

無線 LAN 環境可視化システムにおける測定データのリアルタイム登録・表示機能の開発

Development of Real-Time Registration and Display of Measurement Data in a Wireless LAN Environment Visualization System

佐藤 宏輝*, 星野 柊平*, 佐藤 碧**, 福士 雅弘**, 松田 勝敬**

Hiroki SATO*, Shuhei HOSHINO*, Aoi SATO**, Masahiro FUKUSHI**
and Masahiro MATSUDA **

概要

Recently, the installation of wireless LAN access points has increased with the spread of mobile devices such as smartphones. Mobile devices connect to wireless LAN access points using radio waves. Mobile devices can only connect to a wireless LAN access point within the range where they can receive the radio waves emitted by the wireless LAN access point to use the wireless LAN. Because the radio waves emitted by a wireless LAN access point cannot be visually confirmed, it is difficult to determine the range of a wireless LAN.

We have developed a wireless LAN environment visualization system that has an Android application for wireless LAN signal measurement and a web application for heat map display. This system transfers the results of actual measurements made by the Android application to a server and displays the heat map generated by the server on a web browser.

In this paper, we focus on the Web API, improve the Android application, and implement the Web API function in the WLAN environment display system. This will enable the acquisition of detailed information on heat maps and the registration and confirmation of measurement data in real, thus simplifying function development and activation. In addition, the role division between the server and the client will be clarified, which will simplify function development and enable scalability.

1 はじめに

1.1 背景

近年スマートフォンの普及率は上昇し、2022 年には日本においてスマートフォンや携帯電話を含むモバイル端末の個人保有状況は 85.6%[1]である。スマートフォンは移動体通信網だけでなく無線 LAN(Local Area Network)も利用することができる。ノートパソコンやモバイル端末の普及とともに無線 LAN の利用環境も普及が広がって

いる。例えば無線 LAN は災害時にもインターネットなどへの接続性が高く、スマートフォンを用いた防災対策として防災拠点などへの無線 LAN 環境整備の推進[2]などが実施されている。また、特定の地域に対するサービス提供のしやすさなどから、観光地や市街地をはじめ公衆無線 LAN などのサービスの提供が進んでいる[3][4]。

無線 LAN はアクセスポイントが出力する電波の実効範囲内で、モバイル端末をアクセスポイントへ接続することで利用できる。アクセスポイントが出力する電波の無線 LAN の電波環境は、障害物だけでなくほかのアクセスポイントの電波を検知した際の出力調整などで変化する。しかし電波は目視で確認することはできないため、電波受信可能エリアを把握することが難しい。無線 LAN において電波受信可能エリアを可視化する

2023 年 10 月 2 日受理

* 通信工学専攻 院生

** 情報通信工学科 学生

*** 情報通信工学科 教授

ことは、利用者だけでなくアクセスポイントを設置する際の電波環境の把握や公衆無線 LAN の提供者の情報発信においても重要である。

そこで我々は無線 LAN の環境を可視化した情報を提供することにより、効率的な無線 LAN 整備および市街地における快適な無線 LAN サービス利用の支援を目的として、無線 LAN 環境可視化システムの研究・開発を行っている。本論文では、サーバと SSID(Service set Identifier)ごとに各測定地点の平均 RSSI(Received Signal Strength Indicator)確認機能および測定データのリアルタイム登録・表示機能の実装について述べる。

1.2 研究の概要と目的

我々は無線 LAN の利用可能エリアの可視化において、無線 LAN アクセスポイントからの受信電波強度(RSSI)の実測値に着目した。屋外での無線 LAN を対象とし、RSSI をヒートマップとして公開する Web アプリケーションを無線 LAN 環境可視化システムとして研究・開発を行っている[5]。

この無線 LAN 環境可視化システムの概要を図1に示す。この無線 LAN 環境可視化システムは、測定部とデータ収集部、情報公開部から構成される。測定部は、Android スマートフォンに実装した測定アプリケーションである。データ収集部のデータベースシステムと、情報公開部の Web アプリケーションはサーバとして実装されている。測定アプリケーションを実装したスマートフォンを用い、測定地周辺の無線 LAN アクセスポイントの RSSI などの情報を収集する。収集した情報を用いてヒートマップとして Web アプリケー

ション上で公開する。ヒートマップはクライアントがサーバに生成要求があった際に、サーバがヒートマップを生成し、クライアントの Web ブラウザ上で表示する。

測定の際には測定時刻および測定地点の緯度経度や SSID, 受信した RSSI などを取得する。SSID は無線 LAN の識別子であり、無線 LAN の利用者は目的の SSID を選択し、接続を試みる。また、公衆無線 LAN の場合、複数のアクセスポイントを同じ SSID で設置することにより、広範囲での無線 LAN 環境を提供していることが多い。市街地などの屋外では、複数の公衆無線 LAN が同時に利用できる環境も存在しており、多くのアクセスポイントからの電波を受信することができる。そのため、SSID ごとに各測定地点での RSSI 平均値は無線 LAN 利用者にとって接続する際の指標となる。また、無線 LAN 利用者だけでなく無線 LAN の提供者もすでに複数のアクセスポイントが設置されている場合の効率的なアクセスポイント設置場所の検討が容易になる。既存システムでは、SSID ごとに各測定地点での RSSI 平均値を確認したい場合には SSID を指定し、ヒートマップを再生成する必要がある。そのため、サーバ側でのヒートマップ生成回数増加による処理負担の増加とデータ送受信量の増加が発生する。

既存システムでは、新規の測定データを使ってヒートマップを表示・確認する際にはサーバと測定に使用した Android スマートフォンを USB で接続し、測定データを転送してからヒートマップ表示用のデータとして登録を行う。新たに収集した RSSI などの情報をヒートマップに反映するた

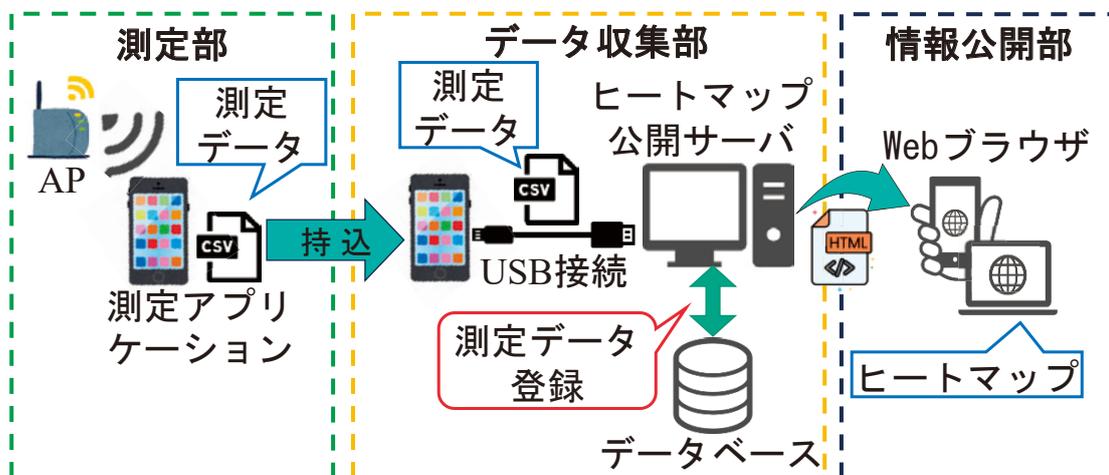


図1 無線 LAN 環境可視化システムの概要

めには測定データをサーバへ直接接続して転送する必要があるため、測定からヒートマップ確認までの時間と手順を要する。

既存システムでは、サーバとクライアントの役割分担が明確になっておらず、システム構成が複雑であり、データ登録・確認作業が煩雑である。そこで本研究では、無線 LAN 環境可視化システムにおいて Web API の導入と測定アプリケーションの改良により、サーバとクライアントの役割分担を明確にした。そして、データ登録を自動化し、SSID ごとに各測定地点の平均 RSSI 確認機能と測定データのリアルタイム登録・表示機能を実装した。

1.3 関連研究・関連システム

無線 LAN の電波状況の可視化に関する既存研究やシステムは次のようなものがある。

大阪大学の東野氏らの研究[6]では、モバイル端末を用いてクラウドサーバに集積したアクセスポイントのビーコン観測データと観測地の地理情報をもとに、アクセスポイントの電波発信点を推定する。その電波発信点からの電波伝搬シミュレーションを行うことにより 3D 電波強度地図を生成する。3D 電波強度地図を表示する際に Web サーバを介して電波強度地図情報の取得と 3次元可視化を行っている。測定データはクラウドサーバへ蓄積し、電波強度シミュレーションを行った後に電波強度地図情報が公開される。

シスコシステムズ合同会社の WCS は、屋内の CAD データなどを用いてアクセスポイントの設置場所から RF(Radio Frequency)などを可視化する[7]。このシステムでは、アクセスポイントから RF カバレッジを予測し、フロアマップ上に電波強度をヒートマップとして可視化を行っている。

エヌ・ティ・ティ・ブロードバンドプラットフォーム株式会社が提供する Japan Wi-Fi auto-connect は、公開されているフリーWi-Fi スポットの利用可能エリアを地図アプリケーション上で確認することができる[8]。

これらの既存の研究およびシステムでは、アクセスポイントの設置位置をもとに、電波状況やおおよその利用可能エリアを推定もしくは表示を行っている。

我々が開発を行っている無線 LAN 環境可視化システムでは、無線 LAN アクセスポイントからの電波をモバイル端末で実際に受信できる RSSI

に着目している。実測値を用いて無線 LAN の利用可能エリアを可視化しているため、無線 LAN アクセスポイントの設置位置に依存せず、少ない計算量で可視化できる。また、実測値を使用しているため、現状に即した状況を確認することができる。

2 無線 LAN 環境可視化システムへの API の導入

2.1 Web API

API(Application Programming Interface)とはプログラムの機能をその他のプログラムでも利用できるようにするための規約である。Web API は Web 上から API を遠隔に呼び出せるようにした概念である。近年は、自社で開発・運用しているサービスに外部から連携できるように、Web API を公開する動きがみられる[9]。REST (Representational State Transfer) [10]は、Web API の呼び出し方式の 1 つであり Web 上で提供されるサービスの HTTP(Hyper Text Transfer Protocol)プロトコルにおけるやり取りを標準的なモデルとしてまとめたものである。HTTP 上でアクセスできる Web リソースを、そのリソースに対応する URI(Uniform Resource Identifier)への操作としての追加機能、編集機能、削除機能を HTTP メソッド GET, POST, DELETE 等と結び付け、相互にやり取りするメカニズムをモデル化したものである[11]。REST 方式の他に SOAP(Simple Object Access Protocol)[12]方式もあるが、2010 年時点では REST 方式が 74 %、SOAP 方式は 15 %程度と大多数が REST 方式を採用している[11]。

この REST 方式の Web API を無線 LAN 環境可視化システムに適応することで SSID ごとに各測定地点での平均 RSSI のデータ公開とリアルタイムの測定データの登録ができると考えた。

2.2 無線 LAN 環境可視化システムの実装環境

Web API を無線 LAN 環境可視化システムに適応するうえで、システム条件内で実装する必要がある。無線 LAN 環境可視化システムは、サーバホスティングサービスであるさくらインターネットの「さくらのレンタルサーバ」サービス上で公開することを前提に開発を進める[13]。さくらのレンタルサーバでは HTML(Hyper Text Markup Language)、PHP、CGI(Common

Gateway Interface)によるサービス公開が可能となっている[14]. 無線 LAN 環境可視化システムに REST 方式の Web API を適応するうえで、データベースの操作が必要となるので HTML だけで実装することは不可能である. 無線 LAN 環境可視化システムの測定データには緯度経度情報が含まれており, 測定データの緯度経度をヒートマップとして地図アプリケーション上で表示するための処理が必要となる. そのため, 緯度経度の処理については Python のライブラリを使用し, CGI を用いて無線 LAN 環境可視化システムを公開する.

2.3 無線 LAN 環境可視化システムの測定データ登録方法の変更

既存システムでは, 測定端末を USB ケーブルなどで直接接続して測定データを転送する必要があった. 測定データ登録用の Web API を設置することにより, 測定データは USB といった直接接続してデータ転送する方式ではなく, 無線 LAN やインターネットを介したデータ登録が可能となる. そのため, 測定データは測定と同時に測定データ登録用の API を介し, サーバへ測定データを登録することができる.

既存システムの測定アプリケーションは, 測定時には Android スマートフォン内のファイルへの測定データ保存のみを行っていた. しかし, Web API を介した測定データの登録を行うためには, 測定と同時並行でサーバへ測定データを送信する処理も実行する必要がある. そこで, 新たに測定・ヒートマップ表示アプリケーションを Android スマートフォン用に開発した. この測定・ヒートマップ表示アプリケーションは, 従来の測定アプリケーション同様に無線 LAN アクセスポイント情報の測定と Android スマートフォン内のファイルへの測定データ保存を行い, 同時に Web API への測定データ送信と公開している無線 LAN 環境可視化システムの Web アプリケーション上でヒートマップを確認することができる. この測定・ヒートマップ表示アプリケーションの測定画面を図 2 に, ヒートマップ確認画面を図 3 に示す. 図 2 の SSID 一覧は測定地周辺で受信した SSID の一覧である. SSID 一覧から任意の SSID をタップした際は, その SSID の取得位置や取得した際の電波強度などの詳細情報を確認できる. この詳細情報は Android スマートフォン

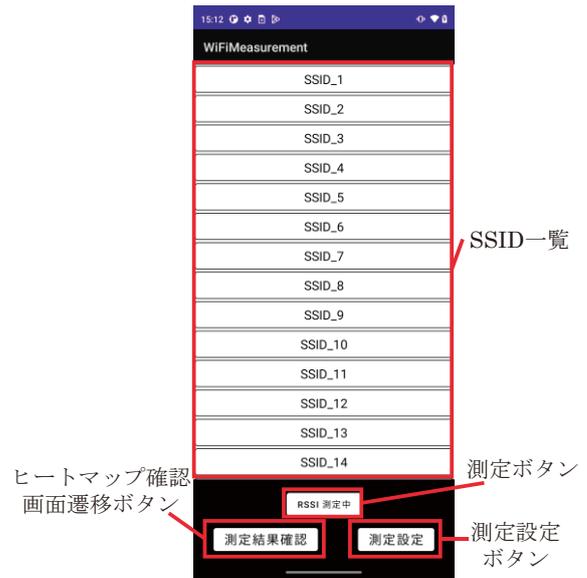


図 2 測定・ヒートマップ表示アプリケーションの測定画面



図 3 測定・ヒートマップ表示アプリケーションのヒートマップ確認画面

内の測定データとサーバへ送信される測定データに含まれている. また, 測定ボタンをタップすることで現在行っている測定を任意のタイミングで停止でき, 再度タップすることで再開できる. 測定設定ボタンは測定時に保存する Android スマートフォン内の測定データのファイル名の設定や測定データの送信設定などを行うことができる. 図 2 のヒートマップ確認画面遷移ボタンをタップすることで図 3 のヒートマップ確認画面へ遷移することができる. 図 3 では, 画面メニュー

アイコンをタップし、メニューリストの「ヒートマップデータ取得」をタップすることでサーバから測定結果を取得し、ヒートマップとして確認することができる。

3 無線 LAN 環境可視化システムの API エンドポイントの設計

API エンドポイントとは、API 接続の端点であり、リクエストが実行される場所である[15]。本研究でサーバへ実装する API エンドポイントは 5 つである。①Android スマートフォンや PC などのクライアント端末で、ヒートマップ表示を行う Web アプリケーションを提供する。②クライアント端末に、ヒートマップのデータを提供する。③クライアント端末に、各測定地点での詳細情報を提供する。④測定・ヒートマップ表示アプリケーションが、測定開始時に測定条件を登録する。⑤測定・ヒートマップ表示アプリケーションが、測定データを登録する。これらのエンドポイントは、CGI スクリプト内でリクエストを判別し、リクエストに対応した処理・レスポンスを行う。

①は、無線 LAN 環境可視化システムのサービス公開を行う。リクエストは HTTP GET リクエストを使用する。無線 LAN 環境可視化システムのサービスへアクセスした際の画面を図 4 に示す。図 3 は測定・ヒートマップ表示アプリケーション内で表示することができる画面であり、図 4 は PC の Web ブラウザで表示した Web アプリケーションの画面である。どちらの画面も HTML を Web ブラウザが処理して表示した結果である。

②は、ヒートマップを表示する際に必要なデータを提供するエンドポイントである。無線 LAN 環境可視化システムの Web アプリケーション上からこのエンドポイントへ HTTP GET リクエ

ストを実行し、ヒートマップの表示に必要なデータを取得する。Web アプリケーションはヒートマップのデータを取得した後、ヒートマップのデータを解析・処理することで Web アプリケーション上にヒートマップを表示する。本研究で実装した内容では、図 3 または図 4 のメニューアイコンをクリックし、メニューリストの「ヒートマップデータ取得」をクリックまたはタップすることで、②のエンドポイントへ Web アプリケーションが HTTP GET リクエストを実行する。Web アプリケーションは、②のエンドポイントから受け取ったデータを使用し、ヒートマップの表示処理を行う。その結果を図 5 に示す。ヒートマップは 10 m × 10 m のエリアごとに平均 RSSI により色付けを行い表示する。ヒートマップの色付けは図 4 のヒートマップ凡例のように平均 RSSI によって赤から黒のように色付けされる。ヒートマップのデータを取得する際にはクエリパラメータを利用することができる。図 4 のメニューリストの「設定項目」から開始日時と終了日時を指定することで、ヒートマップに表示する測定データの日時指定が可能となっている。

③はヒートマップの各測定地点での詳細情報を提供するエンドポイントである。図 5 の地図上の色付けされたエリアをクリックすることで、Web アプリケーションが③にクリックされたエリアの情報をクエリパラメータに追加する。次に、HTTP GET リクエストが実行される。サーバは選択されたエリアの情報をもとに、選択されたエリア内で取得できた SSID とその SSID の RSSI 平均値をデータベースから取得する。取得した値は Web アプリケーションに送信される。Web アプリケーションは、受信した SSID とその SSID の RSSI 平均値を詳細情報として表示する。その



図 4 無線 LAN 環境可視化システムの画面

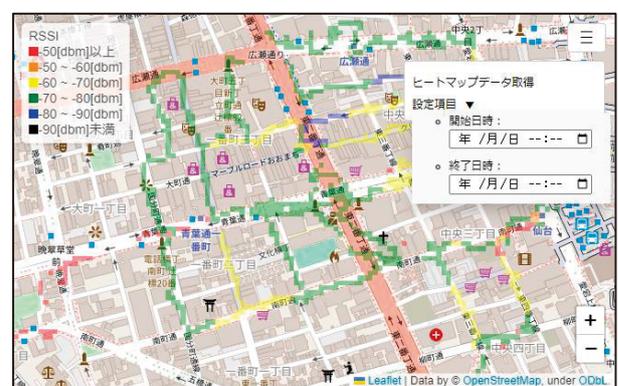
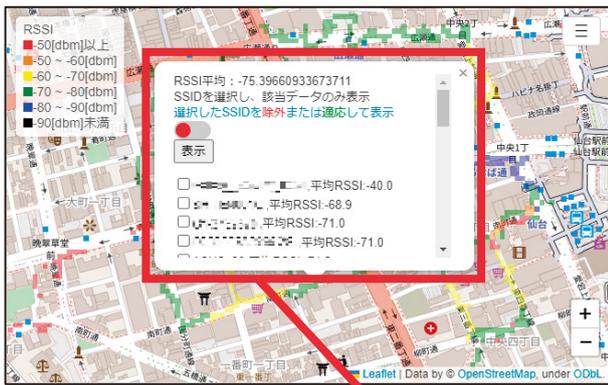


図 5 ヒートマップデータの取得



詳細情報

図6 SSID ごとの各測定地点の平均 RSSI

結果を図6に示す。図6の詳細情報内ではそのエリア内で取得できたSSIDの一覧を表示する。このSSID一覧からSSIDを選択し、任意のSSIDのヒートマップを表示・閲覧することができる。指定したSSIDのヒートマップを確認する際には、②へ指定したSSIDの情報をクエリパラメータに追加する。次にWebアプリケーションがHTTP GET リクエストを実行し、ヒートマップ表示を行う。図4のメニューリストの「設定項目」から開始日時と終了日時を指定することで、ヒートマップに表示する測定データの日時指定が可能となっている。

④は、Androidスマートフォンの測定・ヒートマップ表示アプリケーションが測定を開始する際に、事前に測定条件をサーバへ送信するためのエンドポイントである。このエンドポイントへ送信するデータは、UUID(Universally Unique Identifier)や測定に使用するAndroidスマートフォンのデバイス情報、測定条件などである。UUIDは、Androidスマートフォンへ測定・ヒートマップ表示アプリケーションをインストールした際に一意に割り当てられる。Androidスマートフォンからサーバへデバイス情報、測定条件などを送信する際には、HTTP POST リクエストを利用する。サーバは、Androidスマートフォンから送信されたデータを受け取り、Androidスマートフォンとのセッションが確立された際に発行されるセッション管理IDを追加し、データベースへ登録する。このセッション管理IDは測定データの登録の登録時にUUIDを結び付ける役割を果たし、測定ごとに発行される。

⑤は、Androidスマートフォンの測定・ヒートマップ表示アプリケーションで測定した測定データをサーバで受信するエンドポイントである。測定・ヒートマップ表示アプリケーションは測定と同時に⑤へHTTP POST リクエストを実行する。サーバは、受信した測定データの整合性を確認した後、データベースへ測定データの登録を行う。測定データの整合性確認についてはPythonのライブラリであるPydantic[16]を使用した。Pydanticは、データの型を定義することでデータの入力値の型が定義された型と同じかを検証することができ、サーバが受信した測定データの型も検証し整合性を確認する。また、測定データの登録と同期してヒートマップを表示するために使用するデータの登録も行う。これにより、測定・ヒートマップ表示アプリケーションで測定した測定データはサーバへ送信され、新規測定データを含んだヒートマップをリアルタイムで確認することが可能である。

4 開発した無線LAN環境可視化システム

Web APIの導入と測定・ヒートマップ表示アプリケーションの開発を行った無線LAN環境可視化システムの概要図を図7に示す。図7は、測定・ヒートマップ表示アプリケーションを実装したAndroidスマートフォンとAPIエンドポイントを実装したヒートマップ公開サーバ、測定データを保存するデータベース、Androidスマートフォンをインターネットへ接続するためのモバイルルータによって構成されている。通信状況の詳細を解析可能なためモバイルルータを使用し、Wi-Fi接続でサーバへ測定データを送信する。Androidスマートフォンからサーバへ送信される測定データはTCP/IP階層モデルのインターネット層で処理しており、移動体通信網でもモバイルルータでも処理結果は変わらないため両方で運用可能である。

従来のシステムへWeb APIを導入することにより、クライアントとサーバの処理の役割分担が明確となりエンドポイント設置による拡張性が得られた。クライアントが選択したエリアの詳細情報を取得するためのエンドポイント設置によりSSIDごとに各測定地点の平均RSSI確認機能が実装できた。各測定地点の平均RSSI確認機能は日時指定することができ、指定した日時のRSSIの測定値の平均値を確認することもできる。

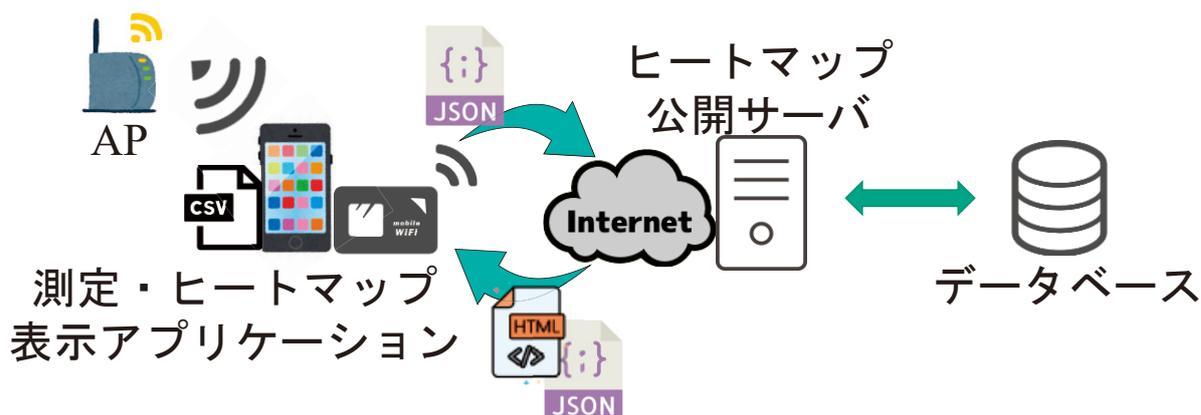


図 7 無線 LAN 環境可視化システムの概要図

また、測定・ヒートマップ表示アプリケーション開発・実装により、測定と同時に測定データの送信とヒートマップの表示ができるようになった。

5 考察

5.1 測定データサイズ

開発した測定・ヒートマップ表示アプリケーションで測定を行った際に得られた測定データはサーバへ送信される。測定中は測定地点周辺の無線 LAN アクセスポイントの情報収集を継続する。サーバは測定データの送信のための HTTP POST リクエストが実行されるたびに処理を行う。また、測定データのデータサイズが大きいと、ネットワークの帯域を圧迫してしまい、正しい測定データ送信の妨げとなる。これらのことを考え、測定・ヒートマップ表示アプリケーションでは1回の測定ごとに測定データを送信するのではなく、一定の測定データ数ごとに測定データを送信する。送信するまでの測定データ数はアプリケーション内で変更できる。今回は実験的に 50 個の測定データを送信することにした。

50 個の測定データを送信したときのデータサイズは約 2 kB ~ 10 kB 程度であった。このデータサイズは 50 個分の測定データのデータサイズのため、1 個の測定データは約 40 B ~ 200 B 程度であると考えられる。1 個の測定データのデータサイズにばらつきがある原因として無線 LAN 接続の際に使用する認証方式の種類による違いだと考えられる。無線 LAN アクセスポイントが定期的に発信するビーコンフレームには、その無線 LAN アクセスポイントが対応している認証方式の文字列が含まれている。測定・ヒートマップ表

示アプリケーションでは、この認証方式の文字列も取得しており、無線 LAN アクセスポイントが対応している認証方式が少なければ、測定データサイズは小さくなり、対応している認証方式が多ければ、測定データサイズは大きくなる。Chrome Developers は Web サイトの制作にあたり、1.6 MB 未満にファイルサイズを抑えることを推奨している[17]。今回実験的に 50 個の測定データを送信するようにしたが、

この 1.6 MB を大きく下回っており、安定的に送信できていると考えられる。サーバの測定データ受信間隔としては、1 ~ 4 秒ごとに受信することがわかった。受信間隔を長くすることでサーバの負荷を低減できるため、1 度に送る送信データ数を増やし、効率的な測定データ収集を目指す。

5.2 サーバの新規測定データ処理時間

サーバは新規測定データを受信し、測定データとヒートマップ表示用データをデータベースへ登録する処理を行う。サーバの新規測定データの処理時間は、新規測定データをヒートマップへ反映させるまでの時間である。リアルタイムに測定とヒートマップの確認を行うためには、サーバの新規測定データの時間を短くする必要がある。5.1 節でも述べたようにサーバは複数個の測定データを受信する。今回は 5.1 節と同様に 50 個の測定データを受信した際の測定データ処理時間および従来システムでのサーバの新規測定データ処理時間を調査・比較した。

サーバが 50 個の測定データを受信し、測定データとヒートマップ表示用データをデータベースへ登録する処理を計測した結果を表 1 に示す。表 1 の結果から平均処理時間は 0.37 秒であると

表1 新規測定データの登録処理時間

受信回数 (回)	平均処理 時間 (s)	最大処理 時間 (s)	最小処理 時間 (s)
6686	0.37	3.79	0.02

わかった。これはサーバが測定データを受信した際に即座に測定データとヒートマップ表示用のデータをデータベースへ登録し、新規測定データを含めたヒートマップを公開できているといえる。

従来のシステムで新規測定データを含めたヒートマップを公開するまでには、測定、測定端末とサーバを直接接続、測定データの転送、測定データの登録処理が必要である。本研究で開発したシステムでは、クライアントとサーバの役割を整理しエンドポイントを設置することにより、リアルタイムの登録と表示ができるようになった。また、測定端末をサーバと接続する必要もなく、測定データ登録の煩雑さがなくなり、測定データ確認のタイムラグがなくなった。

しかし、本システムでは、サーバが平均処理時間を上回る速度での測定データを受信した場合は、サーバの負荷が増大し、正しく処理できないことが予想される。多数の測定者が測定データを送信した場合には、容易に平均処理時間を上回ることが考えられる。そのため、5.1 節でも述べたように測定データの送信データサイズの調整やサーバ側での処理効率化などを行っていく必要があると考えられる。

6 まとめ

本研究では、無線 LAN 環境可視化システムにおいて従来のシステムの構成を見直すことによって、リアルタイム SSID ごとに各測定地点の平均 RSSI 確認機能と測定データのリアルタイム登録・表示機能を実装した。測定アプリケーションは測定・ヒートマップ表示アプリケーションとして一新し、サーバ側は複数のエンドポイントを設置することにより、無線 LAN 環境可視化システムにおいてサーバとクライアントの役割分担の明確化が実現できた。

今後は、送信データサイズの調整とサーバ側の処理効率化などを行い、追加機能の実装を行っていく予定である。

参考文献

- [1] 総務省 | 令和 4 年通信利用動向調査の結果, 入手先, [〈https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/data/230529_1.pdf〉](https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/data/230529_1.pdf) (参照 2023-09-19).
- [2] ICT 総研 | 2023 年 公衆無線 LAN サービス利用者動向調査, 入手先, [〈https://ictr.co.jp/report/20230411.html〉](https://ictr.co.jp/report/20230411.html) (参照 2023-06-13).
- [3] 宮城県 デジタルみやぎ推進課 | みやぎ Free Wi-Fi ポータルサイト, 入手先, [〈https://www.pref.miyagi.jp/site/wi-fi/〉](https://www.pref.miyagi.jp/site/wi-fi/) (参照 2023-09-18).
- [4] 仙台市 | SENDAI free Wi-Fi, 入手先, [〈https://www.pref.miyagi.jp/site/wi-fi/〉](https://www.pref.miyagi.jp/site/wi-fi/) (参照 2023-06-18).
- [5] 銭谷英李, 松田勝敬: 公衆無線 LAN の利用可能エリア表示システムの研究, 情報処理学会第 82 回全国大会, 第 4 分冊, pp.435-436(2020).
- [6] 天野辰哉, 梶田宗吾, 山口純弘, 東野輝夫, 高井 峰生: クラウドソーシングと 3 次元電波伝搬シミュレーションの併用による効率的な Wi-Fi 電波データベース構築, 情報処理学会論文誌, Vol.59, No.2, pp.450-461 (2018).
- [7] Cisco | Cisco Wireless Control System (WCS), 入手先, [〈https://www.cisco.com/web/JP/products/hs/wireless/wcs/prodlit/wcs41_ds.html〉](https://www.cisco.com/web/JP/products/hs/wireless/wcs/prodlit/wcs41_ds.html) (参照 2023-09-28).
- [8] NTTBP | Japan Connected-free Wi-Fi, 入手先, [〈https://jw2.edn.wifi-cloud.jp/map/ja/index.html〉](https://jw2.edn.wifi-cloud.jp/map/ja/index.html) (参照 2023-09-28).
- [9] 総務省 | 平成 30 年版 情報通信白書 | API 公開の進展とそれに伴う変化と効果や課題, 入手先, [〈https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/html/nd133110.html〉](https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/html/nd133110.html) (参照 2023-09-14).
- [10] Roy T. Fielding and Richard N. Taylor. Principled Design of the Modern Web Architecture. ACM Transaction on Internet Technology, Vol.2, No.2, pp.115-150, 2002.
- [11] 高久雅生: Web API の過去・現在・未来, 情報の科学と技術, 64 巻, 5 号, pp162-169 (2014).
- [12] W3C | Simple Object Access Protocol (SOAP) 1.1, 入手先, [〈https://www.w3.org/TR/2000/NOTE-SOAP-20000508/〉](https://www.w3.org/TR/2000/NOTE-SOAP-20000508/) (参照 2023-06-18).
- [13] SAKURA internet | さくらのレンタルサーバ, 入手先, [〈https://rs.sakura.ad.jp/〉](https://rs.sakura.ad.jp/) (参照 2023-09-14).
- [14] SAKURA internet | 基本仕様を知りたい (さくらのレンタルサーバ), 入手先, [〈https://help.sakura.ad.jp/rs/2251/〉](https://help.sakura.ad.jp/rs/2251/) (参照 2023-09-14).
- [15] Cloudflare | API エンドポイントとは?, 入手先, [〈https://www.cloudflare.com/ja-jp/learning/security/api/what-is-api-endpoint/〉](https://www.cloudflare.com/ja-jp/learning/security/api/what-is-api-endpoint/) (参照 2023-09-14).
- [16] Pydantic | Welcome to Pydantic, 入手先, [〈https://docs.pydantic.dev/latest/〉](https://docs.pydantic.dev/latest/) (参照 2023-12-05).
- [17] Chrome Developers | Avoid enormous network payloads, 入手先, [〈https://developer.chrome.com/docs/lighthouse/performance/total-byte-weight/〉](https://developer.chrome.com/docs/lighthouse/performance/total-byte-weight/) (参照 2023-09-14).