

相互作用するロボットの協調的振る舞い

東北大学電気通信研究所 菅原 研

1. 背景

蟻や蜂などの昆虫は柔軟で秩序だった社会を形成している。各々の個体の動きは単純に見えるのに、社会全体で見ると複雑で機能的に振る舞っている。これは各個体が相互作用することで、分業、協調がうまく行われているからであると考えられる。このような協調行動を生物以外で再現することはできないだろうか。これまでにロボットを用いて研究されてきた例がいくつかある[1][2][3]。しかしこれらの研究で使われてきたシステムはいずれも大がかりであった。本研究の目的は、単純な振る舞いをする要素が、簡単に相互作用するだけで、全体がどのように振る舞い、その効率がどのくらいであるかを調べることにある。

2. 実験

本研究で用いられたロボットは直径12cmの円形であり、完全自走型である。ロボットには一对の固定された腕があり、腕の先には接触センサーがついている。この接触センサーを用いて壁、あるいは他のロボットとの衝突を避ける。腕の間にはパックを検出するスイッチがある。上部には一对の光センサーがあり、光源へ向かって走ることができる。底部には磁気スイッチがあり、磁場を感じると方向転換するようになっている(図1a)。本研究で用いられた実験フィールドは190cm四方で境界には壁がある。中央には光源と磁石が敷設されている。パックはフィールド内に碁盤目状に32個置かれる。今回用いられたパックは直径2.5cm、高さ5cmの円筒状のものである(図1b)。

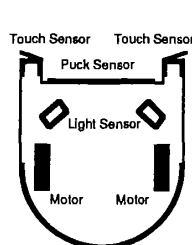
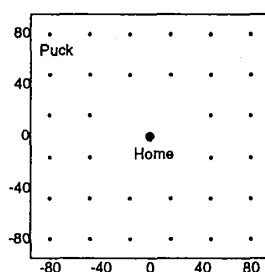
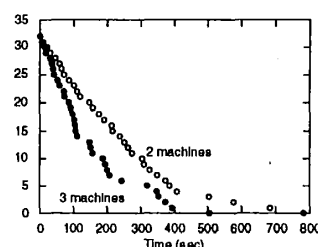


図1 (a) 上から見たロボットの概略図



(b) 実験で用いたフィールド
(cm)



(c) フィールド上のパック残数の時間変化

このロボットは2つのモードを持っている。探索モードと帰巢モードである。

探索モードは単なる直進運動を示す。ただし壁あるいは他のロボットに衝突したときは方向を転換する。帰巢モードは光源に向かって走行する行動を示す。ロボットは通常、探索モードで行動するが、ロボットがパックに当たって、腕の間にあるパック検出スイッチ

チが入ると帰巢モードに切り替わる。光源付近の磁石を磁気センサーで感知すると、ロボットは方向転換する。

これらの行動からロボットはフィールド内に分散しているパックを中央の光源に集める作業を行うことになる。なおロボットは帰巢するために光を用いるので実験は暗室で行われた。実験結果は図1(c)のようになった。ただし、この図は3回試行した結果の平均値を用いている。

3. シミュレーション

様々な状況におけるロボット群の行動を確かめるため、計算機シミュレーションも行った。ここではパックの分布について3種類のフィールドを考える(図2)。

フィールド1：フィールド内に一様分布

フィールド2：フィールドの25%に局在

フィールド3：フィールドの1%に局在

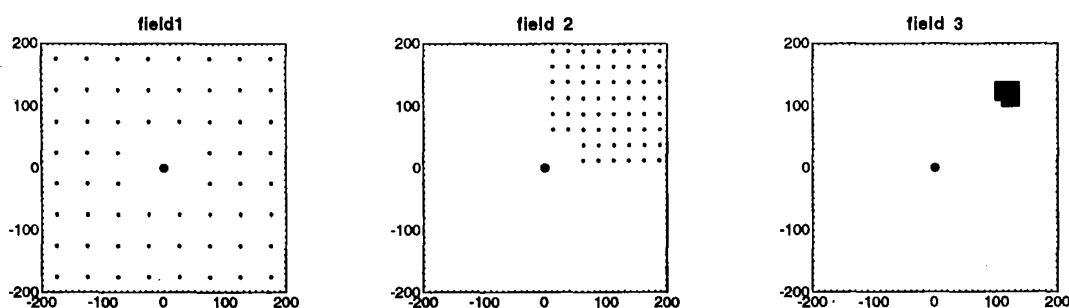


図2 シミュレーションで用いたフィールド

さらに次の機能を付加することでロボット同士に相互作用させる。

- ・パックに到達したロボットはその時点で停止、信号発信する。
- ・探索中のロボットはこの信号の発する方向に向かって移動する。

この信号を発している時間を以下、相互作用時間と呼ぶ。

図3にロボットの台数とパックが90%回収されたときの時間の関係を示す。ここでは例として(a)相互作用時間がない場合と(b)相互作用時間が100秒の場合をあげた。

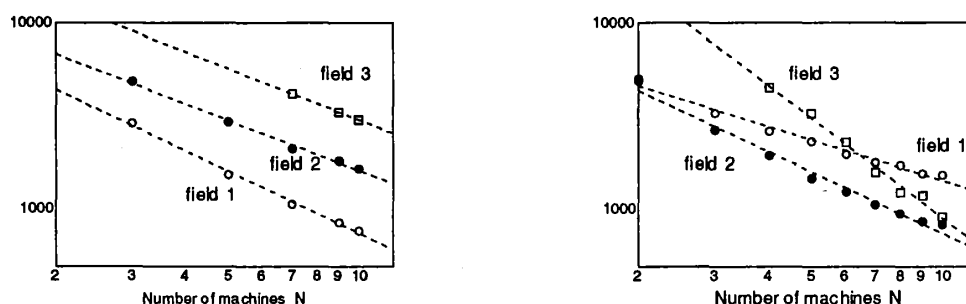


図3 (a) ロボット間に相互作用がない場合

(b) 相互作用時間が100秒の場合

これらの図からロボットの台数 (N) と作業時間 (T) はべき乗の関係にあることがわかる ($T \sim N^{\beta}$)。そこで相互作用時間をパラメータとしてこのべき指数がどのように変化するかを調べた (図4)。

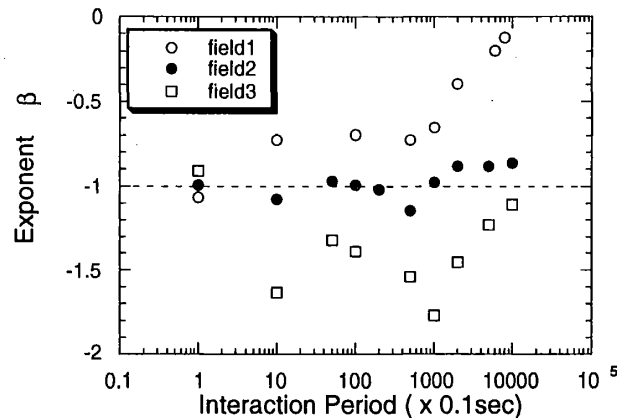


図4 相互作用時間とべき指数の関係

4. 結論

ここでは主にロボットの台数とフィールド内のパック収集作業効率の関係について調べた。相互作用時間と群の効率の関係が図4に示されている。もし相互作用がない場合は、各ロボットは独自にパックを集める。よって局在しているフィールドよりも均一なフィールドのほうがわずかに効率がよい。そして作業終了時間はロボットの台数に反比例する。つまり (作業時間) と (ロボットの台数) の積は一定である。一方、相互作用がある場合、群の効率はフィールドの状況および相互作用時間に依存する。均一なフィールドでは相互作用時間が長ければ長いほど群の効率は悪くなる。局在している場合は相互作用時間が効果的になる。しかし相互作用時間が長くなりすぎると、パックを運ぶ時間を邪魔することになり、全体の効率は落ちてしまう。それゆえ相互作用時間には最適な値が存在することになる。相互作用時間と独立した時間のバランスをとることが協調行動を効果的にするための本質部分であるといえる。

現在は上記のような相互作用をもつロボットを複数台製作中である。

参考文献

- [1] R.A.Brooks, "A Robust Layered Control System For A Mobile Robot", *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol.RA-2, No.1, pp. 14-23, 1986.
- [2] M.J.Mataric, Ph.D Thesis, MIT, 1994.
- [3] R.Beckers, O.E.Holland and J.L.Deneubourg, "From Local Actions to Global Tasks: Stigmergy and Collective Robotics", *ArtificialLife IV*, pp. 181-189, The MIT Press, 1994.