

## 群知能を用いたCPS型移動センシングクラスタの探索性能 における通信遅延の影響評価\*

平岡 汰一†  
関西大学

柴戸 駿兵‡  
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や損傷箇所など(以降、イベント)の探索や救助あるいは修復作業など(以降、捕捉)へ適用する検討が進められている。しかし、災害発生時におけ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、我々は複数台の自律移動体が協調して探索を行う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・捕捉の処理を行う複数の自律移動体に対して、群知能 [2][3] を拡張適用した MSC メカニズムを導入することにより、無線通信を用いた自律移動体間での情報共有とそれに伴う相互作用に基づき、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。

この MSC メカニズムの実装システム構成には以下の二つの構成方式が提案されている [5]。

#### ● NF 構成方式 (Native Form, NF)

自律移動体間の無線通信による情報共有と相互作用を用いて MSC メカニズムを自律移動体の自律分散処理として実装する。NF 構成方式は MSC メカニズムの本質的構成方式である。

#### ● CPS 構成方式 (Cyber physical System, CPS)

CPS 構成方式は NF 構成方式を拡張応用した構成方式であり、実空間(以降、フィジカル空間)とフィジカル空間を仮想化した写像であるサイバー空間から構成される。CPS 構成方式では MSC メカニズムをサイバー空間上で実装し、サイバー空間の MSC メカニズムがフィジカル空間の自律移動体の移動を大域的に制御する。

文献 [5] では、CPS 構成方式は NF 構成方式と比較して、サイバー空間で MSC メカニズムが動作するため、フィジカル空間の制約を受けずに大域的な群形成が可能である有用性を示した。しかし、CPS 構成方式においてサイバー空間とフィジカル空間との相互作用に用いる無線通信の影響が未検討である。

以上より、本稿では、CPS 構成方式におけるサイバー・フィジカル間無線通信の群形成への影響を、NF 構成方式と比較して評価し考察する。

### 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 (Mobile Sensing Cluster, MSC) 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

以上の MSC メカニズムにより、複数群を適宜構成し、有限時間内に多くのイベントを探索・捕捉処理を完了する。

### 3 MSC 実装構成方式

#### 3.1 NF 構成方式

NF 型構成方式では各自律移動体において MSC メカニズムを実装する。各自律移動体は、自身でイベントからの物理情報を取得し、また無線通信により近傍自律移動体との情報共有と相互作用を実施して、不明イベントの探索・捕捉を行う。すなわち、各自律移動体が自律分散制御を行う手法である。しかし、無線通信の物理的制約により自律移動体間の情報共有と相互作用が局所的となる制限がある。

\*Impact of Communications delay on Searchability in CPS based Mobile Sensing Cluster using Swarm Intelligence

†Taichi Hiraoka Kansai University

‡Shimpei Shibato Kansai University

§Shoma Izuohara Kansai University Graduate School

¶Shoma Nishigami Kansai University Graduate School

||Eiji Nii Setsunan University

\*\*Hiroyuki Yomo Kansai University

††Yasuhisa Takizawa Kansai University

### 3.2 CPS 構成方式

CPS 構成方式は、NF 構成方式の課題を回避し、有用な群形成を適宜可能とするために、自律移動体間の情報共有と相互作用、すなわちフィジカル空間の自律移動体間の無線通信をサイバー環境において仮想化する。図1に

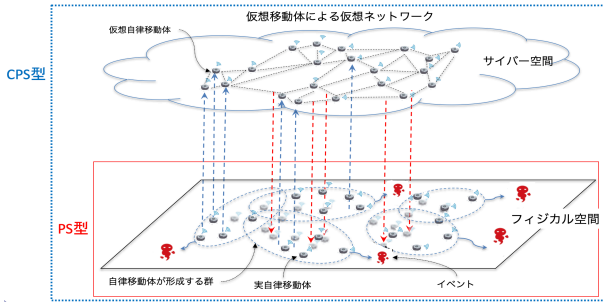


図 1: NF, CPS 構成方式比較 MSC 概念図

NF, CPS 構成方式比較 MSC 概念図を示す。図1のように CPS 構成方式はサイバー空間とフィジカル空間から構成されている。フィジカル空間は複数の実移動体と位置、数が不明な未知イベントから構成される。一方、サイバー空間はフィジカル空間の実移動体の写像である仮想移動体で構成される。CPS 構成方式における無線通信を用いたサイバー・フィジカル空間の相互作用には以下の二つの機能を連携する。

- アップリンク

各自律移動体は移動位置において自身でセンシングしたイベントの物理強度とその自己位置をサイバー空間の MSC へ転送する

- ダウンリンク

サイバー空間の MSC は上記転送データを集約して、各自律移動体の移動位置を導出し、これを各自律移動体へ転送する。

CPS 構成方式では以上の2機能を無線通信により連動させてイベント探索・捕捉のために群形成を制御する。サイバー空間では移動体間の無線通信カバレッジの制約を受けないため、各仮想移動体は他の全ての仮想移動体と相互作用ができる。従って、CPS 構成 MSC はローカルベスト評価値のスーパーセットであるグローバルベスト評価値相当として MSC メカニズムを動作させる。すなわち、サイバー・フィジカル空間の相互作用に基づいた大域的集中制御により実移動体の移動を制御する。

しかし CPS 構成方式は全自律移動体転送データによる全自律移動体の移動位置を導出する方式であり、全自律移動体からサイバー空間へのデータ転送遅延とサイバー空間から全自律移動体への移動位置の配信遅延が直接的にイベント探索・捕捉時間へ影響を与える。

## 4 シミュレーション検証と考察

### 4.1 検証方法

表1の諸元に基づき、NF 構成方式（以降、NF）と CPS 構成方式（以降、CPS）の2手法でイベントに対する探索時間、捕捉率を比較評価し、以下に示す。

### 4.2 探索・捕捉にもたらす通信遅延の影響

図2に NF と CPS における移動体数と MSC 更新周期（以降、更新周期）による最終捕捉時間を示す。NF と各更新周期の CPS、いずれも移動体数の増加に伴い最終捕捉時間が減少する。

CPS の各更新周期を比較すると、更新周期を短くするに伴い最終捕捉時間が減少し、更新周期 0.3sec で最短と

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)	2000
探索エリア	100 × 100 ~ 500 × 500m
移動体数	10 ~ 50 台
MSC 更新周期 (sec)	NF0.1, CPS0.1 ~ 1.0
イベント数	15 台
試行回数	10 回
無線通信	IEEE802.11g

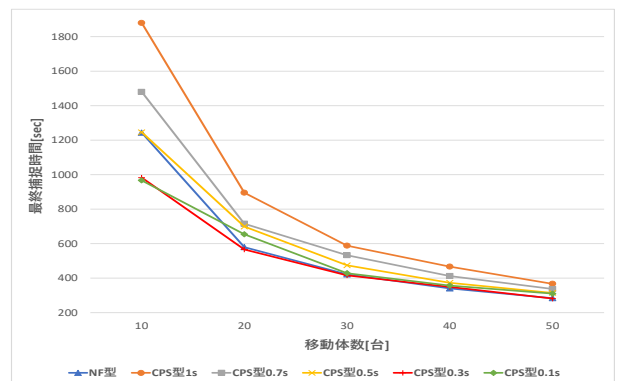


図 2: 移動体数増加と MSC 更新周期による最終捕捉時間

なり、更新周期 0.1sec で増加へ転じる。CPS は更新周期短縮によりイベントセンシング機会が増すこととこれによるリーダー交代機会と移動方向修正機会が増加し、結果としてイベントへの移動経路を短くする。

NF と CPS を比較すると、CPS の更新周期 0.3sec で NF を下回る。これは移動経路長の短縮でなく大域的な制御により群分離が促進されて、並列的探索・補足の効果と考える。一方、0.1sec で移動体数が多い場合は、トラフィック量の増大と相互干渉により通信遅延が大きくなり、大域的な移動制御の到達が遅れてその間慣性移動し無駄は方向へ向かうため移動経路長が大きくなり群分離効果が相殺されるためと考える。

## 5 まとめ

本稿では CPS 構成方式におけるサイバー・フィジカル空間における通信遅延がもたらす探索性能の評価を行った。結果として CPS 構成方式の大域的集中制御において、自律移動体数が少ない場合は通信遅延の影響を受けずに探索性能が向上するが、自律移動体数が多い場合、通信遅延のために大域制御が相殺され探索性能が必ずしも向上しない。今後の課題として通信遅延の影響を抑制する2機能の非同期連携を検討する。

## 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] ”西上翔磨, 新居英志, 出原昇真, 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における実装構成方式, 情報処理学会論文誌,”