

時系列DBを利用した無線基地局およびクライアント 統計情報の継続的な収集と可視化

石原 知洋¹ 関谷 勇司²

概要: 2020年からのCOVID-19発生により、多くの大学では遠隔講義の導入が進んだが、一部講義については対面授業や、対面と遠隔のハイブリッド型の授業などが選択的に実施されている現状がある。そのため、学生が対面・ハイブリッド授業の出席のため大学に登校した際に、同日の遠隔講義を大学から受講する状況が発生している。複数の学生が持ち込んだ機器によりリアルタイムの遠隔講義を受講するにあたり、大学の、特に無線ネットワークの品質確保が重要となる。そこで、我々は無線コントローラから得られる基地局と接続ステーションの統計情報を収集し、無線環境の可視化および個々の基地局・ステーションの接続状況について可視化・解析が可能なシステムの開発をおこなった。本システムにより、個々の基地局や利用者それぞれのクライアントについて、過去に遡って接続状況を調べるとともに、問題点の洗い出しを行うことが可能となった。

Continuous statistics collection and visualization of Wi-Fi access points and client stations using time series database

Abstract: With the advent of COVID-19 in 2020, many universities have introduced distance lectures. Furthermore, for some lectures, face-to-face classes and hybrid classes are being implemented selectively. Therefore, when students come to the university to attend face-to-face or hybrid classes, they may attend remote lectures from the university. Hence, it is crucial to ensure the quality of the university's wireless network when multiple students attend a real-time remote lecture using their own devices. Therefore, we developed a system that collects statistical information on Wi-Fi access points and connected stations from wireless controllers and visualizes their wireless environment and the connection status. This system enables us to examine the connection status of each Wi-Fi access point and user's clients back in the past and classify connection problems.

1. はじめに

東京大学ではCOVID-19の影響により2020年度より授業の遠隔化を実施した。その後、緊急事態宣言の解除など事態が一定の落ち着きを見せる中で、本学では一部授業の対面化およびハイブリッド化をおこなっている。そのため、現在は遠隔授業と対面授業の両方が実施されており、学生が1日の授業の中で遠隔と対面の両方の授業を受講する場合もある。そのため、学生が大学において遠隔授業を受講するという状況が発生しており、大学において学生が遠隔授業を受講するための安定した学内通信インフラの提

供が大学の運営の上で不可欠となっている。

学生は自ら持ち込んだ端末によって遠隔授業を受講するため、主にWi-Fiによるネットワーク接続を使用することとなる。このようなWi-Fiのニーズに対して、本学では2020年度中に教室のWi-Fi設備を増強し対応を行い、また教室において実際に無線クライアントを利用して同時に遠隔講義を受講する実証実験[1]を行うことで、設計上は利用者に対するキャパシティを確保して運用を行なっている。

しかしながら、Wi-Fiネットワークはさまざまな要因から接続性に問題が出る可能性があり、実際に学生及び教職員から無線が繋がらなかった、品質が悪かったなどの障害報告が少なくない数挙げられている。WiFi通信の問題はクライアント側のハード・ソフトウェア的な問題に起因す

¹ 東京大学総合文化研究科
Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo

² 東京大学情報基盤センター
Information Technology Center, The University of Tokyo

るものから、その時点での Wi-Fi の利用状況、電波的な外乱、学内バックボーンや対外接続の影響など多岐にわたる。そのため、このような個別の障害報告に対して問題を特定することが困難である。

本報告では、そのような Wi-Fi 接続上の問題への対処を行うために構築した、構内無線 LAN の状況を監視・解析するシステムについて紹介する。

2. 関連研究

無線 LAN の状況を監視するシステムについては、さまざまな製品や研究が行われている。無線 LAN 機器のベンダである、Aruba 社^{*1}や Cisco 社^{*2}からは、自社製無線 LAN およびコントローラを管理・監視する機器・ソフトウェアを提供している。これらの製品を使うことで、複数のコントローラ構成を含む大規模な Wi-Fi ネットワークの監視・管理をおこなうことができる。しかしながら、これらの製品は当然ながらそのベンダが提供する機器にしか対応しておらず、監視機能が管理部分と強く結びついているため、複数のベンダの無線基地局が混在しているような環境では使用することが難しい。その他、無線 LAN 環境の測定をおこなうシステムとして、SINDAN Project[2][3] では、ネットワークのトラブルシューティングのため、クライアント側より物理レイヤからアプリケーションレイヤまでを横断する計測を行なっている。これらはクライアント側からアプリ等を用いて測定をおこなうシステムである。本システムはインフラ側機器の測定を主としており、既存のクライアント側からの測定と組み合わせることでより正確な運用情報を取得できると考えられる。

3. 設計

本システムは Wi-Fi レイヤでの障害を特定を目的とし、無線基地局ないし無線 LAN コントローラで得られる統計情報を収集する。収集したデータに基づいて個々の基地局や無線クライアントについて接続状況の可視化を行い、個別の地点ないしクライアントにおける無線区間の問題について解析を行う。

3.1 要求事項及び設計方針

本システムを設計するにあたり、下記を要件を考慮した。

(1) 過去の一定期間について可視化できること

利用者からの不具合報告は接続性に問題があった時点ではなく、少し後になってから行われることが多い。長期にわたって問題が発生してから初めて報告が行われる場合や、過去の特定の場所・時間でのみ問題が発生していた場合もあるため、過去にわたってある程度の期間のデータを保持しつつ、保存したデータのうち

任意の区間での情報を解析・可視化できる必要がある。時系列の情報保存に適したデータベースとしては、ラウンドロビン型データベースや時系列データベースが挙げられる。使用帯域などのネットワーク機器の統計情報収集には古い情報の解像度を下げてデータの保存容量を節約できるラウンドロビンデータベースが使われることが多いが、本システムでは過去のデータに対しても収集時と同様の解像度で保存される必要があるため、過去データが縮退しない時系列データベースを採用した。

(2) 複数種類の無線基地局・無線 LAN コントローラへの対応

本学では、基幹ネットワークは情報基盤センターが行っているが、末端ネットワークの運用は学部・研究科などの部局ごとに別々に行なっている。そのため、無線基地局および無線 LAN コントローラの管理主体や、機器のメーカーなどがそれぞれ異なる。よって、本システムは複数の機器メーカーに対応し、かつ基地局の運用形態、すなわち無線 LAN コントローラによる運用及びスタンドアロン基地局の両方の方式について対応できる必要がある。本システムではネットワーク機器の情報収集に広く使われている SNMP を用いて無線基地局及び無線 LAN コントローラから統計情報の取得を行う。SNMP は任意の統計情報資源に対して個別に読み取り権限だけを与えることができるため、本システムで前提となる異なる管理主体で管理されている機器の情報取得に適している。SNMP により Wi-Fi 関連の情報を収集するには、標準規格として IEEE 802.11 [4] で策定されている管理情報 (mib) が存在する。しかしながら、実際の Wi-Fi 製品では Enterprise mib と呼ばれるベンダ各社が独自に設定した Wi-Fi 用の mib を提供していることがほとんどである。そのため、それら各社で異なる mib の違いをシステム側で整形・変換することで吸収する。

(3) 可能な限り無線基地局の構成変更に対応すること

前述のように個々の無線基地局・無線 LAN コントローラは学内の異なる管理主体により運用されているため、個々の無線基地局の追加・移動・撤去・設定変更などに対して可能な限り手動でのシステムへの設定変更を行うことなく最新の情報に対応できる必要がある。本システムでは、SNMP を用いて Wi-Fi ネットワークの統計情報を取得するだけでなく、同時に構成情報も定期的に取得することで基地局の現在の運用状況について情報のアップデートを行う。

(4) 収集した情報の一部を整形し外部に提供できること

本学において、本システムとは別に感染症対策を目的とした三密回避のため、学内の混雑情報をさまざまなセンサーを用いて取得し、学内利用者に提供するサー

*1 <https://www.arubanetworks.com/>

*2 <https://www.cisco.com/>

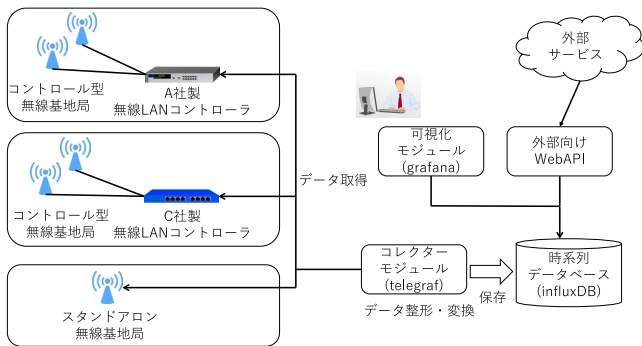


図 1 システム概要図
 Fig. 1 System components

ビスが運用されている [5]. それらのシステムで混雑情報を推定するため、一つのメトリックとして特定の基地局に対するアソシエーション数を使用したいという要求があった. 本システムではそれらに対応するため、独自の WebAPI を用意し、取得した情報から抽出・整形した情報の外部への提供を行う.

3.2 システム概観

本システムは個々の無線基地局及び無線 LAN コントローラから統計情報を収集するコレクターモジュールと、収集した統計情報を保存する時系列データベース、データベース上の情報を解析し表示する可視化モジュール、および外部システムに情報を提供するための外部 API モジュールからなる. コレクターモジュールは SNMP を用いて各無線基地局および無線 LAN コントローラから定期的に情報を収集する. 取得した情報は整形を行い時系列データベースに保存する. 可視化モジュールは時系列データベースにアクセスを行い、保存した統計情報の表示を行う. また、外部 API モジュールはデータベースに保存された情報を外部からの要求に応じて整形し、出力を行う.

3.3 取得する Wi-Fi パラメータ

本システムではコレクターモジュールが SNMP を利用して個々の無線基地局および無線 LAN コントローラから情報の取得を行う. 取得する情報は、下記の通りである.

- (1) 無線基地局の統計情報
- (2) 無線基地局の設定情報
- (3) 無線クライアントの接続情報
- (4) 無線クライアントの統計情報

無線基地局・無線 LAN コントローラの機器ベンダによって上記情報が取得できる mib が異なるため、コレクターモジュールでは各ベンダごとに取得した異なる統計情報のうち、取り扱っている情報が同じであるものをまとめた形に変換を行う. 表 1 にベンダ別に取得する SNMP mib 情報を示す. 各社の Enterprise mib について提供している情報の種類が同じものをまとめているが、これらのデータ

は必ずしも同一の性質をもっていない. 例えば再送フレーム数について Aruba 社の mib は比率の形式で提供されるが、Cisco 社の mib は実数の形式で提供される. システムはこれらの違いを吸収する必要がある.

4. 実装

4.1 時系列データベース

本システムで使用するデータベースはオープンソースの時系列データベースである InfluxDB [6] を使用した. InfluxDB はストレージエンジンとして独自の Time-Structured Merge Tree(TSM) を採用しており、逐次的なデータの蓄積と、時間軸による検索に対して高いパフォーマンスを持っている.

TSM は可逆的なデータ圧縮をサポートしており、かつ階層的なキャッシュ構造を持つため、時間とともに蓄積されていくデータに対して消費容量を抑えることができつつ、同一時間範囲に対する繰り返しの問い合わせに対して効率的に回答を返すことが可能となっている. また、データ保持期間を定め、古いデータを自動的に削除するリテンションポリシーを設定することも可能である. 以上のことから、本システムの特性および要求事項に対して適切であると判断した.

4.2 コレクターモジュール

コレクターモジュールは、汎用のデータ収集エージェントである telegraf を利用して実装した. telegraf はさまざまな種類のデータソースに対して定期的にデータ問い合わせをおこない、結果をフィルタ・整形してデータベースに格納する. また、starlark というデータ処理用のスクリプト言語にも対応しており、データの変換・整形などをこのモジュール上で実装することができる.

3.3 節にて説明した Wi-Fi の情報を提供する mib はテーブル形式のデータ構造になっている. mib のテーブル形式のデータ構造はプログラミング言語における連想配列のような数値をキーとした構造を持っている. 現在の無線基地局の多くは 2.4GHz 帯と 5GHz 帯それぞれの無線モジュールを持っており、それら複数の無線モジュールを同時に動作させる. そのため、無線基地局の情報を提供するタイプの mib はそれらの無線モジュールごとに別々に統計情報を提供しており、無線基地局の MAC アドレスと無線モジュールの ID をキーとしたテーブル構造の情報を提供している. 同様に、無線クライアントの情報を提供する mib についてはクライアントのもつ無線インターフェースの MAC アドレスをキーとしたデータ構造を持つ. そのため、データコレクターモジュールではこれらの数値キーをデコードし、収集対象のホスト名を加えたものを時系列データベースのキーに指定して格納する.

また 3.3 節で述べたように、無線基地局・コントローラ

表 1 取得する mib パラメータ (一部抜粋)

Table 1 Wi-Fi SNMP Mib Parameters

Aruba 社 mib	Cisco 社 mib	概要
基地局統計情報 mib		
wlanAPCurrentChannel	bsnAPIfPhyChannelNumber	現在の無線チャンネル (2.4/5GHz)
wlanAPFrameBandwidthRate	-	フレームの送信帯域
wlanAPFrameRetryRate	bsnAPIfDot11RetryCount	リトライフレーム率/数
wlanAPFrameRetryErrorRate	bsnAPIfDot11FailedCount	リトライエラー率/数
wlanAPFrameReceiveErrorRate	-	受信フレームエラー率
wlanAPRxErroPkts	bsnAPIfDot11FCSErroCount	受信エラーフレーム数
wlanAPNumClients	bsnApIfNoOfUsers	接続クライアント数
wlanAPRxDatABytes64	-	送信データバイト数
wlanAPRXPkts	bsnAPIfDot11TransmittedFrameCount	送信フレーム数
wlanAPTxDatABytes64	-	受信データバイト数
wlanAPRXPkts	bsnAPIfDot11ReceivedFragmentCount	受信フレーム数
基地局設定情報 mib		
macaddr	macaddr	MAC アドレス (基地局/クライアント)
wlanAPName	cLApName	基地局名
無線クライアント接続情報 mib		
wlanStaChannel	cldcClientChannel	接続先チャンネル
wlanStaHTMode	bsnMobileStationProtocol	802.11 HT モード
wlanStaIsAuthenticated	bsnMobileStationSecurityPolicyStatus	認証状態
wlanStaRSSI	bsnMobileStationRSSI	受信電波強度
wlanStaTransmitRate	cldcClientCurrentTxRate	送信レート
無線クライアント統計情報 mib		
wlanStaRxBytes	bsnMobileStationBytesReceived	送信バイト数
wlanStaTxBytes	bsnMobileStationBytesSent	受信バイト数
wlanStaRxPkts	bsnMobileStationPacketsReceived	送信パケット数
wlanStaTxPkts	bsnMobileStationPacketsSent	受信パケット数
wlanStaFrameRetryRate	bsnMobileStationTxRetries	フレーム再送率/数
wlanStaFrameRetryErrorRate	bsnMobileStationTxExcessiveRetries	リトライエラー率/数

のベンダによって Wi-Fi の情報を提供する mib が異なるため、本モジュールでベンダごとの mib を問い合わせ別々のテーブルに格納するとともに、それらのベンダごとの違いを吸収するために抽象化したテーブルも用意し、併せて格納をおこなう。ベンダによっては再送フレームが実数で提供される場合と比率で提供される場合があるため、いずれも比率の形にコレクターモジュールでデータ処理・変換することにより、可視化モジュールにおいて統一された形でデータを取り扱えるようにしている。

4.3 可視化モジュール

可視化部分については、汎用の可視化ツールである Grafana[7] を利用した。図 2 が個別クライアントの可視化画面である。

可視化画面の左上には無線基地局可視化画面であれば無線基地局の、無線クライアントの可視化画面であれば無線クライアントのインターフェースの MAC アドレスを入力欄があり、入力したアドレスに対応した無線基地局・無線クライアントの情報が表示される。

無線基地局の可視化

無線基地局の可視化画面では、対象となる基地局の下記の情報が時系列で表示される。

- 2.4GHz/5GHz の使用チャンネル
- アソシエーションしているクライアント数
- 送受信データ量
- 送受信パケット数
- フレーム再送率
- 受信エラーフレーム率

無線クライアントの可視化

無線クライアントの可視化画面では、対象となるクライアントについて下記の情報が時系列で表示される。

- 2.4GHz/5GHz の使用チャンネル
- 信号強度 (dbm)
- 送受信データ量
- 送受信パケット数
- フレーム再送率
- 受信エラーフレーム率

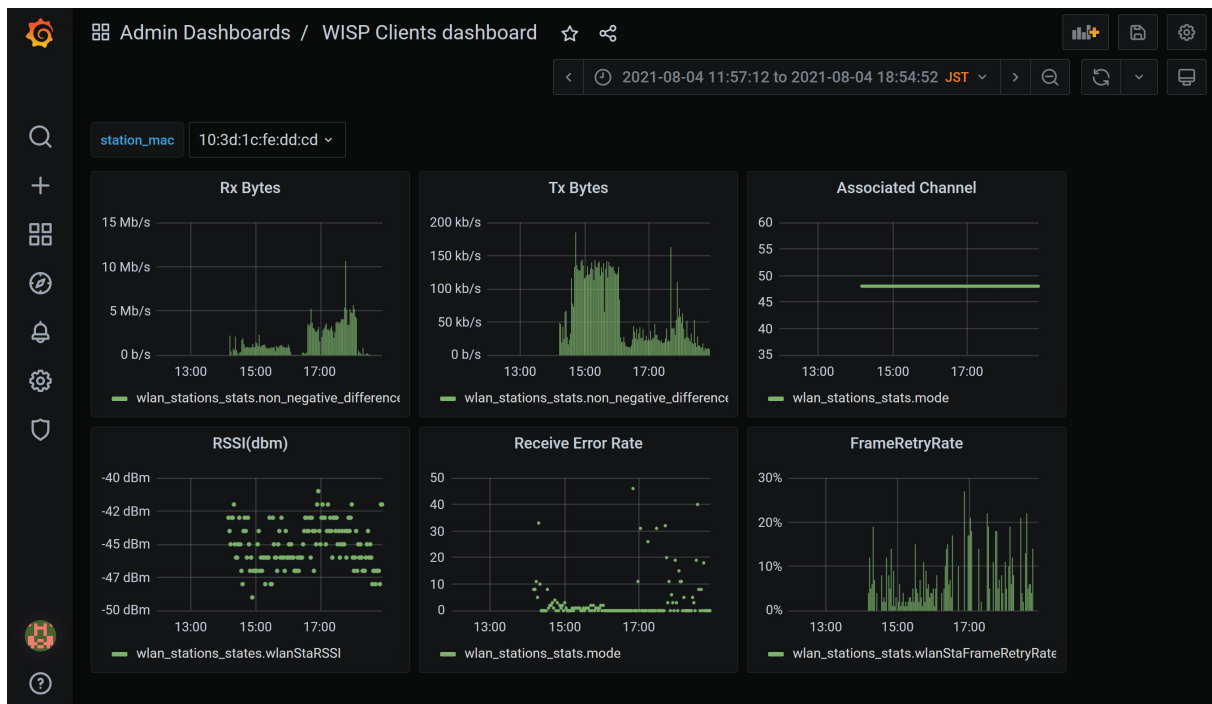


図 2 可視化画面 - 無線クライアント
Fig. 2 Screenshot for Visualization

4.4 外部連携用 WebAPI

本システムで取得している情報を外部のサービスに提供するための WebAPI の開発を行った。WebAPI では時系列データベースへの直接アクセスを行うインターフェースは提供せず、本モジュール上で統計処理により特定の無線クライアントに紐づけられるような情報を除去したデータを提供する。

本 API で提供しているデータの一例として、感染症対策のため教室の混雑度を調査する目的で、個々の部屋で無線にアソシエーションしているクライアント数を提供している。本 API は学内の各部屋に関連づけられた部屋 ID を用いて問い合わせると、その部屋内の無線基地局にアソシエーションしているクライアントの合計を返す。この機能については、教室系の部屋番号のみ対応しており、教員個人の部屋や院生室など、特定少数の人が主に使用する部屋についてはプライバシーの観点から今のところ情報提供をおこなっていない。

5. 実際の運用状況

本システムは、本学において無線の接続障害が発生したユーザについて原因を探るために利用している。ユーザからは使用している無線クライアントの MAC アドレスと、通信に問題があった時間および場所についてヒアリングをおこなう（ユーザが MAC アドレスの情報がわからない場合には、無線 LAN のユーザ認証を担当している部門に問い合わせ、ユーザ名から MAC アドレスの提供を受ける場合もある）。得られた無線基地局および無線クライアント

の MAC アドレスを本システムで可視化することで、さまざまな情報を取得することができる。例えば、無線クライアントの接続チャンネルと送信レートを確認することで、適切な無線プロトコルが使用されているか調査し、遅いレートを利用していないか確認したり、フレーム再送率から混雑や干渉を起因とした障害が発生していないかを確認することができる。また、併せて無線基地局を確認し、当該時間帯における無線クライアントの接続数や通信量、再送数を確認し、その場所特有の問題が発生していたかを確認する。以上の情報を考慮し、その無線クライアント特有の問題であった場合には使用チャンネルの固定 (5GHz) や、遠隔講義用の貸し出し機器であった場合には当該機器の交換、また対象が PC である場合には USB 無線 LAN ドングルの貸与などの対策をおこなっている。無線基地局側での統計情報に問題がある場合には、例えば再送が多く発生している場合はチャンネルの変更、出力の調整や 2.4GHz 帯の停波、接続数が多い場合には無線基地局の増設などの対応を検討している。

本システムは Wi-Fi の統計情報のみをとりあつかっており、基地局移行のネットワークに問題が発生していた場合には問題を検出することができないが、無線区間を含む通信に障害があった場合には無線リンクの障害を疑われることが多く、無線リンクでの問題がないことを特定できることはトラブルシュートを実施する上で重要である。

6. おわりに

本報告では、キャンパスの無線ネットワークの品質確保

のため開発を行った、無線基地局・無線 LAN コントローラの統計情報を利用した無線環境及び通信品質の可視化システムについて紹介を行った。本システムにより、ユーザが報告したネットワーク障害について、Wi-Fi レイヤでのより詳細な状況を把握することが可能となり、適切な対策を立てることが可能となった。

今後の課題としては、Rogue AP 情報の利用が挙げられる。無線基地局・コントローラで取得できる情報として、Rogue AP と呼ばれるシステム側で提供している無線基地局以外の無線基地局（例えばスマートフォンのテザリングなど）を取得することができる。ユーザが個人で基地局を置くことにより、電波干渉が発生することはよく知られており、これらの情報を利用することで通信障害の原因の特定、および防止に利用できると考えられる。

また、本システムは現時点で特定の無線クライアントの接続先基地局など、個人個人のトラッキングに利用できる情報は取得していない。そのため、現在はユーザからどの場所で無線を利用していたかヒアリングをすることで対象の無線基地局を特定し情報の可視化をおこなっている。しかし、ユーザが利用している基地局の情報を利用することでより詳細な原因特定が可能になるとともに、位置情報を利用したサービスの提供も考えられる。これらの実現のためには、単なるシステム開発だけでなく、大学組織でのプライバシーに関する議論が不可欠であると考えられる。

謝辞 本システムの開発に当たって、東京大学 FSI データプラットフォーム・キャンパスデータ WG の諸氏にご相談・ご協力いただいた。ここに感謝の意を表したい。

参考文献

- [1] 石原知洋, 四本裕子, 角野浩史, 玉造潤史, 中村遼, 小川剛史, 相田仁, 工藤知宏. 教室でのオンライン講義受講のための無線接続環境評価. インターネットと運用技術シンポジウム論文集, 第 2020 巻, pp. 85–92. 情報処理学会, December 2020.
- [2] 北口善明, 石原知洋, 高嶋健人. センサデバイスを利用したネットワーク状態計測手法の評価. マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2017 論文集, 第 2017 巻, pp. 1348–1353, jun 2017.
- [3] SINDAN Project. Sindan project, 2016-. <https://github.com/SINDAN/sindan-client>.
- [4] Iso/iec/ieee international standard - information technology-telecommunications and information exchange between systems local and metropolitan area networks-specific requirements part 11: Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications. *ISO/IEC/IEEE 8802-11:2012(E) (Revision of ISO/IEC/IEEE 8802-11-2005 and Amendments)*, pp. 1–2798, 2012.
- [5] MOCHA - 東京大学. <https://mocha.t.u-tokyo.ac.jp/>.
- [6] InfluxDB: Purpose-Built Open Source Time Series Database. <https://www.influxdata.com/>.
- [7] Grafana: The open observability platform. <https://grafana.com/>.