

## 2台の自律移動ロボットによる協調運搬作業

○深谷健一 北海学園大学工学部 藤田雅人 日本アイビーエム・ソリューション・サービス(株)

## 要旨

2台の自律移動ロボットが協調して1台では困難な長尺板を運搬する課題を研究する。1台が主、他の1台が従となりセンサ情報に基づいたコマンドを相互に通信することにより、廊下世界で直進走行、障害物回避およびコーナ通過走行が可能なシステムを構築し、実験した結果を報告する。

## 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、1台のロボットでは難しいサービスを複数台ロボットの協調で試みる研究も進められている<sup>1)</sup>。本報告では2台の移動ロボットが無線LANでデータを交換し、1台では運搬困難な長尺板を廊下世界で協調運搬する課題を取り上げる。

## 2. システム構成(図1)

実験システムは前ロボット Nscout (Nomadic 社、外周に16個の超音波センサを配置、Mercury 無線LAN、Linux PC)と後ロボット Pioneer2 (Activmedia 社、外周前方に8個の超音波センサを配置、ORINOCO 無線LAN、Linux PC)、さらにこれを遠隔から操作するLinux PCからなり、ソフト開発には各ロボットのシミュレータが使用可能である。

## 3. 長尺板運搬作業実現に必要な機能

任意の長さの板を前後にならんだ移動ロボットが廊下世界で出発地点から到着地点まで運搬するには、長尺板の支持点間の距離を一定(前後のロボット間距離一定)に保持したまま直進走行、障害物回避、コーナ通過走行の必要がある。運動に伴い支持点間距離は変化するので、そのままでは長尺板は支持部からはずれ落下してしまうので、ロボット間の協調動作が必要となる。

## 1) ロボット間通信機能

ロボット間の通信には搭載の無線LANとLinux PCを用い、コネクション型のプロセス間通信を採用する。前ロボットをサーバ、後ロボットをクライアントとする。

## 2) ロボットの役割分担

経路計画に基づく走行、障害物回避、ロボット間距離の一定保持を実施するに当たり、前ロボットが主導権を握り、後ロボットがそれに従う分担とする。

## 3) 位置誤差許容機構

前ロボットと後ロボットが常に一直線上にならんで一定距離を保持することはできないので、回転と並進の誤差を許容するための機構として、前ロボットに回転台、後ロボットにレール上で前後移動するリニアベアリング

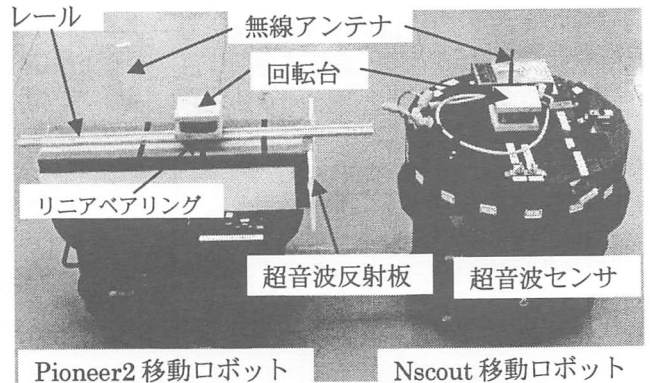


図1 協調運搬システム構成

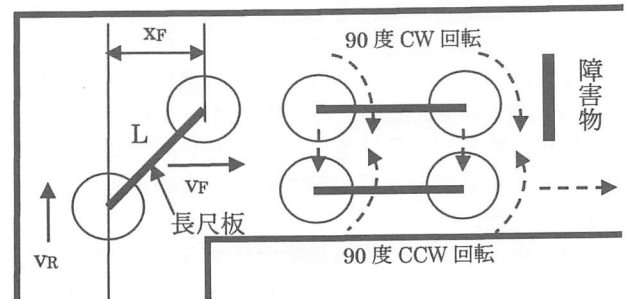


図2 廊下世界での長尺板運搬

上の回転台を設け、両回転台上に長尺板を搭載する。

## 4. 障害物回避を伴う直進走行(図2)

## 直進走行手順

前後のロボット間距離を計測する方法として次の二つがある。1) 各ロボットの車輪移動距離を内蔵エンコーダで計測し、その値から距離を求める内界センサ方式。2) 移動ロボット間の相対距離を超音波センサで直接計測する外界センサ方式。前者は移動するうちに誤差が累積するので、ここでは前ロボットの後正面の超音波センサを使って後ロボットまでの距離を計測し、長尺板の長さで決まる想定距離の許容誤差を越えた時点で後ロボットを停止させ、前ロボットが前後移動して距離を補正する。計測精度向上のため、後ロボットには超音波計測用の反射板を装着する。

## 障害物回避手順

- 1) 前ロボットの前方超音波センサが障害物を見つけると前後のロボットは停止する。
- 2) 左右の壁までの距離の大きい側に 90 度それぞれのロボットを回転させる。
- 3) 壁に向かって移動させながら、左(右)超音波センサの値が障害物までの距離を越えるまで前進させる。
- 4) 進行方向に 90 度回転させ、直進走行に戻る。

## 実験結果

長さ 1200mm、質量 2Kg の木製板を直進走行で運搬する実験を何度か繰り返したが、一定距離を保持しながら長尺板を落下させることなく運搬できた(図3)。障害物回避時の 90 度回転の時に後ロボットの回転支持台がロボット回転中心から前後する状況では図4に示すように板が移動して落下することもあった。回転させる前に前後ロボット間距離を補正して、回転台がロボット回転中心に来るようにすれば問題はなかった。

## 5. コーナ通過走行(図2)

- 1) 左右の開けた廊下の中央に前ロボットが来たとき前後のロボットは停止する。
- 2) 前ロボットを 90 度回転させる。
- 3) 前ロボットと後ロボットを走行させ、後ロボットを廊下中央まで移動させる。
- 4) 前後ロボットが停止し、後ロボットが 90 度回転して廊下に平行な位置とする。
- 5) 直進走行を続ける。

図2のコーナ通過時の前後ロボットの速度を  $v_F$ ,  $v_R$ 、長尺板の長さを  $L$  とすると両者の速度には次の関係が成立する。図5に前後ロボットの速度比を示す。後ロボットはコーナに入ると最初はゆっくり動き、後半では急激に速く走行する必要がある。

$$v_R = \frac{\frac{x_F}{L}}{\sqrt{1 - \left(\frac{x_F}{L}\right)^2}} \frac{dx_F}{dt} = \frac{\frac{x_F}{L}}{\sqrt{1 - \left(\frac{x_F}{L}\right)^2}} v_F$$

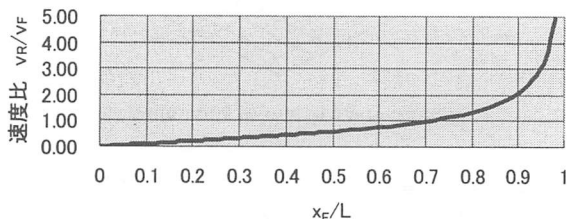


図5 コーナ通過時の前後ロボットの速度比  $v_R/v_F$

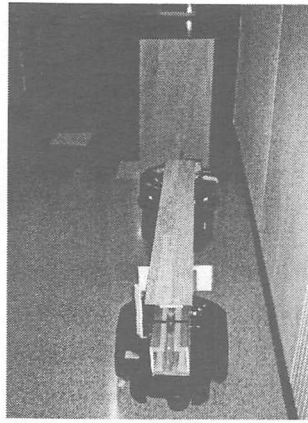


図3 直進走行

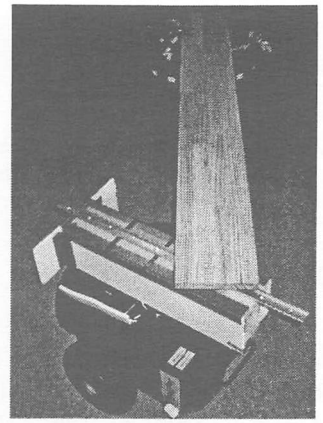


図4 回転失敗状況

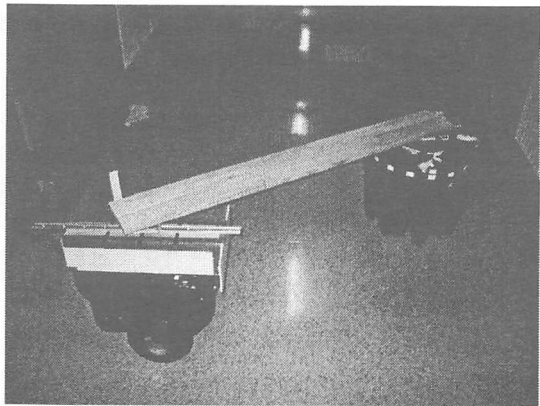


図6 コーナ通過走行

## 実験結果

コーナ通過時の様子を図6に示す。今回取り付けたいルール上で回転台は後ロボットの直進方向に最大で±30cmまで距離誤差を許せるので、2台のロボットが直進走行中のずれは補正できた。しかし、当初想定していたコーナ通過方法では、後ロボットが前ロボットに対して横を向いて走るので、直進走行中よりもリニアベアリングによる距離誤差の修正を行うのが難しくなる。改良策として後ロボットがある程度進んだ段階で 45 度回転させ、その後さらに 45 度回転させるようにしたところ、リニアベアリングが横向きの状態よりも滑りやすくなり、距離誤差の修正ができるようになった。

## 5. おわりに

2台の移動ロボットを協調させることで任意長さの長尺板を廊下世界で運搬できることを確かめた。しかし、動作はまだごちなく今後より細かな制御が必要である。

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) 加藤他：異なる目標位置を持った複数ロボットによる単一物体の協調搬送—障害物回避を伴う搬送—、第19回日本ロボット学会学術講演会講演概要集、3C34、2001。