

平成 21 年 5 月 21 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2006 ～ 2008
 課題番号：18710150
 研究課題名（和文） 生物情報処理技術を用いた自律型協調レスキューロボットの開発
 研究課題名（英文） Development of autonomous cooperative rescue robots
 based on a biological information processing technique.
 研究代表者
 越野 亮（こしの まこと）
 石川工業高等専門学校・電子情報工学科・講師
 研究者番号：90369968

研究成果の概要：

ロボット自身が周りの環境を観測し行動する自律型ロボットが、多数存在し互いの自律型ロボットが協調して行動するロボットの開発をテーマにした。自律型協調ロボットの応用としてレスキュー問題を対象とし、要素技術として人工知能や人工生命の分野で扱われている進化的計算手法、ランダムサンプリングによる経路探索手法、行動ベースアーキテクチャなどの生物情報処理技術を用いて研究を行った。小型ロボットを複数台用いて実際に様々な実験を行い、自律型協調ロボットにおける生物情報処理技術の有効性を検証した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,300,000	0	1,300,000
2007年度	1,200,000	0	1,200,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,200,000	210,000	3,410,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：

分野：社会・安全システム科学

細目：社会システム工学・安全システム

キーワード：小型ロボットの協調搬送

1. 研究開始当初の背景

災害時における救命救助活動（レスキュー）では、できるだけ早く被災者を安全な場所へと救助することが重要である。そこで、人間が入り込めないような危険な場所にすぐに救助に向かえる救助ロボットが注目さ

れている。しかし、複雑な環境の被災地から被災者を運搬するのは容易ではなく、被災地や運搬する人間の状態などのすべて考慮し、モデル化することはほぼ不可能である。そのため、これまでのレスキューロボットのほとんどは人間による遠隔操作タイプである。ま

た、ロボットを高機能化することはロボットの巨大化を生み、逆に行動範囲が制限されるという問題もあり、自律的かつ複数のロボット群が協力してレスキューを行うことが望まれているが、そのような研究は少なかった。

2. 研究の目的

本研究では、自律的に協調してレスキューできる手法を考案し開発することを目的とした。また、効率的な運搬方法やお互いに協力しながら問題を解決するための協調行動について研究することを目的とした。

3. 研究の方法

スイス連邦工科大学ローザンヌ校(EPFL)が開発した新しい小型自律型ロボットである e-puck を複数台(4台)購入し、自律型協調ロボットの研究を行う。e-puck は小型ロボットとしてグローバルスタンダードとして利用されてきた KheperaII と比べ、低価格(10万円程度)で、かつ、カラーカメラ、3D 加速度センサ、赤外線近接センサ、3つのマイク、スピーカー、Bluetooth 通信など様々な機能が追加され、dsp 内蔵の dsPIC を用い、電源を供給せずにリチウムイオン電池で数時間自律的に行動できるようにしたものである。

本格的な研究に入る前の技術調査や研究準備として、まず、一般的な進化的ロボティクス分野で用いられているニューラルネットワークモデルやロボット制御で広く利用されているファジィ制御モデルを用いて障害物回避を行ったり、e-puck に内蔵されている3つのマイクを用いて、音源を認識する方法を考案し、障害物回避を行いながら、音源に向かっていく自律的行動プログラムの開発を行った。また、協調の通信方法として、e-puck に内蔵のマイクやスピーカーを用いることや、ブルートゥース通信を用いるこ

とを検討した CCD カメラを用いた画像処理による環境認識による方法などを検討した。

e-puck とは別に、レスキューで用いるためのロボットアーム、レスキュークローラ、Web カメラと OpenCV を用いたコンピュータビジョン、PSD 距離センサなどを用いて2足歩行ロボットの自律歩行、LEGO Mindstorms NXT を用いた自律型ロボットの作成などを試みた。

4. 研究成果

(1) 複数ロボットによる協調運搬のための経路計画手法の研究

2 台のロボットが箱を初期位置から目標位置まで協調的に搬送する作業を対象とした。これは1台のロボットが箱を動かし、途中で他方のロボットに箱を受け渡すことで、搬送を継続するものである。図1に本研究で用いる環境を示す。右上の位置にある箱を、左下のロボットがある位置まで搬送することを考える。

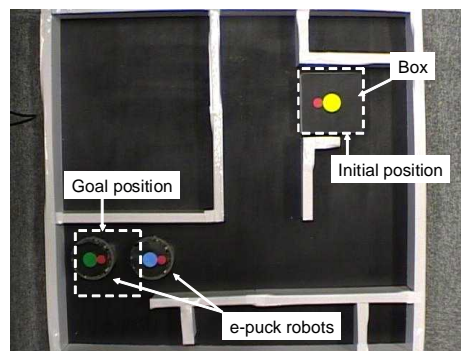


図1 実験環境

搬送を行うロボットとしては小型移動ロボット e-puck を用いた。このロボットには8個の赤外線近接センサと、ステッピングモータに直結された車輪がある。また、Bluetooth を通じて PC から遠隔操作を行える。ただし、箱を引っ張るための機構は備えていない。

システム構成を図 2 に示す．このシステムはカメラと 2 台の PC，そしてロボットからなる．カメラと 1 台の PC は，ロボットと箱の位置検出，および障害物の検出に用いられる．なお，カメラ画像の解像度は 640×480 ピクセルである．他方の PC では搬送計画の作成と，その計画に従ったロボットの行動制御を行う．

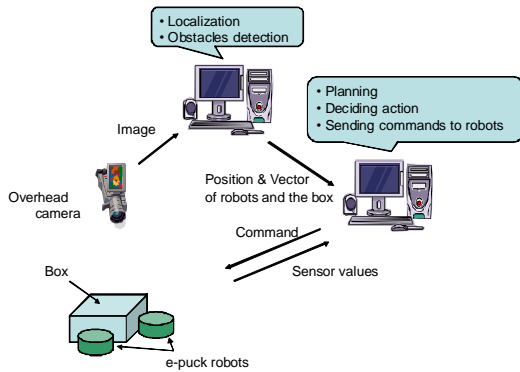


図 2 システム構成

提案した手法を以下の図 3 に示す．

```

PLAN_MULTI-ROBOT_BOX-BUSHIN
G(b, R)
  if PLAN_BOX-PUSHING(b) =
  Success
    T := GET_SUB_TASKS()
    for i = 1 to |T| do
      r := ALLOCATE_TASK(R, T, i)
      if CREATE_ACTION(r, T, i) =
      Success
        Add new action to r.actions
      else
        return Failure
    EXECUTE_PLAN()
    return Success
  else
    return Failure
  
```

図 3 提案手法

この手法は次の 3 つの処理から構成される．
 搬送経路の作成とサブタスクの導出：箱 b の初期位置から目標位置までの搬送経路を作成し，箱押しを開始する位置であるサブスタートと，他のロボットに箱を受け渡す位置であるサブゴールを求める．その後，サブスタートからサブゴールまでの箱押し作業であるサブタスクのリスト T を生成する．
 サブタスクの割り当てと経路計画の作成： T から 1 つのサブタスクを順に選び，ロボット集合 R 内のロボット r に割り当てる．そして，RRT-ConCon を用いて r の現在位置からサブスタートまでの経路計画を作成し， r の行動リストに登録する．
 作成した計画の実行：作成した計画に従って各タスクを実環境で実行する．ロボットは現在位置からサブスタートまでの移動行動と，サブスタートからサブゴールまでの箱押し行動を行う．

提案手法の性能を評価するために，図 1 に示す環境における実験を行った．反復回数の制限は 100000 回とした．試行は 1000 回を行い，提案手法の成功率を調べた．

表 1 に提案手法の成功率を示す．この結果より提案手法は，本研究で用いた環境においては高い確率で実行可能な計画を作成できることがわかる．また，表 2 に実行可能な計画の実験結果，図 4 に箱の搬送経路の例，そして図 5 にロボットの経路計画の例を示す．

表 1 成功率

	割合
成功	98.7%
搬送計画の作成に失敗	0.1%
経路計画の作成に失敗	1.2%

表 2 経路計画の実験結果

	平均	標準偏差	最小値	最大値
経路長 (pixel)	2041.6	68.2	1843.4	2350.4
サブタスク数	3.0	0.1	3.0	5.0
搬送計画の計算時間 (ms)	1082.9	5220.9	36.0	67200.0
経路計画の計算時間 (ms)	54.0	14.7	25.0	128.0

作成した計画を実環境で実行できるか確かめるために、図 4, 5 に示す計画を用いて実験を行った。10 回の試行を行い、実際の経路長と実行時間を確認した。

表 3 に計画実行の実験結果を示す。また、実際の経路の例を図 5 に示す。

表 3 計画実行の実験結果

	平均	標準偏差	最小値	最大値
経路長 (pixel)	2178.0	23.2	2140.7	2212.9
作業時間 (s)	177.6	4.1	168.0	183.3

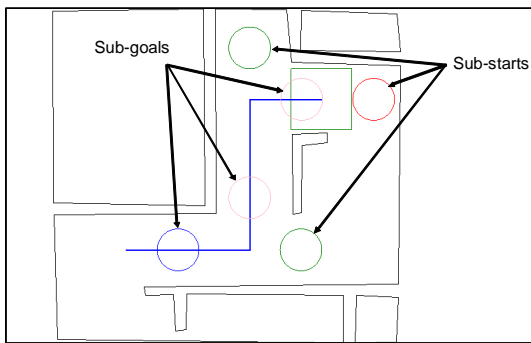


図 4 搬送計画の例

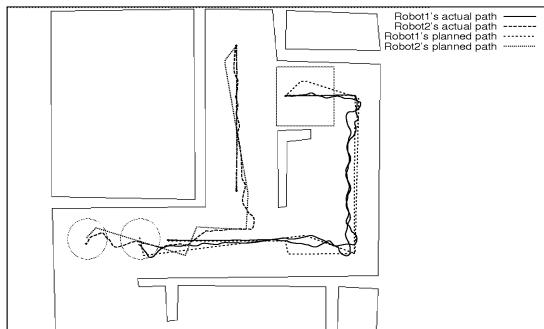


図 5 経路計画と実際の経路

本研究では、RRT を用いた複数の小型移動ロボットによる協調的箱押し行動の経路計画手法を提案し、実環境での実験を行った。実験結果より、提案手法は高い確率で実行可能な計画をできることがわかった。また、生成した計画は実環境で実行できることがわかった。

(2) 自律型協調ロボットシステムのためのアーキテクチャの研究

広い領域内で多数のロボットが効率よく作業するためには、タスク（作業単位）に割り当てるロボットの数を適切にする必要がある。しかし、これまでの群ロボットシステムのアーキテクチャにおいて、タスクの地理学的な位置を考慮した研究が少なかった。そこで本研究ではタスクの地理学的な位置とサブタスク数を考慮した協調手法を考案した。実現のための具体的な目標を、従来のアーキテクチャを用いることで生じる通信コストの増加と地理学的なタスク割り当ての効率の低下を抑えることにした。

解決方針として通信範囲を限定する方法を示した。これにより通信コストが抑えられ、サブタスクに応じた適切な通知範囲を設けることでタスク割り当ての効率の低下も抑えられると考えた。しかしながらサブタスク数を判別することは難しいため活発度と名付けたパラメータを導入した。活発度はサブタスクに取り組んでいるときは上昇し、取り組んでいないときは下降するパラメータとした。このパラメータの変化量に上昇時と下降時で差を設けることで、繰り返し回数とタスクにかかる時間を考慮した変化をさせることができるようにした。これにより適切な通知範囲の設定を行えるようにした。

提案手法の評価するためシミュレーション実験をした結果、大規模な群ロボットシステムを広い作業領域で用いる場合に従来のアーキテクチャより有効な場合があることを確認した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

T.Otani, M.Koshino, "Applying a path planner on RRT to cooperative multi-robot box-pushing", Journal of artificial life and robotics, Vol.13, No.2, pp.418-422, 2009. (査読有)

<論文のURL>

<http://springerlink.com/content/u70g18146v165831/>

[学会発表](計 5 件)

<国際学会発表>

M.Mitamura, M.Koshino, H.Murata, H.Kimura, "Introducing a liveliness parameter to a coordination method for large-scale multi robot system", Proceedings of the 9th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (APIEMS-2008), pp.1872-1878, 2008.12.

H.Murata, M.Koshino, H.Kimura, "K-cut crossover in genetic programming using graph theory", Proceedings of the 9th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (APIEMS 2008), pp.156-162, 2008.12.

T.Otani, M.Koshino, "Applying a path planner on RRT to cooperative multi-robot box-pushing", Proc. of the thirteenth international symposium

on artificial life and robotics 2008 (AROB 13th '08), pp.359-362, 2008.1.

<国内学会発表>

大谷隆弘, 越野 亮, "複数の小型移動ロボットによる協調的箱押し行動の経路計画", 情報処理学会第70回全国大会, 2008年3月

安田隆洋, 越野 亮, "自律型ロボットのための赤外線近接センサとマイクロフォンを用いた環境認識の研究", 平成18年度学生による研究発表会, pp.123, 2007年3月

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他] なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

越野 亮 (Koshino Makoto)

石川工業高等専門学校・電子情報工学科・講師

研究者番号: 90369968

(2)研究分担者: なし

(3)連携研究者: なし