

移動センシングクラスタを用いたランダムエラー発生環境における識別不可イベント探索方式

藤山 尚紀¹ 新居 英志² 四方 博之³ 滝沢 泰久¹

関西大学環境都市工学部¹ 国際電気通信基礎技術研究所² 関西大学システム理工学部³

1 はじめに

近年、ロボットやUAVなどの自律移動体を探索作業へ適用する検討が進められている。想定される探索作業は、災害発生時の要救助者の探索、および救助活動などが考えられるが、これらの探索対象とする目的物(イベント)は、広範囲に散在し、その位置・数が不明である。このような複数の未知イベントの探索・能動的処理を行う複数の自律移動体に対して群知能を拡張適用、また移動体間で無線通信することにより、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・能動的処理を完了する移動センシングクラスタ(MSC)を提案している[1]。MSCでは、複数の自律移動体とそれらの無線通信に群知能[2]を適用し、適応的な集団構成を行うことで、より短時間で多くの探索・捕捉活動の実行を実現する。MSCは複数群を構成することにより高い探索・処理能力を有するが、複数のイベントから発せられる物理情報によって個々のイベントを識別できること、またその物理情報の強度に瞬時変動がないことを前提としている。しかし、実環境においては自然現象から発せられる物理情報(温度、匂いなど)から発生イベントを個別識別することは困難であり、複数イベントからの物理情報強度が積算された単一の物理情報として認識される。さらに物理情報強度はノイズ(相互干渉や障害など)により瞬時変動するため、イベントからの物理情報強度はイベントまでの距離に対して単調減少の傾向を失う。先行研究では、これらの環境を考慮した以下の2方式のMSCが提案されている。

- ・ミュータント生成MSC[3]
- ・動的スケール制御MSC[4]

ミュータント生成MSCは、個々に識別できない未知イベント(識別不可イベント)環境においての複数群分離手法であり、動的スケール制御MSCは、物理情報強度が瞬時変動し、イベントとの距離相関を失う環境を想定した手法である。しかし、前者は物理情報の瞬時変動は考慮しておらず、後者は識別不可イベントを考慮していない。このため、本稿では、複数イベントからの物理情報強度が単一の物理強度として積算され、さらに環境ノイズによりその積算値が瞬時変動(ランダムエラー)する環境を想定し、そこでのミュータント生成MSCと動的スケール制御MSCの2方式の有用性を検証・考察する。

2 移動センシングクラスタ(MSC)

2.1 MSCの基本メカニズム

MSCはParticle Swarm Optimization(PSO)[5]を拡張適用し、適応的な集団構成を行うことで、より短時間で多くの探索・捕捉活動の実行を実現する。基本MSCはより多くのイベントを探索・捕捉するために、適宜、群を分離または合流させる。MSCは無線通信を用い、相互作用する複数台の自律移動体(以下、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

群としての振る舞いを創発するメカニズム。

- ・衝突抑制制御
自律移動体同士の衝突を回避するメカニズム。
- ・継続探索制御
異なる目的箇所の探索を変遷する振る舞いを継続的に行うメカニズム

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
複数のイベントが存在する場合に適応的に群を分離するメカニズム
- ・複数群構成移動体に対する偏りの抑制
分散された複数の群において、それぞれの群を構成する移動体数の偏りを抑制し、均一な群の形成を行うメカニズム

MSCは上記のメカニズムを導入し、より短時間により多くの位置不明イベントを捕捉する。

2.2 ミュータント生成MSC

基本MSCのメカニズムは個々の未知イベントを識別できることを前提とし、識別された未知イベントごとにリーダーを適宜選出し群を分離させ、個々の未知イベントを探索・捕捉する群を構成する。したがって、識別不可イベントの探索・捕捉においては、複数の群での探索・捕捉ができないため、探索・捕捉は逐次処理となり結果として時間を要することとなる。ミュータント生成MSCは上記の問題を改善するため、ミュータントと呼ばれる群から離れて単独探索を行う移動体を確率的に発生させ、異なるイベントを探索する群を形成する機会を作ることにより、探索・捕捉処理を並列化し処理時間の短縮を図る。

2.3 動的スケール制御MSC

MSCにおいてイベントから発せられる物理情報強度は移動体とイベントの距離に相関を持つ前提だが、実環境ではイベントからの物理情報強度が瞬時変動し、イベントまでの距離との相関を失う。従って、必ずしもイベントへ最短とする移動体をリーダーとして選出されない可能性が高くなる。動的スケール制御MSCはこの問題を改善するために、移動体同士の反発の程度を決定する要因の1つである反発係数を動的に決定する。この方式ではロジスティック関数を利用し、移動体とイベントの距離に応じて反発係数を制御することで、移動体同士の距離を確保し評価値変動によるリーダーの選択ミスを回避する。

3 検証と考察

ミュータント生成MSCと動的スケール制御MSCの2方式において、識別不可イベント数とランダムエラーの状況に応じた探索・捕捉時間を検証し、その問題点を考察する。

3.1 検証モデル

本研究では識別不可イベントとランダムエラーの混合

が混合する環境を想定する。この環境では個々のイベントの物理情報強度を識別することが出来ないため、文献[6]に基づき式(1)のように、複数のイベントの物理情報が重なり、積算された強度を移動体は取得することとなる。

$$E_i = \log \frac{1}{2} \prod_{j=1}^n d_{ij}^2 \quad (1)$$

ここで、 d_{ij} は移動体*i*とイベント*j*の距離、 n はイベントの数、 E_i は物理情報強度を示し、値が小さいほど強度が高いとする。複数イベントからの積算強度は多重波の重なりと同様の瞬時変動と想定して、積算強度はレイリー分布に基づくこととして、以下のように定義する。

$$E'_i = \frac{1}{r'} * E_i \quad (2)$$

ここで、 E_i は移動体*i*が受信するイベントからの物理情報強度、 E'_i はランダムエラー後の E_i 、 r' はレイリー分布に従う乱数である。

3.2 シミュレーション評価と考察

ns3を用いたシミュレーションの諸元を表1に示す。図1はランダムエラー分散値に応じたミュータント生成MSCの全イベント探索・捕捉完了時間を示す。図2は識別不可イベント数に応じた全イベント探索・捕捉完了時間を示す。

表1：シミュレーション諸元

諸元名	数値(図1)	数値(図2)
シミュレーション時間(sec)	10000	10000
移動体数	10	10
識別不可イベント数	10	2~10
試行回数	5	5
レイリー分布の分散(σ)	0~3.0	0.5~3.0
最大ミュータント数	0~10	0

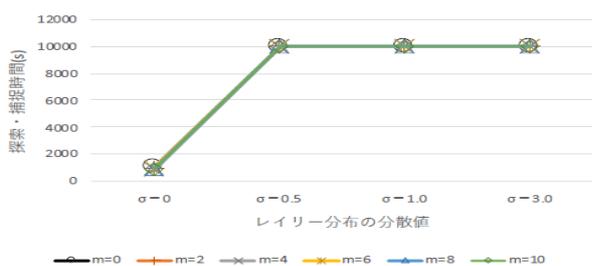


図1：ミュータント生成MSCにおける探索捕捉時間

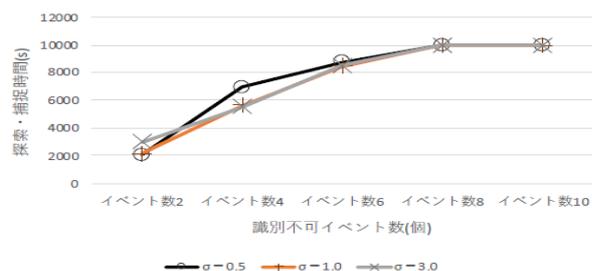


図2：動的スケール制御MSCにおける探索捕捉時間

図1において、 m は最大ミュータント数、 $\sigma = 0$ はランダムエラーがない環境、 $\sigma \leq 0.5$ は想定しているランダムエラーがある環境をそれぞれ示す。想定環境では、探索・捕捉時間が大幅に上昇しておりシミュレーション時間内にイベントの捕捉が完了しなかった。これは以下の理由による。ミュータント生成MSCはランダムエラーが発生する環境において、リーダー交代を繰り返し、群が停滞してイベントは進行しない。この停滞は、イベントからの物理情報のエラーにより誤ったリーダー交代が行われ、これにより群としての進行方向が相殺されているためと考えられる。さらに、ミュータントが離脱した群へ戻り、新たな群を形成することがない。この原因は、ランダムエラー環境では遠いイベントからの物理情報強度は劣化へ大きく振れるため、新たなイベントに相当接近しない限り、離脱した群における物理情報強度が良好だと判断するためだと考えられる。

図2より、想定環境における動的スケール制御MSCは、イベントが識別不可であることによって複数群への分離が起きないため、探索・捕捉活動が1群による逐次的な処理となり、識別不可イベント数が多い場合にシミュレーション時間内に探索・捕捉が完了できなかった。

4 まとめ

本研究では、実環境で想定されるイベントの個別識別が不可能、かつイベントから発せられる物理情報にランダムエラーを含む環境において、ミュータント生成MSCと動的スケール制御MSCの探索・捕捉の観点で有効性を検証した。ミュータント生成MSCはランダムエラーを含む物理情報強度により、リーダー選出や交代で誤りが発生し、このために群進行が停滞し、さらにミュータントによる群分離が機能しない。動的スケール制御MSCは識別不可イベントでは群分離できない。

今後は2方式のそれぞれの問題点の解決方式を検討することにより想定環境における改善MSC方式の検討をすすめる予定である。

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 Vol. 2017-ITS-69, No. 27, pp. 1-8, (2017).
- [2]Gerard Beni, Jing Wang: "Swarm Intelligence in Cellular Robotic Systems", (1993).
- [3]新居英志, 北之馬貴正, 四方博之, 滝沢泰久: 識別不可イベントにおける突然変異型移動センシングクラスタの提案, 情報処理学会論文誌, Vol. 61, No. 2, pp. 317-324, (2020).
- [4] Eiji Nii, Shoma Nishigami, Takamasa Kitanouma, Hiroyuki Yomo, Yasuhisa Takizawa: Dynamic Swarm Spatial Scaling for Mobile Sensing Cluster in a Noisy Environment, Journal of Information Processing, Vol. 23, No. 2, (2021(採録決定)).
- [5]James Kennedy, Russell Eberhart: "Particle Swarm Optimization", IEEE International Conference on Neural Networks, pp. 1942-1948 (1995).
- [6] 桜間一徳, 安木洋介, 西田信一郎: 分散最適化に基づくロボット群による複数極値探索, システム制御情報学会論文誌, Vol. 29, No. 4, pp. 155-161 (2016).