

環境モニタリングアプリケーション向けネットワーク品質評価

渡辺 泰伎[†] 坂口 尚駿[†] 角 武憲[†] 永井 幸政[†] 北沢 祥一[‡]

三菱電機株式会社 情報技術総合研究所[†]
室蘭工業大学[‡]

1. はじめに

Internet of Things (IoT) 向け無線ネットワークとして、920 MHz 帯を用いたマルチホップネットワークが注目されている[1]。920 MHz 帯は、無線 LAN が利用している 2.4 GHz, 5 GHz 帯と同様に、免許不要で利用できる無線周波数帯域である。本周波数帯域で利用される主なチャンネル幅は 100 ~ 1000 kHz であり、無線 LAN で主に使われる 20 ~ 160 MHz と比べチャンネル幅が狭く、高速な通信は行えない。しかし、低い周波数のため通信距離や耐障害物性に優れた特徴を持つ。さらに、マルチホップ通信を行うことで、より広範囲な通信エリアを確保でき、障害物を考慮したネットワークの構築が可能である。そのため、屋外を対象にした環境モニタリングのような、高いスループットは必要ないが、様々な障害物が存在するエリアを広範囲にわたりカバーできる無線ネットワークとして、920 MHz 帯を用いたマルチホップネットワークが期待されている。

本稿は、定期的にセンサ値を収集するような環境モニタリングアプリケーションの実現に向け、大学構内で実施した Wi-SUN FAN (Wireless Smart Utility Network Field Area Network)[2]のネットワーク品質評価結果について報告する。

2. Wi-SUN FAN

Wi-SUN FAN は、Wi-SUN Alliance により標準化されている 920 MHz 帯向けマルチホップネットワークの無線通信規格である。Wi-SUN FAN の物理層、MAC (Media Access Control) 層は IEEE 802.15.4-2015[3]に準拠しており、MAC 層は CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) によってフレームの衝突を回避する。また、周波数ホッピングにより干渉を回避する。ネットワーク層は IPv6 を用い、RPL (IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks)[4]によってルーティングを行い、マルチホップ通信を実現する。また、RPL を用いるネットワークは、BR (Border Router), Router, Leaf

の 3 種類の通信装置(以下ノード)から構成される。Router, Leaf は BR を通じてクラウドサービス等に接続する。Router は BR まで通信の中継を行い、Leaf は中継を行わない。

3. RPL

RPL は、各ノードが自立的に親ノードを選択することで通信経路を構築・維持するネットワーク層のルーティングプロトコルである。Wi-SUN FAN では、ノード間のリンクメトリックとして RSL (Received Signal Level), ETX (Expected Transmission Count) の 2 つを用いる。ここで、RSL は受信電力に基づくメトリックであり、ETX はノード間の通信品質に基づくメトリックである。ノードがネットワークに参加する際、まず隣接ノードと自ノードの RSL の指数平滑移動平均が閾値以上の隣接ノードを親ノード候補として挙げる。その後、親ノード候補との ETX と、親ノード候補が広告する BR までのランク値から、親ノード候補を親ノードに選択した場合の自身ランクを計算し、BR までのランク値が最小になるノードを親ノードに選択する。また、BR とネットワーク参加済みの Router は定期的に自身のランクを広告することでネットワークの状況変化に対応する。

4. 計測方法

定期的にセンサ値を収集する環境モニタリングアプリケーションへ Wi-SUN FAN を適用した際のネットワーク品質を評価するため、計測を行った。各建物に Router を配置し、建物のセンサ情報を BR に送信することを想定して、ノードは室蘭工業大学の構内約 200 m × 450 m の範囲に図 1 の通り設置した。計測時のパラメータ諸元を表 1 に示す。計測は「データ送信時間」(5 分)内で各 Router が BR へセンサ値を含む計測フレームを 50 回送信した後、「データ送信猶予時間」(5 分)待機することを 1 周期とし、10 周期分の計測を行う。各 Router の計測フレームの送信タイミングはランダムとした。図 2 にノードの設置方法を示す。BR は 3 階建て建物屋上に設置し、アンテナ高は約 5.5 m とした。Router は地上に設置し、アンテナ高は約 1.5 m とした。計測では、主に無指向のモノポールアンテナを使用した。本評価

Performance Evaluation of Wireless Network for Environmental Monitoring Application.

[†] Taiki Watanabe, Naotaka Sakaguchi, Takenori Sumi, Yukimasa Nagai, Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation.

[‡] Shoichi Kitazawa, Muroran Institute of Technology.

では、FER (Frame Error Rate), RSSI (Received Signal Strength Indicator) を評価指標として使用する。ここで、FER は BR と Router 間の MAC 層における誤り率であり、MAC 層の再送を含まない値とする。また RSSI は、計測期間の平均値を使用する。

5. 計測結果

各 Router の FER, Router と BR 間の RSSI を表 2 に示す。各 Router から BR への経路は、上述した RPL によって構築された。その結果、Router #10 は Router #4 を中継し BR へ接続されたが、それ以外の Router は BR へ直接接続された。また、建物が障害物となり全 Router に隠れ端末が存在した。計測の結果、Router はカテゴリ①「RSSI が -80 dBm 以上の Router」とカテゴリ②「RSSI が -80 dBm 未満の Router」に分類でき、カテゴリ①の FER の平均が、カテゴリ②の FER の平均より 0.356 低く、差が大きくなった。

通常、フレームが隠れ端末のフレームと衝突した場合、かつ衝突したフレームより受信電力が十分に高い場合にはフレームはロスしない。しかしカテゴリ②の場合、自身が送信するフレームの受信電力が低いため、隠れ端末とのフレーム衝突によるフレームロスが発生しやすい。また、フレームが衝突しない場合でも、雑音によるフレーム誤りがカテゴリ①よりも生じるため、FER が増加したと考えられる。

上記課題のうち、雑音によるフレーム誤りについては、フレームの受信電力を高くすることで改善すると考えられるため、受信電力が高いノードを親ノードとして選択すれば改善できると思われる。RPL では、受信電力に基づくメトリックである RSL の指数平滑移動平均に閾値を設け、閾値未満のノードは親ノードとして選択されない。そこで、RSL の指数平滑移動平均の閾値を上げることで、各ノードは受信電力の高いノードを親ノードとして選択するようになる。

6. まとめ

本稿は、定期的にセンサ値を収集する環境モニタリングアプリケーションの実現に向け、大学構内で Wi-SUN FAN のネットワーク品質評価について報告した。その結果、BR との RSSI が -80dBm を境に、FER が極端に変化した。これは、RSSI が十分ではないにも関わらず、Router が BR へ直接接続したためと考えられる。今後、環境モニタリングアプリケーションを実現するために、RPL のパラメータを最適化して評価する予定である。

参考文献

- [1] 松井進, “IoT システムの技術動向と実用化に向けた取り組み,” 電子情報通信学会論文誌 C, vol. J100-C, No.4, pp.151-158, (2017).
- [2] Wi-SUN Field Area Network Working Group (FANWG), “Technical profile specification field area network,” vol.1v29, Jan. 2013.
- [3] IEEE, “IEEE Std 802.15.4™-2015,” Dec. 2015.
- [4] T. Winter, et al., “RPL: IPv6 routing protocol for low-power and lossy networks,” IETF RFC 6550, Mar. 2012

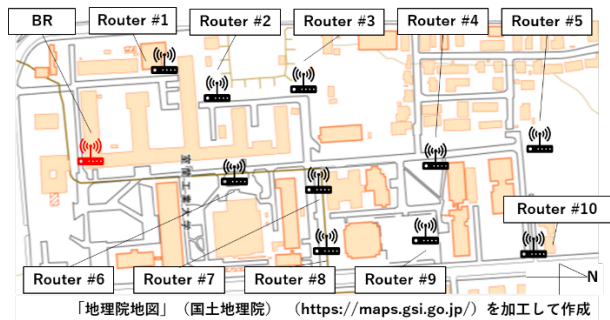


図 1 ノード設置位置



(a) Router (b) BR

図 2 ノード設置方法

表 1 パラメータ諸元

層	諸元	値
PHY	送信電力	13 dBm
	伝送速度	150 kbps
	チャンネル	922.5 ~ 924.4 MHz(5ch)
MAC	最大バックオフ指数	8
	最小バックオフ指数	8
	バックオフ ユニット時間	1 msec
APP (Application)	データ送信時間	5 minutes
	データ送信猶予時間	5 minutes
	計測フレーム 送信回数	50 回
	計測フレームの データ長	50 Byte

表 2 ノードの計測結果

ノード	FER	BR との平均 RSSI[dBm]	カテゴリ
Router #1	0.083	-74.7	①
Router #2	0.252	-83.6	②
Router #3	0.340	-85.3	②
Router #4	0.056	-71.5	①
Router #5	0.071	-67.6	①
Router #6	0.027	-69.5	①
Router #7	0.073	-69.8	①
Router #8	0.539	-81.7	②
Router #9	0.543	-86.0	②
Router #10	-	Router #4 へ接続	-