

第6部

特集6 SINDAN

北口 善明、石原 知洋、高嶋 健人、阿部 博、淺葉 祥吾、宮 太地、新 善文、新 麗

第1章 はじめに

SINDAN (Simple Integrated Network Diagnosis And Notification)ワーキンググループは、ネットワーク運用におけるネットワーク状態の把握やその評価手法の研究開発を目的として2017年7月に設立された。前身となるSINDANプロジェクトは、2013年のWIDE合宿における合宿ネットワーク評価に始まり、これまでにネットワーク障害点を検出する手法として、ユーザ側からの観測を元に状態を評価する手法を取り上げ、その評価を重ねてきた。

第2章 2021年度の活動

2.1 安価なコンピューティングデバイスを用いた低コストな無線LAN計測システム

本章では、Raspberry Piを利用した複数クライアント環境のエミュレーション・計測を行うシステムについて説明を行う。

現在、学校において感染症対策の要請からさまざまな形態の授業がおこなわれている。例えば従来通りの対面授業や、オンライン講義であったり、オンラインと対面を同時に行うハイブリッド型の授業などである。そのようなさまざまな授業が混合して実施されている場合、対面授業の次の授業がオンライン授業であるなど、学生の移動の都合からキャンパス内の教室で無線LANを使用してオンライン講義を受ける状況が存在する。複数の学生が持ち込んだ端末により教室で同時にオンラインの講義を受講する場合には、その場所の無線LANインフラに十分なキャパシティが必要となる。

しかし、一般的にキャンパスの無線LAN整備においては、キャパシティ設計は機器のカタログスペックや電波シミュレーションを元におこなわれ、実際に多数の学生が同時接続をした場合に、十分なクオリティで通信をおこなうことができるかは未知数である場合が多い。実環境において、想定する使用形態で無線LANが問題なく使えるか調査を行うためには、実際に多数の端末を用意するか、高価な計測機械や業者によるフィールドテストが必要であり、高コストである。

そこで、低いコストで実環境での無線LAN環境の評価をおこなうため、安価なIoTコンピューティングデバイスを計測デバイスとして採用した、多数の無線クライアント接続による無線LAN環境の評価をおこなう計測システムを開発した。本システムにより、無線LAN環境に対し、コストを抑えつつ実環境に近い状態での計測が可能となった。

2.1.1 計測システムの設計と実装

本計測システムを設計するにあたり、以下を要件とした。

- 1) 複数かつ多様な無線クライアントによる計測が行えること
クライアントの無線インターフェースが対応している方式はハードウェアによって802.11a/b/g/n/ac/axの違いや、対応している空間ストリーム数などが異なる。本システムでは設定により、それらの多様なクライアントが混在したシナリオに沿って計測することを可能とする。
- 2) システムに使用するコンポーネントを安価で、かつ調達が容易なものを利用する
多数のクライアントを使用して接続テストを行う際

に、個々の計測用クライアントが高価である場合、最終的な機材費が高騰してしまう。本システムはシステムを構成するハードウェアに調達容易な汎用品を使用し、コストを抑えた計測システムを構築可能な構成とする。

3) 計測を行うハードウェアを随時追加可能にする

計測を行うシステムコンポーネントについては計測需要に応じてデバイス数を適宜追加可能にし、小規模なエミュレーション環境から大規模なエミュレーション環境まで対応可能なシステムとする。

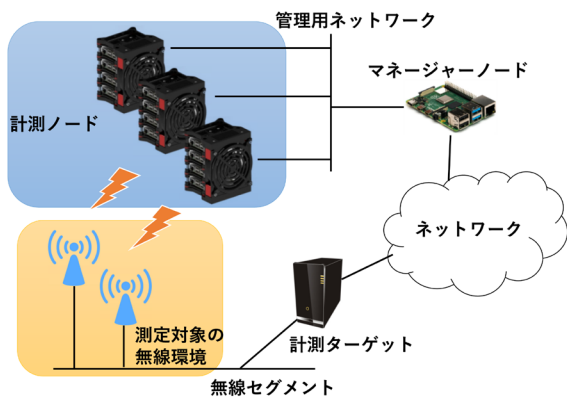


図1 system_components

図1がシステムの概観図を示す。システムは全体の計測を行うマネージャーノードと、計測を実施する複数の計測ノード、及び帯域計測の対向側となる計測ターゲットからなる。マネージャーノードと計測ノードの間は管理用の有線プライベートネットワークで接続され、計測ノードの設定、ノードへの計測命令の送信、および計測結果の受信はこの管理ネットワークを通じて行われる。計測ターゲットは計測ノードが接続されているネットワークセグメントから双方向の通信が可能なネットワークセグメントに配置する。本システムの計測はノードの無線方式などの設定と、計測の種類とタイミングを記述したシナリオファイルに沿って実施される。

図2に本システムの動作概要を示す。マネージャーノードはシナリオ記述ファイルが提示されると、それを元に各計測ノードのシステム設定ファイルを生成する(1)。生成されたシステム設定ファイルは各計測ノードに送信され、そちらを適用した上で各インターフェースのリセットをおこなう(2)。各計測ノードで無線インターフェースの接続が確立した後に、無線インターフェースの接続状況、パラメータ、割り振られたIPアドレスをマネージャーノードに通知する(3)。その後、シナリオ記述ファイルと、計測ノードから通知された情報をもとに、計測を行

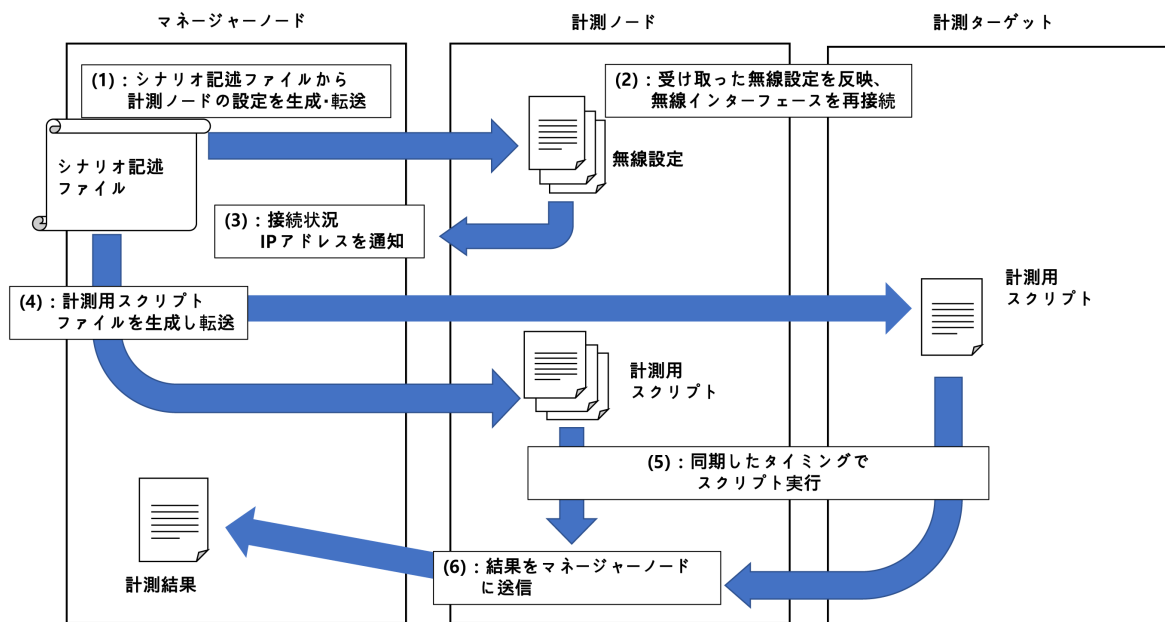


図2 system_sequence

うためのスクリプトファイルを生成し、計測ノードと計測ターゲットにそれぞれ送信する(4)。全計測ノードと計測ターゲットにおいて、同期したタイミングでスクリプトを実行し、計測を開始する(5)。全計測ノード・計測ターゲットで得られた計測結果はまとめてマネージャーノードに送信する(6)。マネージャーノードと、計測ノード・計測ターゲットの間のファイルのやりとり、設定の反映、インターフェースの接続・切断操作については構成管理ツールであるansibleを使用した。構成管理ツールを用いることで、計測作業者がおこなうすべての操作をマネージャーノードで完結することができ、計測ノードを展開することでどのような場所でも簡便に測定をおこなうことができる。

本システムの実装に際して、マネージャーノード及び計測ノードとして汎用のシングルボードコンピュータであるRaspberry Pi 4Bを採用した。Raspberry Piはある程度のCPU性能を持ち、かつ内蔵無線LANデバイスと、複数のUSBポートを持つため、計測ノードとして今回の目的である複数の無線LANクライアントのエミュレーションに適している。マネージャーノードも計測サイトに持ち込む前提で考え、Raspberry Piを実装ターゲットとして選択した。

2.1.2 計測システムの評価

本システムの有効性を確認するために、計測をおこなう個々の無線インタフェースについて、1台のコンピューティングデバイスにつき1個ずつ接続し、複数台のデバイスで帯域計測をした場合と、複数個の無線インタフェースを接続して1台のデバイスで帯域計測をした場合の比較、および実際に無線LANを利用するサイトにおいて本システムで計測した結果について評価をおこなった。

無線デバイスの送受信アンテナが近接した場所に配置されていることによる影響や、コンピューティングデバイスの処理能力、USBバスの制約などによる無線LANインタフェースを集積した場合の速度低下について評価をおこなった。図3は計測ノードにUSB無線LANインタフェースを1～4個接続した場合のTCPによるスループット測定の結果である。計測に使用した無線LANインタフェースは1つのみで、2～4個無線LANインタフェー

スを接続した際には、計測に使用する以外のインタフェースについてはdown状態にした。すなわち、他のインタフェースは一切の通信をしていない状態であったが、接続することによってUSBの帯域が一定割り当てられることになるため、3個接続した場合に8%、4個接続した場合に19%の速度低下が確認された。

続いて、1)複数台の計測ノードに1つずつUSB無線インタフェースを接続した場合 2) 1台の計測ノードに複数個のUSB無線インタフェースを接続した場合の両方についてTCPによるスループット計測をおこなった(図4)。

グラフは各インタフェースでの測定結果を積み上げ棒グラフにしたもので、インタフェース数が2～4の場合の棒グラフについては、左側が複数台の計測ノードに1つずつUSB無線インタフェースを接続し、それぞれの計測ノードに対して同時にTCPによる帯域測定を行った場合であり、右側が1台の計測ノードの異なるインター

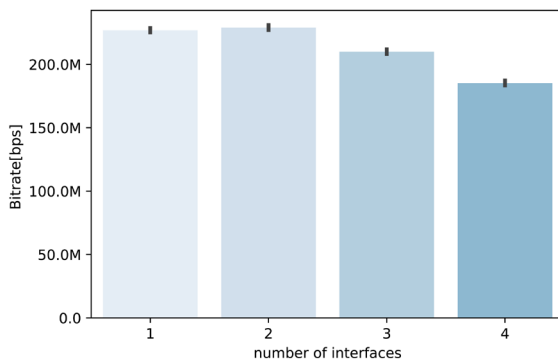


図3 1stream-multiinterface-revised

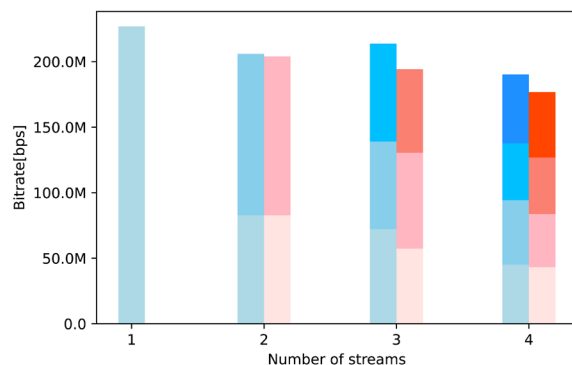


図4 multi-stream

フェースに対して同時にTCPによる帯域測定を行った場合の結果となる。1台の計測ノードにインターフェースを集積した場合の速度低下は、インターフェースがそれぞれ2/3/4個の際に、1%/9%/17%となった。この結果から、台数にかかわらず、同時に計測する無線LANインターフェースが増加するほど速度が低下する傾向にあることと、複数台の計測ノードにおいて1つずつインターフェースを使う場合に比べて、1台の計測ノードに複数の無線インターフェースを接続した場合の方が合計のスループットが若干低下するということがわかった。USB無線LANインターフェースを複数台接続し、うち1つのインターフェースでのみ計測した場合の速度低下については19%であったが、実際にそれらのインターフェースを使用して計測した場合の速度低下は7%に緩和されている。

本システムの実証実験として、実際にオンライン配信で使用する教室での試験計測をおこなった。この部屋は通常時160人定員の部屋であり、現在は感染症対策のため

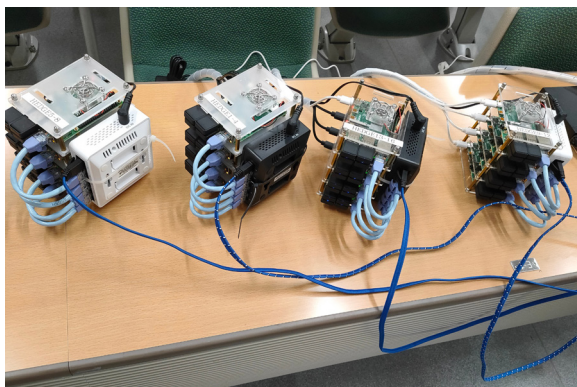


図5 hedgehog field

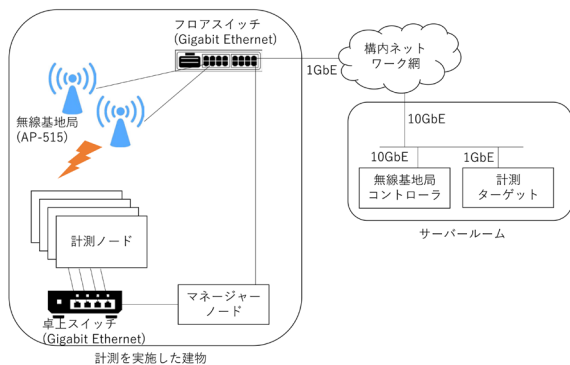


図6 field_test_env

に80人定員で使用している。教室の中央付近に計測ノードを配置し、定員と同じく80個の無線LAN計測インターフェースを使用し、TCPでの計測をおこなった。計測ノード当たりの無線LANインターフェースは5個であるため、16台の計測ノードを使用して80個のクライアントで計測をおこなった(図5)。

測定対象の無線基地局はAruba製AP-515であり、802.11a/b/g/n/ac/axに対応している。周波数帯については2.4GHzおよび5GHzに対応しており、コントローラの独自の判断基準により接続してきたクライアントに対して2.4GHz帯および5GHz帯にそれぞれに分散して割り振る。クライアントが割り当てられた周波数帯が変わることによって測定への影響がでることを防ぐため、2.4GHz帯の無線については基地局側で停止し、5GHz帯のみで測定をおこなった。

計測時のネットワーク環境を図6に示す。無線基地局はコントローラ制御のもので、建物に設置のフロアスイッチに1000Base-Tで接続されている。無線基地局コントローラと計測ターゲットはサーバールームに設置されており、無線基地局からのトラフィックは無線基地局コントローラを介して計測ターゲットまで届く。無線基地局コントローラは10GBase-LR、計測ターゲットは1000Base-Tで上流と接続されている。計測を実施した建物からサーバールームへは構内ネットワークを経由するが、最も遅いリンクで1Gbpsで接続されており、基地局から無線基地局コントローラを通り計測ターゲットに至るまで最低でも1Gbpsでの有線接続となっている。計測を実施した建物のフロアスイッチに有線接続した端末から計測ターゲットまでiperf3を用いて測定したところ、930Mbpsの速度が計測されており、実験をおこなう無線接続に対して十分な帯域を有していると考えられる。計測は無線の接続方式を下記のように変えつつ、TCPでの計測をおこなった。

- 802.11ac 接続チャンネルボンディングなし(帯域幅 20MHz, 使用チャンネル 52)
- 802.11ac 接続チャンネルボンディング
- 802.11ac 接続チャンネルボンディング x4 (帯域幅 80MHz, 使用チャンネル 124, 128, 132, 136)
- 802.11n 接続チャンネルボンディングなし(帯域幅

20MHz, 使用チャネル 52)

なお先述のように、実験に使用した時点でのRaspberry Pi 4B内蔵の無線LANは802.11acに対応していないため、接続方式を802.11acにした場合でも802.11nで接続される。図7が計測結果の各無線プロトコルでの比較である。各グラフの縦棒は95%信頼区間を示す。結果を見る限り、チャンネルボンディングでの占有帯域に応じてスループットが増加していることがわかる。また、802.11acと802.11nの比較では、802.11acはMU-MIMOに対応しており、複数のアンテナにより下り方向の通信を同時におこなえるため、速度が伸びることが予測されたが、計測結果の20MHz帯域での結果を見る限り、802.11acと802.11nの速度には信頼区間を見る限り有意な差が見ら

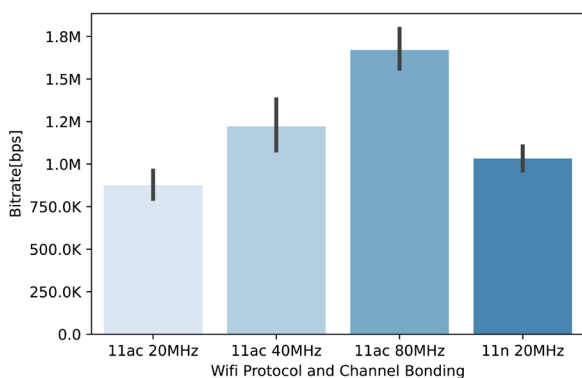


図7 multi-stream-protocol

れず、802.11acにしたことによるスループットの向上は確認されなかった。

図8と図9がそれぞれ802.11n20MHzと802.11ac80MHzでの各クライアントの計測結果の分布である。802.11n 20MHzでは多少の速度のばらつきがみられるものの、おおむね各クライアントで500kbps～1.5Mbps程度の帯域速度が計測されていることがわかる。802.11ac 80MHzでは、802.11n 20MHzの場合に比べて速度のばらつきが大きい。ただし、ほとんどのクライアントで1Mbps以上の速度は出ており、ほとんどの場合で802.11n 20MHzにおいて計測された帯域速度より高い帯域速度が観測されている。

2.1.3 本システムの考察

評価の結果、1台のデバイスに複数の無線LANインターフェースを集積したことによる影響は10%以下にとどまることがわかった。

また、本方式による教室でのフィールドテストは実験担当者1人により実施しており、加えて実験に要した時間は機材の教室への展開を含めて2時間程度であった。文献[126]において行った実験は、同じく80台の無線クライアントによる通信試験をおこなっており、Zoomによるアプリケーションレイヤでの測定であることと、アプ

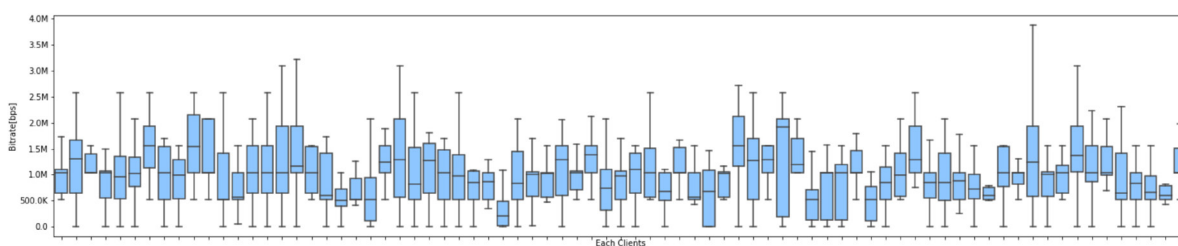


図8 802-11n-20

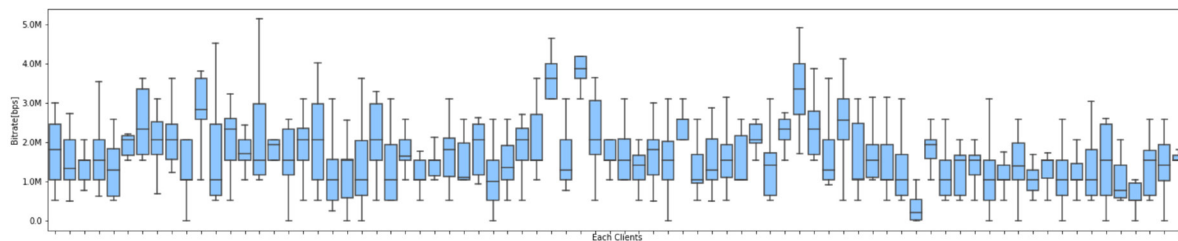


図9 802-11ac-80

リケーションに対するUX試験を含むという違いこそあるものの、機材の教室への展開および無線設定のセットアップで1日、通信試験で1日の併せて2日間がかかり、また人員も教員・TAを含めて十数人ほど必要とした。以上のことから、本論文で提案した方式は実験に必要な機材のみならず、人的・時間的コストも大きく削減できている。また、フィールドテストにより、今回測定をおこなった無線環境において下記の知見が得られた。

- TCPで測定した場合、各クライアントで概ね同等の使用帯域となること
- 80台の同時通信の際には、802.11n 20MHzの場合は一台あたり約800kbps、802.11ac 80MHzの場合は1.6Mbps程度の通信速度になることどちらの場合でも、文献[127]で報告されている動画帯域への考察を鑑みると、オンライン講義などでそれほど動きの大きくない動画を受講する場合には十分な数値である
- 高画質で動きの大きい動画の場合は1Mbps以上の帯域が必要となることがあるが、その場合には802.11acでチャネルボンディングをするか、文献[128]で検証されているように、基地局を追加設置しないと十分な品質が得られない場合がある

2.1.4 まとめと今後の展望

本研究では、汎用のシングルボードコンピュータであるRaspberry Pi 4Bを利用した計測システムを開発し、評価をおこなった。本システムは多数のクライアントが接続する環境を低コストで適切にエミュレートすることができ、より多くの場所で無線LAN環境の測定・評価をする際に有用なシステムであることが確かめられた。

今後の展望として、今回は1x1 MIMOのUSB dongleにより計測サーバを実装したが、一般的なノートPCでは2x2 MIMO対応の無線デバイスが装備されている場合も多いことを鑑み、より空間ストリーム数の多い無線LANデバイスによる構成を検討している。また、昨今は新しくWi-Fi 6 (802.11ax)対応のデバイスと無線LAN環境が普及しつつあり、現時点ではまだRaspberry Piで動作するドライバはないものの、USB接続のWi-Fi 6無線LANデバイスも市場に出回り始めている。今後はこれらのデバイスを活用することで、Wi-Fi 6の環境においても同様の

計測ができるようにシステムの拡張をおこなっていく予定である。

2.2 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

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、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。

2.2.1 監視システムの設計と実装

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。

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(図10)。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

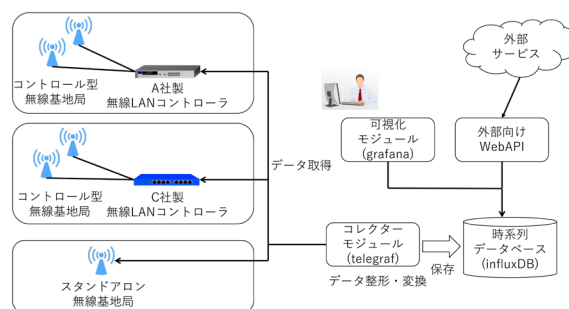


図10 wisp_system_components

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。

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。

- 無線基地局の統計情報
- 無線基地局の設定情報
- 無線クライアントの接続情報
- 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。また、いくつかのデータについてはあるベンダのものは絶対数である一方、他のベンダのものは割合で示されるものがあるなど、表現方法にも違いがあるため、それらの違いも収集モジュール上でのデータ処理により違いを吸収している。

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。

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。

また前述したように、無線基地局・コントローラのベンダによって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。

可視化部分については、汎用の可視化ツールであるGrafanaを利用した。図11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。

2.2.2 実環境での運用

本システムは、大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 dongle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。

2.2.3 まとめと今後の展望

キャンパスの無線ネットワークの品質確保のため開発した、無線基地局・無線LANコントローラの統計情報を利用する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、現状で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、個々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。

2.3 日本のIPv6インターネット環境の評価分析

日本のインターネットにおけるIPv6対応状況を分析・評価することを目的とし、日本国内におけるインターネット通信品質計測を可能とするWebサービス"iNonius Speed Test"を構築・運用している。以下に、システム構成の解説と、本システムで収集した計測結果を用いた日本のIPv4/IPv6インターネットの通信品質評価について述べる。

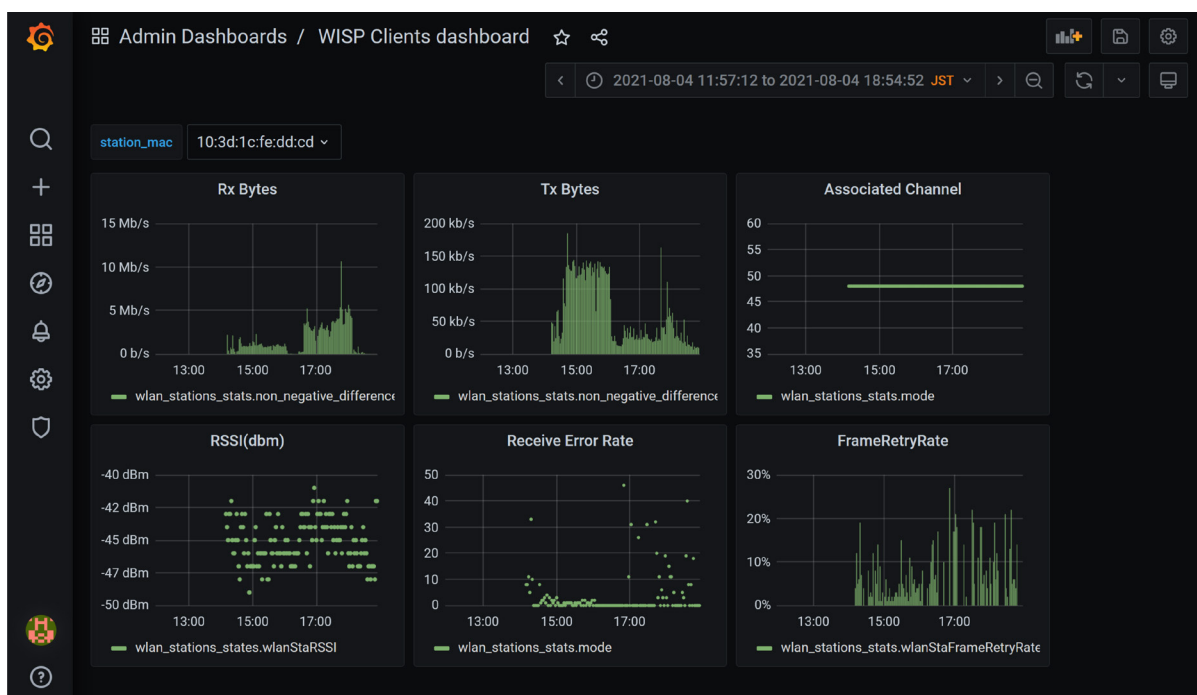


図11 wisp_client_dashboard

2.3.1 インターネット通信品質計測Webサービス： iNonius Speed Test

iNonius Speed Testは、IPv4/IPv6デュアルスタック環境におけるインターネット通信品質を、最大10Gbpsまで計測可能とするWebサービスである。スピードテストソフトウェアには、標準的なブラウザ機能のみで計測できることを条件とし、カスタマイズ性の高いOSSにて展開されているLibreSpeedを採用している。LibreSpeedは、GPLライセンスでGitHubにて公開されているOSSで、HTML5を用いて往復通信遅延やジッタ、通信速度の計測が可能である。

既存のインターネットスピードテストサイトでは、IPv6計測に対応しているものは存在しているが、IPv4とIPv6を同時に計測するサービスを提供しているものは存在していなかった。そこで我々は、先に挙げたLibrespeedを活用し、日本国内の通信品質計測を目的として国内IX近傍に設置した、IPv4/IPv6同時計測を可能とするスピードテストサイトを構築してきた。図12にiNonius Speed Testの計測画面を記す。

デュアルスタックのサーバに対して通信するプロトコルを制御するには、接続先URLに指定するドメイン名をIPv4 onlyおよびIPv6 onlyとし、Webサーバにおける仮想ドメインとURLパラメータに含めたユーザIDを利用する手法がある[124]。iNonius Speed Testにおいても、計測ページ内にIFRAMEタグを利用し、IPv4専用およびIPv6専用のURLを指定することで、両プロトコルでの通信品質計測を実現している。加えて、利用者側のネットワーク環境と通信品質計測結果の比較評価を行うために、Webサービスアプリケーションでは計測できない情報(TCPセッション情報やIPヘッダ情報など)をサーバ側にて収集する手法[125]を取り入れている。

2.3.2 計測データの分析と考察(サーバ側からの分析)

2020年6月3日から2021年1月22日までに記録されたものを対象として調査・分析を実施した。分析対象として有効な計測試行は合計75,790件であり、そのうちデュアルスタック計測試行は43,216件、IPv4シングルスタック計測試行は27,190件、IPv6シングルスタック計測試行は5,384件であった。

2.3.2.1 IPv4/IPv6それぞれの通信品質の比較

デュアルスタック計測試行における各計測項目のIPv4/IPv6の詳細な比較を図13に示す。上り速度と下り速度の両項目は概ねIPv4/IPv6間で相関関係にある一方で、IPv6の方がより良い結果が記録されている場合が多いことがわかる。通信遅延、ジッタに関してはIPv4の値がIPv6の値の数倍程度にもなる計測試行群の存在が色濃く現れており、IPv4/IPv6間で顕著な差が存在することが明らかに見て取れた。

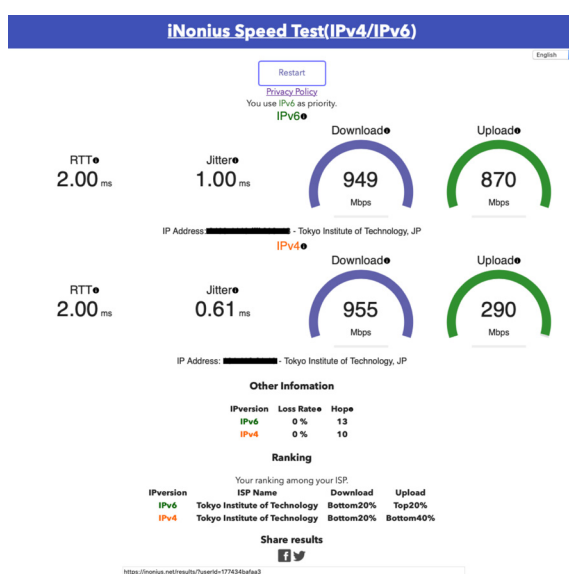


図12 inonius_speedtest

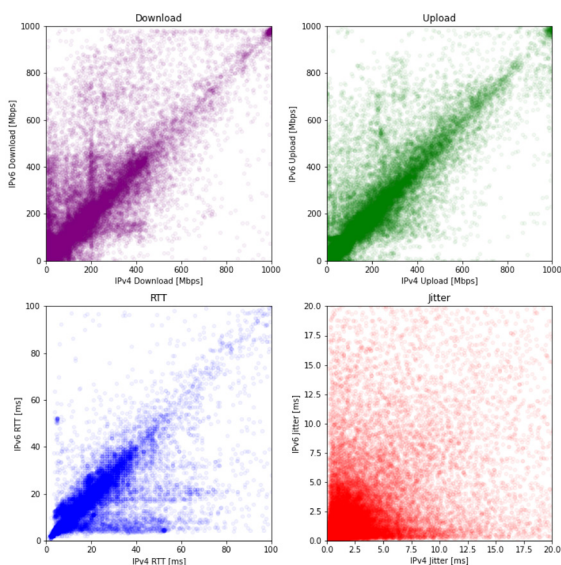


図13 ipv4_vs_ipv6

次に、上り速度、下り速度をより拡大したものを図14に示す。IPv6が100Mbpsの部分で帯状にプロットされている結果が見て取れる。これは、物理的に100Mbpsが上限となっているネットワーク回線の存在を表していると考えられ、その原因の一つとしてマンションインターネット等で利用されているVDSL環境ではないかと推察できる。また、下り速度においては、IPv4とIPv6双方が160Mbpsである計測結果が多く観測されていることも読

表1 両各回線タイプの本節で分析対象とする計測試行数

回線タイプ	計測試行数
a) フレッツ光IPoE (IPv4aaS)	12,817
b) フレッツ光IPv4PPPoE	14,865

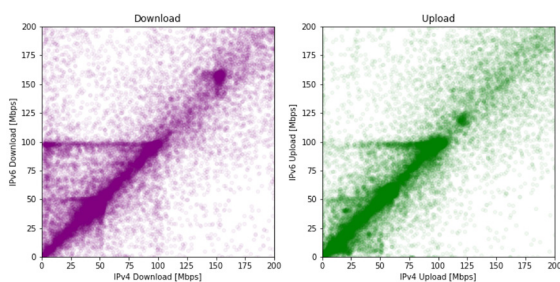


図14 ipv4_vs_ipv6_dl_ul

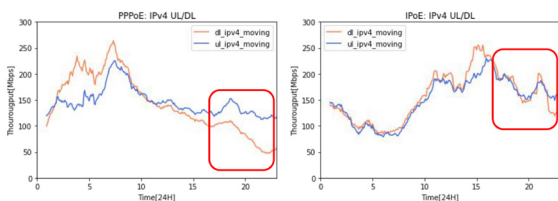


図15 IPoE_vs_PPPoE

RTT (HTTP GET)

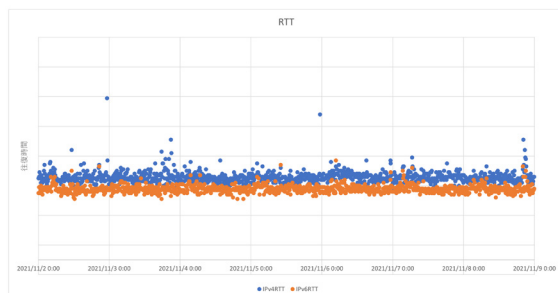


図16 userRTT

み取ることができ、160Mbpsを上限としたCATVサービス利用者の存在を確認することができている。

2.3.2.2 フレッツ光サービスの回線タイプによる時間帯による通信品質の比較

表1に両各回線タイプの本節で分析対象とする計測試行数を示す。各回線タイプは、計測時に取得したIPv4およびIPv6通信のMSSから推定している。この回線タイプ毎に、時間帯によるIPv4上り速度・下り速度について、計測時刻を5分ごとにグループ分けしたものを60分の移動平均で表したものを図15に示す。

これらの図から、IPv4 PPPoEが18時～24時のピーク時間帯に品質が悪化しているのに対して、IPoE (IPv4aaS)は前者ほどは大きな劣化をしておらず、ピーク時間帯にも安定した通信品質が期待できることがわかる。このように、実際の計測結果において、現状のPPPoEによるIPv4通信の品質低下状況を定量的に確認することができたと言える。

2.3.3 計測データの分析と考察(ユーザ側からの分析)

2021年11月に、ユーザ宅内に設置した特定の機器から定期的にiNoniusにアクセスしてデータを記録し、調査を行った。回線タイプはフレッツ光IPoEを活用したマンションインターネットである。宅内のネットワーク環境による影響を低減するために、測定機器は有線ネットワークで接続した。アクセスの間隔は10分ごととし、iNoniusの計測で表示されるRTT、Download、Uploadのデータを約1週間分取得し、時系列にプロットして変化を観察した。なお、目的は傾向を見ることであり、測定値はユーザ環境によって異なることから、各グラフに具体的な数値は示していない。

図16にRTTの傾向を示す。縦軸の1目盛りはmsである。ほぼ一定してIPv6のほうが良好な値を示していることが読み取れる。

図17にDownloadの傾向を示す。縦軸の1目盛りは50Mbpsである。本データにおいてもIPv6のほうが常に良好な値を示していることが読み取れる。また数値は異なるものの、IPv4/IPv6で同様の周期性が見られること

もわかる。

図18にUploadの傾向を示す。縦軸の1目盛りは50Mbpsである。Downloadよりも顕著にIPv6のほうが良好な値であることが読み取れる。本グラフはIPv4/IPv6の数値の差が大きいため、周期性の相関関係については別途解析が必要と考えている。

これらの図から、ユーザ側からiNoniusでIPv4/IPv6を比較観測した場合にも明らかにIPv6のほうが品質が良い結果が得られることが確認できた。一方で、ユーザの定点観測における計測データにはばらつきがあり、数回の計測で品質を判断するのは困難であるとも言える。

2.3.4 まとめと今後の展望

iNonius Speed Testにて収集した計測結果を元に、日本のデュアルスタック環境におけるIPv6通信の品質的優位性や、FTTHの回線タイプによる時間帯ごとの品質の差異などを推定できること示すことができた。また、ユーザ側からの定期的な計測においてもIPv6通信の品質的優位

性を確認でき、時間帯における結果の差異も見て取れることを確認した。今後も継続的な計測を実施し、SINDANクライアントとの連携や新しい通信プロトコル、計測手法への対応を進め、日本のIPv6インターネット環境の分析を実施する予定である。

2.4 SINDANクライアントの改良

SINDAN WGにて提供している、ネットワーク計測エージェントアプリケーション: SINDAN Clientの改良を継続している。

2.4.1 Cellular回線の計測手法の開発

SINDAN ClientによるCellular回線の計測手法の開発を、昨年に引き続き実施している。国立情報学研究所によるSINET広域データ収集基盤(WADCI)を活用し、定常的な評価実験を進めており、Linuxで収集可能なモバイル回線のパラメータ(電波強度やSN比など)との相関関係評価を進めた。現在の課題として、モバイル回線内のルータとの通信遅延を計測できないことがあり、SINETも含めた全体の通信遅延との比較しかできない点が挙げられる。商用回線での評価も含め、評価実験手法の検討を進めている。

2.4.2 マルチインタフェースによる計測への対応

SINDAN Clientは、計測対象インタフェースでの通信品質計測を行うシンプルな設計としていた。ただ、一つの計測エージェントにて複数経路の計測を行う需要があり、計測インタフェースを選択した上で通信品質計測を行う実装を導入することとした。開発は継続しており、実証実験による評価を計画している。

2.5 SINDANマルチテナント

SINDANワーキンググループでは、計測データを収集するサーバを開発しているが、本プロジェクトは元々大規模ネットワーク管理者が利用することを想定しており、それぞれのネットワーク環境ごとに管理者が収集サーバを構築し、運用するシステムとなっていた。しかしながら、昨今のネットワーク利用環境を鑑みると、リモートワークの広がりにより各組織構成員の自宅などのネットワーク環境の品質も重要な事項となっており、それら個人のネットワーク環境における品質計測への需要が高

Download

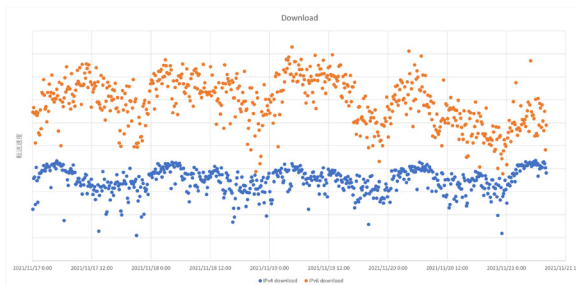


図17 userDL

Upload

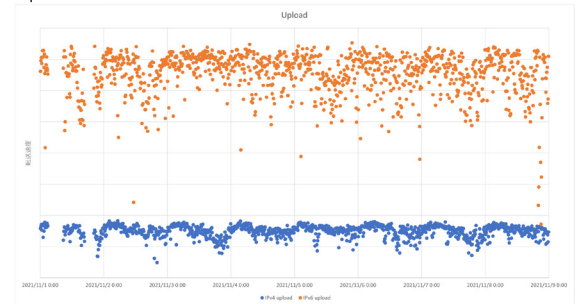


図18 userUL

まっている。そのような状況に対応するために、昨年度はRaspberry Piなどの計測エージェントに集積サーバを組み込む提案をし、開発をおこなった。しかしながら、本来はそのような集積サーバはクラウド上に存在すればよく、複数の管理ドメインが異なるユーザが共通して利用できる集積サーバの需要がある。

当然のことながら、それらの集積したデータについては適切なユーザおよびアクセス権限の制御のもと管理される必要がある。そこで、集積サーバの実装を再設計し、異なる管理ドメイン・ユーザが共通に利用できるシステムについて、議論を進めている。次年度はマルチテナント環境におけるシステムの要件定義およびアーキテクチャデザインをおこない、来年度以降に詳細な設計および実装を進めていく予定である。

第3章 まとめ

SINDANワーキンググループでは、学会等におけるイベントネットワークにおける評価実験を通して、ユーザ視点における階層型ネットワーク計測の有効性を継続的に評価している。2021年は、無線LAN環境の品質評価への応用や、サーバ側での計測連携に関しての拡張を進めた。引き続き、実環境での定常的な利用とシステムのブラッシュアップを進め、実用的なネットワーク運用補助システムの実現を目指していく。

第4章 発表論文一覧

石原知洋, 北口善明, 阿部博, 金子直矢, 「IoTコンピューティングデバイスを用いた低コストな無線LAN環境計測システム」, 情報処理学会論文誌デジタルプラクティス (TDP), Vol.2, No.3, Pages 1-10, 2021年7月.

石原知洋, 関谷勇司, 「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」, 東京大学総合文化研究科, 東京大学情報基盤センター, No.5, 2021年8月.

豊田安信, 岩本裕真, 加藤良輔, 北口善明, 中川あきら, 永見健一, 西野大, 「通信品質計測Webサービスを活用した日本のIPv6インターネット環境の分析と考察」, 情報処理学会研究報告, Vol.2021-IOT-52, No.32, Pages 1-6, 情報処理学会, 2021年3月.