

新居 英志[†] 北之馬 貴正[†] 滝沢 泰久[‡][†] 関西大学理工学研究科[‡] 関西大学環境都市工学部

1 はじめに

近年、自然災害の防災・減災のための環境モニタリングや社会インフラ維持管理のための構造物ヘルスマニタリングなどにおいて無線センサネットワークの利用検討が進められている。このようなモニタリングでは、事前にセンシング対象とする空間にセンサを配置した定点センシングによる無線センサネットワークが用いられている。

定点センシングの利点は、センサデータをリアルタイムで取得できることや、継続的にデータを取得することで時間的な変化を汲み取れることが挙げられる。一方、定点センシングの欠点は、センサが固定であるために流動的で柔軟性を持ったセンシングができないことや、広範囲にセンサを敷設する場合、大量のセンサを必要とし設置コストがかかることが挙げられる。これらの欠点を解決するためには、有限の探索装置を用いて広範囲に渡って効率的に探索することが必要となる。現在、各種センサを搭載した自律探索型ロボットに関する研究ならびに実用化に向けた取り組みが進められている。しかし、広範囲を単体で探索する際には膨大な時間が必要であり、探索範囲が限定的となるなどの問題点がある。

そこで、我々は上記の問題点を解決するために、知的な集団を自律的に構成する多数の移動体によるセンシング、すなわち、移動センシングクラスタの基本動作メカニズムを提案している [1]。移動センシングクラスタは多数の自律移動可能な無線モバイルノードにおいて群知能を適用し、知的な集団構成により効率的な広範囲の探索活動や流動的で柔軟性を持つデータ計測を可能とする。

文献 [1] において移動センシングクラスタは、群を構成しない複数移動体の移動センシングと比較して短時間により多くの探索対象を探索・発見することが可能であることが示されている。しかし、この評価においては探索対象からの物理情報が少なくとも一つ検知できることが前提となっており、探索対象が発する情報が全く検知できない不感地帯は議論されていない。以上のことから、本研究では、探索対象が広く拡散している場合を想定し、探索対象からの物理情報が検知できない不感地帯において、移動センシングクラスタの適用に関して考察を行う。

2 移動センシングクラスタ

移動センシングクラスタでは、探索アルゴリズムとして PSO と呼ばれる群知能の一種を用いている。PSO

を用いることで、探索対象に関する物理情報を評価値へと変換し、近傍と情報共有することで探索することが可能となる。しかし、PSO を現実空間に適用した場合、移動体同士の衝突や、並列的な探索ができないこと、一つの探索対象を特定すると探索を終了する、などの問題点を持つ。このような問題に対し、移動センシングクラスタはそれぞれ衝突回避制御、群れ度合い、忘却のメトリックを導入している。各メトリックを導入した移動センシングクラスタの詳細を以下に示す。

2.1 移動ベクトルと位置の更新則

移動センシングクラスタにおける移動ベクトルと位置の更新則を以下に示す。自己最良評価値 (E^{Pbest}) を得た位置 x_i^{Pbest} と近傍最良評価値 (E^{Lbest}) を得た位置 x_i^{Lbest} を考慮して探索を行う。

$$v_i(t+1) = wv_i(t) + c_1r_1(x_i^{Pbest}(t) - x_i(t)) + c_2r_2(x_i^{Lbest}(t) - x_i(t)) \quad (1)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (2)$$

以下、 t : 繰り返し回数 (回), $v_i(t)$: 繰り返し回数 t におけるノード i の移動ベクトル, $x_i(t)$: 繰り返し回数 t におけるノード i の位置, w : 慣性重量, c_1 : 認知的パラメータ, c_2 : 社会的パラメータ, r_1, r_2 : $[0,1]$ の一様乱数, $x_i^{Pbest}(t)$: 繰り返し回数 t におけるノード i の自己最良位置 (パーソナルベスト), $x_i^{Lbest}(t)$: 繰り返し回数 t における近傍最良位置 (ローカルベスト) である。

2.2 群れ度合い

群れ度合いとは、ノード i を中心とする近傍ノード k まで距離を半径とする円と、ノード k を中心とする近傍ノード i まで距離を半径とする円の重なっている部分に存在するノード数に群れ度合い係数をかけたものである。

$$E_i^{Lbest}(t+1) = \begin{cases} \min_{j \in n} \{ E_j^{Pbest}(t) \times D + N \times R \} \\ (if E_j^{Pbest}(t) \times D + N \times R < E_i^{Lbest}(t)) \\ E_i^{Lbest}(t) \\ (otherwise) \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 $E_i^{Pbest}(t)$: 繰り返し回数 t 回目におけるノード i の過去最良の評価値 (Pbest), $x_i(t)$: 繰り返し回数 t におけるノード i の位置, n : ノード i の近傍ノード, N : ノード i とノード k の間の領域に存在するノード数, R : 群れ度合い係数である。

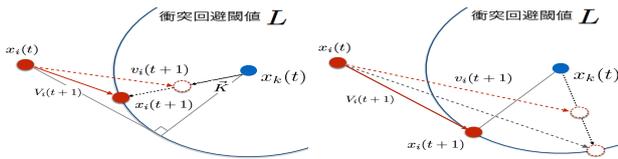


図 1: 衝突抑制制御

2.3 衝突回避制御

図 1 左の場合は, $x_k(t)$ から $x_i(t) + v_i(t+1)$ へのベクトルを \vec{K} とすると, 以下の式でベクトル \vec{K} の延長線上において衝突回避閾値の範囲外となる位置を生成することができるため, これを $x_i(t+1)$ とし移動後の位置とする.

一方, 図 1 右の場合は, 先ほどと同じ処理を行うと生成後のベクトルが衝突回避閾値内を通過してしまうため, 単に移動ベクトル $v_i(t+1)$ を接線ベクトルへと修正し, 修正後の移動ベクトルを用いて移動後の位置を計算する.

$$V_i(t+1) = \vec{T} \quad (4)$$

$$x_i(t+1) = \begin{cases} x_k(t) + \vec{K} + \frac{L}{K} & (\text{if } \arccos \frac{\vec{T} \cdot \vec{K}}{|\vec{T}| |\vec{K}|} < 90) \\ x_i(t) + \vec{T} & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (5)$$

2.4 評価値の忘却

移動センシングクラスタでは, 粒子が目的解を発見した後も次の目的解への探索を継続できるように, その目的地への評価値を忘却させる忘却度というメトリックを用いて自己最良評価値 (E^{Pbest}) と自己最良位置 (x^{Pbest}) を更新する.

$$E_i^{Pbest}(t+1) = \begin{cases} \min_{j \in n} \{ (E_j^{Pbest}(t) + |x_j(t) - x_i(t)|) \times D \} \\ (\text{if } E_j^{Pbest}(t) + |x_j(t) - x_i(t)| < E_i^{Pbest}(t)) \\ E_i(t) \times D \\ (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (6)$$

ここで, $E_i^{Pbest}(t)$: 繰り返し回数 t 回目におけるノード i の過去最良の評価値 (Pbest), $x_i(t)$: 繰り返し回数 t におけるノード i の位置, n : ノード i の近傍ノード, D : 忘却度である.

3 移動センシングクラスタの不感地帯への適用

3.1 不感地帯の問題点

文献 [1] において移動センシングクラスタは, 他の手法に対してその優位性を示しているが, 少なくとも 1

つ以上の探索対象からその所在のヒントとして発せられる情報を検知できていることを前提としている. しかし, 現実空間では探索対象からの物理情報が全く検知できない不感地帯が想定され, そのような状況では移動センシングクラスタとは移動体において評価値が不定となり探索が不可能となる.

3.2 不感地帯への適用のための振る舞い

前述のように, 不感地帯では移動センシングクラスタにおける評価値が生成不可となり, 探索を行えない. そこで各移動体はランダムに移動し, 探索対象の物理情報を検知できる範囲へと進行する必要がある. この場合, 移動体を拡散することで検知する可能性を高めることができる. しかし, 探索対象の物理情報を検知した際に移動体の拡散が過剰に行われていると, 無線通信による移動体間の通信が不可となり, 群としての探索活動を開始することができない.

以上より, 不感地帯の振る舞いとして, ランダムに拡散することを回避し群としての進行方向を共有し, さらに移動センシングクラスタにおける群形成メカニズムが機能する範囲内で拡散する制御が必要となる. 現在, 移動センシングクラスタでは, ノードが過剰に接近した場合に衝突回避制御によってノード間距離を適切に保つ制御を行っている. このような制御を探索対象から物理情報とは独立に, 群自体に内包するメカニズムとして, ノードが過剰な拡散が行われる前に群へと戻るようなノード間距離に応じた制御, すなわち, 群引力が必要となる.

4 まとめ

我々は, 移動体に群知能を適用することで, 知的な集団行動により効率的な広範囲の探索活動や流動的で柔軟性を持つデータ計測を可能とする移動センシングクラスタを提案している. 移動センシングクラスタは, 探索対象からの物理情報が検知できない範囲では評価値が生成できず探索不能となる. 従って, 移動体が物理情報の検知が可能である範囲へと進行する必要がある. 拡散を行うとその検知の可能性は高まるが過剰に拡散すると群としての探索活動ができないため, 群として進行方向を共有しつつ, 群として機能できる範囲内で拡散する制御が求められる. 本研究では, 上記の制御を課題とし, ノード間距離を用いた群拡散防止制御を検討していく.

参考文献

[1] 新居英志, 北之馬貴正, 滝沢泰久: 群知能を用いた移動センシングクラスタ, 情報処理学会研究報告, Vol. 2017-ITS-69, No. 27, pp. 1-8, 2017