

センサネットワークと自律移動ロボットの協調

石倉 沙弓[†] 宇谷 明秀[‡] 山本 尚生[‡]

武蔵工業大学大学院工学研究科[†] 武蔵工業大学知識工学部[‡]

1. はじめに

動的環境において、自律移動ロボットが自ら環境との相互作用を通して、適応的な行為を獲得するための方法論として強化学習がある。強化学習では報酬を手がかりに学習環境に適応するための行為を獲得する。この強化学習の特徴として、1)報酬駆動型学習であること、2)環境に対する先見的知識を前提としないことの2点を挙げることができる。これは、学習目標を報酬に反映させるだけで、その実現方法を学習システムに獲得させることを意味している[1],[2]。しかし、強化学習は、1)タスクが複雑になると学習に時間がかかり過ぎる、2)状況の変化が激しいとその変化した状況に適応するために再学習を繰り返すことになるといった問題がある。よって、素早い順応と対応が求められるタスクには適さない。実環境への適用は進んでいないのが現状である。そこで、本研究グループでは、これらの問題点に 대응するためのシステムとして、センサネットワーク[3]と自律移動ロボットを融合した群知能ネットワーク・ロボットシステムの開発に着手した。本研究は、従来それぞれの分野で研究が進められてきたセンサネットワークと自律移動ロボットの融合を目的とした基礎的研究である。シミュレーション実験では、捕獲問題を例に検証を行っている。

2. 調査実験

まず、捕獲問題において、どのような状況下で自律移動ロボットの再学習が必要となるのかを調査した。

2.1 実験環境

調査実験の環境として、ある環境に侵入した獲物(以下ターゲット)を目的地にたどり着く前に捕獲をするという問題を想定した。シミュレーション設定を表1に示す。実験領域は600m×600mとし、9台の無線通信機能を備えた自律移動ロボットを配置する。各ロボットは、それぞれ実験領域を均等に9分割した担当領域を受け持つ。侵入したターゲットを発見した場合、お互いに情報交換を行いつつ、9台で協調してターゲットを囲い込んで捕獲する。ターゲットのスタート地点とゴール地点は常に一定の位置とする。ターゲットは、スタート地点から、5つの経路をランダムに選択してゴール地点を目指す。また、ターゲットの行動アルゴリズムは逃避型とし、ロボットから遠ざかる際は経路からそれることもあるとした。タスク終了条件は、ターゲットがゴールにたどり着く場合とロボットが捕獲に成功した場合の2通りである。

A study on the coupling of sensor networks and autonomic robots
[†]Sayumi ISHIKURA, Graduate School of Engineering, Musashi Institute of Technology
[‡]Akihito UTANI and Hisao YAMAMOTO, Faculty of Knowledge Engineering, Musashi Institute of Technology

表1 自律移動ロボットとターゲットの設定

	自律移動ロボット	ターゲット
センサ(知覚)範囲	100m	50~200m
速度	1.0m/step	0.5~2.0m/step
通信半径	200m	—

2.2 調査実験の結果

図1はターゲットの知覚範囲を変化させた場合のタスク達成率である。タスク達成率とはターゲットがゴールにたどり着く前に捕獲できた割合である。ここで、各ロボットとターゲットの移動速度は同じであり、各ロボットはすでに捕獲するための学習を十分に行っているものとする(捕獲行為学習後のロボットを使用した)。結果を確認すると、ターゲットの知覚範囲が広がるにつれて、タスク達成率が逆に高くなっていることがわかる。これは知覚範囲が広がると、より多くのロボットの位置が認識できるため、ロボットに囲まれていると判断し、身動きが取れなくなってしまうためである。これより、この自律移動ロボットは、本実験環境において、ターゲットの知覚範囲の変化(知覚能力)に対しては十分に対応できると考えられる。

図2はターゲットの速度を変化させた場合のタスク達成率である。ここで、ターゲットの知覚範囲は各ロボットのセンシング範囲と同じであり、上記の実験と同様、捕獲行為学習後のロボットを使用している。結果を確認すると、ターゲットの移動速度が増すにつれて、タスク達成率が低下していることがわかる。本実験環境において、投入した自律移動ロボットは、ターゲットの移動速度が自身より速い場合(行動能力)には対応できていない。

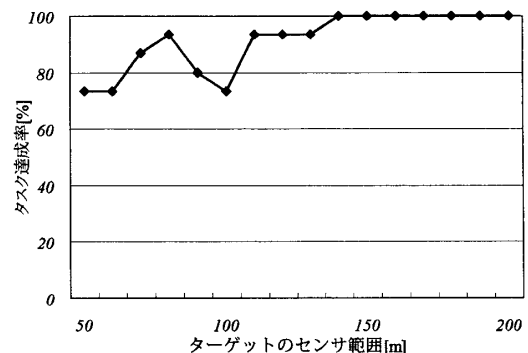


図1 ターゲットの知覚範囲に対するタスク達成率

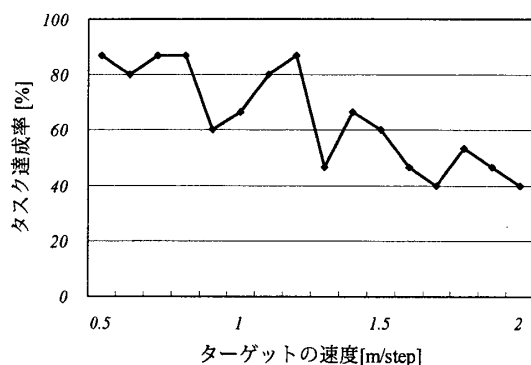


図2 ターゲットの速度変化に対するタスク達成率

3. 提案方式

検証実験において、設定した実験環境では、ターゲットの移動速度がロボットより速い場合、捕獲が困難となることが確認された。主な原因は、1)ターゲットを見失ってしまうと再び発見するまでに時間がかかってしまうこと、2)ターゲットの移動速度がロボットよりも速いため、囲い込むなどの行為が難しくなることにある。これらの問題点を解決するための試みとして、センサネットワークを導入して領域全体を監視する方策を考えた。自律移動ロボットは、センサネットワークから得られるセンシング情報を用いることで、効率的にターゲットを捕獲することができる。以下に、センサネットワークとセンシング情報を利用する自律ロボットの捕獲アルゴリズムを示す。

3.1 センサネットワーク

領域内にセンサノードを配置する。各センサノードは隣接ノードの値 v_i が格納されたテーブルを持つ。これらの値はターゲットの発見に伴い、以下のように散布(更新)される。

- 1) ターゲットを捉えたあるセンサノード i は、全隣接ノードに発見情報 v_{0i} を送信する。
- 2) ノード i からの v_{0i} を受信した隣接ノードは、この v_{0i} にホップによる減衰率を乗じた値をテーブルのノード i のフィールドに格納する(上書きする)。この値は v_{0i} を受信したノードからみたノード i の値である。

各ノードは、この値散布(更新)を設定した TTL の範囲で繰り返す。その際、各ノードはテーブル内の(隣接ノード群内の)最大値を散布する。また、この値散布(更新)は、各ノードでターゲットを捉える度に行う。センサネットワークによるこの値散布(更新)によって、センサネットワークはターゲットの出現位置を学習することになる。各ロボットは、ターゲットを見失っても、センサネットワークにアクセスすることで(この値情報を頼りに)、ターゲットの通過する頻度の高い位置を把握できるようになる。

3.2 自律移動ロボット

各ロボットはターゲットを発見できていない場合、自身の最寄りのセンサノードに問い合わせを行う。そのセンサノードの有するテーブルの中で最大値を持つ隣接センサノードの位置情報を取得し、そのノードに向かって移動する(最大値を持つノードが複数存在する場合はその中から最も近いノードに向かって移動する)。

これにより、ターゲットを発見して(または最新の発見

情報を取得して)、積極的にターゲットに向かって移動するロボットと、ターゲットの通過する頻度の高い位置で待ち伏せを行うロボットが出現し、役割が分化した複数のロボットで協調して、効率的(効果的)にターゲットを捕獲できるようになると考えられる。タスク達成率の向上が期待できる。

4. シミュレーション実験

4.1 実験環境

調査実験との比較を考慮し、同様のシミュレーション環境で実験を行った。本実験では、調査実験でタスク達成率が低下したターゲットの速度変化に対するタスク達成率を評価した。センサノードは実験領域に(等間隔で)格子状に配置した。配置数は 13×13 とした。

4.2 結果及び考察

結果を図3に示す。この図には提案方式とセンサネットワークを用いない場合の比較結果が示してある。提案方式ではターゲットの移動速度がロボットより速くてもタスク達成率に極端な低下がない。これはセンサノードがターゲットの通過する頻度の高い位置を学習しているため、直接ターゲットを追いかけしているロボットがターゲットに追いつけず、見失ってしまったとしても、ターゲットの通過する頻度の高い位置で待ち伏せしているロボットと協調して、効率的に捕獲できているためであると考えられる。提案方式の効果が示されている。

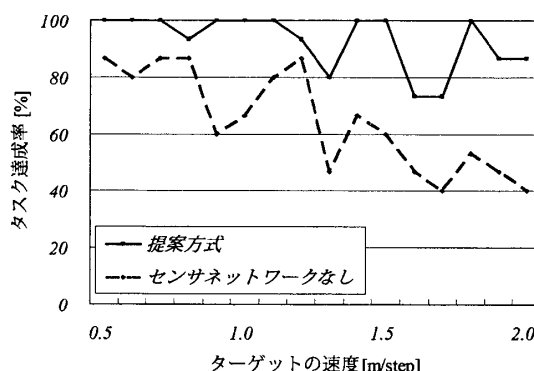


図3 ターゲットの速度変化に対するタスク達成率

5. まとめ

本稿では、従来それぞれの分野で研究が進められてきたセンサネットワークと自律移動ロボットの融合を目的とした基礎的研究の一部を紹介した。シミュレーション実験では、捕獲問題を例に検証を行い、提案方式の有効性を確認した。実験の結果、センサネットワークにターゲットが通過する頻度の高い位置を学習させ、ロボットがその情報を取得することで、直接追いかけるロボットと待ち伏せするロボットに役割が分化し、複数のロボットで協調して、効率的(効果的)にターゲットが捕獲できることがわかった。今後の進展が期待できる。

文献

- [1]宮崎, 木村, 小林: Profit Sharing に基づく強化学習の理論と応用, 人工知能学会誌, vol.14, no.5, pp.800-807, 1999.
- [2]山村, 宮崎, 小林: 強化学習の特徴と発展の方向, システム制御情報学会誌, vol.39, no.4, pp.191-196, 1995.
- [3]熊本, 織戸, 宇谷, 山本: 大規模センサネットワークのための Ant-Based Routing アルゴリズムの高度化, 電子情報通信学会, 信学技法, vol.107, no.293, pp.51-56, 2007.