

群れの概念による自律運搬ロボットの協調行動

2M-7

秋山 洋平† 松井 藤五郎† 犬塚 信博† 伊藤 英則†

†名古屋工業大学

1 はじめに

近年、複数のロボットが協調することで問題を解決するマルチエージェントシステムによる分散協調的問題解決に関する研究が盛んに行なわれている。一台の指令ロボットによる中央制御ではロボットの数が大規模化した時などは計算量や通信の面で必ずしも現実的ではない。

本稿ではローカルな情報しか知覚できない自律運搬ロボットの振舞いに群れの概念を導入し、各ロボットが自らの周りのロボットの状況から自分の次の行動を決定することにより、全体の組織的な行動を創発し、ロボットを効率良く協調させる。また、例題として荷物運搬問題を取り上げシミュレーションによる実験からその有用性を検証する。

2 群れの概念

本稿では自律運搬ロボットがより他者を意識して秩序だった行動をとるために群れの概念 [1] を導入し、以下のルールに基づくベクトル演算によって次の行動を決定する。ルールには優先度があり、以下の順に優先度が高いものとする。

1. 衝突回避
2. 近くのロボットとの速度調和
3. 近くのロボットとの中心に向かう

G を重力定数、ある時刻 t に於けるロボット i の位置ベクトルを $P_i(t)$ 、速度ベクトルを $V_i(t)$ とすると、ロボット i の衝突回避ベクトル $A_i(t)$ 、速度調和ベクトル $V_i(t)$ 、群れの中心に向かうベクトル $C_i(t)$ はそれぞれ以下の式で決まる。また視野内における他のロボットの距離が近い順に n までのベクトルのみを以下の演算の考慮に入れるものとする。

$$A_i(t) = \sum_{j=1}^n \left(\frac{G}{|P_j(t) - P_i(t)|^2} \cdot \frac{P_j(t) - P_i(t)}{|P_j(t) - P_i(t)|} \right) \quad (1)$$

$$V_i(t) = \sum_{j=1}^n V_j(t) - V_i(t) \quad (2)$$

$$C_i(t) = \frac{\sum_{j=1}^n P_j(t) + P_i(t)}{n+1} - P_i(t) \quad (3)$$

($1 \leq i \leq m$; m はロボットの個体数)

時刻 $t+1$ でのロボット i の次の位置ベクトル $P_i(t+1)$ は、これらのベクトルの重み付け和により、

$$P_i(t+1) = P_i(t) + \alpha A_i(t) + \beta V_i(t) + \gamma C_i(t) \quad (4)$$

(α, β, γ は定数)

で規定される。この結果 1 ステップで移動可能な最大移動距離を超えてしまった場合は、移動可能な距離内になるまで順に優先度の低いルール of ベクトルを排除して計算する。もし最終的に衝突回避ベクトルだけになっても、なお最大移動距離を超えている場合は、向きはそのまま大きさを最大移動距離とする。

3 荷物運搬問題

あるフィールドにランダムに配置された各ロボットには、荷物の山から荷物を 1 つ取り基地まで持っていき、それを基地に置くという問題を与える。一定ステップ内に荷物を何個運んだかで評価する。フィールドは、仮想的に存在する 2 次元のトーラス状の平面である。フィールド内には、半径 R の円形の基地 (Base) と荷物の山 (Heap of Burdens) がある。

このロボットの行動ルールに群れの概念を用い、群れ全体で協調的な行動を創発させる。これにより群れとしての視野が発生し、荷物や障害物の早期発見が期待される。

図 1 にフィールドと自律運搬ロボットのイメージを示す。ロボットから出ている線分は次に進む方向とその大きさを示している。

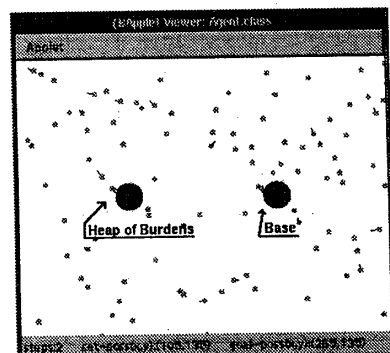


図 1: 荷物運搬問題のフィールド

4 自律運搬ロボット

ロボットには、視野角 θ 度、視野長 R が有り (図 2)、この視野内の物体や他のロボットの荷物の有無、速度をセンサで知覚できる。ロボットの形状は円形をして

A Cooperation of Autonomous Carrying Robots with Flocking

Yohei Akiyama, Tohgoroh Matsui, Nobuhiro Inuzuka and Hidenori Itoh

†Nagoya Institute of Technology, Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya 466-8555, Japan

いる。このロボット $Robot_i$ の時刻 t における状態は以下のような5項組で定義される。

$$Robot_i(t) = \langle P_t, D_t, S_t, G, V_t \rangle$$

$P_t = (P_x, P_y)$: 座標,

D_t : 向き,

S_t : 移動の速さ,

G : 荷物の有無,

V_t : センサの値。

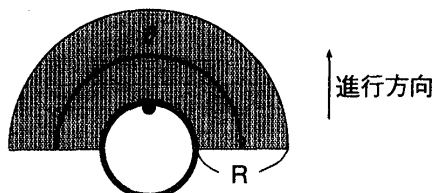


図2: ロボットの視野

以下に自律運搬ロボットの行動戦略を示す。

ロボットは荷物を保持しているかないかで別の群れをなす。荷物の状態が違うロボットからは影響を受けず、単に障害物として扱う。各ロボットは荷物の状態が同じロボットを感知し、第2章の行動ルールに従いベクトル演算を行う。

このように群れの概念に従い、荷物が無い時は荷物の山を探す。荷物の山を視野内に捕らえるとその方向に向かい荷物を獲得する。以下、荷物を持っている場合も同様に基地を目指し群れ行動する。

5 実験結果

本稿ではある一定ステップ内にどれだけの荷物を基地に運ぶことができたかを評価とし、以下に示す2通りの比較実験を行った、

1. 群れの概念を用いる代わりにランダムに行動するタイプとの比較
2. 運搬経路を直線ではなくするために、フィールドに障害物を置いた場合

今回の実験では視野角を 200° 、視野長を 40 とした。またフィールドの幅を 400、高さを 300 とし、この上で直径が 6 のロボットを 100 体用いて実験した。図3にシミュレーションによる実験の結果を示す。

まず実験1において、群れの概念を用いた方が最終的に運搬した荷物の数が約4倍の差となった。荷物の山や基地付近で予想されていた混雑もそれほど無く、スムーズに行動していた。一方ランダムに動くロボットはいたる所で衝突を繰り返し、無秩序に行動をしている。仮に1つ目の目標に到達したとしても次の目標に到達できないロボットが多数存在した。

実験2では、障害物が有る場合は無い場合に比べ約55% 効率が落ちているが、群れの特徴である秩序立った行動は障害物によって失われることなく継続的に行われていた。

最後に、シミュレーションの際に群れの概念を用いたタイプのロボットがとった行動の一例を以下(図4)に示す。

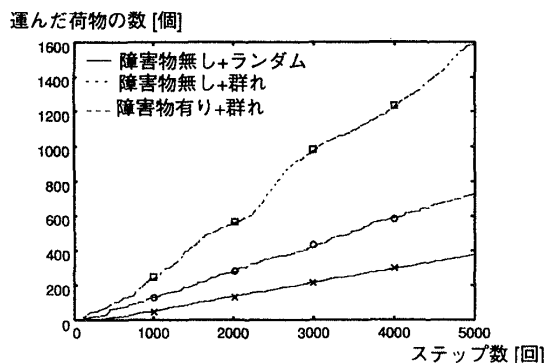


図3: シミュレーション結果

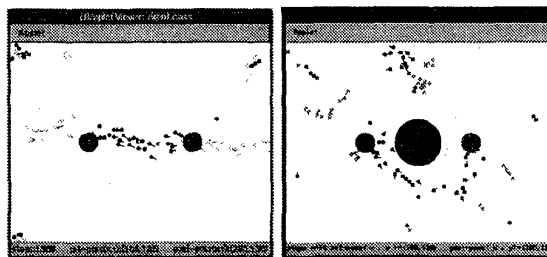


図4: 群れによる行動の一例

6 まとめ

実験1では、荷物の山と基地を結ぶ線上にロボットの流れが出来ると、その流れは安定して継続した。これは行動ルールの速度調和ベクトルの働きによるものである。ロボットのそれぞれの行動が全体の行動となり、運搬効率の差となっている。荷物の山または基地の近くにいないロボットでも、単に近くのロボットとの速度調和をすることによって目的地まで無駄無く移動することが可能である。

また、群れの行動ルールは障害物との衝突を回避するという単純なルールである。その結果、群れ全体の行動に従ったばかりに障害物を回避した後、近くに目的地があるのにもかかわらず全く違う方向に進んでしまうといったケースがある。しかし通常目的地付近にはロボットがおり、視野内にロボットが感知されると、近くのロボットの中心に向かうという行動ルールにより目的地方向に進路を修正することが出来る。群れの先頭と最後尾で進む向きが違うにもかかわらずローカルな情報だけを利用して、全体的に秩序だった行動がとれていた。

本稿では、マルチエージェント環境下でのロボットの制御に群れの概念を持ち込み計算機上で実装し実験を行った。特に高度な戦略を持たずに自分の周りのローカルな情報だけで、秩序立った目標達成のための協調行動がなされ、自律運搬ロボットの制御に群れの概念が有用であることを確認した。

参考文献

- [1] Craig W. Reynolds,; Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavior Model. [ACM SIGGRAPH] Computer Graphics 21(4), pp.25-34, 1987.