

タイトル	局所情報を用いた2台の移動ロボットによる行動ベースの協調箱押し作業
著者	深谷，健一； 蝦名，大樹； 日高，将司
引用	北海学園大学工学部研究報告，32：159-165
発行日	2005-02-21

局所情報を用いた2台の移動ロボットによる行動ベースの協調箱押し作業

深谷 健一*・蝦名 大樹**・日高 将司***

Behavior-based Cooperative Box-pushing Task by Two Mobile Robots with Local Information

Ken-ichi FUKAYA*, Hiroki EBINA**, Masashi HIDAKA***

あらまし

2台の移動ロボットが協調して1台では困難な長方台形状の箱を押し作業課題を研究する。現実世界の廊下をモデル化した実験環境を作成し、2台のKhepera小型移動ロボットが局所センサ情報のみを使用した通信を介した行動ベースの制御アーキテクチャを採用することでタスクを実現した。

1. はじめに

近年、ロボットは工場の外へ出て各種のサービスを実現する方向に進んでおり、高度なロボット利用が期待されている^{1),2)}。1台の移動ロボットでは困難な作業を複数台の移動ロボットが協調することで、箱押し³⁾、ロボットサッカー⁴⁾、物体搬送^{5),6),7)}などの高度なタスクが実現される。協調作業実現には大きく分けて集中制御方式と分散制御方式がある。集中制御方式では全ての移動ロボットの位置と動作の情報をセンシングや通信により中央に集中し、必要な命令を各移動ロボットに与え、ロボットはそれに基づいて行動する。分散制御方式では、各ロボットが得た局所情報をロボット間で交換して次の行動を決めることが多く、特定のリーダーロボットが計画を立てる場合⁷⁾と環境に応じてリーダーが交替する方式がある。また通信を使わない方式³⁾も研究されている。本報告では通信を含む分散制御で直角の通路からなる廊下世界で2台の移動ロボットが長方台形状の箱を廊下を曲がりながら押してゴールに到達する協調箱押しタ

* 北海学園大学工学部電子情報工学科

** 三菱電機株式会社

*** 日本テキサスインスツルメンツ株式会社

* Department of Electronics and Information Engineering, Hokkai-Gakuen University

** Mitsubishi Electric Corp.

*** Japan Texas Instruments Incorporated

スクを実現する。

2. 箱押しタスク実験環境

現実の廊下世界の縮小モデルとして図1に示すスチレンボード壁の直角通路実験環境を作成し、ここを2台のKhepera小型移動ロボットがスポンジ製の長方台形状の箱を直進、左折、右折の組み合わせで押して目標壁に到達する。以下の環境の仮定を用いる。

- ①ロボット以外に移動物体は存在しない。
- ②ロボットは押しても動かない壁を押すとき車輪はスリップせず回転しない。

使用するロボットは図2に示すKheperaであり、マイコン（モトローラ68331 [16MHz]）、RAM256KB,ROM512KBを搭載し、C言語でプログラム可能である。移動機構には左右二つの車輪が歯車を介してDCモータにより独立に駆動される差動駆動機構を採用しており、モータに装着したインクリメンタルエンコーダが車輪の移動距離を計測でき、オドメトリーの自己位置推定も可能である。20mm程度の距離計測ができる赤外線近接センサと光の強度を測る光センサが一体となったセンサをロボット外周に8個装着している。今回の実験では基本装置の上に赤外線通信タレットを装着し、赤外線の発光・受光素子間で最高38.4Kbpsの通信が可能である。赤外線通信タレット装着ロボット間では素子に対向していないと通信ができないが、設定したコースでは通路壁で赤外線が反射するため素子に対向していないときでも通信が可能となっている。

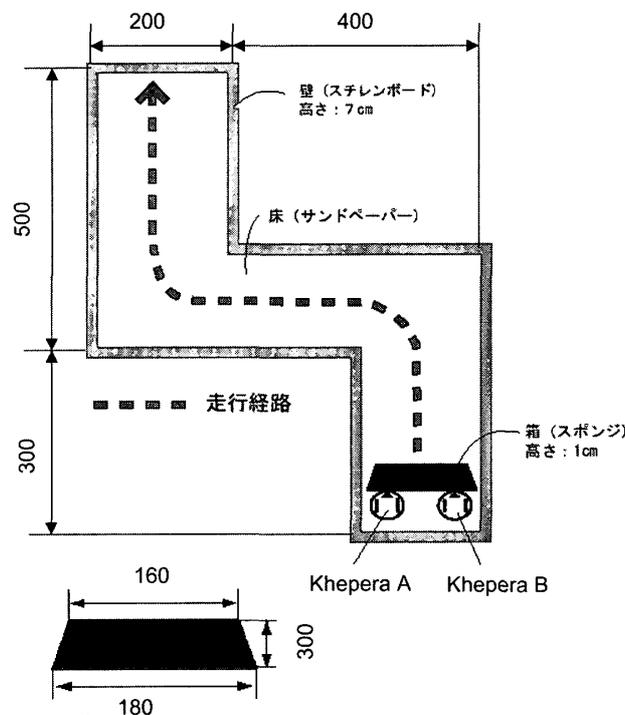


図1 協調箱押し実験環境

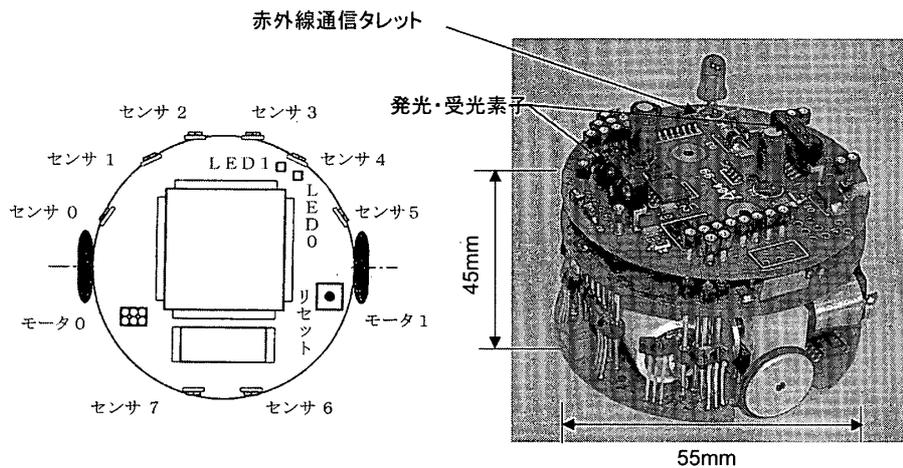


図2 Khepera移動ロボット

3. 協調箱押し作業

各ロボットが環境の局所情報を近接センサ，エンコーダで認識した上で何らかの行動を取る行動ベース⁸⁾の分散制御を採用する。行動にはセンサ入力のあるロボットの移動だけではなくロボット相互間の通信を含めた他のロボットの移動が含まれる。これは各ロボットのセンサ情報を契機に2台のロボットが通信を介してあたかも車の両輪のように協調して移動することを意味する。図3に今回採用する行動ベースの協調箱押しアーキテクチャを示す。この方式では与えられた地図を用いて自己位置推定をしながら目標地点に到達するわけではなく，到達は車輪エンコーダの増分がないことで判定する。したがって，実験では左折，右折がそれぞれ1回の環境であるが，これが複数に増加しても同じ仕組みでタスクを続けることができる。Kheperaには32タスクを同時並行で実行できるK-systemOSが装備されており，これを用いる

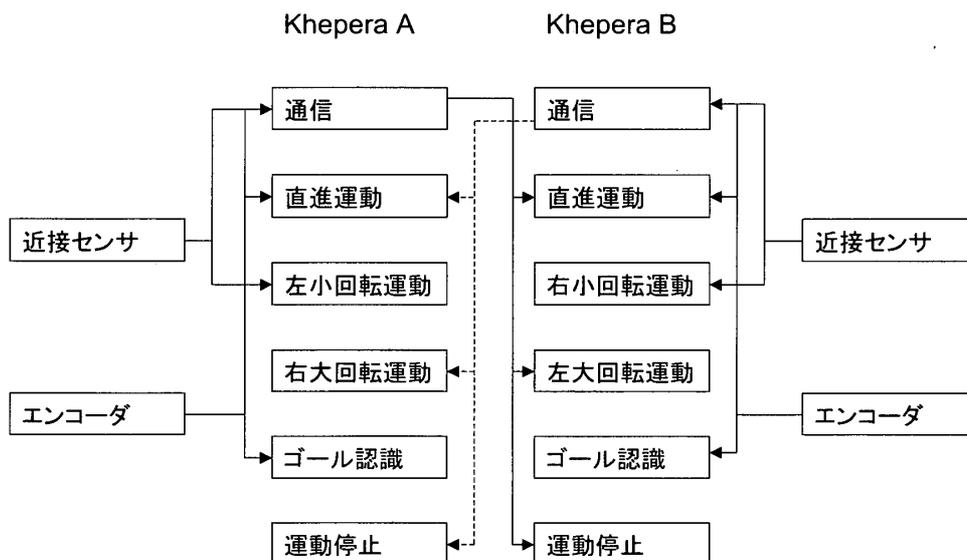


図3 行動ベースの協調箱押しアーキテクチャ

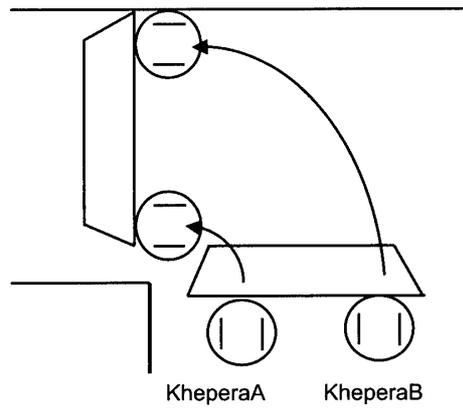


図4 左折の回転箱押し

ことで、条件によって必要な行動を随時割り込み実行ができる。

1) 回転箱押し

直角通路での回転しながらの箱押しではKhepera Aのセンサ0, Khepera Bのセンサ5が壁がない状態を計測することで、それぞれ左折と右折の通路と判断できる。左折回転箱押しでは図4に示すようにKhepera Aの左小回転(図5)とKhepera Bの左大回転(図6)の組み合わせで押しながらの回転ができる。箱を滑らかに回転しながら押すことができるためには、差動駆動機構の理論上の速度差をもとに実験的に最適な条件を求めている。Khepera AからKhepera Bへは赤外線通信を介して左大回転行動を指令する。右折の場合にはKhepera Bの右小回転と通信を

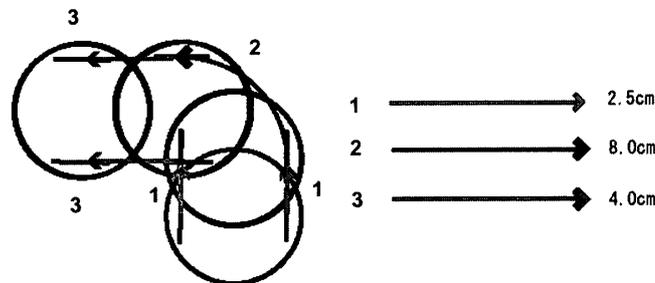


図5 Khepera Aの左小回転運動

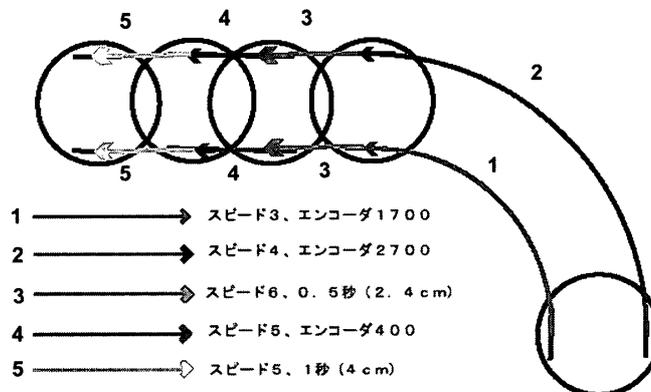


図6 Khepera Bの左大回転運動

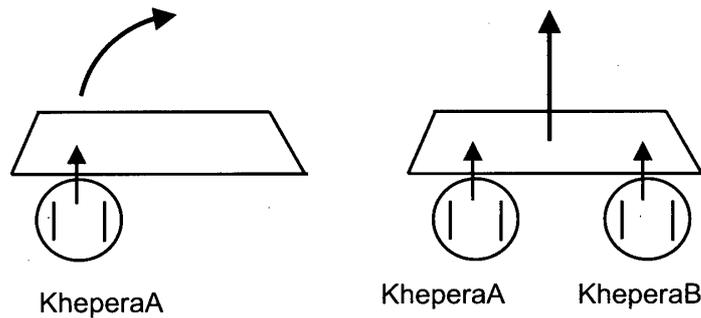


図7 直進箱押し

介したKhepera Aの右大回転行動の組み合わせとなる。

2) 直進箱押し

長尺台形状の箱を移動ロボット1台で押すと図7に示すように回転してしまうが、2台で同期を取って協調して押すと平行に押すことができる。2台のロボットの移動距離が等しくないと平行な位置へは押せない。そこで回転箱押しの近接センサ検知で左折、右折の行動を開始する時点でKhepera AとKhepera Bのエンコーダの値を一致させるように前後の補正直進移動を行い平行位置にそろえる。

3) ゴール到達

押しても動かない壁を押すとき車輪はスリップしないので、壁への接触で各ロボットのエンコーダの値が増加しないことを利用してゴール到達と判断する。

4) 新規作成コマンド

Kheperaで提供されている既存のコマンドの他に分散行動制御を実現するための、次のコマンドを新たに作成する。

- J 曲がり角での内側のKheperaの小回転運動、オプションはL (左折) あるいはR (右折)。
- K ゴール到達
- M 曲がり角での外側のKheperaの大回転運動、オプションはL (左折) あるいはR (右折)。
- N 全ての近接センサの読み取り
- P Khepera Aの直進移動
- Q Khepera Bの直進移動

4. 実験結果

図8に出発点からゴールにいたる成功した箱押し実験の一連の経過を示す。行動ベースのアーキテクチャにもとづきタスクが実現している様子が示されている。ロボットの位置はオドメトリ方式で決まるため、ロボット内部データとしては正しくても実際には誤差があり、その誤差が大ききときには想定した協調箱押しとならない場合がある。

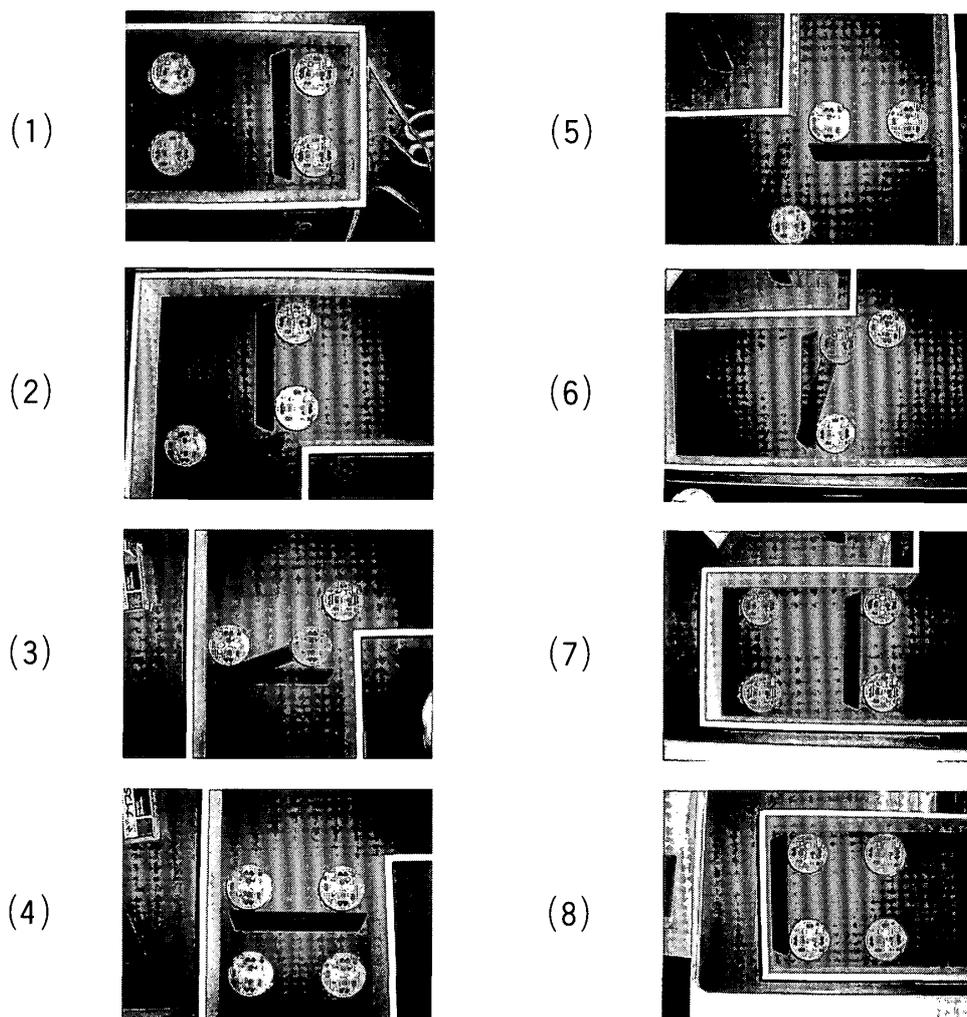


図8 協調箱押し実験結果

5. おわりに

直角通路の廊下世界で全体の状況がわからなくても、各ロボットのセンサ局所情報に随時対応する行動ベースのアーキテクチャを用いることで協調箱押し作業を実現できた。想定した環境が限定されているため局所情報のみでもタスクが遂行できたが、さらに複雑な廊下形状やトラブルへの対処を想定すると、局所だけではなく大域的な状況判断が必要になる。

本研究は北海学園大学ハイテク・リサーチ・センター研究費の支援を受けて行われた。

参考文献

- 1) R.D.Schraft and G.Schmierer : Service Robots, Products Scenarios Visions , A K Peters, 2000.
- 2) R.Siegwart and I.R.Nourbakhsh : Introduction to Autonomous Mobile Robots, The MIT Press, 2004.

- 3) 山田誠二, 斉藤淳也: マルチロボットによる箱押しのための明示的通信を用いない適応的選択行為, 日本ロボット学会誌, Vol.17, No. 6, pp.818~827, 1999.
- 4) 浅田稔編著: RoboCupSoccer ロボットの行動学習・発達・進化, 共立出版, 2002.
- 5) 大隈久他: 3台の移動ロボットによる物体の協調搬送制御, 日本ロボット学会誌, Vol.19, No. 6, pp.744~752, 2001.
- 6) 太田順他: 2台の移動ロボットの協調による搬送制御, 日本ロボット学会誌, Vol.14, No. 2, pp.263~270, 1996.
- 7) 深谷健一, 藤田雅人: 2台の自律移動ロボットによる長尺物の協調搬送, 北海学園大学工学部研究報告, 第31号, pp.155~164, 2004.
- 8) R.C.Arkin: Behavior-based Robotics, The MIT Press, 1998.