

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

玉井森彦 長谷川晃朗 杉山敬三

株式会社国際電気通信基礎技術研究所

1 はじめに

様々な機器の稼働状況の把握、制御などを目的として、工場、病院、商業施設などの屋内環境へのIoT (Internet of Things) デバイスの導入が進んでいる。例えば工場のような環境下で製造システムの状態管理や制御のために無線通信が使用されている場合、電波の減衰や干渉などの影響により通信断が生じてしまうと、製造工程の遅延や、さらには停止につながる場合もあるため、無線通信に対し特に高い品質が求められる。従って、このような環境下へのIoTの導入を促進するためには、無線品質に問題が生じていないかを監視し、また、問題が生じている場合には、その原因の特定につながる情報を提供することのできるシステムの構築が望まれる。

無線品質の把握のために一般的に取得される情報に関して、プロトコル階層上のどの層により近い情報であるか、という観点から分類すると、大まかに、物理層に近い情報（以下、物理層情報）とMAC (Medium Access Control) 層に近い情報（以下、MAC層情報）の2つが挙げられる。物理層情報を得るための代表的な方法としてはスペクトルアナライザ [1] が、一方MAC層情報に関してはパケットキャプチャ [2] が挙げられる。スペクトルアナライザでは、監視対象の周波数帯でどの程度の混雑が生じているかや、どの程度の強度の電波が届いているか、などの情報を把握することができる。一方、パケットキャプチャでは、どのノード間で通信が行われているかや、どのような制御フレームが送信されているか、などの情報を把握することができる。

既存研究や製品においては、物理層情報とMAC層情報はそれぞれ独立に取得、分析されることが多い [1, 2]。しかし、上で述べた情報の例からも分かるように、物理層情報とMAC層情報はお互いに一方のみでは取得が困難な情報を含んでおり、両方を同時に取得、分析することで、無線品質に関するより詳細な情報を把握することが可能であると考えられる。本稿では、物理層情報とMAC層情報の統合的な分析を可能とする、複数のセンサノードと分析ノードから成るセンシングシステムを提案する。

Design of Sensor Nodes for Wireless Quality Monitoring in Narrow Indoor Environments

Morihiko Tamai, Akio Hasegawa, Keizo Sugiyama
Advanced Telecommunications Research Institute International

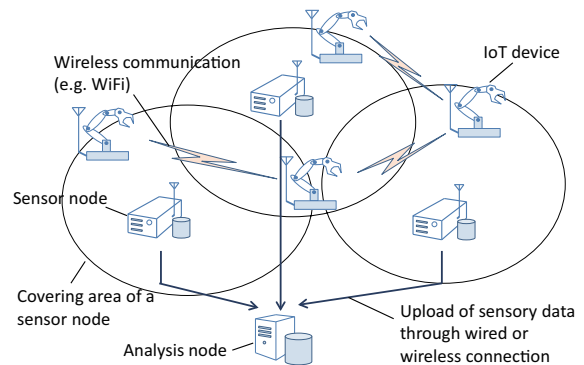


図 1: センシングシステムの構成

2 システム構成

提案システムの構成を図1に示す。対象環境（工場等）内には、複数のIoTデバイスが設置されており、それぞれWi-Fi等を用いて無線通信を行っていることを想定する。一台のセンサノードではカバー可能なエリアが限られるため、複数台のセンサノードを対象環境内に配置する。各センサノードでは、周辺のIoTデバイスが受信しているのと同じ周波数帯において、復調処理の対象となる信号の時系列データであるIQデータを取得し、IQデータから次の2種類のデータを生成する：(i) 信号強度の時系列データ（以下、包絡線データ）、および復調処理を経た後、無線システムの仕様（802.11a等）に基づきビット列を解釈して得られる、(ii) ヘッダ部の情報の時系列データ（以下、ヘッダデータ）。包絡線データから得られる情報は物理層情報に該当し、ヘッダデータから得られる情報はMAC層情報に該当する。両データは、各センサノードにおいて継続的に、かつ並行して取得され、逐次分析ノードへアップロードされる。なお、各センサノード間はPTP (Precision Time Protocol) 等により十分な精度で時刻同期されていることを想定する。これにより、分析ノード側では、複数のセンサノードから得られる包絡線データとヘッダデータを同一時間軸上に並べた上で、無線品質に関する分析を行うことができる。

3 包絡線データとヘッダデータ

分析ノード上で複数のセンサノードから得られた包絡線データとヘッダデータを、同一時間軸上で観測す

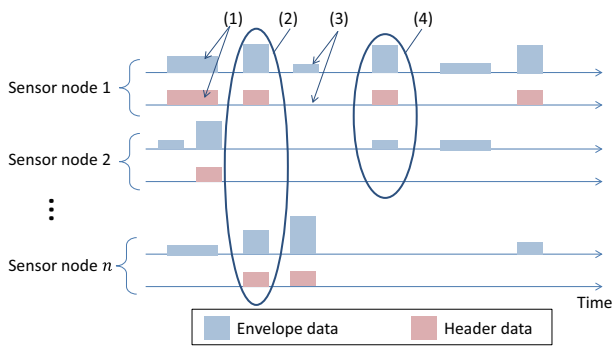


図 2: 同一時間軸上の包絡線データとヘッダデータ

る際の様子を図式で表現したものを図2に示す. 図2における包絡線データは, 観測対象の周波数で何らかの電波が送出されていれば, その強度に応じて縦軸の値の大小が決まるものである. 一方ヘッダデータは, 観測対象の無線システムから送出される信号が存在し, それに対する復調が正しく行われた場合に, 縦軸の値がある一定値をもつものであり, さもなくば0である. 図2 (1) では, 同じ IQ データから生成された包絡線データとヘッダデータを表しており, ヘッダデータが占める時間に対応して一定の強度を持つ包絡線が観測されている. 図2 (2) では, 同一の信号が複数のセンサノードで観測される場合の例を示している. 図2 (3) では, 一定の強度を持つ包絡線が見えているが, 電波の減衰や干渉等の影響で, 対応するヘッダデータが得られていない (正しく復調できなかった) 場合を示している. 図2 (4) では, 一定の強度を持つ包絡線が複数ノードで観測されているが, 一方のセンサノードでは正しく復調できず, 対応するヘッダデータが得られていない状況を示している.

4 分析例

あるフレームロスが起こった際にその原因を特定したいとする. このとき, 包絡線データとヘッダデータのどちらか一方のみでは特定が困難であるが, 両データを同一時間軸上で分析することにより, 原因の特定が可能となる例を示す. 簡単のため以下の例では, フレームロスの原因として, (a) 電波強度の不足, (b) 干渉によるもの, のどちらであるかを特定したいものとする.

図3に示すように, デバイスAからBへフレームが送信されたが, デバイスBでは受信に失敗したとし, その原因を特定したいとする. センサノード1がデバイスAの近くに, センサノード2がデバイスBの近くに配置されているものとし, 各センサノードから得られた包絡線データとヘッダデータを分析ノードで同一時間軸上で観測する. センサノード1のヘッダデータより, デバイスAからBへデータフレームが送信

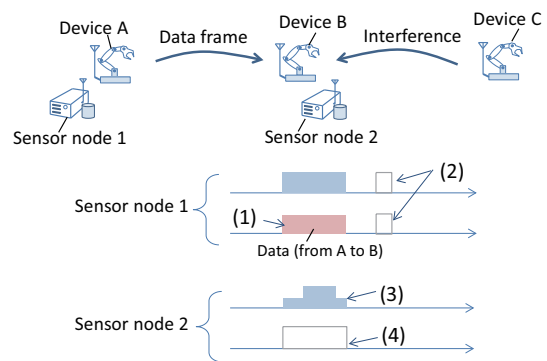


図 3: フレームロスに関する分析の例

されたことが観測 (図3 (1)) される. それを受けて図3 (2) では, データフレームに対する ACK フレームがデバイスBからAに対し送信されることが期待される (802.11a等を想定) が, その送信が行われていないことから, デバイスBでフレームロスが発生したことが検知される. そこで, センサノード2で取得された包絡線データを見てみると (図3 (3)), デバイスAからのフレーム送信に該当する信号上に干渉と思われる信号が重なってしまっていることが分かる. また, ヘッダデータ (図3 (4)) から, デバイスAからのフレーム送信に該当する信号に対応するヘッダデータが得られておらず, 干渉の影響で確かに信号を正しく復調できなかったことが分かる. 従って, デバイスBに対する干渉源に対し対策を行う (例えばこの場合, 干渉源であるデバイスCを特定し, その位置を変更するなど) ことで, 対象環境の無線品質向上に役立てることができる.

5 おわりに

本稿では, 物理層情報と MAC 層情報を統合的に分析することで, 無線品質をより詳細に把握するためのセンシングシステムを提案した. 今後, 提案システムの実装, 評価を行う予定である.

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] 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.
- [2] 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.