

3次元空間中における準同期ロボット群の集合問題

田村元貴* 山内由紀子** 来嶋秀治** 山下雅史**
(九州大学 *理学部 物理学科 情報理学コース **大学院システム情報科学研究院)

1 はじめに

本研究では自律分散ロボットの集合問題について議論する。自律分散ロボットとは、複数のロボットがその配置を観測し、互いに通信を行うことなく自律的に行動を決定するものことであり、負荷の分散や耐故障性といった観点から近年注目されている。

本稿では3次元空間における準同期の自律分散ロボットの全員が空間中の1点に集まる、という集合問題について考える。[1]では2次元平面における準同期ロボットの集合アルゴリズムが示された。その考え方を拡張して3次元空間における集合問題のアルゴリズムを与える。

2 諸定義

問題をモデル化するために、ロボットは3次元ユークリッド空間 R^3 中の n 個の点 $r_i (i = 1, \dots, n)$ であると考えられる。各ロボットを区別することはできず全員が同じアルゴリズムを実行する。ロボットの行動は LCM サイクルとよばれるものによって定義される。つまりロボットは、他のロボットの位置を観測し (Look), それをもとにアルゴリズムに従って自身の目的地を計算し (Compute), その目的地に向かって移動する (Move), というサイクルを繰り返す。準同期モデルでは全ロボットの動作は同期するが、各サイクルにおいて動作しないロボットが存在してもよい。

ロボットは過去のサイクルでの自身の計算や動作を記憶せず、各ロボットの観測座標系は一致しているとは限らない。ロボットは移動の途中で停止するかもしれないが、最低でも移動する距離 δ_i が各ロボット r_i について保証されている。集合問題とは有限時間内に全ロボットがある1点に集まるという問題である。集まる1点は前もって決められておらず、どこに集まってもよい。多重点はロボットが2台以上存在する点で、ロボットは認識可能とする。簡単のため、本稿では初期状態において多重点はないものとする。アルゴリズム内で用いる最小包含球 (SEB) は全ロボットを含む最小の球である。また、SEB の内部とは SEB からその境界を除いた集合である。3次元中の点集合に対して SEB はただ一つに定まり、計算によって求めることができる。

3 アルゴリズムとその正当性

$n = 2$ のとき2次元平面においてロボットは集合できないことが示されており [1], よって3次元空間でも不可能である。 $n = 3$ のときは2次元平面において集合が可能であり [1], 3次元空間中の3点は同一平面上にあるので3次元空間においても集合が可能である。 $n = 4$ のときはロボット群が立体的な配置をとりうるが集合が可能である。それには、4点がなす四面体の対称性によって条件分岐して目的地を定めるアルゴリズムを用いる。四面体を4面合同 (正四面体), 3面のみ合同 (正三角錐), 2組の2面が合同, 1組の2面が合同, 合同な面なし, の5種類に分類しそれぞれの場合についてロボットの目的地を定める。 $n \geq 5$ のときは SEB を用いたアルゴリズムによって集合が可能である。SEB の内部に存在するロボットの台数によって条件分岐してロボットの目的地を定める。 $n \geq 5$ のときのアルゴリズムを Algorithm1 に記す。その正当性の証明は以

下の4つの補題による。

補題 1 ある時刻 t において SEB の内部にロボットが1台だけ存在するとき、ある時刻 $t' > t$ において多重点が唯一存在する。

補題 2 ある時刻 t において SEB の内部にロボットが2台以上存在するとき、ある時刻 $t' > t$ において多重点が唯一存在する。

補題 3 ある時刻 t において SEB の内部にロボットが存在しないとき、ある時刻 $t' > t$ において SEB の内部にロボットが存在するか、または多重点が唯一存在する。

補題 4 ある時刻 t において多重点が唯一存在するとき、ある時刻 $t' \geq t$ においてロボット全員が同じ点に存在する。

以上の結果より次の定理を得る。

定理 1 $n > 2$ のとき準同期ロボット群は集合が可能である。

Algorithm 1 $n \geq 5$ のときのアルゴリズム

```

if 唯一の多重点 p が存在 then
  if 自分と p との間にロボットがない then
    p へ移動
  end if
else
  if SEB 内部にロボットが1台 then
    if 自分が SEB 内部 then
      自分から最も近いロボットへ移動
    end if
  else if SEB 内部にロボットが2台以上 then
    if 自分が SEB 内部, かつ自分と SEB の中心との間にロボットがない then
      SEB の中心へ移動
    end if
  else {SEB 内部にロボットがない}
    SEB の中心へ移動
  end if
end if

```

4 今後の課題

3次元空間中における非同期ロボット群の集合問題については未解決である。それが可能かどうか、可能ならばどのようなアルゴリズムによって解くことができるかを考える。

参考文献

- [1] I. Suzuki and M. Yamashita, Distributed anonymous mobile robots: formation of geometric patterns, SIAM Journal on Computing, 28(4), 1347–1363, 1999.