

無線ネットワークの品質センシングのための センサノードの設計と実装

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

IoT (Internet of Things) 技術の発展に伴い、倉庫、工場、病院、商業テナントビルなどの屋内を中心とした環境下への IoT デバイスの導入が進んでいる。IoT デバイスの導入により、温湿度管理等を目的とした環境情報の取得、様々な機器の稼働状況の把握、機器の自動制御や精度の向上、無線化による機器設置や管理の容易化等が期待される。一方で、屋内環境下での無線通信では、電波の減衰や反射、他の無線機器からの干渉などの影響が大きいため、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重要な課題となる。課題の解決に向け、筆者らは、対象環境下の無線品質に関する詳細なデータを取得し、さらにデータを解析することで無線品質に問題が生じていないかを把握するためのセンサノードの研究開発を行っている [1]。

無線品質に関するデータを、プロトコル階層上のどの層により近いのか、という観点で分類すると、大きく、物理層に関するデータ (物理層データ) と MAC (Medium Access Control) 層に関するデータ (MAC 層データ) に分けられる。例えば、物理層データを取得する代表的な方法としてスペクトルアナライザ [2] が、また、MAC 層データに関してはパケットキャプチャ [3] が挙げられる。既存研究や製品においては、物理層データと MAC 層データはそれぞれ独立に取得・分析されることが多い [2, 3] が、これらを両方同時に取得し複数レイヤの状況を統合的に分析することで、対象環境下での無線品質をより正確に把握することができる。その一例として、文献 [1] では、パケットロスの原因が他の機器からの干渉によるものかどうかを判別する方法について述べた。現在、物理層データと MAC 層データの同時取得が可能なセンサノードに関して研究開発を進めており、本稿では、そのプロトタイプ的设计と実装について述べる。

2 システム構成

無線品質のセンシングシステムの全体構成を図 1 に示す。対象環境内に複数の IoT デバイス (工場での工

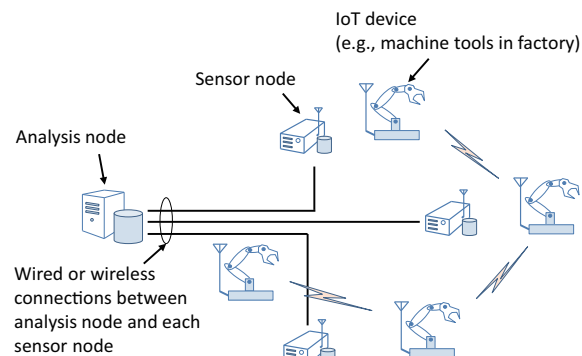


図 1: センシングシステムの構成。

作機械等) が設置されており、デバイス間で Wi-Fi 等による無線通信が行われている状況を想定する。IoT デバイスの周辺に複数台のセンサノードを設置し、それらにより IoT デバイスから送信されるトラフィックを観測することで、環境内の無線品質に関するデータを取得する。各センサノードは、解析ノードと有線または無線により接続されており、センサノードが取得したデータは、継続的に解析ノードへ送信される。解析ノードでは、複数センサノードから収集したデータを統合・解析し、無線品質の悪化の検出等を行う。また、PTP (Precision Time Protocol) 等の時刻同期用プロトコルにより解析サーバをマスタ、各センサノードをスレーブとして解析ノードとセンサノード間の時刻同期を行い、異なるセンサノードで取得されたデータ間で時間軸上のずれができるだけ生じないようにする。

各センサノードのモジュール構成を図 2 に示す。各センサノードは SDR (Software-defined Radio) 用のボードを備えており、RF での受信信号から IQ (In-phase and Quadrature) データを生成する。各 IQ サンプルには、時刻同期プロトコルにより管理された時刻に基づきタイムスタンプが付与される。IQ データから、次の物理層データと MAC 層データを取得: (i) 物理層データ: 信号強度の時系列データ, (ii) MAC 層データ: 復調処理を経た後、無線システムの仕様 (802.11g 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の時系列データ。両層のデータを同一 IQ サンプルから生成することで、物理層データと MAC 層データの時間軸上での高精度の同期を実現し、両データを同

Design and Implementation of Sensor Nodes for Measuring Quality of Wireless Networks

Morihiko Tamai, Akio Hasegawa, Hiroyuki Yokoyama
Advanced Telecommunications Research Institute International

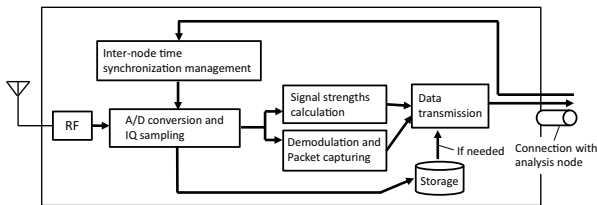


図 2: センサノードのモジュール構成.



図 3: センサノードのプロトタイプ.

一時間軸上で統合的に解析可能とする。なお、信号強度データについては、全ての IQ サンプルに対して生成を行うとデータ量が膨大となるため、IQ データを適当なレートでダウンサンプリングした後、生成を行う。また、オリジナルの IQ データについては、一旦そのままローカルのストレージに保存しておき、解析ノードで品質悪化等が検出された際に改めてオリジナルの IQ データを解析することで、必要に応じてより詳細な品質情報を引き出すことができるようにする。

3 実装

センサノードのプロトタイプの実装を行った。プロトタイプは、RF トランシーバ (AD9371), FPGA (Kintex), SoC (Zynq), PC, アンテナから構成される。プロトタイプの外観を図 3 に示す。RF トランシーバの対応周波数帯は 2.4GHz 帯と 5GHz 帯で、FPGA は 20 MS/s で IQ データの生成を行う。IQ データは FPGA から PC へ 10 ギガビットイーサネットを介して送信される。また、FPGA 上で IQ データから 802.11a/g に基づく復調処理が行われ、復調後のビット列から、SoC 上で libpcap¹ によるパケットキャプチャが行われる。生成された MAC 層データは、SoC から PC へ別の 1 ギガビットイーサネットを介して送信される。PC では、IQ データを入力とした物理層データの生成、IQ データの SSD (Solid-state Drive) への保存、および物理層データと MAC 層データの解析ノードへの送信が行われる。

4 実験

プロトタイプを用いて、1 台のセンサノードで取得される物理層データと MAC 層データが十分な精度で同期可能かを確認する実験を行った。本実験では、センサノードの周辺にノート PC を設置し、ノート PC か

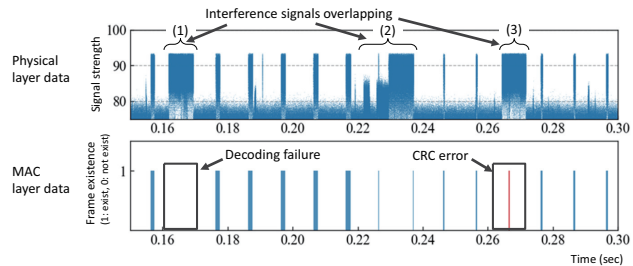


図 4: センサノードで取得された物理層データと MAC 層データ.

ら UDP ブロードキャストパケットを 10 ミリ秒周期で送信し、それをセンサノードで観測する。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との通信により発生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。

プロトタイプにより取得されるデータの例を図 4 に示す。図より、物理層データと MAC 層データが十分な精度で同期できていることが分かる。また、ノート PC が送信するものとは別のバックグラウンドトラフィックによる干渉の影響も観測されていることが分かる。これらの干渉波により、図内の (1) ではデコードが失敗しキャプチャできない場合が、(2) ではキャプチャが正しく成功した場合は、(3) ではキャプチャは可能だったが、CRC エラーによりパケットの内容が正しく読めない場合が、それぞれ観測されている。

5 おわりに

本稿では、物理層データと MAC 層データを同時に取得・解析することを目的としたセンサノードの設計とそのプロトタイプ実装について述べた。今後、本センサノードにより取得されたデータに対し機械学習等による解析を行うことで、無線品質の悪化の自動検知等を実現する方式を検討予定である。

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] 玉井森彦, 長谷川晃朗, 杉山敬三: “狭空間内無線通信環境のセンシングのためのセンサノードの設計,” 情報処理学会第 80 回全国大会論文集, pp. 3-45-3-46, 2018.
- [2] S. Pollin, I. Tan, B. Hodge, C. Chun, A. Bahai: “Harmful Coexistence Between 802.15.4 and 802.11: A Measurement-based Study,” in *Proc. of Crown-Com'08*, 2008.
- [3] A. Willig, M. Kubisch, C. Hoene, A. Wolisz: “Measurements of a Wireless Link in an Industrial Environment Using an IEEE 802.11-Compliant Physical Layer,” *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol. 49, No. 6, 2002.

¹<https://wiki.wireshark.org/Development/LibpcapFileFormat>