

群集移動による RSSI 変動の測定と応用

Measurement and Application of RSSI's Fluctuation from Crowd Behavior

新井 雅也*¹ 川村 秀憲*¹ 鈴木 恵二*¹
 Masaya ARAI Hidenori KAWAMURA Keiji SUZUKI

*¹北海道大学 大学院情報科学研究科

Hokkaido University Graduate School of Information Science and Technology

This paper shows fluctuation of ZigBee's Received Signal Strength Indicator(RSSI) is effected by each crowd behavior in indoor space. Fluctuation of ZigBee's RSSI indicates that ZigBee's RSSI has a possibility of role as estimation approach of crowd behavior. First, we define crowd behavior in indoor space. Secondly, we measure ZigBee's RSSI in those of environment included public indoor space. Thirdly, we analyze time-series data of RSSI, and suggest estimation approach of crowd behavior using ZigBee's RSSI.

1. はじめに

近年, コピキタスネットワーク技術の発達に伴い, 屋内空間においてコピキタスネットワーク技術の一つである ZigBee の利用検討がなされており, 社会インフラとしての利用が期待されている.[1][2] しかし, 大型商業施設などの屋内空間においては頻りに群集が形成される機会が多く, 群集により ZigBee の受信信号強度 (Received Signal Strength Indicator, RSSI) が影響を受けることが懸念されている. これらの影響は社会的インフラとして期待されている技術を頑強なものにする上でも重要である.

本研究では, 公共的な屋内空間において形成される群集動態を想定し, ZigBee の RSSI を実環境で取得し, 群集動態の異なるパターンにより RSSI に与える影響がどのように変化するか, という点についての分析を行う. また, 取得した RSSI を分析することで, 各々の群集動態環境下における RSSI の時系列データから群集動態と関わる特徴量を抽出し, 逆に RSSI を用いて群集動態を推定する可能性について検討を行う.

2. ZigBee と RSSI

本章では, 本研究で扱う ZigBee の概要を示すとともに, ZigBee の RSSI が群集動態から受ける影響について述べることにする. ZigBee とは, IEEE802.15.4 として承認された, 計測制御を目的とするワイヤレス・センサネットワークの規格であり, ホーム・オートメーションや位置測位システムとしての利用が期待されていると同時に多くの研究が盛んに行われている.[4] [5] ZigBee は, データ伝送速度は低速である一方, 電池で長時間駆動でき, かつ低コストであるという利点を持つ. また, 周波数帯は ISM バンドとして定められた 2.4GHz 帯を用いて通信を行う.

一方, ZigBee が用いる 2.4GHz 周波数帯における RSSI は, 人体により影響を受けるものとされている.[6][7] 図 1 は, 屋内空間において群集が存在する時と存在しない時の RSSI の時系列データを示したものである.

群集が存在しない場合は, 時間に対する変化の割合が小さいが, 群集が存在する場合は RSSI の変化の割合が大きいがわかる. 屋内空間においては, 電波の反射や回折が頻りに発

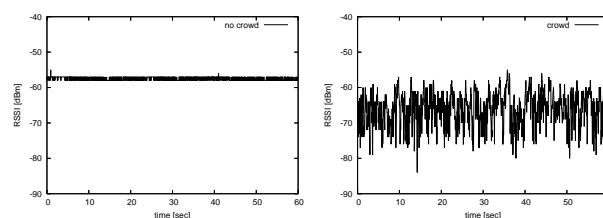


図 1: Time-series data from ZigBee's RSSI with no crowd and crowd

生し, その結果複数の電磁波伝搬経路からの RSSI が測定されることを考慮すると, 人体への吸収・反射の違いや, 群集が電磁波伝搬経路を遮る割合の違いなどの理由から, 群集動態のパターンの違いにより RSSI の測定結果が異なるものと想定される.

次章において, 屋内空間において考えられる群集動態について検討する.

3. 屋内空間における群集動態

本研究で想定する群集動態は, 大型商業施設や教育機関などの公共的な屋内空間において観測されるものとする. また, 密度・速さ・乱雑さという指標を定義し, これらを用いて群集動態を表現することにする.

3.1 密度

ある空間における単位面積当たりの人数を密度と定義し, 一人が占める面積を $M[m^2/人]$ と表すと, $0.5 \leq M$ を空間における人の量の限界とする.[9] これは, 単位面積当たりの密度に換算すると $2.0[人/m^2]$ となり, この値を本研究で扱う密度の最大値と定めることとする.

3.2 速さ

群集の平均的な移動する速さを単に速さと定義する. 屋内空間において, 災害時に健康な人が歩く平均的な速さは $1.2[m/s]$ であることを考慮し [9], 本研究では, $1.2[m/s]$ を速さの最大値と定める.

連絡先: 新井雅也, 北海道大学大学院情報科学研究科, 080-5591-4087, arai@compelx.eng.hokudai.ac.jp

3.3 乱雑さ

群集全体における動きのばらつき具合を乱雑さと定義し、これを群集の速度ベクトル分布で表すことにする。具体的に説明すれば、乱雑さが大きい時には速度ベクトルの分布が一様となり、乱雑さが小さい時は速度ベクトルの分布に一定の偏りがあることを意味する。

3.4 想定する群集動態のパターン

上記で述べた内容を踏まえ、実際に RSSI を計測する上での群集動態パターンを決定する。密度に関しては、群集の動態には複数人の協力者の方々に実際に歩いて頂き、その移動領域は $3.6[m] \times 3.6[m]$ とした。この領域における密度の最大値までの範囲で、実験領域当たりの密度を 1, 2, 4, 8, 16 人の 5 パターンとした。速さに関しては 3 パターンとし、それぞれ $0[m/s]$, $0.7[m/s]$, $1.1[m/s]$ とした。乱雑さは 0, 小, 大の 3 パターンとしている。具体的には、乱雑さが小となる動きは図 2, 大となる動きは図 3 に示すような動き方とした。これらをの指標を総括すると、密度は 5 パターン、速さが $0[m/s]$ の時は乱雑さ 0 となることを考慮すると、速さと乱雑さを組み合わせたものは 5 パターンとなるので、群集動態としては 25 パターン考えられることになる。

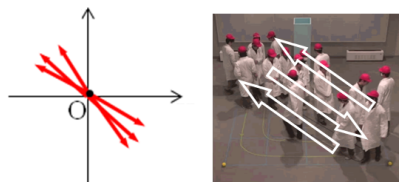


図 2: Low distribution pattern of Crowd behavior

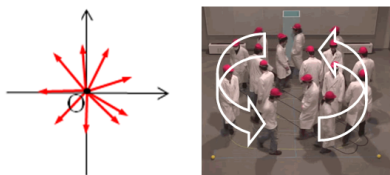


図 3: High distribution pattern of Crowd behavior

4. RSSI の計測実験

第 2 章と第 3 章で述べた内容を踏まえ、本研究では群集動態の 25 パターンによって、ZigBee の RSSI 測定実験を行った。この実験から、群集動態のパターンの違いに伴い、RSSI に対する影響が異なることを示す。

4.1 実験設定

計測実験を行うにあたって、小型かつ設置が容易という点から、ZigBee 規格の通信モジュールとして Telegesis 社の ETRX2USB を用いて RSSI の計測を行った。ETRX2USB 内に API を用いてプログラムを組み込むことにより、一定時間間隔で RSSI が取得できるように設定している。簡略化のため、以下 ETRX2USB を ZigBee 端末と述べることにする。

本実験は、北海道大学情報科学研究科棟の 9 階ラウンジにて行った。本実験を行った環境の周りの壁や柱はコンクリート材にて構成されており、また図 4 に示す左右は廊下となっている。また、本実験環境は 10 階との吹き抜け構造となっており、日常のかつ一般的な公共空間と想定した。

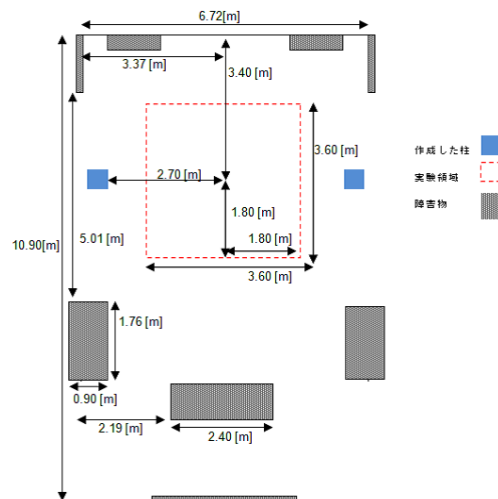


図 4: Layout of lounge, 9th floor, building of Information Science and Technology, Hokkaido University

ZigBee 端末に関しては、1 対 1 通信を行う端末を 3 対計 6 台用意し、図 5 のように配置した。ここでは、同じ高さに設置された端末同士が通信し合い、図 5 で示す左側の柱に設置された端末から PC に、RSSI の計測データが USB ケーブルを介して転送されるようになっている。また、通信を行っている端末以外の ZigBee 端末を別のネットワークとして切り離すことにより、トラフィックを防いでいる。高さ $1.0[m]$ のものは、人体により、直接的な電磁波伝搬経路を遮る高さとし、高さ $2.7[m]$ のものは、直接的な電磁波伝搬経路を遮らない高さとし、公共空間における天井の高さの一例であることを想定している。また、ZigBee 端末を取り付けるための柱は、通信への影響を最小限にするため、電磁波の誘電率が空気とほぼ同じで、電磁波透過性に優れたスタイロフォームと発泡スチロールを用いて作成した。

ここで、各々の群集動態パターンにおいて、ZigBee の RSSI に関する情報をより多く取得できる方が、分析として有用であると考えられるため、事前実験より通信の遅延・輻輳なく通信できる送信間隔を調査し、 $50[msec]$ と設定した。また、ZigBee は $2.4GHz$ 周波数帯の電磁波を利用しており、この周波数帯は同時に無線 LAN や電子家電製品が発する電磁波と同じ周波数帯であるため、電磁波干渉などの影響を受けることが懸念される。このような他の電磁波の影響を最小限にするため、事前実験より影響が少ないチャンネル設定を調査し、設定した。

4.2 計測実験

前節で述べた設定を踏まえて、群集動態の 25 パターンにおいて ZigBee の RSSI 計測を行った。

始めに、第 2 章で述べた群集動態をより正確に実現するための工夫点について述べることにする。密度に関しては、実験領域当たりの人数を調整すれば良いので特に問題はない。速さに関しては、人の歩く歩幅の長さを一歩あたり $0.6[m]$ と仮定し、

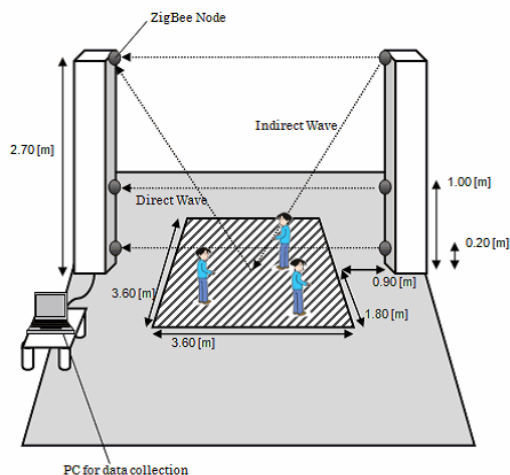


図 5: Structure of experimental area

PC 上からスピーカーを通して一定間隔で流れるメトロノーム音を流し、この音に合わせて歩くことにより、実現を図っている。乱雑さに関しては、図 2 及び図 3 に示すような動きを実現させるため、床に色の異なるビニルテープを貼り付け、その上を協力者の方々に歩いて頂くことにより実現を目指した。

しかし、このような設定を行ったにも関わらず、速さと乱雑さに関しては予め設定した値と実験で取得した値にずれが生じるものと考えられる。このずれを補正する手立てとして、計測実験における群集動態の様子を一つ上のフロアからビデオカメラを用いて撮影し、群集の動きをトラッキングすることにより、値の修正を行うことにする。ここで、群集の動きをトラッキングしやすいようにするため、協力者の方々には赤帽と白衣を着用してもらい、実験を行った。

また本実験では、各群集動態のパターンにおいて RSSI を計測する時間を 3 分間として行った。

4.3 結果と考察

全ての群集動態のパターンにおける RSSI の計測結果を図 6 に示す。図 6 は、高さ 1.0[m] の位置に設置された ZigBee 端末対から得られた結果で、直接的な電磁波伝搬経路を遮った時の RSSI 値を表しており、横軸は群集動態の密度であり、縦軸は速さと乱雑さである。また、図 6 の各パターンについては、縦軸が RSSI 値であり、横軸が時間となっている。

図 6 を見てみると、速さ 0、すなわち群集の動きが止まっている時に関しては、密度によらず時間に対する RSSI の変化が小さいことがわかる。これは、群集に動きがないことから、電波環境が静的で比較的安定していることから得られるものと予想される。

一方、群集が動いている時に関する RSSI 値は、時間に対して激しく変動している様子が伺える。特に、密度が小さい時の RSSI 値と大きい時の RSSI 値を見比べてみると、密度が大きい時の RSSI 値は変動の幅が激しく、かつより激しく RSSI 値が変化していることがわかる。これは、人数が多くなるに従い、より環境の変化が激しくなり、マルチパス環境がより激しく変化していること意味しているため、電磁波伝搬経路が複雑になったことが理由と考えられる。また、電磁波の特性上、直接波を遮る頻度の増加から起因されるものとも考えられる。

これに加え、密度増加に伴い、全体的に RSSI 値の平均値が小さくなっていることが伺える。これは、密度が大きくなるに

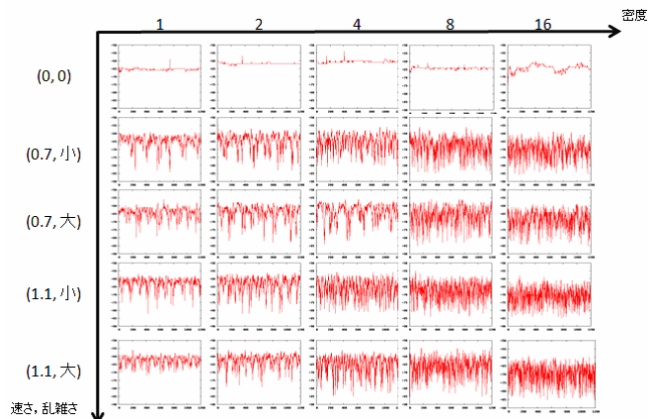


図 6: Experimental data of 25 pattern with ZigBee's RSSI

伴って、電磁波伝搬経路長が比較の長くなったことや、人体による透過や回折、反射の影響を受ける頻度が多くなることにより、RSSI の損失が大きくなったことが理由と考えられる。

このような結果を踏まえ、群集動態を表す指標に基づいて RSSI 値が時系列を基に変化しているのが見てとれる。すなわち、これら RSSI の値から逆に群集動態に関する特徴量を抽出し、群集動態について推定できる可能性について、議論の余地があるものと見なすことができるだろう。

そこで、次章にて RSSI 値の分析により、群集動態の推定可能性について考察を行う。

5. 分析

今回分析を行ったのは、高さ 1[m] および 2.7[m] の位置に設置された、ZigBee 端末対から得られた RSSI である。各々の群集動態における ZigBee の RSSI 値を分析を行う手段として、統計的解析手法と周波数解析手法を用いて分析を行った。具体的には、統計的解析手法として、平均値・分散値・中央値である周波数解析手法としては離散フーリエ解析を行い、得られた値をレーダチャートにプロットしていったものを図 7 と図 8 に示す。

図 7 は高さ 1[m] に、図 8 は高さ 2.7[m] に設置された ZigBee 端末対から得られた RSSI を分析したものである。ここで各々の図において、横軸が群集動態における実験領域当たりの密度、縦軸が速さ及び乱雑さである。また、ave は平均値、var は分散値、med は中央値、f1 ~ f5 は離散フーリエ変換を行い、得られたフーリエスペクトルを元々の周波数幅である 1799 から周波数 300 ごとに分け、平均化化したもので、f1 が 0 ~ 300 の周波数帯の平均フーリエスペクトルであることを意味する。フーリエスペクトルを一定幅で平均化することで、時系列データとして特徴量を得る上で再現性を高めることができると考えられる。ここで、第 4 章で述べたトラッキングによる補正から、実際の群集の速さは 0.7[m] が 0.5[m]、1.1[m] が 0.7[m] であり、以降この補正值を用いる。

図 7 を見てみると、速さが 0 の時は分散値が極端に低く、動いている時は大きくなっているのがわかる。これは、動いている時はマルチパス環境が連続的に変化しているため、RSSI の値も連続的に変化するものから導かれると考えられる。

また、速さが 0 の時を除いて、密度が増加するに従い、RSSI の平均値が徐々に一定方向に変化しているのが見取れる。こ

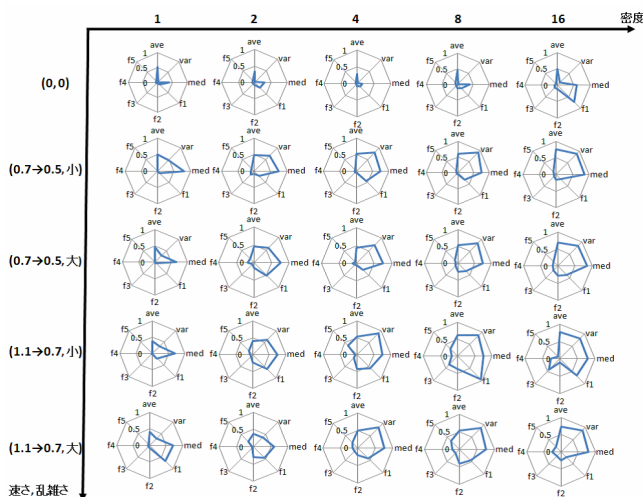


図 7: Rader charts of analyzed data for 25 pattern with ZigBee's RSSI from screening direct wave

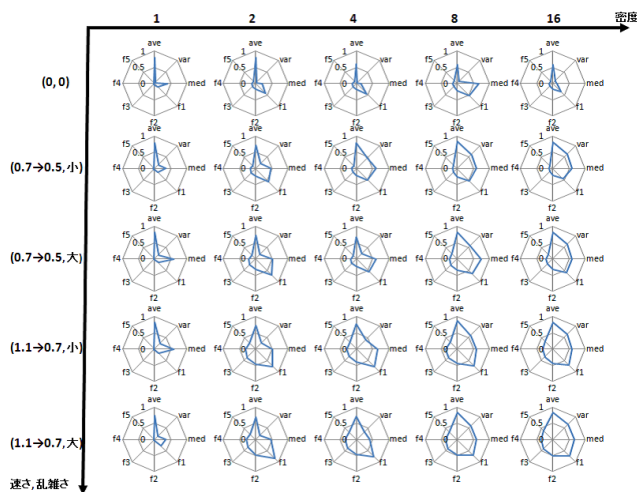


図 8: Rader charts of analyzed data for 25 pattern with ZigBee's RSSI from screening indirect wave

これは、密度が大きくなるにつれ、直接的な電磁波伝搬経路が遮られる割合が増加することに加え、全体的に電磁波伝搬経路長が長くなることから起因するものと予想される。

一方、図 8 を見てみると、密度変化に伴う平均値の変化や中央値の変化は見られないが、グラフ全体を通して、右下のパターンに遷移するほど、全体的なフーリエスペクトルの値が大きくなっていることがわかる。これから、速さが大きく、かつ乱雑な動きをする群集動態において計測される RSSI の時系列データは、様々な周波数帯の波を持つことを意味するため、より RSSI 値の変化が激しいことが考えられる。

以上のことから、複数の指標が交わったものも存在するが、群集動態における指標に応じて RSSI から得られた分析データに一定の傾向が見受けられることから、RSSI を用いて群集動態を推定できる可能性があると考えられる。

6. まとめ

本研究では、センサネットワークとして用いられている ZigBee の RSSI が群集動態のパターンにより、異なる振る舞いを見せることについて検証した。すなわちそれは、群集動態の指標を密度、速さ、乱雑さと定義することにより、RSSI の変動について変化の傾向をみる事ができた。また、得られた RSSI の時系列データを分析することにより、群集動態の指標に関する傾向を得ることができた。しかし、速さ、乱雑さの区別に関しては曖昧であり、今後の研究の課題として検討していく必要がある。

今後は、実際に群集動態の推定を行う上で何が問題であるか、検討を踏まえて有効な手法を用いて推定まで行っていく予定である。

参考文献

- [1] 幸島明男, 池田剛, 井上豊, 車谷浩一: センサイイベント指向のサービス連携ミドルウェア: SENSORD, 情報処理学会研究報告. UBI コピキタスコンピューティングシステム 2006, pp.37-44, 2006.
- [2] 総務省; 人の動態把握等のためのコピキタスネットワークに関する調査検討 報告書, 2007
- [3] B. Zhan, N. D. Monekosso, P. Remagnino, S. A. Velastin, and L.-Q. Xu: Crowd analysis: A survey, Machine Vision Applications, vol.19, no.5/6, pp. 345-357, Sep.2008.
- [4] M.Sugano, T.Kawazoe, Y.Ohta, and M.Murata: Indoor Localization System using RSSI Measurement of Wireless Sensor Network based on ZigBee Standard, Wireless and Optical Communication MultiConference, 2006.
- [5] M. Nakatsuka, H. Iwatani, and J. Katto: A Study on Passive Crowd Density Estimation using Wireless Sensors. In The 4th Intl. Conf. on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2008), June 2008
- [6] 総務省: ゾーン検出方法及び周波数の違いによる人体の電波伝搬特性への影響に関する追加技術試験 報告書, 2007
- [7] M. Youssef, M. Mah, and A. Agrawala,: " Challenges: device-free passive localization for wireless environments, " in MobiCom '07: Proc. 13th ACM Int '1 Conf. Mobile Computing and Networking, pp. 222-229, Sept.2007.
- [8] 鄭立: ZigBee 開発ハンドブック IEEE802.15.4 から製品開発まで, 株式会社リックテレコム, 2006
- [9] 日本建築学会: 建築設計資料集成 [人間], 丸善, [第 5 章] 群集・安全・群集行動 pp122-123, pp126-129, pp135, 2003