

無線センサネットワークにおけるドローンを用いたセンシングデータ収集

Sensing Data Collection using a Drone in Wireless Sensor Networks

山本 勁[†]
Tsuyoshi Yamamoto

久保田 稔[†]
Minoru Kubota

1. はじめに

無線センサネットワークは無線通信機能と各種センサデバイスを搭載した複数のセンサノード（以降、ノードと呼ぶ）を用いて構成されるネットワークである。農地や工場などのモニタリングに利用される。ノードは電池駆動であるため、屋外でも広範囲のデータの収集を行うことができる。電池駆動であることから電力が尽きた際にはノードを交換しなければならず、大きなコストがかかるため、ノードの省電力化が求められている。

本研究では省電力化のため、データの収集を行うシンクノードを移動体に載せた移動シンク方式を用いる。シンクノードは、通信を行うためにノードを起動させる信号であるビーコンを一定間隔で送信する。これにより、ノードは通信が不要時の消費電力を抑える。移動体にドローンを用いる。ドローンは GPS など常により自身の位置を把握できるものとする。本稿では、ドローンがセンシング領域内を巡回する適切な移動経路の導出を行う手法を提案する。この経路で移動することで、ドローンとノード間の通信距離と通信回数を短縮し、省電力化を行う。

2. 関連研究

移動シンク方式[1][2][3][4]では、地上移動体を用いて特定のノードに対してマルチホップ通信を用いてデータの収集を行い、シンクノードへ向けデータを送信する。各ノードのデータ中継範囲を制限することで中継回数を削減し負荷の分散をする。地上移動体は移動できる場所が制限されおり、データ収集を行うときは農地などの外周の決められた停止地点を設置しデータ収集を行わなければならない。そのため、停止地点付近のノードに負荷が集中してしまう。固定シンク方式に比べ、従来の移動シンク方式の方がノードの負荷を分散できるが、地上移動体を用いた消費電力の削減には限界がある。

本研究では移動体として空中を自由に移動できるドローンを用いることで、自由に停止地点を設置し直接ノードと通信を行う。これによりノード間の中継をせず、消費電力の削減を図る。

3. 提案手法

本研究では、単一ノードごとにデータの収集を行う。移動中のドローンからビーコンを送りその受信に応じてノードはドローンに対してデータを送信する。この時、ビー

コン送信間隔時間により特定のノードがビーコンを受信できず通信が行えない場合があり、データ収集率の低下を招く。そのため、同じ経路を往復してデータを収集する必要があるが、データの収集の重複が生じ、消費電力が増加する。

この問題を解決するため、ドローンが往復せずにノードと通信できる移動経路の導出方法(A)を提案する(図 1)。まずビーコン送信間隔 $t[s]$ と移動体の移動速度 $v[m/s]$ 、ノードの通信可能範囲 r からノードを中心とした半径 R を以下の式から算出する。

$$R = \sqrt{r^2 - (v \times T/2)^2}$$

ノードの配置されるセンシング領域の境界線上に算出した半径 R の円の中心を配置し、その円の接線(点線)をドローンの移動経路とする(図 1(2))。つまり、センシング領域の境界線の内側に、算出した値 R だけ離れた経路を構築する。そして、構築された経路から再び算出した値 R だけ内側に移動経路の構築を行う。これによりできた複数の経路が(A)の移動経路である。

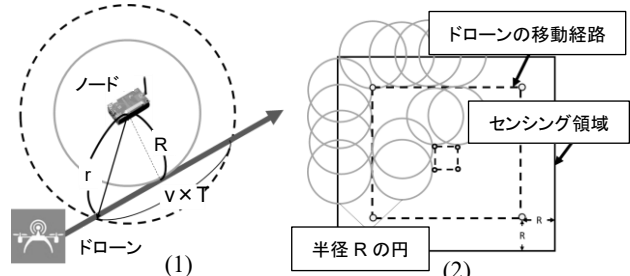


図 1. 移動経路の導出方法(A)

ドローンも電池駆動であり飛行時間が限られているため、(A)で導出された移動経路も短縮することが求められる。ドローンがノードと通信可能な地点の情報をもとに、より短い移動経路の導出する方法(B)を提案する。(B)により、移動経路が短縮されることで、ドローンがノードと通信する回数が減り、消費電力の削減が期待できる。

導出方法(B)を示す。導出方法(A)の経路よりドローンがノードと通信できた地点 S_i を利用し、新たに移動経路を導出する。図 1 に示す外側の黒の点線は(A)より導出した移動経路である。地点 S_1 から S_5 はそれぞれ異なるノードと通信を行ったドローンの通信地点であり、 S_1 から S_5 の順番に通信したとする。最初にドローンがノードと通信を行った地点 S_1 を新移動経路の移動開始地点とする。次に S_1 を基準に最も近い通信地点である S_2 を新移動経路として結ぶ。次に S_2 を基準に最も近い通信地点である S_3 を新

[†] 千葉工業大学, Chiba Institute of Technology

移動経路として結ぶ。この処理を繰り返し行い、図2(1)の黒線の矢印を新移動経路とする。

この新移動経路上をドローンが移動し各センサノード

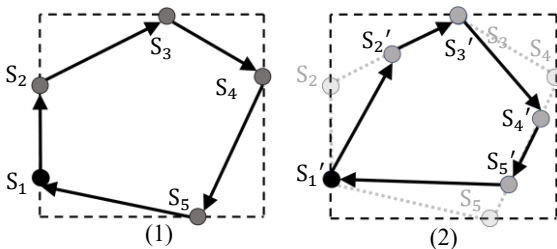


図2. 移動経路の導出方法(B)

と通信を行うことで、新たに通信の行えた地点 S_i' ができる (図2(2)). 次に S_i' を用いて上記で説明した導出方法(B)を再度行い、新たに図2(2)の黒線の矢印をドローンの移動経路及び移動方向とする。

4. シミュレーションによる評価

提案方式をネットワークシミュレータの QualNet8.0 に実装し、評価を行った。ノード配置は、無作為にノードを配置したランダム配置(P1)、等間隔に配置した完全格子配置(P2)、等間隔に配置し一定の範囲でずれを持たせて配置した準格子配置(P3)を対象とする (図3)。ドローンのピーコン送信間隔を 7[s]、移動速度 5[m/s] とし、ノードの存在するセンシング領域は $500 \times 500[m^2]$ の範囲とした。

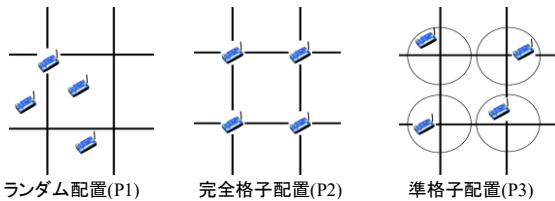


図3. ノードの配置

導出方法(A)及び導出方法(B)から導出された経路によるドローンの移動距離と、その場合のセンサネットワークの消費電力は以下ようになった。

図4より、導出方法(A)の場合、移動距離は全てのノード配置で 2630[m] となった。導出方法(B)では導出回数 (導出回数2回目以降) を追うごとに(P1)、(P2)、(P3)の場合の移動距離が短くなるのが分かった。

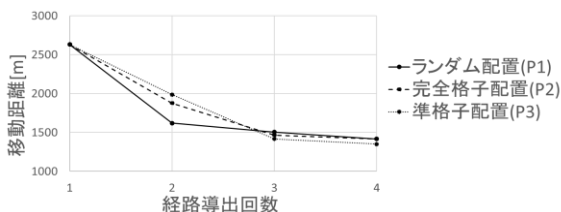


図4. ドローンの移動距離

また全てのノード配置において、マルチホップ通信を用いた固定シンク方式と比較し、提案方式は1パケット当たりの消費電力を2/3程度に削減できた (図5)。この時、固定シンク方式におけるシンクノードの位置はセンシング

領域の中央である(250, 250)[m]に配置した場合 (中央)、提案方式の移動シンクノードの移動開始地点に配置した場合 (端) を評価の対象とした。

マルチホップ通信と移動シンク方式を用いた従来の方

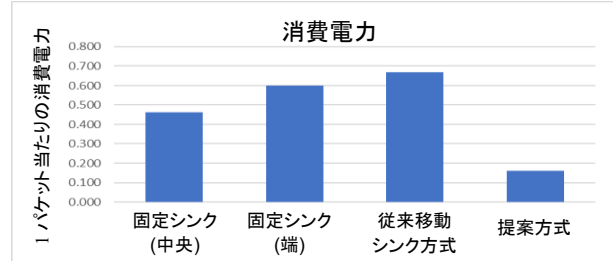


図5. パケット当たりの消費電力

式と比較を行った。この時、移動シンクの停止地点は[2][3]の研究を参考にセンシング領域の境界である(0, 0)[m], (0, 500)[m], (500, 500)[m], (500, 0)[m]を対象とした。移動シンクはこの4つの停止地点を順に移動を行い、マルチホップ通信を行いデータ収集を行う。この場合でも従来の移動シンク方式と比較を行い、提案方式で2/3程度の消費電力が削減されたことを確認した。

5. まとめ

ドローンを用いた移動シンク方式について、適切な移動経路の導出法を提案し、この経路を用いてドローンの移動経路長とセンサネットワークの消費電力の評価を行った。提案方式が有効であることを固定シンク方式と従来移動シンク方式の両面で確認した。

今後の課題は、ノードの個数や通信範囲を変更した場合での有効性の確認である。加えて、移動体であるドローンと同様にセンサノード自体の設置位置の高度も考慮し、より現実的な環境を想定したドローンの移動経路の導出方法を検討する必要がある。

参考文献

- [1] 鶴巻利樹, 桧垣博章, "ランダム移動シンクノードへのセンサデータ配送手法," 信学技報(IN), vol.112, no.307, pp.7-12, 2012.
- [2] 高橋宏光, 見越大樹, 竹中豊文, "移動シンクを用いたセンサネットワークの長寿命化," 信学技報(NS), vol.113, no.472, pp.55-60, 2014.
- [3] 見谷誠司, 井上伸二, 角田良明, "移動・固定シンクの共存による WSN の長寿命化手法," 信学技報(IN), vol.110, no.341, pp.81-85, 2010.
- [4] 吉村武, 松尾和哉, 神崎映光, 原隆浩, 西尾章治郎, "無線センサネットワークにおけるモバイルシンクへのデータ転送効率化のためのプッシュ型及びプル型接続状況共有手法の統合について," マルチメディア、分散協調とモバイルシンポジウム 2013 論文集, vol.2013, pp.1294-1301, 2013.