7D-03

無線ネットワークの品質分析のための物理層データとMAC層データの包括的な可視化

玉井森彦　長谷川晃朗　横山浩之
株式会社国際電気通信基礎技術研究所

1　はじめに

倉庫，工場，病院，商業テナントビルなどの屋内中心の環境下において，機器の稼働状況の把握や制御，作業工程の管理等を目的としたIoT（Internet of Things）デバイスの導入が進んでいる．これらIoTデバイスを介した情報の取得や制御などの際には，IoTデバイスの設置場所の空間的な制約の緩和，自動搬送車やロボット等の移動体との通信の必要性などから，無線通信の利用が期待されている．一方で，屋内環境下での無線通信では，電波の減衰や反射，移動物体による電波環境の変化，他の無線機器からの干渉などによる通信品質への影響が大きい．そのため，IoTデバイスの安定運用においては，無線通信の品質維持が一つの重要な課題であり，その解決に向けては，まず対象環境下での無線品質をできるだけ正確に把握することが求められる．そこで我々は，対象環境下の無線品質に関する詳細なデータを取得し，さらにデータを可視化することで無線品質に重大な問題が生じていないかを把握するためのセンシングシステムの研究を行っている [1]．

本センシングシステムにおいて対象環境から取得するデータは，大きく物理層データとMAC（Medium Access Control）層データの2種類である．物理層データは，具体的には受信信号強度の時系列データであり，MAC層データは，受信信号に対する復調処理を経た後，無線システムの仕様（802.11a/b/g等）に基づきビット列を解釈して得られる，各フレームのヘッダ部に格納されている情報の時系列データである．既存研究や製品では，これらのデータは，(例えば異なるセンシング用機器を用いるなどの方法で）各々独立に取得し，各データごとに個別に分析されていることが多い [2, 3]．一方，物理層データとMAC層データは互いに一方のみでは取得が困難な情報を含んでおり，互いの同一時間軸上での関連性を維持した上で分析を行うことで，無線品質をより詳細に把握できる可能性がある．例えば，ある送受信機のペアが通信を行っているとし，その周辺でセンシングシステムにより物理層データとMAC層データを取得したとする．このとき，MAC層データを見ることで，あるフレームのロスが検出された場合，同一時間軸上での物理層データも合わせて見ることで，そのフレームが送信されたと想定される時刻において，そもそも送信側から電波が出ているのか否かを知ることができれば，フレームロスの原因の切り分けに有用である．このような分析を視覚的に行うことを可能とするため，我々は物理層データとMAC層データを同一時間軸上に並べて表示する可視化システムの開発を行った．本稿では，本可視化システムの詳細について述べる．

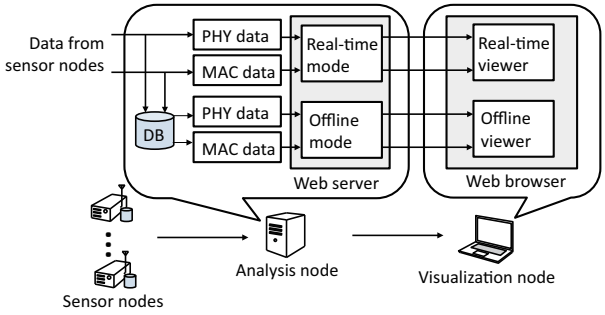

図 1: 可視化システムの構成.

2　システム構成

可視化システムの全体構成を図1に示す．対象環境下に複数のIoTデバイス（例えば工場内の工作機械等）が設置されており，デバイス間で無線通信が行われている状況を想定する．それらのIoTデバイス周辺に複数台のセンサノードを設置し，各センサノードにおいてIoTデバイスから送信される電波をセンシングし，物理層データとMAC層データを取得する．分析ノードは，各センサノードから物理層データとMAC層データを継続的に受信する．本可視化システムでは，データの可視化にあたってリアルタイムモードとオフラインモードの二つのモードを備える．リアルタイムモードでは，センサノードから取得したデータを準リアルタイムに可視化するためのモードであり，対象環境下における現時点での無線品質の状態の把握に利用する．オフラインモードでは，センサノードから取得したデータを一旦データベースへ格納しておき，後で無線品質をより詳細に分析するために利用する．また分析ノードは，各モードにそれぞれ対応したWebサーバを実行しておく．可視化ノードでは，Webブラウザを介して各モードのWebサーバへ接続し，可視化のためのデータの受信とWebブラウザ上への表示を行う．

各可視化のモードの詳細を以下に述べる．リアルタイムモードでは，継続的に取得されるデータの更新に追随するため，可視化ノードでの可視化の画面を一定間隔（例えば1秒ごと）に更新する．このとき，センサノードから取得されるデータをできるだけ遅延なく可視化ノード上で表示できることが望ましいが，一方

Comprehensive Visualization of Physical and MAC Layers' Data for Quality Analysis of Wireless Networks
Morihiko Tamai, Akio Hasegawa, Hiroyuki Yokoyama
Advanced Telecommunications Research Institute International

で，物理層データと MAC 層データを同一時間軸上へ並べて可視化する必要があるため，一回の画面更新で表示される両データが揃うのに十分な時間，可視化ノード側でバッファリングを行う．可視化ノードは，Web サーバへ接続してから最初の画面更新を行うまでの時間，このバッファリングを行う．

オフラインモードでは，ある時間範囲において一旦取得されたデータに対し，それを再度データベースから取得して可視化を行う．このとき，ユーザが希望する任意の時間範囲に対しデータを表示できると，利便性が向上し本システムの活用範囲も拡がる．例えば，データ全体の中で，あるトラフィックがいつ発生し，いつ終了したかを知りたい場合には，比較的長い時間範囲でデータを表示したい．その一方で，個々のフレームのロスの有無を知りたい場合には，比較的短い時間範囲でデータを表示したい．そこで，データ全体の内のどの範囲のデータを画面に表示したいかを，ユーザがインタラクティブに変更可能とし，指定された時間範囲に該当するデータのみを画面に表示する．

3　実装と可視化例

可視化システムを次の計算機環境上に実装した．Web サーバを実行する PC は，Intel Xeon E5-2609 1.7 GHz（CPU），62 GB（メモリ），Linux 4.9.0-11-amd64（OS）を用いた．また，Web サーバの実装には Node.js 10.15.3[1]を，データベースの実装には Riak 2.2.6[2]を用いた．Web ブラウザを実行する PC は，Intel Core i7 3.2 GHz（CPU），3 GB（メモリ），NVIDIA GeForce GTS 450（ビデオカード），Windows 7（OS），Firefox 71.0（ブラウザ）を用いた．

両モードでの可視化の様子を確認するため，ノート PC を用いて，50 ms 周期で UDP ブロードキャストパケットを送信し，そのトラフィックをセンサノードでセンシングする実験を行った．なお，ノート PC が送信するものとは別に，オフィス内に設置してあるアクセスポイント等が送信するバックグラウンドトラフィックが存在する中で観測を行った．リアルタイムモードでの可視化の様子を図 2 に示す．なお MAC 層データについて，ノート PC が送信したフレームは赤色で，バックグラウンドトラフィックは灰色で表示している．図 2 より，物理層データと MAC 層データを十分な精度で同期できていることが分かる．両データを同期することで，一方のデータで確認された事象の発生と同時刻において，もう一方のデータも合わせてみることで，無線品質の詳細の把握に役立てることができる．例えば，図 2 より，MAC 層情報を見ると，フレームロスが 1 件発生していることが分かるが，そのときの物理層情報を見ると，ロスの発生の際，他の機器からの干渉波が発生していることが確認できる．また，バッファリング遅延として 3 秒程度を設けることで，準リアルタイムで可視化可能なことを確認した．次に，オフラインモードでの可視化の様子を図 3 に示す．図 3(a), (b), (c) は，画面上のデータの表示時間範囲をそれぞれ数十秒，数秒，数百ミリ秒に設定した場合の結果である．図 3(a) では，トラフィックの送信開始と終了のタイミングを把握することができる．また，図 3(c) では，各フレームの受信タイミングと，各フレームの受信信号強度を把握することができる．また，各表示時間範囲の間の切り替えは，ほぼ待ち時間なくスムーズに移行できることを確認した．

[1]https://nodejs.org
[2]https://github.com/basho/riak

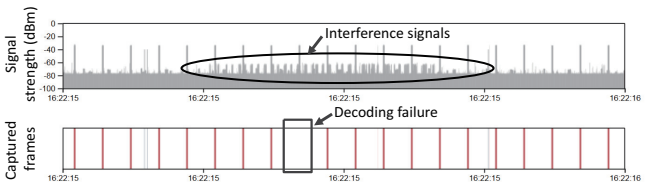

図 2: リアルタイムモードでの可視化の様子．

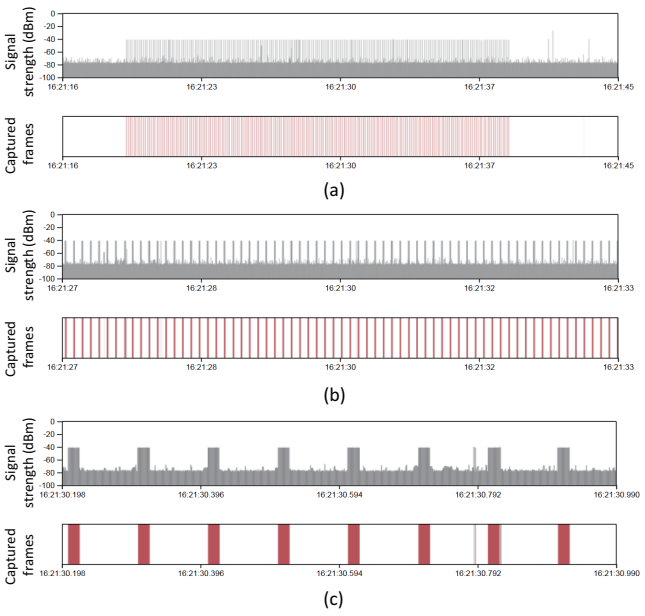

図 3: オフラインモードでの可視化の様子．

4　おわりに

本稿では，物理層データと MAC 層データを同一時間軸上に並べて表示することを目的とした可視化システムについて述べた．今後，複数のセンサノードからのデータを統合して表示する機能等を検討予定である．

謝辞

本研究は総務省の「電波資源拡大のための研究開発」の「狭空間における周波数稠密利用のための周波数有効利用技術の研究開発」の一環として実施した．

参考文献

[1] M. Tamai, A. Hasegawa, H. Yokoyama, “Design and Implementation of Sensing System for Quality Analysis of 802.11 Wireless Links,” *in Proc. of ICCCN’19*, pp. 1–2, 2019.

[2] A. Vlavianos, L. K. Law, I. Broustis, S. V. Krishnamurthy, M. Faloutsos: “Assessing Link Quality in IEEE 802.11 Wireless Networks: Which is the Right Metric?,” *in Proc. of PIMRC’08*, pp. 1–6, 2008.

[3] K. Tan, D. Kotz: “Saluki: a High-Performance Wi-Fi Sniffing Program,” *in Proc. of WiOpt’10*, pp. 533–538, 2010.