

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、RSSIの受信強度を移動ロボットが探索することによって、最適な通信を確保する手法を提案した。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、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] 小川康一, 吉浦紀晃: 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, インターネットと運用技術 (IOT), (2017年9月発表予定)
- [4] Coexistence between Version 1, Version 2, and Version 3 of the Internet-standard Network Management Framework, The Internet Society, 2003.
- [5] IntelNUC(online), available from <https://www.intel.co.jp/content/www/jp/ja/products/boards-kits/nu.html> (accessed 2017-11-12).
- [6] 鳴海宏理, 藤井雅弘, 渡辺裕: 複数の受信強度観測に基づく人の存在検知システムの開発, 第73回全国大会講演論文集, pp.269-270(2011).
- [7] 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).
- [8] 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).
- [9] OpenVPN: Open Souce VPN(online), available from <https://openvpn.net/> (accessed 2017-09-19).
- [10] MQTT (online), available from <http://mqtt.org/> (accessed 2017-09-19).
- [11] Mosquito (online), available from <https://mosquito.org/> (accessed 2017-09-19).
- [12] 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).

- [13] actionlib(online) , available from <<http://wiki.ros.org/ja/actionlib/>> (accessed 2017-09-19).
- [14] 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).
- [15] 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).
- [16] 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).
- [17] 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).
- [18] E. Menegatti, A. Zanella, S. Zilli, F. Zorzi, and E. Pagello:Range-only SLAM with a mobile robot and a wireless sensor networks., *International Conf. on Robotics and Automation (ICRA)*, pp. 1699–1705(2009).
- [19] N. Zhou, X. Zhao, M.Tan: RSSI-based mobile robot navigation in grid-pattern wireless sensor network, *Chinese Automation Congress (CAC)*, pp.497-501(2013).
- [20] SORACOM Air, available from <<https://soracom.jp/services/air/>> (accessed 2017-11-13) .
- [21] OCN モバイル ONE, available from <<http://www.ntt.com/personal/services/mobile/one/data.html>> (accessed 2017-11-13) .