

2台の自律ロボットによるテザーを利用した物体の協調搬送 Cooperative Conveyance of an Object with Tethers by Two Mobile Robots

正 伊能 教夫 (東工大) 正 小関 道彦 (東工大) 鈴木 尊文 (東工大)

Norio INOU, Michihiko KOSEKI and Takafumi SUZUKI,
Tokyo Institute of Technology, O-okayama, Meguro-ku, Tokyo

This paper deals with the Super-Mechano-Colony (SMC) which consists of a mother robot and child robots. Cooperative conveyance by two child robots with tethers was discussed. First, a tether-winding unit which has passive extension mechanism was developed. Second, cooperative moving algorithm to tug an object avoiding obstacles was proposed. Finally, experiments and computational analyses were executed. The results of these showed that proposed tether-winding unit and moving algorithm were effective for cooperative conveyance by two mobile robots.

Key Words: Super-Mechano-Colony, Group Robots, Cooperative Conveyance, Tether

1. 緒言

SMC(Super-Mechano-Colony)は、高機能で機動性が低い親ロボットと、最小限の機能を備えた機動性が高い子ロボットから構成される親子型群ロボットシステムである⁽¹⁾。

前報⁽²⁾では、SMCの子ロボットを対象とした自律ロボットが物体を搬送する手段としてテザーを用いることを提案し、テザー先端に取り付けるエンドエフェクタとして考案した張力調整ユニットについて報告した。

本稿では、テザー長を受動的に調整するテザー巻取ユニットを提案し、それを用いた協調搬送について計算機シミュレーションと実機動作試験を行った結果を報告する。

2. テザー巻取ユニット

協調搬送の手段にテザーを用いる方法は、搬送対象物の形状への追従性が高く、またテザーの張力によって対象物を持ち上げて搬送することが可能であるなど、自律ロボットによる未知領域での探査回収において、多くの利点が考えられる。

ここで、SMC子ロボットのような自律ロボットに装着された低機能なハンドだけで対象物にテザーを巻き付け、締結することは困難であると考えられる。そのため、テザー先端には締め付け力を調整し、テザー締結を行うエンドエフェクタが必要である。このエンドエフェクタは軽量であることが要求されるため、その駆動用電力はテザーに電線を用いてロボット本体から供給しなければならない。

しかし、テザーとして電線を用いた場合にはテザー長を不変として考える必要がある。1台のロボットでは運べない重量の物体を2台のロボットが協調して搬送する場合、ロボットの移動可能範囲が制限され、緻密な移動計画を立てなければロボットに過負荷が生じてしまう可能性がある。また、これを回避するため、移動時にテザー長を能動的に変更するのは、処理が複雑となり困難であると考えられる。

そこで、テザーを収納する役割を持つテザー巻取ユニットに受動的にテザー長を調整する機能を与え、それを実現する機構を考案した。考案した機構の概要を図1に示す。

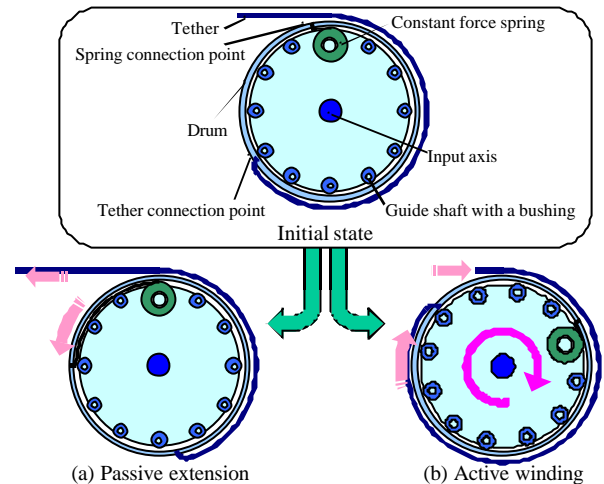


Fig. 1: A schematic diagram of the tether-winding unit

考案した巻取ユニットのドラム内部には定荷重バネが組込まれており、ある程度以上の張力がテザーに作用すると定荷重バネが伸びて、テザー長が調整される(図1(a)参照)。この時、定荷重バネはガイドシャフトによってドラム内周に沿って伸びるため、張力が伸び量によって変化することはない。また、テザーを収納する際には、図1(b)のようにドラム中心軸にアクチュエータによる駆動力が伝わり、定荷重バネを介してドラムが回転する。

製作した巻取ユニットを図2に示す。今回製作したユニットには、子ロボットの移動用モータの出力を考慮し、内部に配置する定荷重バネの出力は3.9Nとした。そして、タイミングベルトによって、モータによる駆動力がドラム中心軸に伝達される。

製作した巻取ユニットを用いて提案する機構の有効性の検証を行った。まず、テザー長の受動調整機能について、テザーが受動的に伸びる時の張力は3~4Nでほぼ一定となり、定荷重バネの効果を確認した。次に、テザー長の能動調整機能について、モータ駆動によりテザーの引き出し・巻き取りが実現されることを確認した。

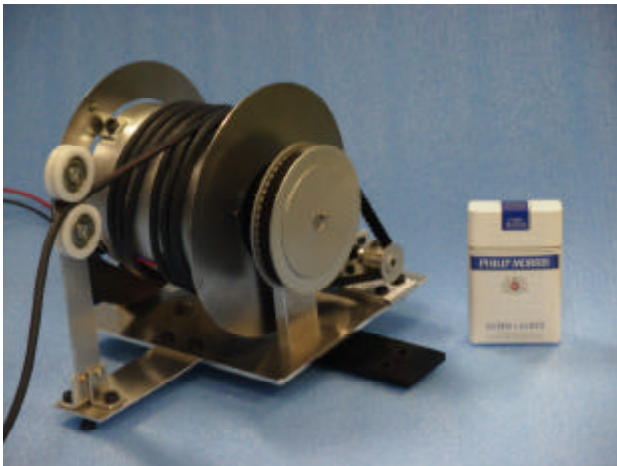


Fig. 2: Proposed tether-winding unit

3. 計算機シミュレーションと動作実験

3.1 協調移動アルゴリズム

未知領域の探査回収ミッションにおいては、ロボットの進行方向に障害物が存在する可能性がある。そこで、自律ロボットに設置されたカメラからの情報をもとに、障害物を回避して対象物を協調搬送する際の移動方法として、次の4つのステップからなるアルゴリズムを考案した(図3参照)。

- STEP 1: 2 台のロボットを結ぶ線分の中点に制御点 C_n を設け、次ステップにおける制御点の目標位置 C_{n+1} を算出する。
- STEP 2: C_n と C_{n+1} を結ぶ直線と直交し、中点が C_{n+1} となる線分の両端を各ロボットの目標位置とする。
- STEP 3: 各ロボットの現在位置と目標位置から、移動速度を算出する。
- STEP 4: 各ロボットがそれぞれの目標位置まで移動する。

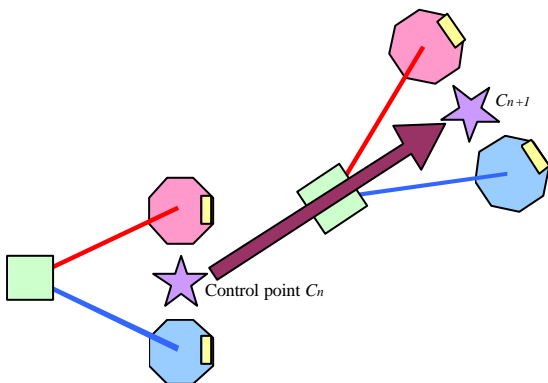
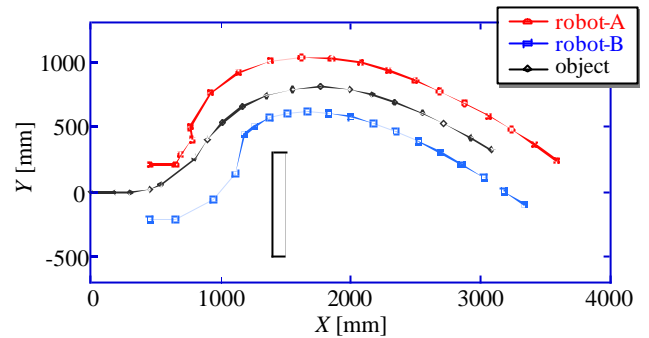


Fig. 3: Scheme of cooperative movement with tethers

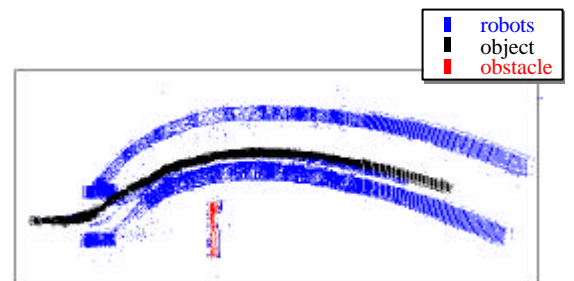
3.2 動作検証

上述の協調移動アルゴリズムに基づく協調搬送について、計算機シミュレーションおよび実機動作試験によって検証を行った。図4(a)は計算機シミュレーションの結果であり、 $(X,Y)=(3500,0)$ 地点を最終目標位置として、その付近に近付いた時点で計算を終了している。各ロボットの軌跡は滑らかな曲線を描いており、消費エネルギーの無駄が少なく、

また、搬送対象物の軌跡から安定した搬送が実現されていることがわかる。図4(b)は実機動作試験の結果であり、ロボットや搬送物に取り付けたマーカを、床面より高さ2500mmに設置したCCDカメラを用いて撮影し、これを積算したものである。計算機シミュレーションと同様に滑らかな軌跡が得られており、提案する移動アルゴリズムが実機制御にも有効であることを確認した。



(a) Analytical results



(b) Experimental results

Fig. 4: Analytical and experimental results

4. 結論

2 台の自律ロボットによる、テザーを用いた協調搬送について検討を行い、ロボットに過負荷が生じないように受動的にテザー長を調整するテザー巻取ユニットを開発した。

そして、このユニットを用いた協調搬送実験を行った。計算機シミュレーションと同様の搬送形態が実験で実現されており、提案するテザー巻取ユニットと協調移動アルゴリズムが SMC 子ロボットのような自律ロボットの動作において有効であることを確認した。

謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費 (COE 形成基礎研究費スーパーメカノシステム, No.09CE2004) の援助によって行われた。

参考文献

- (1) S. Hirose, A. Kawakami, K. Kato and H. Kuwahara; Super-Mechano-Colony and SMC Rover with Detachable Wheel Units, Proceedings of TITech COE/Super-Mechano-System Workshop '99, pp. 67-72 (1999)
- (2) 伊能教夫・鈴木尊文・小関道彦・市川洋・小池閑也; 親子型群ロボットシステムによる物体探索および協調搬送, ロボティクス・メカトロニクス講演会'01 講演論文集 [No.01-4], (CD-ROM)1P1-A8, 2001