

メカナムホイールを用いた全方向移動可能な平行二輪型倒立振り子台車

Omni-directional parallel two wheel type inverted pendulum cart using mecanum wheels

準 宮腰 清一 (産総研)
Seiichi MIYAKOSHI, AIST, s.miyakoshi@aist.go.jp

In this paper, the inverted pendulum cart extended to omni-directional motion is shown. Omni-directional motion is implemented by the drive unit which is constructed of a paired mecanum wheels. The mechanism of the omni-directional drive unit and the control system are described. An experimental result on omni-directional auto balance motion is indicated.

Key Words: Wheeled Mobile Robots, Omni-wheel, Inverted pendulum, Mecanum wheel

1 緒言

屋内を含む近距離の移動手段として、Segway[1] に代表される倒立平行二輪型の移動体が提案され、一部は商品化されている。倒立平行二輪型の移動体は、操舵型・静的安定型車両と比較して小型化し易く、その場旋回を含めて小回りも効きやすい。ただし、平行二輪型であっても操舵型と同様に、ノンホロノミック拘束を受ける。すなわち、真横への移動は不可能で、切り返しを必要とする場面が発生する。

一方、人の両脚での立位による作業においては、作業台や壁に向かったままの横移動等、通常車輪で実現が難しい移動様態が含まれる。狭隘な環境においても移動が可能な倒立振り子型全方向移動体 [2] が開発されているが、同様の運動特性を持ち、搭乗が可能な平行二輪型倒立振り子台車を開発したので報告する。

2 システム構成

2.1 機構

開発した全方向移動平行二輪型倒立振り子台車を Fig. 1 左図に、ベース機体の低床型マイクロモビリティ[3]を Fig. 1 右図に示す。両図とも左側が正面で、両脇にグリップの付いた四角い乗車台が中央部にある。開発した全方向移動型の機体は、低床型において、乗車台の両脇にある2つの通常車輪を、以下に述べる「ペア・メカナムホイール・ユニット」で置き換えた構造になっている。

全方向移動を可能とするためのオムニホイールの一種として、メカナムホイールがある。このメカナムホイールを、トラックの後輪のように同軸で2輪ずつ一組にして構成する。ただし、それぞれのメカナムホイールは独立して回転できる。Fig. 2 に示す。これを「ペア・メカナムホイール・ユニット」と名付ける。このユニットは、原則的に、能動的オムニホイール ([4][5] 等) と同じ自由度を持つ。ただし、平面の3自由度(前後・左右の並進移動と回旋)に対して拘束条件が足りず、接地点が1点ではないため、車輪を互いに逆方向に回転させた場合、側方への移動のみならず回旋運動も発生してしまう。同一移動体に2つ以上のユニットを配置する事で、全方向に移動可能な状態で、平面の3自由度の運動を生成する事が出来る。本台車では、2輪のユニットを2つ平行に配置した合計4輪で走行する。

ペア・メカナムホイール・ユニットはトラックの後輪のように複数輪から成るため、一輪のタイヤと比べ、接地点の幅(間隔)が広い。それ故、移動体にリジッドに取り付けてしまうと、地面に凹凸がある場合、車輪が地面と接地しない場合が生じてしまう。これに対処するため、Fig. 2 下左図に示すように、ジンバルとしてユニットの車輪の回転軸に直行する軸を設けて本体と結びつける構造とし、地面の凹凸に倣う構造とした。ここでは、パネ等の弾性体を用いたサスペンションは使用しなかったが、全車輪で、ほぼ同程度の接地圧が保証される仕組みであれば、用いる地面の特性に応じて、適切な構造を採用すれば良い。

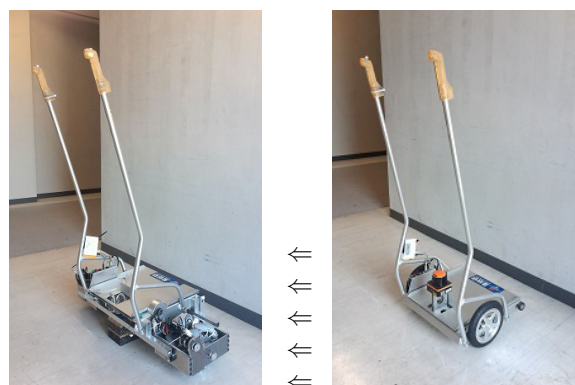


Fig.1 The omni-directional inverted pendulum cart (left figure) and the remodeled original low-floor type micro mobility[3] (right figure)

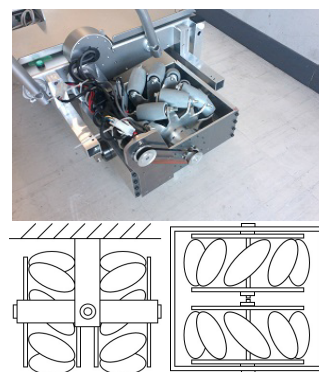


Fig.2 The photo of the pair mecanum wheel unit and its front and top view figure

2.2 制御

全方向移動型倒立振り子台車は、平面上の3自由度に対応して、自立バランスのための前後の並進運動と両立させつつ、側方への並進運動と回旋運動とを行う必要がある。前後方向の並進運動、側方への並進運動、回旋運動は、原理的には独立した運動である。そこで、個別に制御目標値として生成してから、線形和の形で、モータへの指令値(出力電圧値)を生成している。

系を倒立振り子として自立させるための制御入力、ジャイロと加速度計による本体の傾きの値から、PD制御によりモータへの出力電圧値を生成している(割愛)。

ペア・メカナムホイール・ユニットによる側方への並進移動は、メカナムホイールが、原理的にはネジ(スクリュー)と同じである事から、並進の変位は、一組のホイールの回転数(回転角度)の差に比例する。差動機構に相当する運動を制御により生成する。

$$\Theta = \theta_l - \theta_r \quad (1)$$

$$\dot{\Theta} = \dot{\theta}_l - \dot{\theta}_r \quad (2)$$

$$V_{l\Theta} = -k_p(\Theta + \Theta_d/2) - k_v(\dot{\Theta} + \dot{\Theta}_d/2) \quad (3)$$

$$V_{r\Theta} = -k_p(-\Theta - \Theta_d/2) - k_v(\dot{\Theta} - \dot{\Theta}_d/2) \quad (4)$$

ただし、 θ_l と θ_r 、 $\dot{\theta}_l$ と $\dot{\theta}_r$ は、それぞれ、一つのユニット内の一対(左右)のメカナムホイールの角度と角速度、 Θ_d と $\dot{\Theta}_d$ は、それぞれ、角度と角速度の差動の目標値、 k_p と k_v は、それぞれ、PD制御のゲイン、 $V_{l\Theta}$ と $V_{r\Theta}$ は、それぞれ、左右のモータへの出力電圧指令値である。

2.3 操縦インタフェース

倒立振り子の平行二輪であるため、前進/後退の1自由度は、(重心移動による)前後の傾き角度を指令値とする。

これに加え、1本のジョイスティックにより、左右への旋回と左右への並進の2種類の指令値を生成する。ジョイスティックを前方に倒す事で旋回運動、後方に倒す事で側方への並進運動、と切り替える。つまり、ジョイスティックを前方に倒しつつ左右へ倒す事で左右への旋回の指令値とし、ジョイスティックを後方に倒しつつ左右へ倒す事で左右への並進の指令値と定めた。ジョイスティックの前後の傾きを、左右への旋回/左右への並進の速度目標の係数とした上で、目標速度とする。すなわち、前(後)に倒した傾きが大きい程、曲がり/左右移動を大きくする。その場旋回は行わない設定とした。

3 動作実験

メカナムホイールによる平行二輪型の配置での倒立振り子制御と側方への並進移動が可能であることを示す(旋回については割愛)。

図3に実験の連続写真を示す。側方から撮影しており、機体は写真の左側を向いている。上部の3枚において、写真の奥行き方向への移動が示されている。なお、全ての時点で自立バランス(倒立振り子制御)を行っており、上部の3枚においてはグリップの端点のジョイスティックを操作するために指で接触しているが、人が支えている訳ではない。なお本実験時は、機体の後部に自立バランスの平衡点調整のため重りを積み重ねており、機体後方のケーブルで接続した外部電源により動作させている。

4 結言

通常のタイヤ型の平行二輪型倒立振り子台車と同様に、提案したペア・メカナムホイール・ユニットを用いた台車で自立バランス制御が可能であり、全方向移動も可能であることを示した。

段差等の走行性能の検証、より直感的な操作を可能とする操作法・インタフェース等について研究を進める予定である。

5 謝辞

ベースとなる低床型マイクロモビリティの提供を頂いた産総研 知能システム研究部門 松本治氏、ペア・メカナムホイール・ユニットの作製等の機械加工を行って頂いた産総研 デジタルヒューマン工学研究センター 有福崇明氏に、感謝の意を表す。

References

- [1] <http://www.segway-japan.net/>
- [2] 鄭聖嘉, 松川文厚, 西山達也, 井代直也, “倒立振り子型全方向移動体及び基本走行制御”, 日本ロボット学会誌, Vol.29, No.8, pp.710-715, 2011.
- [3] 松本 治, 竹園 年延, 堀内 英一, 小谷内 範穂, 小森谷清, 橋本隆志, 安藤敏之, 巖桂二郎, “平行二輪倒立振り子型マイクロモビリティ群の特徴と仕様”, 第27回日本ロボット学会学術講演会 予稿集, AC3Q1-06, 2009.
- [4] 五味 洋, 浜谷 一司, “摩擦式駆動装置および倒立振り子型移動体”, 特開 2011-105092, 2009.
- [5] 小森 雅晴, “移動搬送機構”, 特許第 5158698 号, 2012.

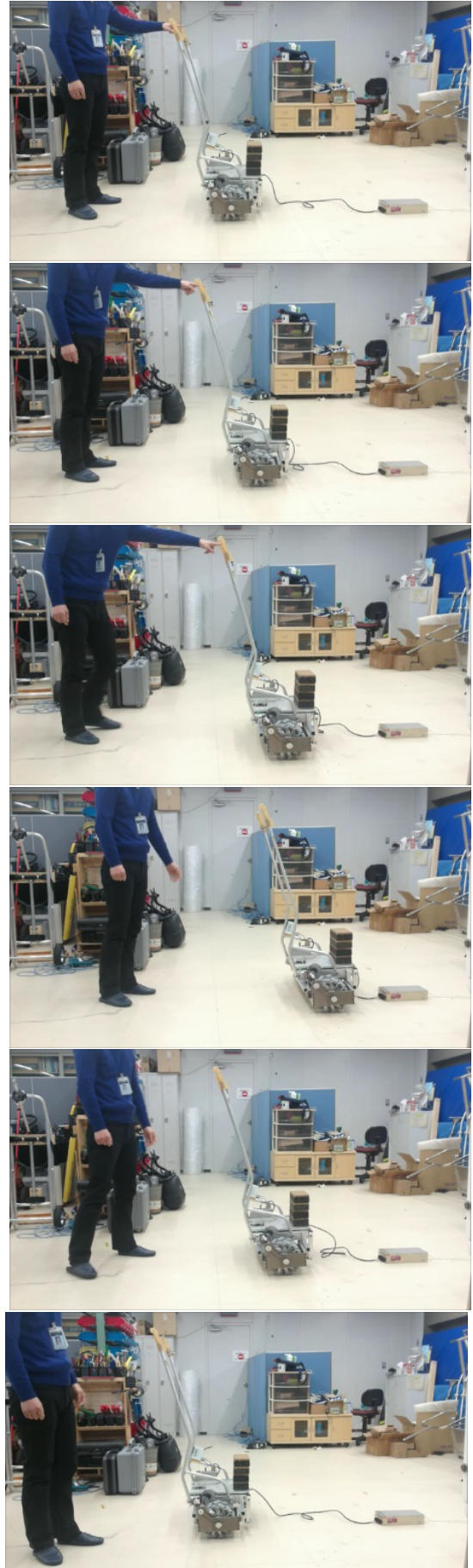


Fig.3 The snapshots of the omni-directional motion with inverted pendulum control