

移動ロボットと監視装置を利用した無線 LAN システムの 運用管理支援手法の提案

小川康一^{†1} 吉浦紀晃^{†2}

概要：大学で利用されている集中管理型の無線 LAN システムは、通常専用の管理システムで運用する。しかし、管理システム上では正常と表示されているが、実際のアクセスポイントの動作に異常があるなど、管理システムの不具合により無線 LAN アクセスポイントの状態を確認できない場合がある。この場合、管理者は各アクセスポイントの設置箇所へ赴いて動作状態を確認する必要がある。この運用負担を軽減する一つの解決策として、本稿では、移動ロボットと監視装置を障害の状況や種類に応じて適用し、無線 LAN アクセスポイントの状態を LED インジケータの表示内容をカメラで撮影することによって、アクセスポイントの状態を把握する方法を提案する。移動ロボットを利用した監視では、無線 LAN アクセスポイントの特定に物体検知手法として深層学習を採用し、特定した箇所を録画することによって LED インジケータの点灯部分を分析する。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：無線 LAN アクセスポイント障害、ネットワーク監視、移動ロボット、深層学習、物体検知

A Method for Management of Wireless LAN System using Mobile Robots and Monitoring Devices

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

1. はじめに

無線 LAN は、スマートフォンやタブレットの普及に伴い、一般社会において広く利用されている。大学においても、教育研究を行う場面で活用が進んでいる。多くの大学では、情報センターが無線 LAN システムの整備を行っている。

大学や企業では、管理対象の無線 LAN アクセスポイント（以下、アクセスポイント）が多数となるため、無線 LAN スイッチを利用した集中管理方式が採用されている。運用管理は、専用の管理システムで運用管理が行われる。たとえば、Cisco 社のシステムでは Cisco DNA[1]が、HP 社のシステムでは AirWave[2]が管理システムとして用意されている。管理システムでは、各アクセスポイントの状態や接続端末の数、電波状態などを把握可能である。

埼玉大学（以下、本学）では、学内に 300 箇所のアクセスポイントを設置している。運用は情報センターが行っている。常時約 20 箇所のアクセスポイントが何らかの障害により停止している。主な障害の原因は、メディアコンバータの電源の抜け、パワーインジェクターの電源の抜け、アクセスポイント自体の故障である。これらの根本の発生源のほとんどは、利用者が故意に電源を抜いていることによる[3]。

本学ではこの対策として、耐震改修を実施した建物では、アクセスポイントの設置箇所は利用者が届かない上部へ移

動する対策をとっており、一定の効果をあげている（図 1）。しかし、このような建物は本学の構内全体の一部であり、まだほとんどのアクセスポイント設置箇所では利用者の手の届く位置に電源コンセントやメディアコンバータなどの機器があり（図 2）、たびたびネットワーク障害が発生している。

しかし、管理システム上では正常と表示されているが、実際のアクセスポイントの動作に異常がある場合や、管理システムの不具合によりアクセスポイントの状態を確認できない場合、不具合があっても実際に原因が把握できない場合がある。このような場合は、管理者が各アクセスポイントの設置箇所へ赴いて実際の動作状態を確認する必要がある。本学では、ネットワーク管理者が少なく、このようなトラブルを巡回して解決することが大きな負荷となっている現状にある。



図 1 アクセスポイントを高い位置に設置する例

^{†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



図2 アクセスポイントの電源や周辺機器

これまでに著者らは、ネットワーク利用者が自身で用意したネットワーク機器の障害を継続的に監視し、原因を把握するために、ネットワーク管理者が行う目視の行動に着目し、カメラと小型コンピュータを利用した監視装置を提案してきた[4]。ネットワーク機器と同様に、アクセスポイントは、多くの場合管理者に状態を知らせる LED インジケータ（以下、LED）を備えており、この表示パターンを分析することで状態を把握可能である。特に、LED の色を認識できれば、アクセスポイントの状態を把握が可能であると考えた。

本稿では、無線 LAN システムの運用負担を軽減する一つの解決策として、移動ロボットと監視装置を障害の状況や種類に応じて適用し、アクセスポイントの状態を LED の表示内容をカメラで把握する方法を提案する。この方法を実装し、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、本稿の前提となる著者らの研究について述べる。第3章では、提案手法について述べる。第4章では、提案手法に基づき実装方法について述べる。第5章では実装した仕組みを用いて実験とその考察を行う。第6章で課題について述べ、第7章で関連研究について述べる。第8章で本稿をまとめる。

2. 研究背景

本章では本稿の背景として、これまでに著者らが提案している提案手法、監視装置によるネットワーク機器の監視と移動ロボットによる情報収集について述べる。

著者らは、一般の利用者のネットワーク機器が SNMP[5]などの管理プロトコルをサポートしていないために、ネットワークの障害を監視することができない問題に対して、ネットワーク機器の LED の表示に着目し、画像処理により表示の変化を分析する方法を提案している。これを Web カメラと小型コンピュータを利用して監視装置として実装、移動体通信回線により監視情報を送信する方法を提案している。

この方法では、監視装置を複数展開する場合、移動体通信回線を複数用意する必要がある。そこで、監視装置と移動ロボット間の通信は無線 LAN 通信で行い、移動ロボットに

より情報収集する方法を提案している。

先行研究において、利用者が設置したネットワーク機器を監視する小型コンピュータとカメラを利用した監視装置（図3左）を提案している[4]。また、監視装置の近傍を巡回する移動ロボット（図3右）を用いることで、複数の監視装置の監視情報を1つの通信回線で収集する方式も提案している[6,7]。



図3 監視装置(左)と移動ロボット (右) の例

提案している移動ロボットの情報収集は、自己位置推定と環境地図の作成を行う SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) [8]を利用することで、自動巡回が可能である。SLAM は、移動ロボットにセンサーを搭載することで実現する。巡回地点の設定はウェイポイントで行う。

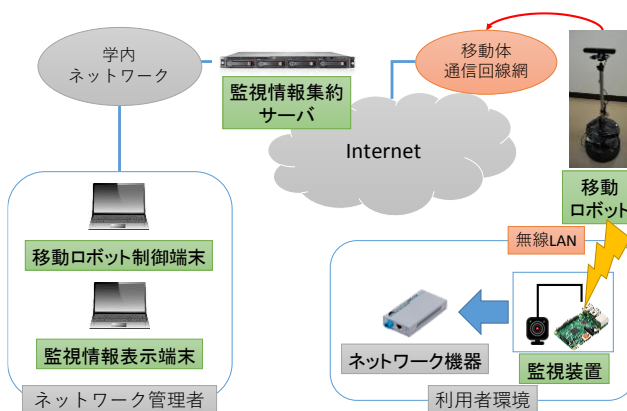


図4 監視システムの概要

実際の監視は、図4のようなシステムで実現する。利用者の環境において、監視装置を設置し、カメラでネットワーク機器の LED を取得する。監視装置で取得した監視情報は、巡回する移動ロボットが受け取り、移動体通信回線を用いてインターネット経由で監視情報集約サーバへ転送する。管理者は、移動ロボットの制御は移動ロボット制御端末で行い、収集した監視情報の表示は監視情報表示端末で行う。

3. 提案手法

本章では移動ロボットと監視装置を活用したアクセスポイントの提案手法について述べる。

3.1 アクセスポイントの監視方法

アクセスポイントの動作状況を把握するために、アクセスポイントのLEDの点滅状況を把握する方法を用いる。この把握には先行研究で利用した移動ロボットと監視装置を活用する。アクセスポイントの配置状況や障害の状態に応じて、移動ロボットと監視装置を使い分ける。これまでの著者らの提案手法を元に、改善・改良を加えることで実現する。

アクセスポイントは、メーカーごとに異なるが、LEDによって管理者に機器の状態を知らせる。例えば、シスコ社のアクセスポイント1140シリーズでは、ステータスLEDを備えており、状況により以下のように点灯する[9]。

- ・正常状態（利用者無）・・・緑（点灯）
- ・正常状態（利用者有）・・・青（点灯）
- ・異常状態・・・緑，赤，黄，オフの連続点灯

このパターンに着目し、アクセスポイントの状態を把握可能である。ただし、状態把握には色の認識が不可欠である。アクセスポイントのLEDは消滅と点灯を繰り返す際、LEDの光が強くなる。つまり、画像処理を行う際に矩形の大きさが変化する。プログラムでは、LEDの部分の矩形が中心にくるようにし、一番大きな矩形の色を把握する方法をとる。

この色の変化のパターンのうち、異常状態に絞り、どのような特徴があるか確認するための予備実験を行った。アクセスポイントに監視装置を取り付け、故意に障害を発生させる。カメラで一定期間LED部分の動画を撮影する。アクセスポイントの状態把握の流れは以下のとおりである。

1. 一定時間毎に動画（画像）を取得する
2. 矩形のうち一番面積が大きな矩形を抽出する
3. 矩形の中心座標情報を得る（x, y）
4. 座標上の画素色を取得する（BGR）
5. BGRのパターンが連続する場合に障害

予備実験の結果を図5に示す。30fpsの状態動画で撮影し、400フレームを収集した。それぞれのフレームに対して前述の動作手順を適用した。予備実験の結果、異常状態では、繰り返される特徴があることがわかった。

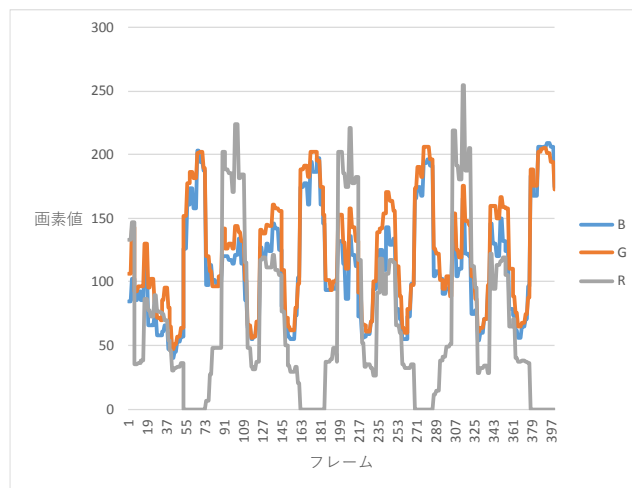


図5 異常状態の画素（BGR）の値

具体的には、50フレームから150フレーム、150フレームから250フレームの二つに着目すると、最初のピークでは、Rの値が0であるときにBGは高い値を示している。2つ目のピークでは、Rだけが高くなる。3つ目のピークではBGRともに2つ目のピークのBGとほぼ同値を示す。この繰り返しであることがわかった。

3.2 移動ロボットと監視装置による監視

アクセスポイントの動作状況を把握するために、移動ロボットを用いる方法を提案する。移動ロボットでの状態の把握は、アクセスポイントがオープンスペースなど、廊下から確認できる場合である。これ以外の場所については、先行研究と同様に監視装置を用いてアクセスポイントを監視する。

図6に移動ロボットにおける監視動作の概要を示す。移動ロボットは、環境地図をもとにウェイポイントでアクセスポイントの設置箇所に移動出来るものとする。

1. 移動ロボットはウェイポイントによりアクセスポイントの設置場所へ移動する
2. アクセスポイントを検出し、カメラで動画を収集する
3. 動画を分析し、アクセスポイントの状態を判別する

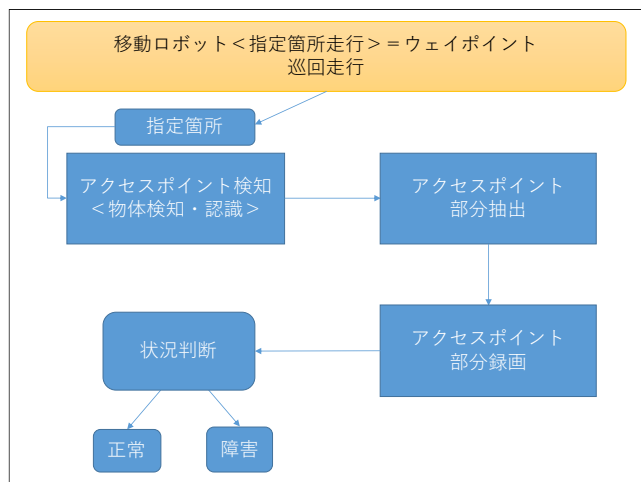


図6 移動ロボットによる監視動作の流れ

4. 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。

4.1 監視装置を利用した監視=色情報を利用した監視

小型コンピュータとカメラで監視装置を構成する。収集した監視情報は、巡回する移動ロボットで収集する。無線LANにカメラを取り付けるため、取り付け具を3Dプリンターで試作した(図7)。実際には無線LANアクセスポイントに取り付け具を引っ掛けてカメラを設置し、監視を行う。



図7 監視装置の例



図8 アクセスポイントのLED

前章で述べたとおり、色の情報を把握する必要がある。そこで、まず状態ごとに色情報を抽出する。そしてカメラで撮影したLED部分を抽出し、その部分の色があらかじめ抽出した色情報の範囲に収まっていれば、LEDが持つ特定の色であると考え、監視装置の様子は以下のとおりである。

る。

- Web カメラ : Buffalo BSW200MBK
- 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

4.2 移動ロボットを利用した監視方法

アクセスポイントを特定し、その状態をカメラ捉え検出する場合、移動ロボットを細かく移動させることは難しく非効率的である。そこで、サーボモータを利用したパン・チルト台を採用した(図9)。



図9 カメラを移動させるパン・チルト台

Web カメラは、オートフォーカスで解像度を上げるために、800 万画素のものを採用する。実際に実現する監視システムは、第2章の図4と同様の構成とする。

移動ロボットは、先行研究と同様に ルンバ 780[10]を採用する。ウェイポイントでアクセスポイントの設置地点を巡回できるものとする。移動ロボットは、先行研究と同様に本稿では、ロボットフレームワークとして先行研究と同様に ROS (Robot Operating System) [11]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。

4.3 アクセスポイントの状態特定方法

アクセスポイントの状態の特定は、前述の通り LED の色を基に検出を行えば把握可能である。しかし、その特徴は人が考えて抽出を行う必要があり、複数箇所アクセスポイントが設置されている状況では応用ができない。そこで本稿では、LED 点灯の特徴を柔軟に捉えるため、機械学習を用いる。

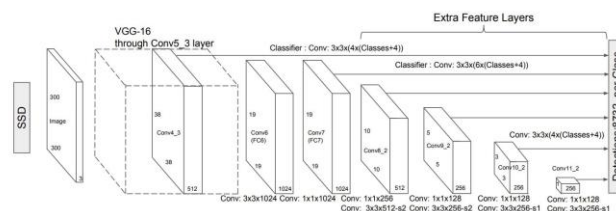


図10 SSD のCNN 構造[12]

アクセスポイントの状態特定に用いる物体認識は、今回は畳み込みニューラルネットワーク（以下、CNN）を採用した。CNNにより、カメラから得られる動画のフレームを直接分析し、アクセスポイントの状態を特定する。本稿における CNN の利用目的は、あくまでもアクセスポイントの状態特定であり、特定物体検出に位置付けられる。よって、一般物体検出のように多数の物体を同時に特定する必要がなく、処理が軽く高い FPS が期待できる Single Shot MultiBox Detector（以下 SSD）[12]を採用した。SSD の CNN 構造を図 10 に示す。

移動ロボットの制御や、監視情報の通信は、先行研究と同様に Raspberry Pi で行うが、SSD の処理には高速な GPU が必要なため、GPU を搭載した小型コンピュータである、Nvidia 社の Jetson Nano[13]を採用する。Jetson Nano は、価格も約 100 ドルと他の GPU を搭載したボードコンピュータと比較して安価である。大きさは Raspberry Pi 3 と同等であるが、性能は数倍向上している。電源は通常 USB 端子から供給が可能となっている。しかし、GPU の性能を最大限に引き出すには、USB ではない電源が必要である。現在移動ロボットに導入しているモバイルバッテリーは、電源アダプタの変換を備えており、これに対応可能である。発売されて間もないため、移動ロボットの搭載のためのケースは 3D プリンターで用意した。

SSD の動作には、深層学習フレームワークの Tensorflow[14]を用いる。LabelImg[15]で撮影した写真中のアクセスポイントを囲み、annotation を作成する。公式サイト Custom Object Detection Tutorial[16]を参考に、作業を進める。

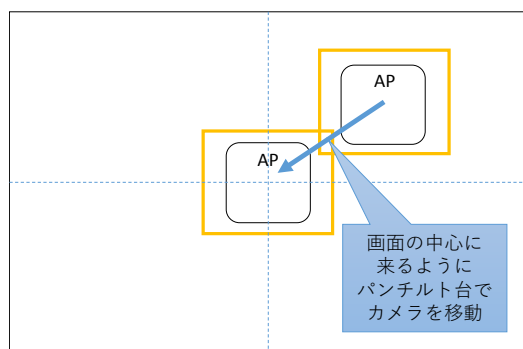


図 11 パン・チルト台を利用したフレーム内移動

移動ロボットでの実際のアクセスポイントの検知は、SSD で学習したモデルを利用し、OpenCV[17]で行う。バウンディングボックスが撮影画像の中央に来るようにパン・チルト台のサーボモータを移動させる(図 11)。パン・チルト台は、ウェイポイントを行う際、巡回するアクセスポイントに応じて、アクセスポイントが設置されている方向を向いているものとする。

学習に用いる教師画像は、アクセスポイントの異常状態

を撮影した画像 500 枚を用意し、これを変化させることにより水増しし、1500 枚とする。本稿で分類するクラスは、緑、赤、黄、黒（LED 無点灯）の 4 つである。SSD を有効にしたカメラで捕捉し、青、緑、赤、黒の点滅の続きが連続したら異常状態であると断定する。移動ロボットの仕様は以下のとおりである。

1. 移動ロボット制御用コンピュータ
 - 制御用コンピュータ：Raspberry Pi 2
 - 3D 深度センサー：Xtion Pro Live
 - レーザレンジファインダ：Hokuyo URG-04LX-UG01
 - 無線 LAN：WLI-UC-GNM2
 - データ通信端末：L-02C
 - OS：Ubuntu 14.04 LTS
2. 画像処理用コンピュータ
 - コンピュータ：Jetson Nano
 - カメラ：Logicoool C525n
 - 無線 LAN：WLI-UC-GNM2

5. 移動ロボットを利用した監視実験

本章では、前章で実装したシステムを用い、設置されたアクセスポイントを利用した実証実験について述べる。本稿では、紙面の関係で移動ロボットの監視について述べる。

実験は本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アクセスポイントは 2 箇所である。アクセスポイントはシスコ社の Aironet1142 である。移動ロボットと監視装置での監視の 2 つで実験を行った。実験は、以下の 2 つの目的を持つ。

1. 学習の評価を行うために、アクセスポイントが正しく検出されるかを確認する
2. 検出したアクセスポイントを色別に分類でき、その分析により障害の検知が可能かを確認する

あらかじめ、移動ロボットをアクセスポイント付近に走行させ、異常状態の画像を撮影し、これを学習データとする。総数は 500 枚用意した。この学習モデルを Jetson Nano に移植する。あらかじめ、アクセスポイントは故意に異常状態にする。カメラでウェイポイントを行い、アクセスポイントを特定する。特定したアクセスポイントの部分で一定時間録画し、異常状態が検知できることを確認する。

アクセスポイントは、床から約 220cm 高さに設置してある。この高さは、本学のアクセスポイント設置箇所 300 箇所の床からの高さの平均値と合わせてある。また、移動ロボットのパン・チルト台を含めた高さは、床から約 90cm である。

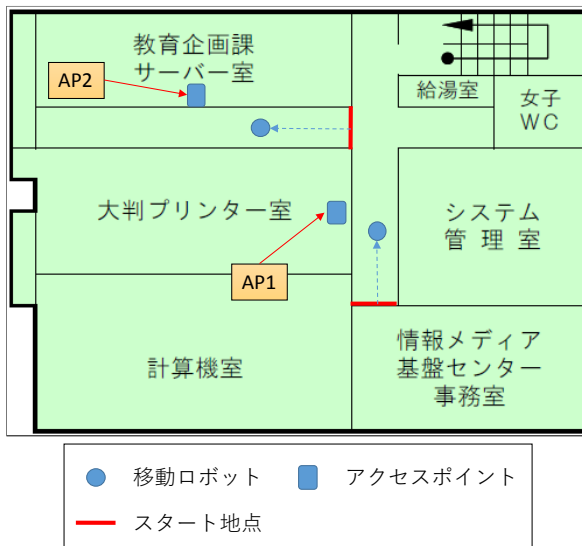


図 13 実験環境の概略図



図 14 移動ロボット動作実験の様子

学習におけるパラメータとして、バッチサイズはリソースの関係で 1 とし、ステップ数は 20,000 ステップとした。学習には約 2 時間を要した。図 15 に学習後の認識テスト結果を示す。

識別結果は表 1 の通りである。この表では、たとえば黒の点灯が連続する場合は、黒と考える。黒が連続した後に別の色が点灯する倍であれば障害として判別できることがわかった。誤認識があったとしても、カメラで停止して確認する時間を一定時間確保可能な場合、1 つのパターンとして異常を検知できることがわかった。

表 1 アクセスポイントが異常状態の場合の識別結果
(上 : AP1, 下 : AP2)

1	黒	緑	黒	赤	黒	黄	黒	緑	黒	赤
2	緑	黒	赤	黒	黄	黒	緑	黒	赤	黒
3	赤	黒	黄	黒	緑	黒	赤	黒	黄	黒
4	黒	黄	黒	緑	黒	赤	黒	黄	黒	緑
5	黒	緑	黒	赤	黒	黄	黒	緑	黒	赤

1	緑	黄	黒	赤	黒	緑	黒	赤	黒	赤
2	黒	赤	黒	黄	黒	緑	黒	赤	黒	緑
3	赤	黒	黄	黒	緑	黒	黄	黒	緑	黒
4	黄	黒	黄	黒	緑	黒	赤	黒	黄	黒
5	黄	黒	緑	黒	赤	黒	緑	黒	赤	黒

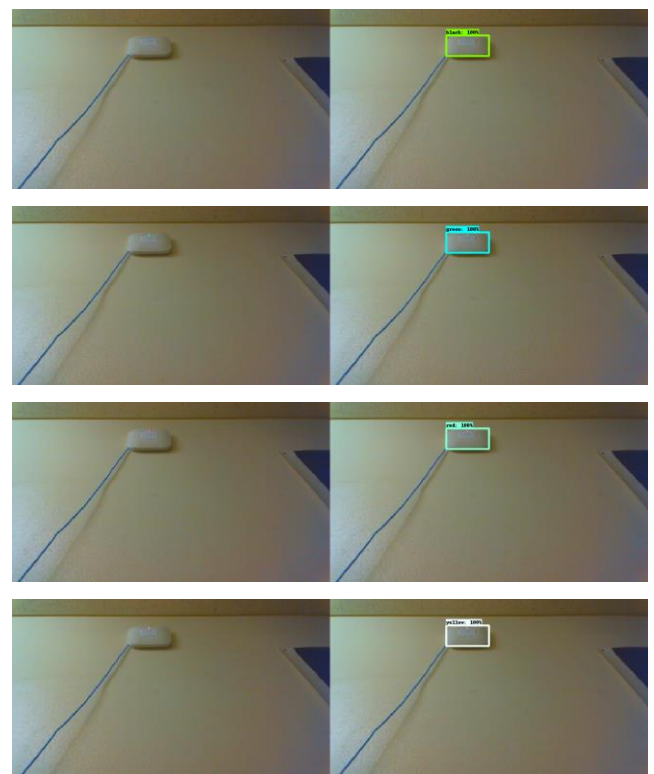


図 15 アクセスポイントの学習結果

(上から LED は黒, 緑, 赤, 黄)

本稿において、学習における評価方法は、F 値を用いた。ただし、本稿で用いる方法は多クラス分類である。よって、クラスごとに正しく分類できるかを確認する。判定できた場合を TP とし、実際のクラスに分類できなかった場合 FN とする。表 1 に混同行列の評価の一覧表を示す。値を集計した後、Precision, Recall, F 値を求めた。式は、それぞれ、

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (1)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (2)$$

$$F-measure = \frac{2 \times Recall \times Precision}{Recall + Precision} \quad (3)$$

を用いる。

表3 アクセスポイントの状態区別の混同行列

		実際の分類結果			
		黒	緑	赤	黄
アルゴリズムによる判定	黒	TP	FN	FN	FN
	緑	FN	TP	FN	FN
	赤	FN	FN	TP	FN
	黄	FN	FN	FN	TP

表4 各 LED の検出結果（上：AP1，下：AP2）

	<i>Precision</i>	<i>Recall</i>	<i>F-measure</i>
黒	0.93	0.92	0.93
緑	0.93	0.86	0.89
赤	0.83	0.81	0.88
黄	0.78	0.88	0.83

	<i>Precision</i>	<i>Recall</i>	<i>F-measure</i>
黒	0.97	0.88	0.92
緑	0.89	0.80	0.84
赤	0.93	0.77	0.97
黄	0.71	0.97	0.82

アクセスポイントごとの各 LED の検出結果は表4の通りである。無点灯の場合に緑と認識することや、緑の場合に無点灯と認識する場合があった。また、黄と赤は誤認識が多くみられた。

本実験の結果から、移動ロボットを用いた監視では、アクセスポイントを正しく認識しないことがあり、物体特定のアルゴリズムに依存することがわかった。

ただし、異常検知については、必ずしもすべての色を正確に検知せずとも、ある程度の期間でアクセスポイントが異常状態であると判断できる可能性があることが判明した。

6. 課題

本章では本稿における課題について述べる。

6.1 利用するカメラの性能

移動ロボットの結果は、カメラの性能に依存する部分があると考えられる。つまり、カメラがアクセスポイントに近づく距離に関係する。そのため、移動ロボットの支柱を高くすることが考えられるが、これ以上、高くしてしまうと、移動ロボットが不安定になる。この解決策として、撮影が必要ときに限り高い位置にカメラを上昇させる機構があれば本問題は改善すると考えらる。解像度の高いカメラや、望遠機能のあるカメラがあれば利用し検証を行う必要がある。

6.2 アクセスポイントの検出手法

本稿では、アクセスポイントの検出とアクセスポイントの状態判別について深層学習を利用した。これには事前の準備が必要であり、多くの時間を要する。本稿では、移動ロボットを利用した監視では、深層学習による物体検知を取り入れている。深層学習は、特徴を人が抽出する必要がないメリットがあるが、準備や新たな機材を用意するなどのコストがかかるといったデメリットがある。また、学習の方法によっては十分な検知が行えない可能性も考えられる。今回は時間の関係で十分な比較ができていないが、今後深層学習を利用せずに検知する方法の可能性についても検討を行いたい。

7. 関連研究

本稿の関連研究について述べる。画像処理を用いて、サーバやネットワーク機器の LED を元に状況を把握する手法に Falcon Eye[18]がある。当該研究は、データセンターやサーバ室などのラックを固定したカメラで監視する手法である。しかし、当該研究はサーバ室のようなまとまった一箇所で有効であるが、本稿が対象とするような学内に分散したアクセスポイントでは利用できない。

機械学習を用い、ログを分析することでネットワーク障害や機器故障を検知する研究[19]がある。無線 LAN により位置を特定するために機械学習を利用している研究[20]がある。しかし当該研究は、RSSI を用いており、アクセスポイントそのものを直接確認する方法ではない。

ネットワーク機器を視覚的に捉える点では AR マーカーを利用した研究[21]があるが、これは管理者に教示するためのものであり、本稿とは異なる。

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[22][23]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[24]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[25]が試みられている。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。

本稿が対象とする、無線 LAN アクセスポイントがもつ表示部の LED を特定する研究は、著者らが知る限りいまだ行われていない。

8. おわりに

本稿では、アクセスポイントの状態を把握するために、アクセスポイントの設置状況に応じて移動ロボットと監視装置を使い分け、LED の点灯パターンを分析することにより把握する方法を提案した。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、本稿の提案手法を用いて他のアクセスポイントでも状態把握が可能か検証を継続していきたい。

参考文献

- [1] Cisco DNA(Wireless 向けソフトウェア) (オンライン), 入手先 <https://www.cisco.com/c/ja_jp/products/wireless/index.html#~software> (2019-05-21 参照).
- [2] HP Aruba Networks Aruba AirWave ネットワーク管理(オンライン), 入手先 <<https://www.arubanetworks.com/ja/products/networking/management/airwave/>> (2019-05-21 参照).
- [3] 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, 情報処理学会研究報告インターネットと運用技術 (IOT), 2015-IOT-30, pp.1-8(2015).
- [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] Coexistence between Version 1, Version 2, and Version 3 of the Internet-standard Network Management Framework, The Internet Society, 2003.
- [6] 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”, 情報処理学会論文誌 60(2), pp.668-679(2019).
- [7] 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監視装置との通信品質を改善する移動ロボット制御手法”, 情報処理学会論文誌 60(3), pp.(2019).
- [8] 友納正裕:SLAM 入門, オーム社(2017).
- [9] Cisco Aironet 1140 シリーズ Autonomous アクセス ポイント (オンライン), 入手先 <https://www.cisco.com/c/ja_jp/td/docs/nma/works/works4windows/gs/001/ap1140aut-getstart.html#60734> (2019-05-21 参照).
- [10] iRobot 社ホームページ (オンライン), 入手先 <<https://www.irobot-jp.com/>> (参照 2018-06-19) .
- [11] 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).
- [12] Wei Liu, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Christian Szegedy, Scott Reed, Cheng-Yang Fu, Alexander C. Berg, “SSD:Single Shot MultiBox Detector.”, European Conference on Computer Vision, ECCV2016, pp.21-37(2016).
- [13] Jetson Nano (オンライン), 入手先 <<https://www.nvidia.com/ja-jp/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-nano/>> (2019-05-21 参照).
- [14] LabelImg (オンライン), 入手先 <<https://github.com/tzutalin/labelImg>> (2019-05-21 参照).
- [15] TensorFlow (オンライン), 入手先 <<https://www.tensorflow.org/>> (2019-05-21 参照).
- [16] TensorFlow Custom Object Detection Tutorial (オンライン), 入手先 <<https://tensorflow-object-detection-api-tutorial.readthedocs.io/en/latest/index.html>> (2019-05-21 参照).
- [17] OpenCV (オンライン), 入手先 <<https://opencv.org/>> (2019-05-21 参照).
- [18] 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).
- [19] T. Kimura, K. Ishibashi, T. Mori, H. Sawada, T. Toyono, K. Nishimatsu, A. Watanabe, A. Shimoda, and K. Shiimoto : “Spatio-temporal Factorization of Log Data for Understanding Network Events,” *Proc. of IEEE INFOCOM2014*, pp.610-618(2014).
- [20] 竹内 裕幸, 平川 豊, 大関 和夫: 機械学習を用いた無線 LAN 屋内測位における精度評価, 第 80 回情報処理学会全国大会講演論文集, pp.133-134(2017).
- [21] 松村 洋志, 笹井 一人, 北形 元, 木下鉄男: ネットワーク情報の監視支援のための自動編纂手法の提案, 第 79 回情報処理学会全国大会講演論文集, pp.159-160(2017).
- [22] 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).
- [23] 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).
- [24] 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).
- [25] 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).