

LPWA を用いた戸別ごみ収集支援システムの検討

1235050 楠田 健太 【 コンピュータ構成学研究室 】

Individual trash collection support system using LPWA

1235050 Kenta KUSUDA 【 Advanced Computer Engineering Lab. 】

1 はじめに

家庭ごみの収集は自治体運営における課題の1つであり、近年では高齢者及び障害者のごみ排出支援のため、戸別ごみ収集を部分的に導入している自治体が増えつつある。現行のごみ収集支援システムの多くは集積所利用型のごみ収集に焦点を充てており、デバイスおよび回線あたりのコストが高いため、より分散的にエンドノードが設置される戸別ごみ収集型の支援へ向かない。そこで、本研究では、LPWA 私設網を用いた戸別ごみ収集支援システムを検討した。

2 ムービングゲートウェイ方式

近年、LPWA (Low Power Wide Area) と呼ばれる、従来よりも低消費電力、広いカバーエリア、低コストを可能とする無線通信システムが、スマートメーターやインフラ管理、農業の用途で実用化されつつある。LoRa は LPWA のひとつであり、省電力性、広域性を備える他、私設網を構築可能であり、ゲートウェイデバイスが小型で可搬性が高いといった特徴を持つ。

本稿ではごみ収集車へ LoRa ゲートウェイを備え付け、各世帯が排出するごみ袋に LoRa エンドノードを備え付ける。ごみ収集車の走行に伴ったカバー範囲の拡大により、中継局数1台で通信可能なエンドノード数の向上を図る。本研究では、このシステム構成をムービングゲートウェイ方式と呼ぶ [1]。

提案方式の実現にあたり、システム運用環境と LPWA 通信速度に関する課題が存在する。前者の課題として、車載アンテナの利用と戸別ごみ収集に伴う徐行中の通信によって、電波伝搬路が時々刻々と変化することが想定される。また、LPWA は低速通信へ分類されており、LoRa は、100bps ~ 2kbps であることから、利用する環境に合わせて通信性能を最大限活かすことが重要となる。本稿では、提案方式の運用環境を想定した戸別ごみ収集のモデル化を行った後、LoRa のプログラマブルパラメータである拡散率 (SF) と帯域幅 (BW) の他、LoRa エンドノード・LoRa ゲートウェイ間とその周辺空間内の住宅集中度に着目し、LoRa 通信の予備実験を実施した。その後、システムの一エンドノード当たりの通信容量及びごみ収集車の走行経路の短縮効果を検

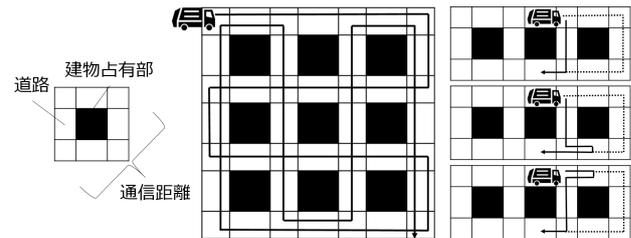


図1 戸別ごみ収集モデルにおける単位格子 (左)、走行経路 (中)、短縮判定 (右)

討した。

3 戸別ごみ収集のモデル化

提案システムにおける一エンドノード当たりの通信容量とごみ収集車走行経路の短縮効果を検討するため、図1 (左) のように、建物占有部 (黒色部) 及び接する道路を単位格子とする戸別ごみ収集モデルを定義する。建物占有部に位置する各世帯は、それぞれ一定確率で道路沿いへごみを排出するものとし、収集エリア内の道路を走行するごみ収集車の走行方向の前方2マスの単位格子を LoRa ゲートウェイのカバー範囲とする。

本モデルにおいて、一エンドノード当たりの通信容量は、単位格子一辺の完走時間 [s] * 通信速度 [bit/s] / カバー範囲内の世帯数、の計算式より算出する。

また、本モデルにおけるごみ収集車の走行経路短縮率は、図1 (中) の経路を最長経路と仮定し、(最大経路長 [m] - 短縮後の経路長 [m]) / (最大経路長 [m])、の計算式より算出する。

短縮判定では、図1 (右) のように収集エリアの端を折り返す前に、カバー範囲内に位置するごみの蓄積状況を検知し、走行経路の短縮可否を判定する。

建物占有部に隣接する道路上のごみ蓄積率は、 $1 - (1 - \text{各世帯のごみ排出率})^{\frac{\text{建物占有部内の世帯数}}{4}}$ 、の計算式より算出する。道路上のごみ蓄積確率を、0.2, 0.4, 0.6, 0.8 の4通り、収集エリアの広域度 (建物占有部数) を、4*4, 8*8, 12*12, 16*16 の4通りとした場合の経路短縮率を図2に示す。

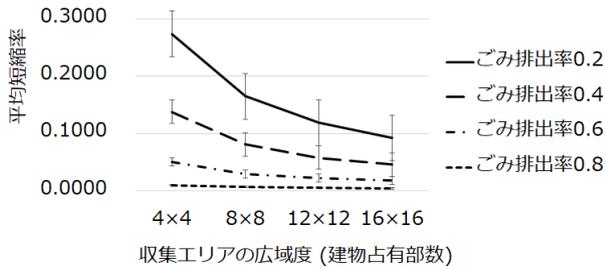


図2 戸別ごみ収集モデルを用いた走行経路短縮効果 [%]



図3 高知県香美市土佐山田町住宅地における測定 (密集度高 (左), 低 (右))

4 評価

運用が想定される車載アンテナ高 2m 及び戸別ごみ収集車の徐行 5km/h 時の LoRa 通信に関するデータを集めるため、図3のように、高知県香美市土佐山田町の密集度に差がある2つの住宅地に関して、500m*500mのエリアを定めて実験を行った。LoRa エンドノード・LoRa ゲートウェイ間及びその周辺空間内に存在する障害物による電波伝搬への影響を考慮するため、2点を結ぶ直線を対角線とする正方形において、建物の占める割合を建物占有面積率とした。また、LoRa のプログラムパラメータ [拡散率 (SF), 帯域幅 (BW)] は、通信速度指向の [7, 500kHz] と通信距離指向の [12, 62.5kHz] の2通りを用いた。結果は図4のように伝送速度に関しては、[7, 500kHz] は密集度 (高) (低) 共に環境によって 2500bps まで上昇した。その一方で、[12, 62.5kHz] は 100bps 以下で安定した。また、伝送距離に関しては、両パラメータセット同様であるが、環境によって密集度 (低) の方が 150m 程、上回った。

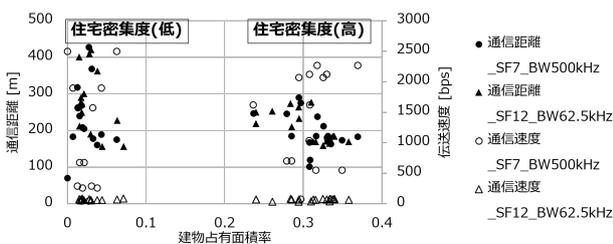


図4 建物占有面積率当たりの通信速度 [bps] および通信距離 [m]

表1 一エンドノード当たりの通信容量 [Byte]

[SF, BW]	Density	Mean	Median	Max	Min	SD
[7, 500kHz]	0.31	132	152	267	6	80
[7, 500kHz]	0.02	1510	895	9164	25	2337
[12, 62.5kHz]	0.30	7	7	11	3	2
[12, 62.5kHz]	0.03	70	65	148	28	34
All	0.18	375	60	9164	3	1232

表2 各世帯のごみ排出率 0.2, 建物占有部 4*4 のモデルにおける走行経路短縮率 [%]

[SF, BW]	Density	Mean	Median	Max	Min	SD
[7, 500kHz]	0.31	0.05	0.00	0.69	0	0.17
[7, 500kHz]	0.02	2.79	0.03	13.8	0	5.12
[12, 62.5kHz]	0.30	0.00	0.00	0.02	0	0.00
[12, 62.5kHz]	0.03	5.90	5.08	17.58	0	5.09
All	0.18	2.00	0.01	17.58	0	4.19

一エンドノード当たりの平均通信容量に関して表1より、平均値が最も大きいのは、[7, 500kHz] かつ住宅密集度が低い場合の 1510 [Byte] であり、最も小さいのは、[12, 62.5kHz] かつ住宅密集度が高い場合の 7 [Byte] であった。次に作成したモデルを用いて、表2のように、各世帯のごみ排出確率 0.2, 建物占有部数 4*4 のごみ収集車走行経路短縮率 [%] を算出したところ、平均値最も値が大きくなるのは、[12, 62.5kHz] かつ住宅密集度が低い場合の 5.90 % であり、最も小さくなるのは、[7, 500kHz] かつ住宅密集度が高い場合の 0.00 % であった。

5 おわりに

本稿では戸別ごみ収集のモデル化を行い、予備実験で得られた LoRa 通信性能を用いて提案システムの一エンドノード当たりの通信容量及びごみ収集車走行経路の短縮効果を検討した。結果より、提案システムにおいて LoRa を活用する場合、住宅密集度が低い環境において [7, 500kHz] のパラメータセットを用いて提案システムを運用するのが最も望ましいことを確認した。今後は、環境に合わせてパラメータセットを設定可能な仕組みづくりの他、実環境とのギャップが少ない経路短縮アルゴリズムの検討、システム運用に伴う消費電力等の観点で評価が必要である。

参考文献

[1] K. Kusuda and M. Iwata, "Application-Oriented LPWA Network with A Moving Gateway and Stationary End-Nodes," TENCON 2019 - 2019 IEEE Region 10 Conference (TENCON), Kochi, India, 2019, pp. 2351-2356.