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]　　吉浦紀晃 [1,2]

概要：大学では，利用者が様々なネットワーク機器を利用している．このため，障害発生時には解決方法が多岐に渡り，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，画像処理と機械学習を利用したネットワーク機器監視手法を提案している．この手法を実装した監視機器は，監視するための専用のネットワークの確保が課題であった．そこで本論文では，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．

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

KOHICHI OGAWA[1,2]　　NORIAKI YOSHIURA[1,2]

1. はじめに

大学などの教育機関において，学術情報基盤は教育研究を支える重要な要素のひとつである．中でも学内ネットワーク（以下，ネットワーク）は，インターネットや学内サーバへの接続に必須であり，教職員や学生が講義や文献検索，研究・実験などに利用している．このため多くの大学では，ネットワークを情報センターが独自に環境を整備している.大学は企業と比べて自由度の高い利用環境にある．各大学で情報セキュリティ規則や倫理規定が定められているが，一般的に企業ほどの接続制限はなく，利用者の裁量に委ねられている．このため利用者は，各自が用意したネットワーク機器を利用してネットワークに接続している．

このような環境では，利用者の不注意によりネットワーク障害を引き起こすことが多い．利用者の環境におけるネットワーク障害は,ネットワークに繋がらなくなる場合や,極端にネットワークが遅くなるなどの現象によって発覚する．この障害の多くは，イーサネットスイッチのループ，ネットワーク機器の故障，LAN ケーブルの抜け，ネットワーク機器の電源抜けなどが利用者の不注意が原因である．しかし，利用者は障害の原因を特定できないため，ネットワーク障害を解決することは難しく，情報センターに問い合わせる．ネットワーク管理者が個別に利用者の部屋に出向き，障害対応せざるを得ないのが現状である．

このようなネットワーク管理者の負担を軽減するため，我々はシステムの管理運用の自動化を検討する中で，ネットワーク管理者の障害解決の際の振る舞いに着目した．管理者が管理機能のない機器の異常を調べる方法＝「目視」によって機器が正常か異常かをリアルタイムに判別する方法[1]を提案している．この方法を基に画像処理と機械学習によるネットワーク機器監視手法についての研究[2]を進めているが，ネットワーク機器を監視するための専用のネットワークの確保が課題であった．

そこで，本論文では，移動ロボットにより監視装置の周囲を巡回することによって，監視装置の情報を収集する手法を提案する．手法の適用例として，著者がネットワーク管理を行っている埼玉大学（以下，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通して本提案手法の有用性を述べる．

2. 研究背景

本章では本研究の背景について利用者環境の障害とその対応について述べる．

2.1 障害対応の人員不足とコストの問題

大学という教育研究機関の特性上，ネットワークは平日だけでなく休日深夜においても定常的に利用される．しかし，障害対応やサポートにあたる職員の勤務時間は定められており，対応時間帯が限られている．障害対応や利用者サポートを外部企業に委託する場合でも問題がある．専用のサポートデスクを設置する場合は年間で相当額の費用がかかる.保守費用にかけられる財源は年々減少傾向にある．また，障害対応にかかる時間が対応ごとにまちまちであるため，費用の見積が困難で個別の対応を依頼できない．

少数の管理者でネットワークを管理しているような大学では，利用者のネットワーク環境を手厚く支援するまで手が行き届かないのが現状である．これまで利用者の障害対応は，サポートを実施する人員の確保や，障害の内容が多種多様であるため，コスト面からも積極的な対応が行われてこなかった．大学の情報インフラは，少数の管理者で

1 埼玉大学情報メディア基盤センター
2 埼玉大学大学院理工学研究科

Copyright (c) 2017 by the Information Processing Society of Japan

運用されており，管理者の作業負荷が増大するばかりである．たとえば，本学のネットワーク運用にあたるスタッフは，専任スタッフが 1 名で他数名のスタッフが専任スタッフを支援している．ひとたび障害が発生すると，同時に複数の障害対処は難しいため，順次対応を実施していくことになる．すぐに解決に至らないため，利用者の不満が蓄積することとなる．

このような背景から，利用者に対する個別のサポートは後回しになりがちである．しかし，利用者が抱える障害を放置し，障害が継続することによって大学のネットワーク全体へ悪影響を及ぼすこともある．ネットワーク機器自体が不明なパケットを大量に送出する例や複合的に障害を発生させる例が報告されている．ネットワーク全体の不具合は教育研究への影響が大きいため，利用者への対応は課題となっている．

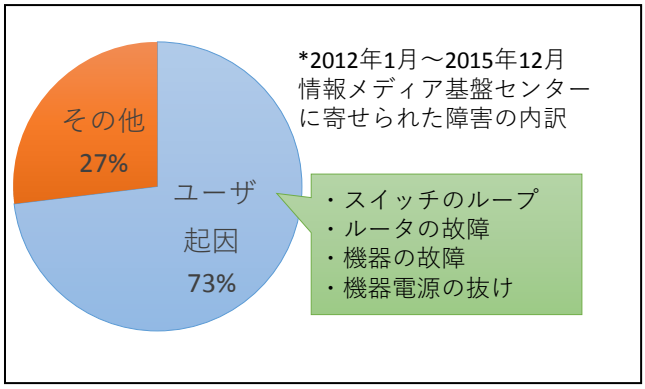

図 1　利用者からの障害問い合わせ原因の内訳

2012 年から 2014 年にかけて埼玉大学情報メディア基盤センターに寄せられた大学内の利用者からのネットワーク障害の相談, 問合せに関して, その原因を集計したところ, 全体の 73%の障害が利用者の不注意に起因するものであることがわかった（図 1）．主な障害の原因は，研究室内のイーサネットスイッチのループ，ルータの故障，ネットワーク機器の電源の抜けなどである．利用者が起こした障害対応は未知の機器や構成を含むため，ネットワークに関する専門の知識が必要であるばかりでなく，経験と勘に依存する場合が多い．ほとんどの場合，研究室の管理者でも把握できていない．

2.2　利用者のネットワーク機器の管理機能不足

通常，ネットワーク障害の検知は，管理ツールを用いた監視システムで行われる．監視システムとしては，オープンソースソフトウェアでは Nagios[3]や Zabbix[4]が，商用ソフトウェアでは JP1[5]や Tivoli[6]などがよく利用されている．監視システムでネットワーク機器を監視する場合，ネットワーク機器が備えた管理機能として，SNMP（Simple Network Management Protocol）[7]といった監視プロトコルを用いて，機器の死活監視やネットワークの状態を確認する方法が用いられる．しかし，利用者が用意するネットワーク機器は，機能が最小限であり，SNMP などの管理プロトコルや管理機能を備えていない場合が多い．利用する機器は利用者の裁量で決まるため，メーカーや機器も多種多様でかつ頻繁に入れ替えが行われる．ネットワーク管理者が初めて目にするネットワーク機器も存在する．このため監視システムの利用は難しい．仮に，利用者に管理機能を持つネットワーク機器を利用しても，監視対象となるネットワーク機器が多く，管理が立ち行かなくなる．一部，ループを検知する機能をもつスイッチも発売されているが，利用者が積極的に導入する理由がない．

2.3　継続監視の必要性

利用者が，自身の行動が元で障害を引き起こした場合，その事実を受け入れがたい場合がある．しかし，ネットワーク管理者がずっと利用者の環境を注視していられないため，事象の時系列的な動きを確認できず，利用者が納得するような解決方法の提示に至らない．慢性的に障害が発生するような利用者環境では，障害対応が長期間に及ぶこともある．

3.　提案手法

本章では，ネットワーク機器を監視するための提案手法について述べる．

3.1　画像処理による監視手法

通常，ネットワーク管理者は障害の状況を把握する際に，問題がありそうなネットワーク機器を目視によって確認している．そこで，管理者の目の代わりとなるカメラを用いる. カメラは小型コンピュータに接続して得た画像を保持，分析に用いる．ネットワーク機器の状態を自動的に把握する方法を提案する．

ネットワーク機器の状態を確認するためには，ネットワーク機器の LED ランプを確認し, 正常な場合と異常な場合を保持しておく．本提案手法では，点灯表示の違いを利用する．たとえば，本学で利用している利用者側のメディアコンバータ[8]には, 4 つの LED が備わっている. それぞれ，電源ランプ，光のリンクアップ，イーサネットポートのリンクアップ，リンクスピードランプである．図 2 のようにすべての LED が点灯している状態が正常状態である．

図 2　メディアコンバータの正常状態

Copyright (c) 2017 by the Information Processing Society of Japan

一方で，図 3 に示すように LED が不完全な状態で点灯する場合がある．これらは利用者に故意に電源や，LAN ケーブルもしくは光ファイバを抜いたことに起因する．これらの LED をオブジェクトとして識別して異常を検知する．

図 3　メディアコンバータの異常時の LED 表示パターン（左上：電源断，左下：電源接続のみ，右上：光リンクのみ，右下：LAN 接続のみ）

メディアコンバータは，LED の点滅状態を把握することで 5 つのパターンに分けることができる（表 1）．

表 1　メディアコンバータの状態パターン一覧

パターン	異常				正常
	1	2	3	4	5
電源	×	○	○	○	○
光Link	×	×	○	×	○
LAN	×	×	×	○	○

メディアコンバータがどのような状態かを把握するために，情報を収集する必要がある．具体的には，LED の点灯位置を把握するために，LED のみを検出したい．そのためには撮影した画像を白黒で表現する二値化処理を行い，LED の位置を検出しやすくする．二値化処理では，画像の明るい部分は白く，暗い部分は黒く表示される．二値化処理後，LED が白く一連の繋がった要素として表示されるようになる．この一連繋がった要素を「ブロブ」（Blob）という．ブロブの把握によって，物体の大きさや姿勢状態の把握が可能である．画像処理では，ブロブの形状を数値化で表現する．また，1 つの画像内に複数のブロブが存在するときは，各ブロブに一意の識別子をつけて個々のブロブを識別するラベリング処理が行われる．このように，LED をブロブとして認識し，個々の LED をラベリング処理によって識別可能であれば，イーサネットスイッチの状態を把握できる．図 4 はメディアコンバータの LED 点灯位置を把握するための処理の流れを示したものである．

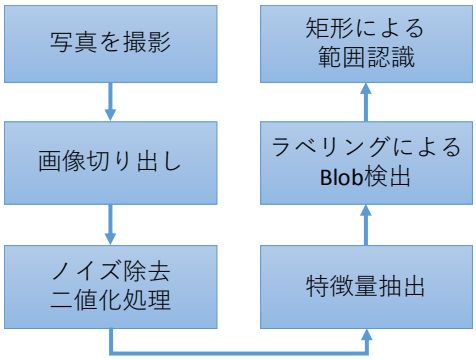

図 4　LED 点灯位置の把握処理の例

図 5 にラベリング処理によってメディアコンバータの LED を検出する例を示す．矩形によって LED の範囲が正確にプロットされていることがわかる．

図 5　ラベリング処理による LED 検出の例（左：元画像，右：LED 検出後の画像）

3.2　移動ロボットによる情報収集手法

前節の画像処理による提案手法により LED ランプの監視が可能となる．しかし，監視したデータをもとにネットワーク管理者が判断を行うためにはデータを収集･集約し，実際に監視対象の機器の状態を把握するプロセスが必要となる．

監視対象の機器自体のネットワークを利用する方法も考えられるが，監視対象の機器が通信不能になった場合に監視データを送信できない．そのため，監視箇所に専用のネットワークを用意する必要がある．第三世代移動通信システム（3G）の回線を採用する方法が考えられる．近年は安価な IoT デバイス向けの SIM カードも販売されているが，監視箇所ごとに回線を用意する必要があり，システムを運用するコストが高い．

そこで，監視装置の設置箇所周辺を移動ロボットが巡回しながら情報収集する方法を提案する．筆者はこれまでにクラウドロボットサービスの研究を進める中で，大学構内を遠隔地から訪ねて仮想体験することができる,「キャンパス案内サービス（Remote Open Campus）」の開発に携わってきた[9]．この知見を応用することにより，ネットワーク管理者が大学内を物理移動することなく各メディアコンバータの状態を把握可能となる．

Copyright (c) 2017 by the Information Processing Society of Japan

4. 関連研究

ネットワークの障害を検知する方法には，ネットワーク機器から収集したログを機械学習やデータマイニングの手法で分析する方法[10]がある．しかし，ネットワーク機器のログ出力機能やSNMPなどの監視プロトコルを備えた機器に限定され，利用者が普段使う簡易的な機器を網羅できない．一部市販のルータ等にログを出力する機能は用い合わせているが，継続して収集するためには別途サーバが必要であり，検知した際には監視専用のネットワークが必要となる．また，端末から流れるパケットを分析することにより異常検知を行う方法[11]や，端末にエージントを導入して監視する方法があるが，障害の原因が端末にある場合に限られ，この方法ではネットワーク機器に問題があるとは判断できない．

データセンター管理の観点では，移動ロボットを用いる研究がある．IBM[12, 13]は本研究と同様にルンバを元に移動ロボットを作成し巡回させている．ロボットにより監視を目的とする手法[14]も研究されている．しかし，これらは主にデータセンター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．また，John ら[15]はデータセンターにおいてサーバの LED ランプ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．本研究とは異なり，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．無線センサー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[16]が提案されている．

本研究のような通信途絶を想定した対応策の一つとして，DTN（Delay Tolerant Network）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が提案されている．本研究では各構成要素間の通信方式として，災害時に通信途絶した場合に通信拠点を移動しデータ収集し通信可能な場所で送信先に運ぶ，Data Mule[17]とメッセージフェリーの手法[18]に着目した．この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る．

5. 移動ロボットによる監視システムの実装

本章では前章で述べた提案手法を用い実装したメディアコンバータ監視システムについて述べる．

5.1 メディアコンバータ監視システム

提案手法に基づき，ネットワーク管理者が利用可能なシステムとして，「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，情報収集ロボット，監視情報集約サーバの 3 つで構成される．システムの概要を図 6 に示す．監視装置と情報収集ロボットはアドホックネットワークを構成し，通信可能な状態とする．監視装置は小型コンピュータにより構成し，監視対象のメディアコンバータの付近に設置する．監視装置に Web カメラを接続し，監視対象のメディアコンバータの状態を定常的に撮影する．監視装置内で撮影した画像の二値化，データのノイズ除去やサイズの縮小などの前処理を行い，ラベリングにより LED ランプの状態を把握する．監視装置が把握したデータを情報収集ロボットが巡回し収集する．情報収集ロボットは通信可能な箇所に移動して収集したデータを監視情報集約サーバに送信する．監視情報集約サーバとの通信は学内の無線 LAN アクセスポイントを利用する．

現状では，情報収集ロボットはネットワーク管理者が自席にて遠隔操作する．遠隔操作はロボットに備えたカメラで確認しながら行う．

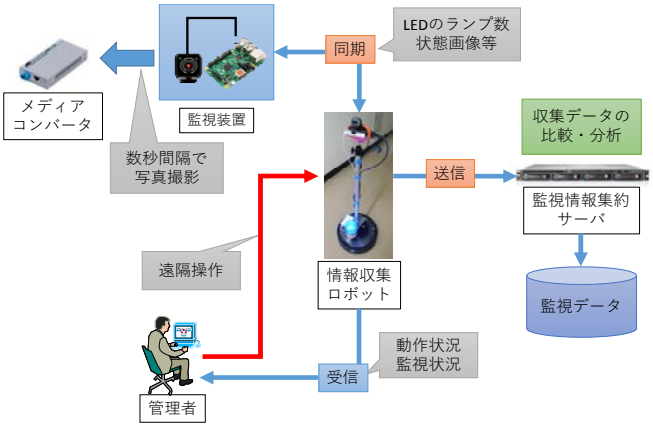

図 6　メディアコンバータ監視システム構成概要図

5.2 監視装置による各メディアコンバータの監視

監視装置は，LED のランプを監視するため，Raspberry Pi に USB 接続の Web カメラを取り付け，監視を行う．監視装置について図 7 に設置例を示す．不特定多数の利用者が出入りするオープンスペースには，ボックスを設置して施錠する．実装には画像ライブラリとして OpenCV[19]を用いた．プログラミング言語は Python 2.7 を用いた．OpenCV のブロブ検出機能を利用してブロブを特定し，LED ランプのつき具合を把握する．

図 7　監視装置の設置例

Copyright (c) 2017 by the Information Processing Society of Japan

監視装置の仕様は以下の通りである．

- コンピュータ：Raspberry Pi 3
- カメラ：BSWHD06MBK
- 無線 LAN：WLI-UC-GNM2
- OS：Rasbian Jessie

5.3 Web カメラのアタッチメント

メディアコンバータの LED ランプを監視するためには，最適な位置に Web カメラを取り付ける必要がある．そこで，金具を組み合わせたアタッチメントを設計，取り付けた(図 8)．監視対象であるメディアコンバータの組み込みネジを利用して，メディアコンバータ自体に金具を直接取り付ける方法とした．これにより，監視システムを実現するためにメディアコンバータの電源を停止する必要がなく，短時間で装着ができ，既存の環境へ与える負荷を最小限に抑えることができる．

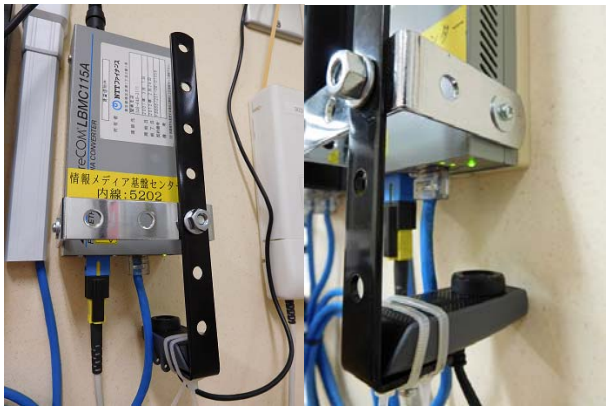

図 8　Web カメラのアタッチメントによる装着例

5.4 移動ロボットによる情報収集の方法

管理者がリモートから遠隔操作によって情報収集ロボットを動作させる．情報収集ロボットの稼動部には iRobot 社のルンバを用いた．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ーフェースを持っている．このインターフェースにシリアルケーブルを接続することができ，ROI（Roomba Open Interface）と呼ばれる規格に従い制御が可能となっている．今回は，ルンバ 780 を採用した．

図 9 に情報収集ロボットの全体像を示す．情報収集ロボットの制御および情報収集のプログラムはルンバの上部に取り付けられた Raspberry Pi によって行う．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）を用いる．Raspberry Pi は，USB 接続の無線 LAN インターフェースが 2 つ取り付けられており，片方を監視装置との通信に，もう片方を外部ネットワークと接続し，監視情報集約サーバとの通信に利用する．情報収集ロボットの遠隔操作時に走行状態と周囲の情報を確認するため，USB 接続の Web カメラを搭載している．

ルンバなどの家庭用お掃除ロボットを採用する利点としては，以下の点があげられる．

- 一般販売されており入手がしやすい
- 他の実験用移動型ロボットと比べて安価
- 制御のための規格がオープンである
- 様々なロボットフレームワークとの親和性が高い

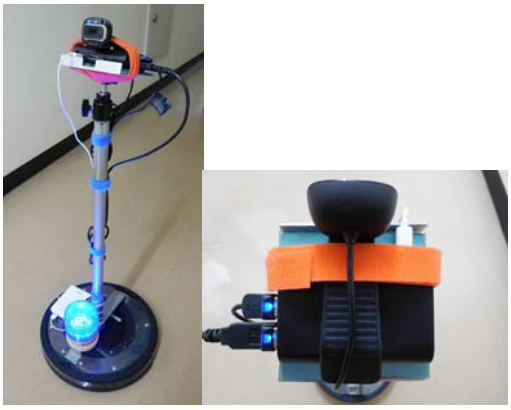

図 9　情報収集ロボットの概観
（左：全体像，右：制御部）

ロボットの走行制御には，ロボット用のオープンソースフレームワークの ROS(Robot Operating System)[19]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，ルンバなどのロボットとの親和性も高い．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．情報収集ロボットの仕様は以下の通りである．

- ロボット：ルンバ 780
- カメラ：HD3000
- コンピュータ：Raspberry Pi 2
- 無線 LAN：WLI-UC-GNM2
- OS：Ubuntu 14.04 LTS

5.5 各構成要素間の通信方式

監視装置と情報収集ロボット間の通信には，MQTT(Message Queue Telemetry Transport)[21]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[22]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

Copyright (c) 2017 by the Information Processing Society of Japan

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．

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．

MQTT では，メッセージはトピックという単位で定義される．取得したいデータがあれば，トピックを指定する．トピックの定義例を図 10 に示す．なお，後から管理者がメディアコンバータの状態について直接画像を確認・照合したい場合があるため，LED ランプの画像をトピックとして指定して取得できるようにした．

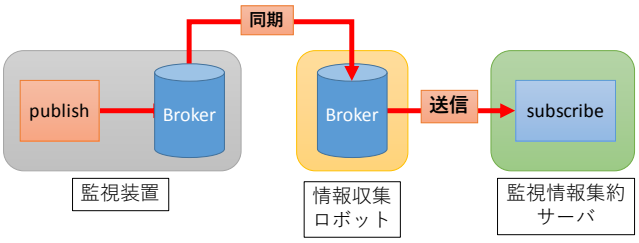

図 10　各構成要素間の通信方式

6. 動作実験

本章ではメディアコンバータ監視システムを用い，大学構内で行った実証実験について述べる．

6.1 実験環境

実験は，埼玉大学構内の工学部講義棟の 2 階で実施し，メディアコンバータが設置されている 5 箇所の部屋と部屋に接している廊下を利用した．廊下は全長 3,980mm である（図 11）．

図 11　実験に使用した建物の平面図

実験方法は，各部屋のメディアコンバータに監視装置と Web カメラをアタッチメントにより取り付ける．ロボットを走行させ，各監視装置からの情報を収集して監視情報集約サーバへ転送する．この一連の動作が正常に動作するか確認する．実験に際し，情報収集ロボットの操作は人が直接操作するものとする．キーボードもしくはジョイスティックで操作を行う．メディアコンバータのある以下 5 つの部屋に監視装置を配置した．(括弧内はホスト名)

- 監視装置 1(mon01)：演習室 4
- 監視装置 2(mon02)：学生自習室
- 監視装置 3(mon03)：学生ラウンジ
- 監視装置 4(mon04)：演習室 3
- 監視装置 5(mon05)：52 番講義室

本提案手法は，監視装置の通信経路がないことが前提条件である．そこで，ロボットと監視装置，監視装置間の接続性の有無を確認した．ロボットのスタート地点からは手前の 3 つの部屋（演習室 4，学生自習室，学生ラウンジ）の監視装置とは接続性を確認できたが，奥の 2 つの部屋（講義室 3 と 53 番講義室）の監視装置とは接続性が確認できなかった．これにより本提案手法の確認実験を実施する条件が整ったといえる．

6.2 実験内容

図 12 に実験概要図を示す．システム動作の確認方法として，ある一定時刻に廊下の端を起点として走行をスタートし，各監視装置の情報収集ロボットへの publish の時間を mosquito が出力するログにより確認する．また各監視装置から情報収集ロボットに対して ping を送信し，走行に応じてどのように変化するかを確認する．実験は，建物の利用者がいない夜間に実施した．

Copyright (c) 2017 by the Information Processing Society of Japan

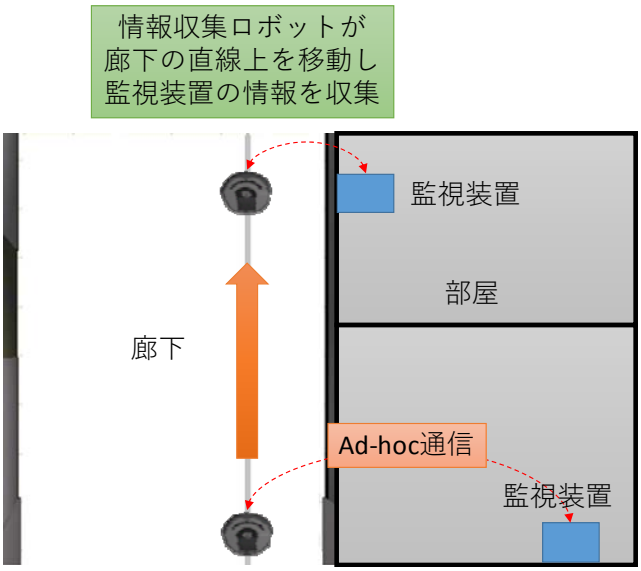

図 12　システムの実験概要図

図 13 のように廊下の側面の端から 550mm の箇所に移動ロボットを設置する．この 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．これをロボットが走行する基準とする．

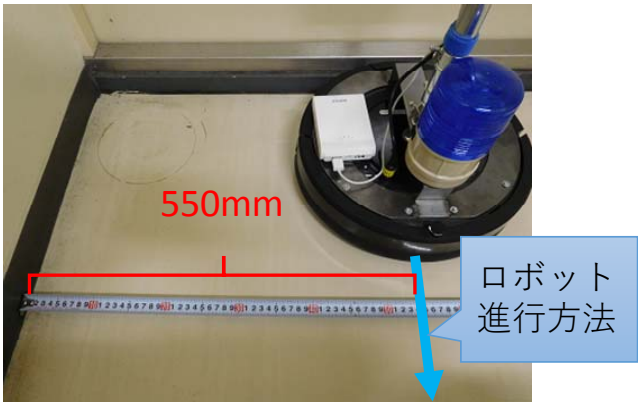

図 13　情報収集ロボットの走行箇所

7.　実験の結果と得られた知見

本章では前章の実験によって得られた知見について述べる．

7.1　走行の結果

5 回の走行実験の結果を表 2 に示す．廊下の端から端までは平均して 1 分 40 秒かかっている．廊下の端から端までは 39,280mm であることから，走行面の摩擦や誤差を考慮しない場合，情報収集ロボットの等速度は 392.8mm/秒であり，毎秒約 40cm 程度進むことがわかる．

表 2　情報収集ロボットの走行時間

実験回	開始時刻	終了時刻
1	23:41:00	23:42:40
2	23:44:00	23:45:40
3	23:47:00	23:48:40
4	23:54:00	23:55:40
5	23:57:00	23:58:40

監視情報の収集時刻と情報収集ロボットから各監視装置への ping の平均結果を図 14 に示す．監視装置 1 は情報収集がスタートしてから 30 秒以降，通信が安定しない状態が見られ，57 秒後には通信不能となった．監視装置 2 は情報収集ロボットとの位置がスタート地点から近いことから，監視装置 1 と同じ通信状態がしばらく継続するが，1 分を過ぎた当たりから安定しなくなっている．監視装置 3 は，情報収集ロボットのスタート時は通信が安定しないが，21 秒を過ぎたあたりから通信が安定し，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 1 分 7 秒以降であり，情報収集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 30 秒程度しか残されていないことがわかった．

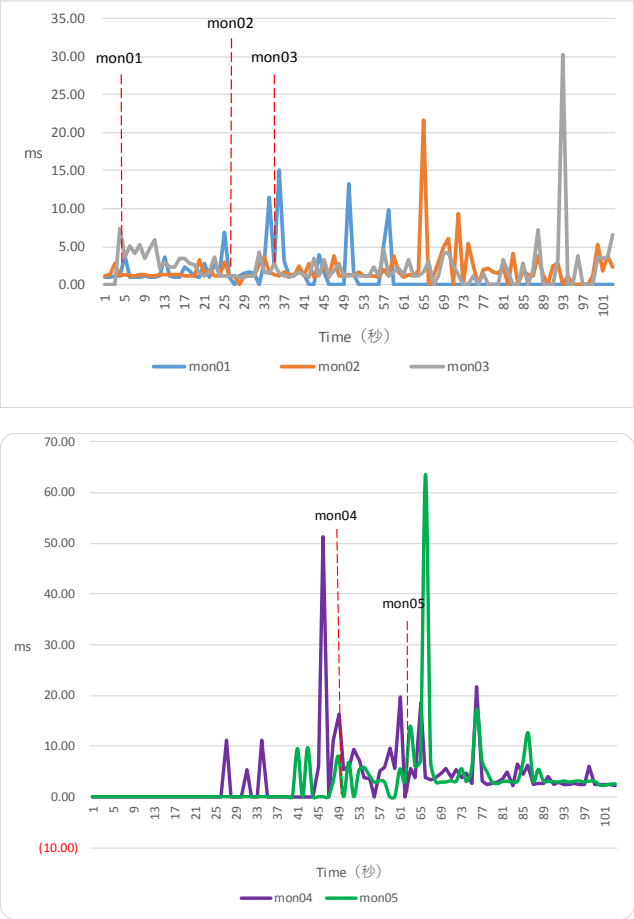

図 14　監視情報の取得時刻と情報収集ロボットから各監視装置への ping の結果（平均）
（上：監視装置 1～3，下：監視装置 4～5）

Copyright (c) 2017 by the Information Processing Society of Japan

図 14 内に赤い点線で情報収集ロボットと各監視装置の通信タイミングを示す. mosquitto のログ情報から情報収集ロボットが監視装置と通信し，正しくメディアコンバータの情報を受信できたことがわかった.

8. 本研究における課題と今後の展開

本章では，本研究における課題と今後の対応について述べる.

8.1 監視装置と情報収集ロボット間での通信方法

今回の実装では，情報収集ロボットがいつやってくるかが特定不可能であるため, 通信方式を工夫することにより，いつ情報収集ロボットが来てもデータ同期可能な方法をとった．しかし，今回の実験で，情報収集ロボットが移動した場合に収集可能なデータ量が限られることがわかった．このため，現在ロボットの近接状況と監視装置のデータ蓄積量に応じたメッセージ交換の手法を検討中である.

8.2 ロボットの移動方法

実験では，移動ロボットをネットワーク管理者が遠隔で走行させる方法を取った．しかし，実際の管理ではロボットが自律的に監視装置を巡回し，報告するような自動化の方法が求められる．これにはロボットの位置同定手法を確立する必要がある．ロボットに付随するカメラで撮影した周囲の画像や，Kinect などの Depth センサー，レーザー測距センサーなどを用い，環境地図を作成して自動巡回する方法を検証中である.

実装に使用したロボットフレームワークの ROS は, 実装例も多くドキュメントも備わっているが，各種のツールを用いるためには修得にある程度の時間を要する．ロボットの専門家でなくとも，通常のネットワーク管理者が利用できる方法を検討する必要がある.

9. まとめ

本論文では，利用者のネットワーク障害の解決の前提として，利用環境の把握と状態変化の視点から監視に焦点をあてた．その際，監視装置を用いること，監視装置の情報収集に移動ロボットを用いることによって，ネットワーク管理者が利用者の環境まで足を運ばずに状態を把握可能であることを証明した．本研究はネットワークの運用管理にとどまらず, LED ランプなどの表示部を持つ機器の監視を必要とする他の分野に応用可能であると考えている.

今後は，手法を整理しロボットの専門知識がなくともネットワーク管理者が監視システムとして利用可能な形態に実装を進めていく予定である.

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: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，研究報告インターネットと運用技術（IOT）, pp.1-7(2016).
[2] 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, 第 38 回情報処理学会インターネットと運用技術研究会（IOT），(2016).
[3] Nagios, https://www.nagios.org/
[4] Zabbix, http://www.zabbix.com/jp/
[5] JP1, http://www.hitachi.co.jp/Prod/comp/soft1/jp1/index.html
[6] Tivoli, http://www.ibm.com/software/tivoli
[7] Coexistence between Version 1, Version 2, and Version 3 of the Internet-standard Network Management Framework, The Internet Society, 2003.
[8] 小川康一, 吉浦紀晃:埼玉大学における光ファイバ直収型ネットワークの運用経験について，研究報告インターネットと運用技術（IOT），2015-IOT-30，pp. 1-8(2015).
[9] Y. Kato.: A remote navigation system for a simple tele-presence robot with virtual reality, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp. 4524-4529(2015).
[10] 木村達明:Syslog 分析による大規模ネットワーク故障診断技術-ネットワーク機器ログデータの活用-, 電子情報信学会会誌, Vol.98, No.9, pp.823-828(2015).
[11] 國吉賢吾,森井昌克，“端末監視によるホームネットワーク異常検知システム,”，研究報告ユビキタスコンピューティングシステム（UBI），pp.39-46(2009).
[12] 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, *International Conference and Expo on Emerging Technologies for a Smarter World (CEWIT)*, pp.1-6(2013).
[13] 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)*, pages 81-90(2011).
[14] 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, *International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI)*, pp. 259-263(2016).
[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*, pages 339-340. ACM(2013).
[16] Y. C. Tseng, W. T. Lai, C. F. Huang and F. J. Wu.: Using Mobile Mules for Collecting Data from an Isolated Wireless Sensor Network, *International Conference on Parallel Processing*, pp. 673-679(2010).
[17] G. Anastasi, M. Conti and M. Di Francesco.: Data collection in sensor networks with data mules: An integrated simulation analysis, *IEEE Symposium on Computers and Communications*, pp. 1096-1102(2008).
[18] D. Bhadauria and V. Isler.: Data gathering tours for mobile robots, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 3868-3873(2009).
[19] 画像ライブラリ OpenCV，http://opencv.org/
[20] 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, *ICRA Workshop on Open Source Software*, (2009).
[21] MQTT, http://mqtt.org/
[22] Mosquitto, https://mosquitto.org/

Copyright (c) 2017 by the Information Processing Society of Japan