

無線センサネットワークにおける 空中移動シンクノードの移動経路制御

山本 勁† 久保田 稔†
千葉工業大学†

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、電力が尽きた際にはノードの電池を交換しなければならない、実用上大きな問題となる。

本研究ではノードの省電力化のため、データ収集を行うシンクノード(SN)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送信する。これにより、ノードは通信が不要な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などで常に自身の位置を把握できるものとする。

各ノードにGPSを搭載することはコストと消費電力の増大を招く。位置を把握しながら多くノードを設置することは稼働を増やす。また配置位置の変化に対応することは困難である。本研究では、ノードの位置が未知とし、ドローンがノード配置されているエリア（センシングエリア）内を巡回して、ノードの位置を推定し、ドローンの適切な移動経路を導出する方式について述べる。

2. 関連研究

移動シンク方式[1][2]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ており、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。ノード間のデータ送信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SNからビーコンを送りその受信に応じてノードはSNへデータを送信する。

初めに、ノードの位置推定を行う上で、SNが当該ノードと通信した位置が3か所必要になる。そのため、センシングエリアを満遍なく、かつ、ノード毎に3か所の離れた通信可能地点を經由して移動する適切な経路（初期経路）が必要になる。

このため、図1(1)のようにSNの通信可能最大距離 R_{MAX} を半径とする3つの円を考える。SNが通信する座標点 $P_1 \sim P_3$ を中心とした半径 R_{MAX} である円が重なる部分の正三角形を導出する。センシングエリアにこの正三角形を図1(2)のように配置し、その頂点間をSNが移動し、各ノードと通信を行う。この時、SNはノードと通信できた際に、当該ノードのID及び通信に用いた電波の強度とSNの通信位置を記録する。

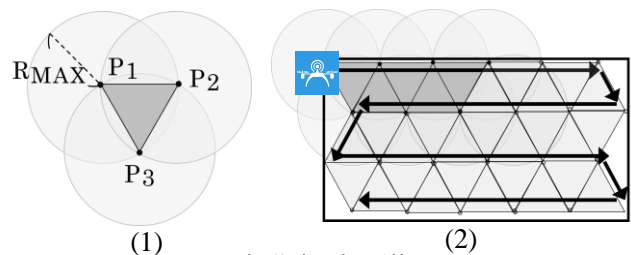


図1. 初期経路の導出

次に、SNが初期経路を移動し、収集したデータを利用した三点測量から当該ノードの位置推定を行う。SNが3回以上の通信をしたノードに関し、SNがノードと通信を行った時の位置を $P_i^{(t)}$ とし、電波強度から算出した距離（通信可能距離） $R_i^{(t)}$ を計算する。 i はノードID、 t は通信順を示す。 $R_i^{(t)}$ と $P_i^{(t)}$ は図2のようになる。 $P_i^{(t)}$ を中心とした半径 $R_i^{(t)}$ の円を築き、それぞれの円が重なった中心 S_i を当該ノードの位置として推定する。また、推定位置から最も近い通信位置を当該ノードの通信可能距離 R_i とする。導出した結

果からより短い SN の移動経路を導出する。

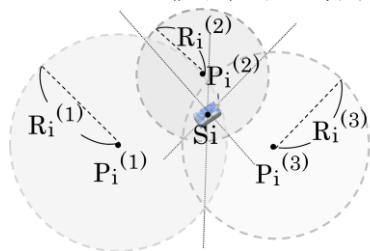


図 2. ノード位置推定

加えて、初期経路の移動時に通信回数が 3 回未満のノードと通信できる必要がある。そのため、通信回数が 1 回と 2 回のノードそれぞれの位置推定には[3]の提案手法を用いる。

ドローンも電池駆動であるため、ノードを探索するための経路をより短縮することが求められる。図 3 のように SN がノードとの通信回数に応じて導出した各ノードの推定位置 S_i と R_i を基に、初期経路より短い移動経路（短縮経路）の導出方法を提案する。

まず、各ノードとの通信回数において導出した S_i を最短で結ぶ経路は一筆書きで巡回するハミルトン閉路を求めることである。つまり、 S_i を都市、ドローンをセールスマンと置き換えた巡回セールスマン問題 (TSP) として扱うことができる。本研究では TSP を解く代表的な 3 つの手法、最近傍法 (NN)、Greedy-2opt 法 (Gopt)、遺伝的アルゴリズム (GA) を用いて評価を行う。

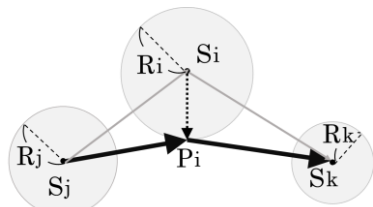


図 3. ノードの通信範囲を考慮した経路

初期解を求めたあと、 S_i の通信可能距離 R_i を利用してさらなる短縮化を行う。SN が S_i 地点で通信する経路より、図 3 のように半径 R_i の円内の通信地点を通る経路の方が短いためである。研究ではより実世界に近づけ、3 次元におけるシミュレーションを行う。TSP を解くことで得られた経路から図 3 のように経路順に並ぶ 3 つの S_j , S_i , S_k を考える。 S_j と S_k から S_i の R_i 上を通る経路を最短で結ぶ点を算出する。制約付きの非線形最適化問題とし解くことができ、ラグランジュ未定乗数法を用いる。

上記の最適化問題をドローンの出発地点から着地地点まで繰り返し解き、図 3 の太矢印の短縮経路を導出する。この短縮経路上をドローンが移動し各ノードと通信を行うことで、新たに通

信の行える地点が分かる。そして、初期経路から得られた SN の通信位置と併用して、上記の経路短縮の導出を再度行い、新たなドローンの移動経路及びノード位置推定を行う。

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。実環境に近づけ提案手法を評価するために、IoT が普及しつつある農業に着目し、高低差のある田畑（長野上田）を想定した。国土地理院が公開する標高データを基に地表の生成を行った。

ノード配置位置は、田畑の広がる東西 500×南北 300[m²]の範囲で配置した。初期及び短縮経路から導出されたドローンの移動距離と、ドローンの推定位置の誤差を図 4、図 5 に示す。

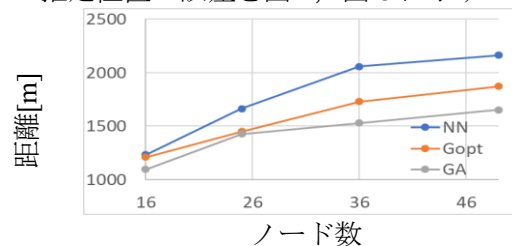


図 4. ドローンの移動距離

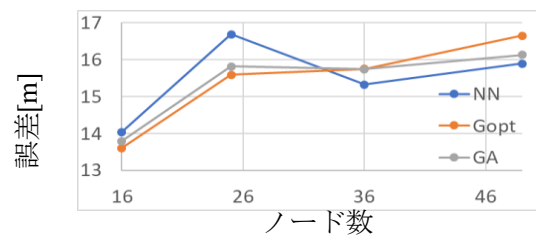


図 5. ノードの位置推定

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ノード位置推定の評価を行った。GA を用いた経路が最短であり、位置推定の誤差は全ての手法において平均 15[m]程度で、3 次元の GPS の誤差が十数[m]あり、有効な手法であることを示した。

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] 清水慧, 久保田稔, "センサネットワークにおけるドローンを用いたモバイルシンクの移動制御," 2017 信学ソ大, B-18-10.