

1ZA-04

移動センシングクラスタを用いた不感地帯におけるイベント探索方式*

原 昇真†
関西大学

藤山 尚紀‡
関西大学大学院

西上 翔磨§
関西大学大学院

新居 英志¶
関西大学

四方 博之||
関西大学

滝沢 泰久**
関西大学

1 はじめに

近年、ロボットや UAV などの自律移動体を災害発生時の要救助者の探索、および、救助活動へ適用する検討が進められている。しかし、探索対象とするイベントは広範囲に散在し、その位置・数が不明である。このようなイベントに対して、単体の自律移動体での探索は、単位時間における探索可能範囲が限定され、探索に大幅な時間を必要とするため、複数台の自律移動体が協調して探索を行う手法が考えられる。この手法では、探索における情報を共有して、複数台の自立移動体が群として機能して、個々の自律移動体の能力に限定されないイベント探索および捕捉を行うことが可能となる。しかし、イベントが複数存在する場合には、探索・捕捉が逐次処理となり、全イベント処理のターンアラウンドタイムが増加する。以上のことから、我々は移動センシングクラスタ [1] を提案している。移動センシングクラスタは複数の未知イベントの探索・捕捉処理を行う複数の自律移動体に対して群知能 [2][3] を拡張適用することにより、複数群を適宜構成し有限時間内により多くのイベントの探索・捕捉処理を完了する。

しかし移動センシングクラスタは、自律移動体がイベントから発せられる電波などの物理情報を取得できることが前提であるため自律移動体がイベントからの物理情報を検知できない領域（不感地帯）に位置する場合、自律移動体は移動センシングクラスタを構成できない。

本研究では、不感地帯でのイベント探索方式として、自律移動体の振る舞いにおける Selfish 方式、及び代数螺旋方式を提案し、移動センシングクラスタとの統合シミュレーション評価によって、それぞれの有用性と問題点を検証し、考察する。

2 移動センシングクラスタ

粒子群最適化法 (Particle Swarm Optimization: PSO) [4] は群知能の一種であり、連続空間に広がる解を自律した粒子が協調して探索を行う探索アルゴリズムである。想定する探索活動においては、範囲が広く、探索対象が多数存在し、探索対象の所在が不明である。このような環境下で多数の自律移動体により効率的に探索を行う場合には、上記の性質を持つ PSO が有効である。PSO において粒

子は複数の解を探索するため、必要に応じて集団を形成して集団行動を行う。各粒子は位置と速度の情報を持ち、適応度関数により各粒子の位置を評価する。評価値は目的解までの距離から計算される。その上で自身が過去に得た評価値が最良となる位置情報である自己最良位置 (自己ベスト: Personal best) と群れ全体が過去に得た評価値が最良となる位置情報である群全体の最良自律移動体位置 (グローバルベスト: Global best) を考慮しながら、解を探索する。移動センシングクラスタは、PSO をベースとして、無線通信を用い無線通信範囲内での最良自律移動体位置 (ローカルベスト: Local best) が相互作用する複数台の自律移動体によって群探索を行う群探索メカニズムと、群の分散と集合により並行的に探索を行う複数群制御メカニズムを導入する。群探索メカニズムには、以下の制御が含まれる。

- 動的なリーダー交代
- 衝突抑制制御
- 継続探索制御

複数群制御メカニズムには、以下の制御が含まれる。

- 複数群の分離
- 複数群構成移動体に対する偏りの抑制

移動センシングクラスタは上記のメカニズムを導入し、より短時間により多くのイベントを探索し捕捉する。

3 提案方式

不感地帯では自律移動体を拡散することでイベントからの物理情報の到達範囲に至る可能性が高まる。一方で拡散が過度になり、自律移動体間で無線通信ができない場合、物理情報の到達範囲に至っても、移動センシングクラスタへ移行できない。従って、群形成を維持しつつ可能な限り自律移動体が空間的に拡散する Selfish 方式と代数螺旋方式の二つの方式を提案する。

3.1 Selfish 方式

Selfish 方式では自律移動体間の距離に応じて相互に引力と斥力を作用させる。移動体間距離が近い場合は空間的な広がり確保するため、相互に斥力を強め、一方、移動体間距離は遠い場合は群から逸脱するを回避するため、引力を強める。また、広がった群を任意の方向へ移動させるため、一部の自律移動体の引力係数が小さい値 (斥力が引力を上回る) として利己的な振る舞いを行う。このような自律移動体を Selfish 移動体と呼ぶ。

$$Bias(d_{ij}(t)) = 1 - \frac{1+r}{1 + \exp^{-G*(d_{ij}(t)-Range)}} \quad (1)$$

ここで、 $Bias()$ は自律移動体 i と j のユークリッド距離に基づく引力・斥力係数、 $d_{ij}(t)$ は t 回目の自律移動体 i と j のユークリッド距離、 G はゲイン係数、 $Range$ は自律移動

*Event search in blind zone based on Mobile Sensing Cluster

†Shoma Izuhara Kansai University

‡Naoki Fujiyama Kansai University Graduate School

§Shoma Nishigami Kansai University Graduate School

¶Eiji Nii Kansai University

||Hiroyuki Yomo Kansai University

**Yasuhisa Takizawa Kansai University

体の無線デバイスの到達距離, r は引力係数 ($0 \leq r \leq 1$), $r = 1$ であれば通常の振る舞いの自律移動体, $r < 1$ で引力が弱まり利己的な振る舞いをする。

Selfish 方式においては, 群から離脱しようとする Selfish 移動体への引力より, 多数の通常移動体への引力が勝り, Selfish 移動体のみが群から離脱し, 群の拡大・成長に繋がらない可能性がある。

上記の問題を改善するため, 同種移動体間の引力を抑制して, 通常移動体が Selfish 移動体へ追従する可能性を高め, また Selfish 移動体間は互いに離れる可能性を高めて, 群の拡大・拡散の可能性を高める。

3.2 代数螺旋方式

代数螺旋を利用し探索範囲全体を補い, 群から離脱後, 群復帰が可能な不感地帯探索方式を提案する。自然界での対数螺旋構造をとる現象として軟体動物の殻, 牛などの角, 象などの牙の成長・拡大において空間的広がりとして見られる [5]。対数螺旋では成長に従い螺旋軌跡幅が大きくなり空間を覆うが, この制御を省略して空間を覆うために代数螺旋を自律移動体の移動へ適用する。提案方式では, 特定の移動体において自身の現在位置を極座標変換し任意の定数を加え, 再度直交座標変換し, 自律移動体間の距離に応じた引力と斥力を同時に作用させ移動ベクトルを生成する。この移動体を代数螺旋移動体と呼ぶ。代数螺旋移動体にその他の自律移動体が追従することで, 群形成を維持しつつ可能な限り自律移動体が空間的に拡散が可能となる。また通常の移動体についても群から孤立した際に, 自身の座標から代数螺旋を用いた移動ベクトルを生成することで探索を継続し, 捕捉活動中の群への合流を可能とする。

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

$$r_i(t+1) = r_i(t) + 1.0 \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{r_i(t+1)}{S_{total} * c} \quad (4)$$

$$\beta = \frac{i * 2\pi}{Node_{total}} \quad (5)$$

$$x_i(t+1) = r_i(t+1) * (\cos(\alpha * \frac{\pi}{180} + \beta), \sin(\alpha * \frac{\pi}{180} + \beta)) \quad (6)$$

ここで, $v_i(t+1)$ は $t+1$ 回目の代数螺旋移動体 i の移動ベクトル, $x_i(t+1)$ は $t+1$ 回目の代数螺旋移動体 i の座標ベクトル, $x_i(t)$ は t 回目の自律移動体 i の座標ベクトル, $r_i(t+1)$ は $t+1$ 回目の原点からのユークリッド距離, α は更新後の回転角, S_{total} は代数螺旋移動体の合計数, c は物理情報到達範囲に応じて代数螺旋の軌道を変化させる係数, β は代数螺旋移動体数に応じた補正角度, $Node_{total}$ は自律移動体の合計数。

4 提案方式のシミュレーション検証と考察

通常の Selfish 方式を Selfish 方式 1, 群の拡大・拡散の可能性を高めるために引力の補正を行なった Selfish 方式を Selfish 方式 2 とし, 代数螺旋方式を加えた 3 方式で比較評価を行う。表 1 にシミュレーション諸元を示す。図 1, 2 に, 3 方式における Selfish 移動体数または代数螺旋移動体数に依存したイベント平均捕捉数, 自律移動体平均不感地帯探索時間を示す。

Selfish 方式 1 と Selfish 方式 2 を比較し, 平均捕捉数では Selfish 方式 2 において高い捕捉数となった。これは Selfish 方式 2 において引力の補正を行い, 群の拡大・拡

散の可能性を高めた効果と言える。平均不感地帯探索時間では Selfish 方式 1 において短くなった。Selfish 方式 2 では, 同種移動体間における引力が弱いため移動体間距離が大きくなり, 群の拡大・拡散の可能性が高い。そのためイベントからの物理情報を取得したとしても周囲の移動体が少ないため同時に捕捉へ移行できる移動体が少なく, 平均不感地帯探索時間が長くなったと考えられる。

Selfish 方式と代数螺旋方式を比較し, 平均捕捉数, 及び平均不感地帯探索時間のどちらにおいても代数螺旋方式で良い結果が得られた。代数螺旋方式は偏りなく空間的に網羅して移動することから, イベント捕捉においても, 孤立時の群への合流にも有利な振る舞いとなる。そのため各移動体が Selfish 方式と比較して効率的な捕捉・探索が行えている。

表 1: シミュレーション諸元

諸元名	数値
シミュレータ	ns3
シミュレーション時間 (sec)	5000
移動体数	16
イベント数	30
試行回数	10
無線通信	IEEE802.11b

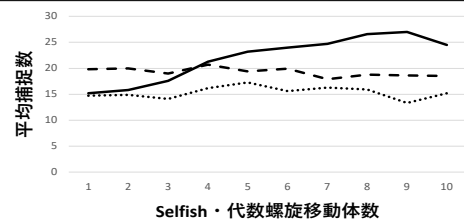


図 1: イベント数 30 における平均捕捉数

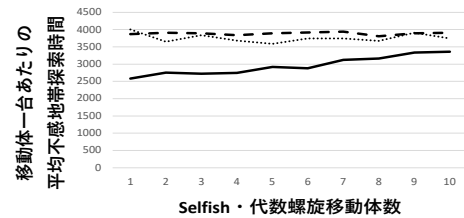


図 2: 探索時間 5000 における平均不感地帯探索時間

5 まとめ

本研究では, 不感地帯でのイベント探索方式を二種類提案し, Selfish 移動体数, 及び代数螺旋移動体数に基づき提案方式をシミュレーションにより評価した。代数螺旋方式では, Selfish 方式での群復帰や探索範囲補完の問題を解決しているため, 高い捕捉数となり平均不感地帯探索時間についても短くなった。今後の課題として, 代数螺旋方式において, 代数螺旋移動体数の動的設定の検討を進め, 多様な状況において群の維持と空間的な拡散のより高い両立を可能とする不感地帯の群形成方式を実現する。

参考文献

- [1] “新居英志, 北之馬貴正, 廣瀬航, 四方博之, 滝沢泰久: 複数自律移動体による群知能を用いた移動センシングクラスタ, 情報処理学会論文誌,”
- [2] Gerardo Beni, Jing Wang; “Swarm Intelligence in Cellular Robotic Systems”, 1993.
- [3] Christian Blum, Daniel Merkle(eds): “Biological Foundations of Swarm Intelligence”, 2008.
- [4] James Kennedy, Russell Eberhart: “Particle Swarm Optimization”, 1995
- [5] 『世界大百科事典』平凡社、1988 年、螺旋の項