

F-016

## ロボット群の探索行動のための局所的通信による協調動作に関する研究 Study on Cooperative Behavior of Multiple Robotic System with Local Communication for Space-Search Problem

酒井 美由紀  
Miyuki Sakai

千葉 慎二  
Shinji Chiba

### 1. まえがき

ロボット研究には、単体で高度な処理を行うロボットを目指すものと、単体では比較的低機能であるが、集団になることで高度な処理を行うロボットを目指すものがある。特に後者については、低機能なロボットでも集団（ロボット群）で協調的に行動することで、より高度な作業が可能となる<sup>[1]</sup>。協調的行動を行うためには、ロボット間の通信が重要であり、その通信方式は大域的通信と局所的通信の2つに大別される。特に局所的通信においては、分散的な協調処理に適しているという報告があり<sup>[2]</sup>、また赤外線による局所的通信がロボット間通信や障害物検出に有効であることが示されている<sup>[3]</sup>。

本研究では、危険で広範囲での通信が困難な状況を想定した環境での、局所的通信が可能なロボット群による効率的な探索行動のための協調動作手法を考案する。探索行動では、ロボット間の通信を維持しながら、できるだけ短時間で広範囲の探索を行えることが望ましい。本提案手法では、ロボットは自身の状態を送信することで探索状況を周囲に知らせ、受信データの有無で集団内のおおよその位置を把握し、通信を維持しながら集団から離れるよう行動させることで、広範囲な探索を実現する。ロボットの送受信器の指向性や混信という制約条件のもと、シミュレーションによって提案手法の有効性を検証した。

### 2. 研究概要

#### 2.1 シミュレーション環境

探索行動を行うための効果的な協調動作の検証を行うため、ロボット群シミュレータを開発した。シミュレータの実行画面の一部を図1に示す。限られた広さのフィールド(450×350ピクセル)内に、ロボットが配置される。ロボットは直径15ピクセルの円形で、円の中心から伸びる線分で進行方向を表す。ロボットの外周には90度間隔で4つの送受信器が備えられている。信号を受信した受信器の位置から、ある程度送信したロボットの方向を判断することができる。

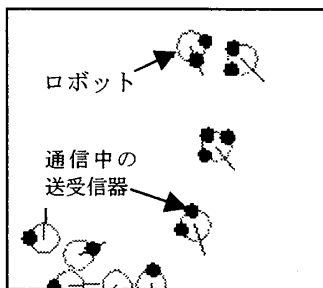


図1 シミュレータ実行画面

通信には指向性があり、今回は送信・受信とも $\pm 45^\circ$ と設定した。また通信は、障害物やロボットによって遮断されることとした。シミュレータでは、通信中の送受信器の位置は黒

丸で示すようにした。また、ロボットの外周にはタッチセンサが備えられており、障害物や他のロボットとの衝突を検出できる。実際の探索シミュレーションでは障害物や目的物がフィールド内に存在するのだが、今回はロボット群の行動範囲の広がりから探索行動を評価するため、ロボット以外はフィールドには配置しない。

ロボットは他のロボットとの衝突を回避しながらフィールド上を移動する。各ロボットはランダムな間隔で4方向に信号を送信し、受信した信号の情報から次の行動を決定する。協調動作はロボットの行動を決定する意思決定アルゴリズムに大きく影響を受けるので、いかに意思決定アルゴリズムを設計するかが重要となる。

#### 2.2 通信効率の検証実験

本研究ではロボットの通信に赤外線を想定している。複数のロボットが赤外線通信を同時に行うため、混信による通信失敗という問題が生じる。そこで、ロボットの通信回数に対する通信成功回数の割合を通信効率と定義し、ロボットの密度や通信可能距離に対する通信効率特性を検証した。ロボット密度(=ロボットの総面積/フィールド面積)は0.1, 0.2, 0.3, 0.35のそれぞれで検証した。図2にロボット密度が0.1の場合と0.35の場合の配置例を示す。通信可能距離はフィールドの対角線長に対する割合で定義し、0.1, 0.3, 0.5, 1.0の場合を検証した。よって合計16パターンの通信効率を検証した。各パターンにおいて、フィールド上にロボットをランダムに配置し、静止した状態での10000ステップ間の通信を1試行として100試行計算した。

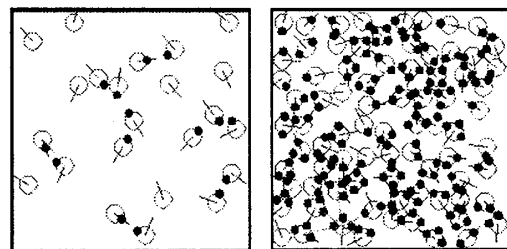


図2 ロボット配置例  
(左: ロボット密度0.1, 右: ロボット密度0.35)

図3に実験結果を示す。図3に示す通信効率は、100試行の平均値である。通信可能距離が0.1(局所的通信)の場合、遠方のロボットとは通信ができない。そのためロボット密度が高くなると、通信可能なロボットが周囲に多くなるために混信回数が増加する。これに対し通信可能距離が大きい場合、ロボット密度が低い時は遠方のロボットとの間に通信の障害となるロボットが存在する確率が小さいので、混信回数が多くなる。ロボット密度が高くなると、ロボットが通信経路内に存在する確率が高くなり長距離通信が困難となる。よってロボット密度を高くすると、図3

†仙台電波工業高等専門学校, 情報システム工学専攻

‡仙台電波工業高等専門学校, 情報工学科

に示すように、全ての通信可能距離において通信効率が局所的通信の特性に近づくということがわかる。また今回の実験では、全てのパターンにおいて通信効率が99%を超えているために混信については特に重大な問題とはならないが、その中でも局所的通信の特性が最も優れているということが示された。

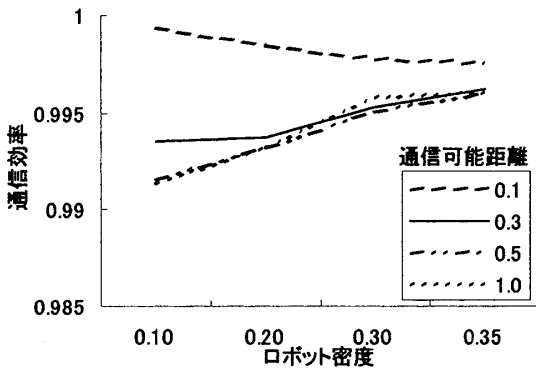


図3 通信効率特性

をあまり取っておらず、単独もしくはいくつかのグループで行動していることがわかる。ロボット群として協調動作を行わせるには、通信維持率を1に近い状態に保つ必要があり、意思決定アルゴリズムの更なる改良が必用である。

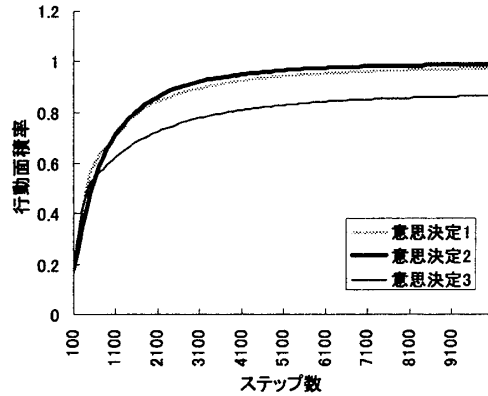


図4 行動面積率特性

### 2.3 行動範囲の検証実験

探索を行う場合、通信が途切れない状態で、短時間で広範囲に探索をすることが望ましい。そのような探索行動を行うためには協調動作が重要であり、ロボットの意思決定アルゴリズムを検討する必要がある。そこで、複数の意思決定アルゴリズムを提案し、それぞれの探索行動を検証することにした。今回検証した各意思決定アルゴリズムの概要は以下の通りである。

#### (1) 意思決定1

受信している間：ロボットは直進する  
受信がない場合：孤立時の行動をとる

#### (2) 意思決定2

受信している間：ロボットはランダムに移動する  
受信がない場合：孤立時の行動をとる

#### (3) 意思決定3

受信している間：ロボットは通信した方向によって移動する方向を決定する  
受信がない場合：孤立時の行動をとる

受信がない場合の孤立時の行動としては、最後に受信した方向へ直進するという設定とした。ロボットは25台、通信可能距離は0.1とした。シミュレーション10000ステップを1試行とし、各意思決定アルゴリズムで100試行計算し、その平均で探索効率を検証した。図4に試行中にフィールド上でどれだけ移動することができたのかを表す行動面積率(=全ロボットが行動したフィールド上の面積/フィールド面積)、図5にロボットがどれだけ通信可能な群となって行動できていたのかを表す通信維持率(=通信可能なロボットのグループ数/ロボット総数)を示す。

図4より、試行ステップ時間内でフィールド全体をほぼ移動できているということがわかる。また、ロボットは直進行動よりもランダムに行動した方が、若干より広範囲に移動できることがわかる。意思決定3においては、ロボットが集団で固って身動きが取れない状態が頻繁に発生したため、行動面積率が低い結果となった。図5を見ると、全ての方法において、移動開始から数ステップ後には群行動

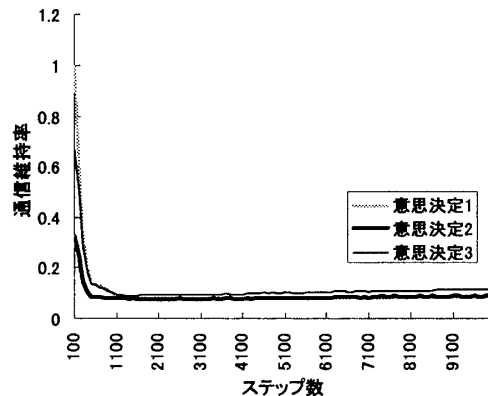


図5 通信維持率特性

### 3. まとめ

本研究では、局所的通信による効果的な探索行動を行うための協調動作手法を考案するため、ロボット群シミュレータを開発し、ロボットの意思決定アルゴリズムの検証を行った。その結果、今回提案した意思決定アルゴリズムでは、全体的に協調動作を行うには更なる改良が必要であることがわかった。今後は、通信維持率を長時間にわたって1に近い値に保つように、意思決定アルゴリズムの改良に取り組む予定である。

### 参考文献

- [1]菅原研：群れロボットの協調と群知能。数理科学，No.431，pp.69-75，1999。
- [2]吉田英一，新井民夫，大田順：多数の移動ロボットの局所的通信システムの性能評価（大域的通信との比較）。日本機械学会論文集(C編)，Vol.64，No.619，pp.966-971，1998。
- [3]鈴木昭二，新井義和，琴坂信哉，浅間一，嘉悦早人，遠藤勲：マルチ移動ロボット環境における衝突回避のための局所的な通信を利用したセンサシステムの開発。日本機械学会論文集(C編)，Vol.62，No.602，pp.3752-3758，1996。