T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	ローラーウォーカーに関する研究第４報：直進ローラーウォークの４脚軌道
Title	
著者(和文)	遠藤玄, 広瀬茂男
Authors	Gen Endo, SHIGEO HIROSE
出典 / Citation	第16回日本ロボット学会学術講演会予稿集, Vol. , No. , pp. 207-208
Citation(English)	, Vol. , No. , pp. 207-208
発行日 / Pub. date	1998,
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は日本ロボット学会に帰属します。 Copyright (c) 1998 The Robotics Society of Japan.

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

1F22

ローラーウォーカーに関する研究
第4報：直進ローラーウォークの4脚軌道

東京工業大学　○遠藤 玄　広瀬 茂男

Study on Roller-Walker : Straightforward Roller-Walk using 4 legs

Tokyo Institute of Technology　○Gen Endo　Shigeo Hirose

Abstract - *We have been proposing a new Leg-Wheel hybrid mobile robot named "Roller-Walker". In this paper, the 4 leg trajectory of Straightforward Roller-Walk is optimized in order to achieve maximum constant velocity. Experiments were then performed utilizing this optimized 4 leg trajectory and the results are compared with those derived through simulation.*

Key Words : *Leg-Wheel hybrid mobile robot, Roller-Walker, Roller-Walk, Straightforward motion*

1　はじめに

ローラーウォーカーとは歩行機械の脚先に駆動力を持たない受動車輪を取り付け,歩行のための脚の自由度をそのまま用いてローラースケートと同様の原理で効率よく推進する脚 - 車輪型ハイブリッド移動体である.また,足首部の角度を変化させることで平坦地では車輪による推進,不整地では足の裏として用いることによる歩行を行い,歩行機械と車輪型移動機械の両方の特質を兼ね備えている.1)(Fig.1) 本報では直進ローラーウォークを行うために,前2脚のみ用いた場合,4脚全てを用いた場合の定常速度シミュレーションを行い,パラメータの最適化をはかる.また実機による検証を行いシミュレーション結果と比較する.

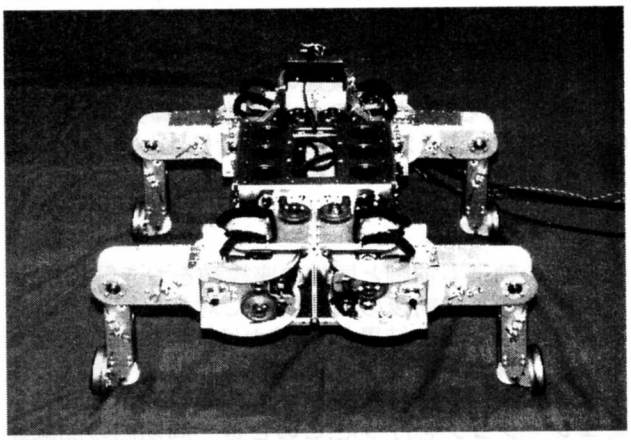


Fig.1　Overview of Roller-Walker

2　シミュレーションモデル

ローラーウォーカーのとりうる脚軌道は可動範囲内で無限の可能性があるが,ここでは脚を遊脚化せず,かつ各脚は周期的な運動をするという条件の下でシミュレーションを行う.この仮定を用いる利点としては①高い安定性②容易な解析③ペイロードに依存しない,などの特長が挙げられる反面,加減速の繰り返しによる移動速度,効率の低下なども考えられる.しかしながらすべてのローラーウォーク解析の基礎として本仮定の下に得られる結果は重要であると思われるため,現在までに前2脚の脚軌道を固定した場合のシミュレーションが行われている.2)3) 本稿では特に定常速度を最大化する脚軌道を導出し4脚に拡張する.

前脚の座標系をFig.2に定める.車軸は脚に直角に固定され,yaw方向の自由度は持たない.またキャンバー角は常に90度であるとする.このとき脚を水平面上で左右対称に動かす.各脚は自重Wの1/4を均等に支えるものとする.このとき軌道を次式で定める.

$$d(t) = d_{offset} + d_0\left(\sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \frac{3}{2}\pi\right) + 1\right) \quad (1)$$

$$\theta(t) = -\theta_0 \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \frac{3}{2}\pi + \phi\right) \quad (2)$$

このとき制御パラメータはd_0,θ_0,ϕ,Tの4つである.なお実験機の可動範囲を考慮して予め位相差として$3\pi/2$,dにオフセットとして1が加えられている.

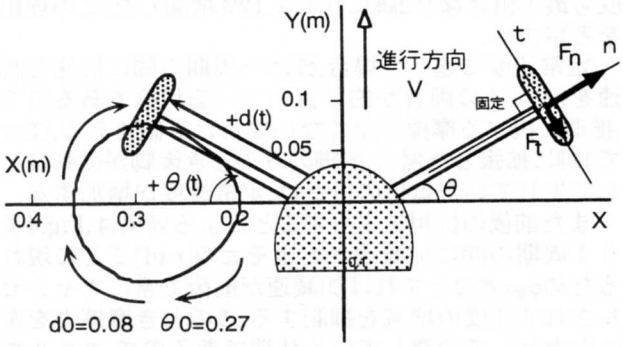


Fig.2　Simulation model

脚先に働く力は次式で表される.

$$F_t = -\,\mathrm{sign}\left(V\cos\theta(t) + d(t)\,\dot{\theta}(t)\right)\cdot\mu_t\cdot\frac{W}{4} - \mu_{tc}\cdot\left(V\cos\theta(t) + d(t)\,\dot{\theta}(t)\right) \quad (3)$$

$$F_n = -\,\mathrm{sign}\left(V\sin\theta(t) + \dot{d}(t)\right)\cdot\mu_n\cdot\frac{W}{4} \quad (4)$$

ここで転がり方向の摩擦係数μ_t,その粘性摩擦をμ_{tc},軸方向摩擦係数μ_nとおき,予備実験により求められた以下の値を用いる.

$$\mu_t = 0.01 \quad , \quad \mu_{tc} = 5.5 \quad (5)$$

$$\mu_n = 0.560 \quad \left(|V_n| \geq 0.01\ [\mathrm{m/s}]\right) \quad (6)$$

第16回日本ロボット学会学術講演会(1998年9月18日、19日、20日)

μ_nはシミュレーション上での発振を防ぐため,軸方向速度の小さい領域では粘性摩擦を仮定した.

3　前脚のみの軌道

後脚受動車輪を進行方向に固定し,前脚のみで推進する場合を考える.周期が短いほど投入されるパワーが大きくなり定常速度も上昇することが予想されるため,ここではT=2.0[s]に固定し,脚軌道の形を導出することにする.全検索の結果,以下のことが分かった.

① $\phi=\pi/2$のとき前進速度を最大化.このとき一周期内の加減速が最小.

② d_0は大きいほどよく,θ_0は0.3付近で最大.

$\phi=\pi/2$に固定し,可動範囲内でd_0,θ_0をパラメータとしてシミュレーションを行った結果と,実際の実験結果を示す.(Fig.3(a),(b)) 全体の傾向がよく一致していることが分かる.最適化された軌道をFig.2の第2象限に示す.またこの軌道での推進速度の推移をFig.4に示す.定常速度はシミュレーション結果に比して5%程度小さくなっているが,加減速の変化も含めて良好な一致が見られる.またこのときの値は脚先最大速度0.34[m/s]のおよそ2.3倍であり,歩行に比して十分に高速な移動が実現されている.

4　4脚軌道

後脚の軌道も前脚と同様の座標軸をおき解析する.このとき新たに前後の周期関数に対して位相差ϕ_{fr}を導入する.前2脚の結果と"摩擦力は速度にのみ依存する"という物理的考察より後2脚のd_0,θ_0,ϕも同様の値をとることが予想されるので,ϕ_{fr}のみを変化させてシミュレーションを行った.このとき一周期内の加減速は$\phi_{fr}=\pi/2,3\pi/2$[rad]のときに極小化され,かつ平均速度も最大値となり2脚に比して12%増加した.この理由を考察する.

定常速度に達した場合,脚は一周期の間に加速と減速を行い,その両者が釣り合っている状態であるので,推進に抗する摩擦が全くない場合と等価である.従って4脚に拡張した場合,前脚のみのとき後脚が従動輪として生じていた抵抗の分だけ,定常速度が増加する.

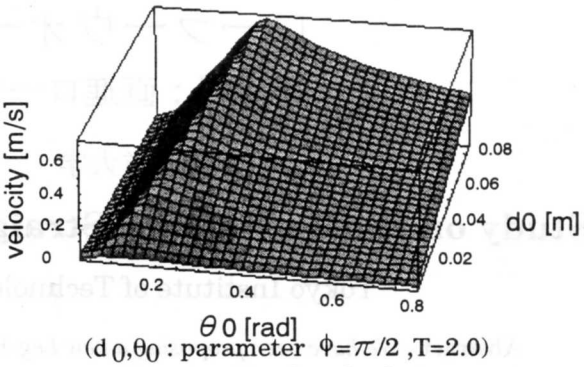
また前後の位相をずらすことによる効果は,Fig.4より1周期の間に加減速がおよそ$\pi/2$[rad]ごとに現れるため$\phi_{fr}=\pi/2$とすれば加減速が前後で常にキャンセルされて速度の増減を抑制する.このとき摩擦力を常に内力として消費している状態であるので,エネルギ的には効率が悪くなる一方,プリロードとして考えれば外乱に対するロバスト性が向上している状態でもある.

速度を最大化する4脚軌道の速度変化を示す(Fig.5) $\phi_{fr}=0$としたときの実験値と比して加減速が少なく平均速度も高いことが確かめられる.

5　まとめ

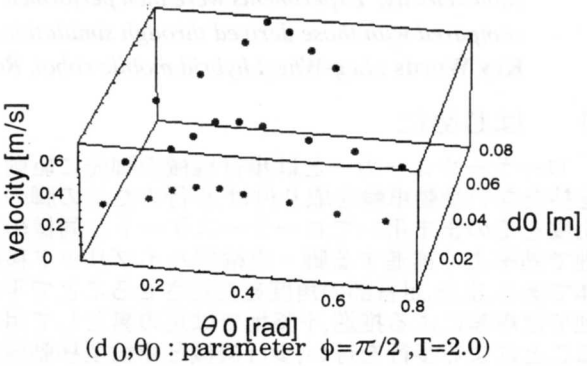
本報では定常速度を最大にする脚軌道のパラメータを最適化し,実験と比較した.またこの結果を4脚に拡張し,定常速度を最大化した.今後は同様の手法を用いて旋回,制動,加速動作の総合的な検討を行ってゆく

(なお本研究は文部省科学研究費(COE形成基礎研究費スーパーメカノシステムおよび特別研究員奨励費)を使用して行なわれました.)



(d_0,θ_0 : parameter $\phi=\pi/2$,T=2.0)

Fig.3(a) Simulated velocity



(d_0,θ_0 : parameter $\phi=\pi/2$,T=2.0)

Fig.3(b) Experimental velocity

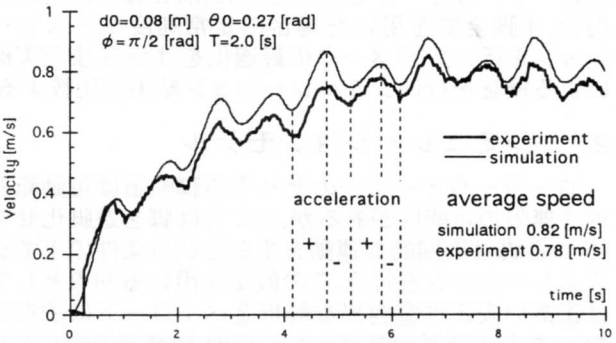


Fig.4 Velocity at optimized trajectory

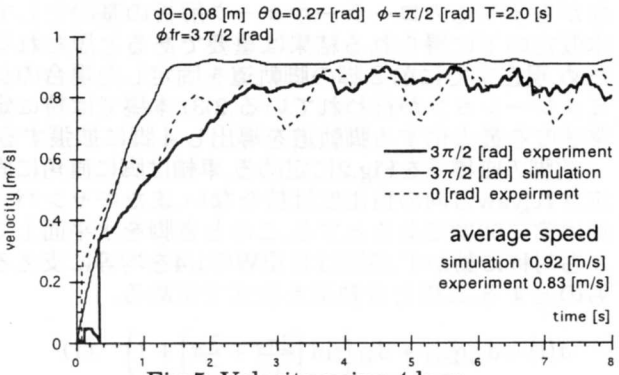


Fig.5 Velocity using 4 legs

参考文献

1) 遠藤,広瀬：ローラーウォーカーに関する研究,ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集98,1CIII1-2(1998)

2)広瀬,竹内：ローラウォーカ,機論,62巻,599号,C編,pp242-248(1996)

3)広瀬,竹内,遠藤：ローラーウォーカーに関する研究,第13回日本ロボット学会学術講演会予稿集,pp799-800(1995)