

4X-04

不感地帯における自律移動体による間欠イベント探索のための改善代数螺旋方式*

柴戸 駿兵†
関西大学平岡 汰一‡
関西大学出原 昇真§
関西大学大学院西上 翔磨¶
関西大学大学院新居 英志||
摂南大学四方 博之**
関西大学滝沢 泰久††
関西大学

1 はじめに

近年、ドローン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(探索対象物)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、我々は移動センシングクラスタ(MSC)[1]と代数螺旋方式[2]を提案している。いずれも、複数の自律移動体とその無線通信により群形成することにより機動的な不明イベントの探索・捕捉を可能とする。代数螺旋探索方式は、不明イベントが発する物理情報到達域(不感地帯)において物理情報到達域を探索するために、各自律移動体が代数螺旋移動することにより、広く広く拡散し、物理情報到達域発見後は代数螺旋上において物理情報到達域へ集まりMSCへ移行する。MSCは物理情報到達域においてイベントからの物理情報強度に基づいて適宜複数群を形成して短時間でイベントの探索と捕捉を可能とする。しかし上記の方式ではイベントが特定の位置で継続的に物理情報を発することを想定しているため、間欠イベントの捕捉が困難である。

本研究では、SOS救難信号やモールス信号など、物理情報が断続的となる探索対象物(間欠イベント)の捕捉を実現するため代数螺旋方式の改良方式を提案し、その有用性を検証する。

2 先行研究

2.1 移動センシングクラスタ(MSC)

粒子群最適化法(Particle Swarm Optimization:PSO)[3]は群知能[4]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。MSC[1]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。

2.2 代数螺旋方式

代数螺旋方式[2]では、自律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。

3 提案方式

代数螺旋方式で間欠イベントを探索を行うと、MSC移行時に捕捉が完了していないにも関わらずイベントが消滅した場合、自律移動体は代数螺旋方式に移行してしまう。従って、イベント物理情報到達域へ至ったにも関わらずイベントを捕捉できず他の物理情報到達域の探索に向かってしまう。そこで、間欠イベントの捕捉を高める遅延移行代数螺旋方式を提案する。

3.1 遅延移行代数螺旋方式

遅延移行代数螺旋方式は、MSC実施中の自律移動体においてイベント物理情報不感となった場合、直ちにMSCから代数螺旋へ移行するのではなく、MSCからの過渡期間後に遅延して代数螺旋移動へ移行する。過渡期間は直近のMSC評価値履歴に基づいて慣性移動する。過渡期間において物理情報を検知した場合は、即時にMSCへ移行し、過渡期間が終了すれば、イベントは捕捉・消滅したと判断して代数螺旋移動へ回帰する。これにより物理情報到達域からの離脱を避け、かつイベントへ接近させる。

過渡期間において自律移動体はMSC慣性移動の振る舞いを創発するため、直近のMSC評価値とその移動位置座標をウィンドウサイズ W_{size} に従って記憶する。ウィンドウ内はMSC評価値順に移動位置座標が並ぶ。自律移動体はMSC時に記憶したウィンドウ内の各評価値の移動位置座標からウィンドウ内の最良評価値の移動位置座標へ向かうベクトルを生成し、このベクトルに評価値に基づいて

*Improved Algebraic Spiral for Search of Intermittent Events in Blind Zone using Autonomous Mobile Systems

†Shumpei Shibato Kansai University

‡Taichi Hiraoka Kansai University

§Shoma Izuha Kansai University Graduate School

¶Shoma Nishigami Kansai University Graduate School

||Eiji Nii Setsunan University

**Hiroyuki Yomo Kansai University

††Yasuhisa Takizawa Kansai University

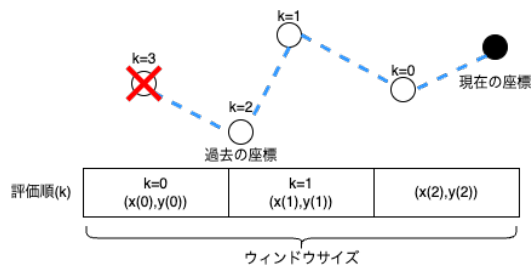


図 1: MSC 評価値に基づく移動位置座標の記憶

重み付けして合成ベクトルを導出する。これを慣性ベクトルとする。また、慣性移動において他の自律移動体と衝突を回避する近傍反発ベクトルを慣性ベクトルに合成する。さらに、過度な慣性移動を回避するため、慣性ベクトルと近傍反発ベクトルの合成ベクトルに過渡期間経過時間に基づいて減衰される。以上から過渡期間移動ベクトルを生成する。以上のベクトル合成を定式化を以下に示す。

$$\vec{v}_i^l(k) = \vec{x}_i(0) - \vec{x}_i(k) \quad (1)$$

$$\alpha(k) = \exp\left(\frac{-lk}{W_{size}}\right) \quad (2)$$

$$\vec{v}_i^l = \sum_{k=0}^{W_{size}} \frac{\vec{v}_i^l(k)}{|\vec{v}_i^l(k)|} \alpha(k) \quad (3)$$

$$\vec{S}_i(\zeta) = \sum_{j \in n_i} \frac{\vec{y}_i(\zeta) - \vec{y}_j(\zeta)}{(d_{ij})^p} \quad (4)$$

$$\vec{v}_i(\zeta) = \frac{\vec{v}_i^l}{|\vec{v}_i^l|} + \frac{\vec{S}_i(\zeta)}{|\vec{S}_i(\zeta)|} \beta \quad (5)$$

$$\gamma(\zeta) = \exp\left(\frac{-m}{\epsilon(\zeta)}\right) \quad (6)$$

$$\vec{V}_i(\zeta) = \frac{\vec{v}_i(\zeta)}{|\vec{v}_i(\zeta)|} \gamma(\zeta) \quad (7)$$

ここで、 $k = 0$ を最良の評価値の履歴として、評価値が高い順に並べるものとする。 $\vec{x}_i(k)$ は自律移動体 i における評価値 k 番目の位置ベクトル、 $\alpha(k)$ は評価値 k 番目の重み、 l は重み係数、 W_{size} はウィンドウサイズ、 \vec{v}_i^l は自律移動体 i の慣性ベクトル、 n_i は移動体 i の近傍移動体集合、 $\vec{y}_i(\zeta)$ は移動体 i の過渡期間経過時間 ζ における位置ベクトル、 d_{ij} は移動体 i と移動体 j の距離、 p は衝突抑制ベクトルにおける距離の重み、 $\vec{S}_i(\zeta)$ は移動体 i の過渡期間経過時間 ζ における反発ベクトル、 β は近傍反発係数、 $\vec{v}_i(\zeta)$ は移動体 i の過渡期間経過時間 ζ における基準移動ベクトル、 m は速度係数、 $\gamma(\zeta)$ は移動体の過渡期間経過時間 ζ における速度、 ϵ を過渡期間、 \vec{V}_i は移動体 i の過渡期間経過時間 ζ における過渡期間移動ベクトルである。

4 提案方式のシミュレーション検証と考察

本シミュレーションでは、山岳での救助活動を想定し、救助者の発する遭難信号を間欠イベントとし一様分布に基づき配置する。間欠イベントは1分間に6回(10秒に1回)の割合で出現し、1分間消滅を繰り返す[5][6]。また各出現時間を2秒とする。代数螺旋方式と遅延移行代数螺旋方式の比較評価を行う。表1にシミュレーション諸元を示す。図1に自律移動体が不感地帯からイベント物理情報到達域に至りMSCでイベントを捕捉完了したイベントの割合(イベント捕捉率)を示す。

代数螺旋方式と遅延移行代数螺旋方式を比較すると、遅延移行代数螺旋方式の方が高い結果が得られた。これは遅延移行代数螺旋方式が間欠イベントに対して、過渡期間において慣性的MSCの振る舞いを行なったことにより

高まったと考える。また過渡期間が60秒の場合に、捕捉率が最も高い結果が得られた。これは間欠イベントの消滅時間と過渡期間が等しいため、冗長な慣性移動の期間を排除できるためと考える。過渡期間が短い場合は、自律移動体が慣性移動によりイベントへ接近しているため、代数螺旋へ移行してもイベント物理情報検知域から離脱していない場合は移行可能である。一方でイベント物理情報検知域から離脱している場合はイベントを見逃すことになる。従って、イベントの捕捉率が低下する。過渡期間がイベント物理情報平均消滅期間より長い場合は、イベントが捕捉完了して消滅したにも関わらず、慣性移動するため無効な移動が発生しイベント物理情報検知域へ到達が遅れ、シミュレーション期間において捕捉率が低下したと考える。

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)	10000
移動体数	16
イベント数	10~50
ウィンドウサイズ	10~30
重み係数	5
衝突抑制ベクトルにおける距離の重み	3
速度係数	5
近傍反発係数	0.3
過渡期間(sec)	50~70
試行回数	10
無線通信	IEEE802.11g

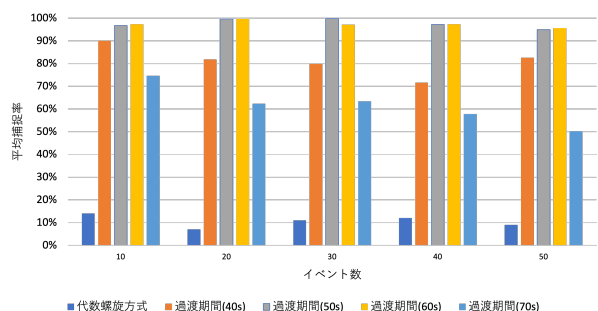


図 2: イベント捕捉率

5 まとめ

本研究では、間欠イベントの捕捉を可能とする遅延移行代数螺旋方式を提案し、イベントの数に基づきシミュレーションにより評価した。遅延移行代数螺旋方式では、間欠イベント消滅後、過渡期間を設けて、遅延して代数螺旋移動へ移行し、遅延期間において直近MSC評価値履歴による慣性移動することにより、代数螺旋方式よりも捕捉率を高めた。

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システム, 情報処理学会論文誌.”
- [2] S. Izuhara, S. Nishigami, N. Fujiyama, E. Nii, H. Yomo and Y. Takizawa, ”Search for Unknown Events in Blind Zone using Multiple Autonomous Mobile Systems with Mobile Sensing Cluster,” 2023 CCNC
- [3] James Kennedy, Russell Eberhart: “Particle Swarm Optimization”, 1995
- [4] Gerardo Beni, Jing Wang: “Swarm Intelligence in Cellular Robotic Systems”, 1993.
- [5] 内田 修市. 登山入門. 日本山岳ガイド協会, 2022年
- [6] Meysam Basiri, Felix Schill, Pedro U. Lima, Dario Floreano: ”Robust acoustic source localization of emergency signals from Micro Air Vehicles”, 2012年