

避難所での利用を想定した Thread 通信による RSSI を用いた距離推定の検討 A study of distance estimation using RSSI with Thread communication for use in evacuation centers

片倉 寛人¹⁾ 中川 泰宏¹⁾
Hiroto Katakura Yasuhiro Nakagawa

1 はじめに

近年の大規模災害では、住居の損壊等により被災者が避難所での生活を余儀なくされるケースが多く見られる。こうした環境下では、環境の変化やストレスによって、高齢者や慢性疾患を抱える人が体調を崩しやすいと言われている。しかし、避難所スタッフによる健康状態の把握は、現場対応の負担によっては十分に行えないため、自動的に把握できる仕組みがあると現場の助けとなる。昨今、日常生活への浸透が進むスマートバンドは、脈拍などの生体情報を常時取得できるため、体調悪化の早期検出への応用が期待できる。具体的な指標として急変兆候を早期に把握する Rapid Response System (RRS) などを利用すれば、被災者の体調変化の予兆を把握することにつながる。さらに、就寝時も含めた不特定多数の対象者への対応を考えると要観察者の所在も把握することにより、速やかな対応に結びつくと考えられる。

そこで、本研究では上記の支援を目的に、避難所において位置情報の取得可能な健康情報取得型スマートバンドの開発を行う。本稿は、低消費電力とセキュリティに特徴を持つ Thread 通信を利用し、RSSI の観点から位置測定的基础となる距離推定を考察した結果を報告する。

2 低消費電力通信を利用した距離推定手法

本研究では、避難所での長期利用と生体情報の保護の観点から、省電力性とセキュリティに優れた Thread 通信を利用する。この技術に関連した距離推定の取り組みとして、同じ IEEE802.15.4 を利用した Zigbee の RSSI 距離推定が報告されている。Benkic らは ZigBee モジュールを用いた 0-25m の距離測定において、反射や散乱による RSSI の変動 ($\pm 4-8\text{dB}$) が距離の推定精度を低下させることを報告した [1]。一方、Sagala らは電波伝搬特性を表す経路損失指数 (Path-loss Exponent: PLE) の推定において、RSSI 分散が最小となる測定点の情報を参照することで誤差を低減する手法を提案した [2]。この手法が Thread 通信においても有効である可能性が高いと考え、本研究では、Thread 通信環境においても当該手法が適用可能であるかを検証するため、まず、複数の測定点において RSSI を 100 回計測し、これらの分散を求めた。次に、分散が最小となる測定点を特定し、距離推定に利用する PLE の候補とした。最後に、この PLE から求めた RSSI・距離の関係式と、実際に測定した距離・RSSI の関係式を比較することで、Thread 通信における参考文献 [2] の手法の有効性について考察した。

3 避難所を想定した距離推定

無線を利用した距離の計算は、装置の送受信電力や各利得・損失を記述したリンクバジェットと、空間伝搬時の損失を表す対数距離パスロスの二つの計算式から求め

ることができる。このパスロスには、遮蔽・反射・回折などの要因が含まれるが、集約的に評価するために前述の PLE が指標 n として広く利用されている。避難所を想定した通信では、人やパーテーション等の障害物が n の値に影響を与え、距離推定精度に大きく影響する恐れがある。ここで n は、本実験に利用した 2.4GHz の Thread モジュールの利得・損失仕様と ITU-T の 2.4GHz シャドウイング損失を前述の二式に当てはめて、式 (1) のように求めることができる。すると、 n は距離 d と受信電力 P_{RX} から求められるようになる。ここで、 P_{RX} は RSSI を指すため、参考文献 [2] の分散が最小となる測定点における P_{RX} と d を利用することで距離推定用の n を一意に決定することができる。続いて、式 (1) を変形して d を求める式 (2) を用いることにより、この一意に定まった n と計測値 P_{RX} から距離を求めることができると考える。

$$n = -\frac{P_{RX} + 35.78}{10 \log_{10}(d)} \quad (1)$$

$$d [\text{m}] = 10^{\frac{-35.78 - P_{RX}}{10n}} \quad (2)$$

本稿では、分散最小点を用いた場合に n が推定できるか、障害物が n と距離推定結果にどの程度影響を与えるか、2 点について検証する。

4 Thread による RSSI と距離の関係 (実験 1)

本実験では、送受信距離と RSSI の関係性を評価した。実験は避難所に指定されている大学内の講義室で行った。また、避難時の利用状況を想定して、デスクや椅子が配置された状態で行っている。送受信デバイスには Seed Studio XIAO ESP32C6 および専用のロッドアンテナを用いた。実験手法としては、まず送信機と受信機のデバイスの高さを揃え、これらを一直線上に配置した。計測では、各距離における受信電力 RSSI を 100 回測定し、得られたデータの平均値を算出した。これらのデータから式 (1),(2) を用いて距離推定を行った。図 1 は、実験後

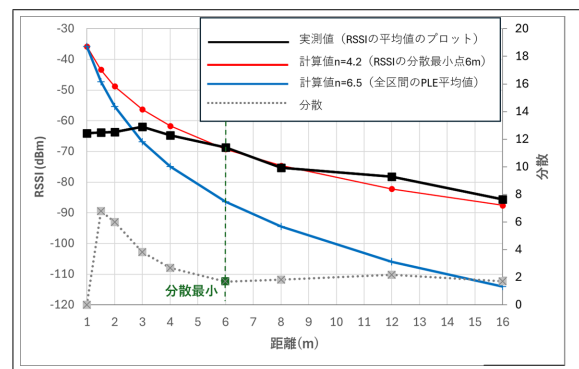


図 1: 実測値と理論値から求めたパスロス曲線の比較

1) 千葉工業大学 Chiba Institute of Technology

に作成した RSSI を平均した実測パスロス曲線, $n=4.2$ と $n=6.5$ の理論パスロス曲線を表している. ここで, 実線はパスロス曲線, 破線は RSSI の分散とし, $n=4.2$ のパスロス曲線は分散が最小点である 6m 地点の PLE から計算している. また, $n=6.5$ のパスロス曲線は全区間の PLE を平均した RSSI から計算している.

上記結果から, 近距離領域 (1–3 m) では RSSI が距離の増加に伴い単調に減衰せず, むしろ一部で増大する挙動が観測された. この非線形性は, 多重経路伝搬および局所的な電磁界分布の影響による可能性が示唆される. RSSI 分散が最小となった 6m 地点の PLE に基づくパスロス曲線は, 実測値と良好に一致した. 一方, 全測定点の PLE の平均値は実測データとの乖離が大きいことが示された. したがって, 最小分散地点の PLE を用いた距離推定では, 近距離領域において実測値との部分的な乖離が生じるものの, それ以外の距離範囲においては理論パスロス曲線が実測値近傍に位置し, 全般的に距離推定誤差が小さいことが示唆される.

5 RSSI と距離における障害物の影響 (実験 2)

本実験では, 障害物の有無および受信機を設置する高さが RSSI に及ぼす影響を図 2 の実験構成で評価した. 実験環境には, 対象障害物以外が第一フレネルゾーン内に侵入しないように配慮した学内実習室を利用した. 送受信デバイスには, 実験 1 と同一のものを用い, 障害物には, 避難所で実際に用いられる高さ 1.5 m・幅 1 m の段ボール製パーティションを用いた. ここで, 配置はパーティション越しの滞在を考慮して, 避難者が装着する想定送信機とパーティションのマージンを 0.5 m としている. 受信機の高さは, 着座時の手首位置に相当する 0.66 m と天井近傍設置を想定した 2.7 m の 2 条件とした. 実験では, 送受信距離, 障害物の有無, 受信機高さを独立変数とし, 各条件下で RSSI を 100 回測定した. 各条件における RSSI の平均値を表 1 に示す.

同じ距離, 同じ高さの条件において障害物の有無で RSSI にわずかな差が見られたが, 観測時間によって値が前後しており, パーティションの影響は確認できなかった. これは, 段ボールは電波を容易に透過するためと考える. 本実験では測定点が少なくなっているが, 障害物の有無の区分で PLE を計算したところ, いずれも $n \approx 3.2$ でほぼ同じ値を示した. 従って障害物の有無に関わらず実験環境の PLE は一定であると考えられる.

一方, 図 3 に示した測定した RSSI の分布によると, 条件が距離 8 m かつ高さ 2.7 m の時のみ相対的に高い RSSI が観測されている. これは天井に設置された無線 LAN アクセスポイントがかなり近い位置にあったため, 通信に影響したのではないかと考えられる.

これらの結果より, 段ボール製障害物および受信機高さが距離推定に及ぼす影響は, 本実験の範囲内では限定的であると判定される.

表 1: 障害物と距離・高さの違いによる RSSI の測定結果

距離 (m)	高さ 0.66 m		高さ 2.7 m	
	障害物なし	障害物あり	障害物なし	障害物あり
8	-64.3 dBm	-64.2 dBm	-72.4 dBm	-73.9 dBm
12	-66.1 dBm	-66.5 dBm	-66.4 dBm	-66.1 dBm

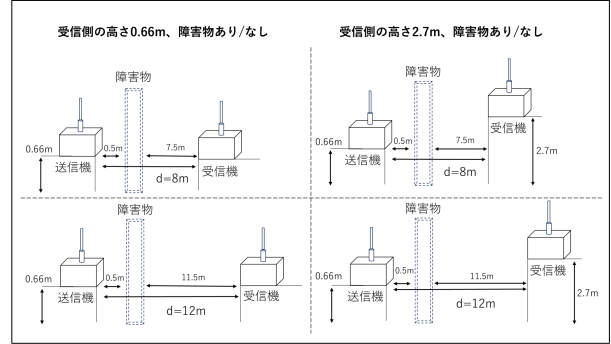


図 2: 障害物を考慮した RSSI と距離・高さの計測

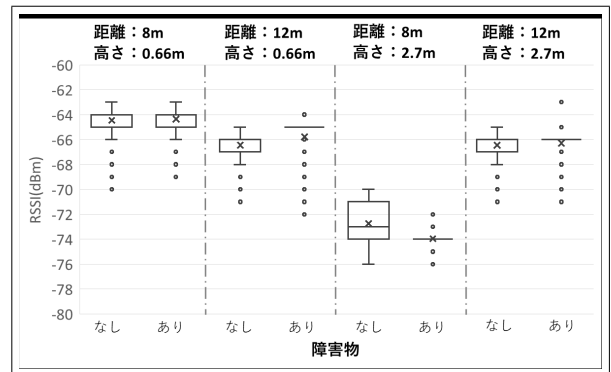


図 3: 障害物と距離・高さの違いによる RSSI の分布

6 おわりに

本研究では, 避難所での利用を踏まえて Thread 通信による RSSI を用いた距離推定の検討を行った. 具体的には, RSSI と送受信距離の関係性, 及び受信機設置高さならびに障害物の有無が RSSI に及ぼす影響を実験的に評価した. 得られた結果として, 最小分散地点の PLE を用いた場合に実測値との間には近い傾向が見られたが, 近距離領域 (1~3 m) では当該傾向が消失した. 距離推定においては, 近距離領域を除けば最小分散地点の PLE を用いれば距離推定誤差が小さいことが示された. 一方, 受信機高さおよび段ボール製パーティション (高さ 1.5 m, 幅 1 m) の設置有無による RSSI の変動には, 今回の実験からは一定の傾向は見られなかった. また, 2 つの実験の間では場所と障害物の数が異なるため, n に ± 1.0 の誤差があった.

今後, データの積み重ねから実験 1 の信頼性を高め, 障害物の素材の違いによる検証によって実験 2 の取り組みを深めていく. そして, 位置測定へ取り組みを進展させることで, 避難所における健康情報取得型スマートバンドの有効性について確かめていく予定である.

参考文献

- [1] K. Benkic, M. Malajner, P. Planinsic and Z. Cucej, "Using RSSI value for distance estimation in wireless sensor networks based on ZigBee," 2008 15th International Conference on Systems, Signals and Image Processing, Bratislava, Slovakia, 2008, pp. 303-306, doi: 10.1109/IWSSIP.2008.4604427.
- [2] A. Sagala, P. Siagian, T. Simanjuntak and R. Lubis, "Experimental Analysis of Path-loss Exponent Estimation based on lower RSSI Variance in IEEE 802.15.4," Advances in Natural and Applied Sciences, vol. 14, pp. 176-185, Jan. 2020, doi: 10.22587/anas.2020.14.1.24.