

脚の重なり判定に基づく 6 脚ロボットの立ち上がり動作

2019SC003 藤本真由佳

指導教員：稲垣伸吉

1 はじめに

6 脚ロボットは災害現場のような人が立ち入ることが難しい環境での活躍が期待されている。しかし、従来の 6 脚ロボットの研究は歩行制御や転倒防止に着目したものが多く、転倒時や電源投入時には人の手によりロボットを支え、立ち上がらせている。そのため、ロボットがどのような状況下でも自力で立ち上がることが必要であると考えられる。

6 脚ロボットが転覆した状態からの回復についての研究があり [1,2]、どちらも昆虫の動きを基にしている。昆虫を模した 6 脚ロボット [1] では転覆した状態からの回復に成功している。しかし、回復後の立ち上がりまでは研究が行われていない。また脚に車輪を付けた 6 脚ロボット「NOROS」[2] では、転覆した状態からの回復やその後の立ち上がることが出来ているが、動作開始時にあらかじめ脚を広げて配置しなければいけない。

本研究では電源投入時に各脚の位置や脚同士の関係、胴体の姿勢を測定し、ロボットの状態に適した方法で立ち上がらせる。なお、左右の脚同士の重なりは無く、胴体は腹這いとなって整地で転倒している状況を扱うため、胴体姿勢の取得は行わない。

2 6 脚ロボットの構成

本研究で用いるロボットのモデルを図 1 に示す。各脚に番号を付ける。ロボットの脚は全て同じ設計を用いている。Leg[1] と Leg[4] を前脚、Leg[2] と Leg[5] を中脚、Leg[3] と Leg[6] を後脚とする。また図 1 において Leg[2] も他脚と同じ姿勢にしたときのロボットの姿勢が基本姿勢であり、立ち上がった状態とする。基準となる胴体座標系を Σ_B 、脚の根本における座標系を 0 座標系とする。そして、第 i リンク ($i = 1, 2, 3$) における座標系を i 座標系と呼び、 i 座標系の原点を O_i とする。この時、計算コストを抑えるために Σ_B の原点の高さを O_0 と同じにする。

3 立ち上がり動作の流れ

動作開始時における脚の状態を分類し、各状態における立ち上がり動作を提案する。なお、左右の脚同士の重なりはないものとし、脚先が胴体より外側にあるものとする。

3.1 立ち上がり動作の流れ

動作開始時に脚同士が重なっている場合、下に入り込んでいる脚を無理に動かすことで上にある脚が可動範囲を超え、破損することがある。そこで、図 2 のように電源投入時に、脚の重なりを判定し、脚の動作順序を決定する。

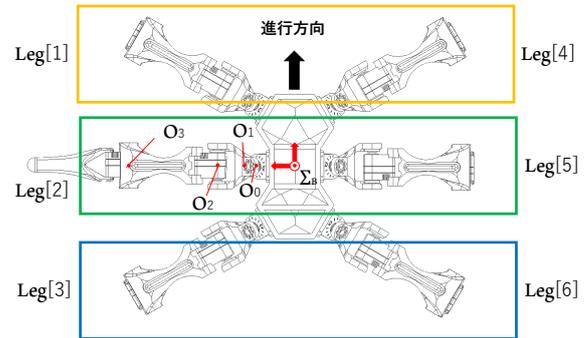


図 1 ロボットのモデル (372 × 312 × 180[mm])

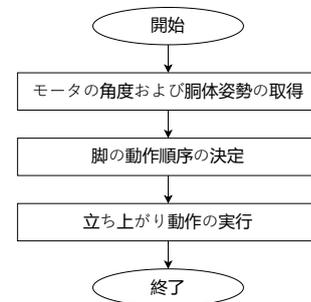


図 2 立ち上がり動作の流れ

3.2 脚の動作順序の決定

図 2 の「脚の動作順序の決定」において、脚同士の重なり方の判定を図 3 のように行う。まず、脚同士の重なり方の有無は、脚先の座標を運動学を用いて求め、脚先の前後関係に入れ替わりがあるかで判断する。次に、重なりがあると判断した際の重なり方については、 O_3 の座標を運動学を用いて求め、 O_3 の位置が高い方が上となり重なっていると判断する。以上を用いて前脚・中脚・後脚のそれぞれの重なり方の判定を行う流れを以下に示す。

1. 前脚と中脚の重なり判定を行う
2. 中脚と後脚の重なり判定を行う
3. 1,2 でどちらも重なりがある場合、重なり方は (A) から (F) のいずれかに分類される
4. 1 のみ重なり判定がある場合、重なり方は (G) もしくは (H) に分類される
5. 2 のみ重なり判定がある場合、重なり方は (I) もしくは (J) に分類される
6. 1,2 でどちらも重なり判定がない場合、(K) に分類される

以上の処理により判定された結果 (A) から (K) と、それぞ

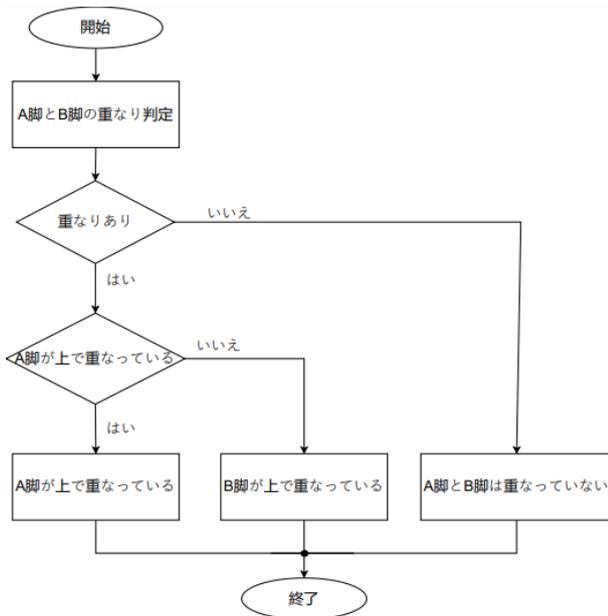


図3 A脚とB脚の重なり方の判定

れに対する脚の動かす順番を表1に示す。

表1 脚の重なり方の判定結果

	脚の重なり方	脚の動かす順番
(A)	中脚→前脚→後脚	中脚→前脚→後脚
(B)	中脚→後脚→前脚	中脚→後脚→前脚
(C)	前脚→後脚→中脚	前脚→後脚→中脚
(D)	後脚→前脚→中脚	後脚→前脚→中脚
(E)	前脚→中脚→後脚	前脚→中脚→後脚
(F)	後脚→中脚→前脚	後脚→中脚→前脚
(G)	中脚→前脚 (後脚は重なっていない)	中脚→前脚
(H)	前脚→中脚 (後脚は重なっていない)	前脚→中脚
(I)	中脚→後脚 (前脚は重なっていない)	中脚→後脚
(J)	後脚→中脚 (前脚は重なっていない)	後脚→中脚
(K)	脚同士は重なっていない	前脚→中脚→後脚

4 実験結果

脚の重なり判定に基づく6脚ロボットの立ち上がり動作の様子を図4に示す。このとき、左右の脚の重なり方は表1の判定結果(D)となっている。また、表1のすべての組み合わせにおいて実験し、立ち上がり動作の成功率の算出を行った(表2)。実験はそれぞれ10回行い、重なり方の判定が正しく行われ、決定した動作順序に従って立ち上がることが出来れば成功とする。なお、左右の脚では同じ重なり方とした。重なり方(F)では1回失敗をしている。失敗した原因としては、モータの角度を取得できていなかった

ことから基盤とモータの接続不良が起こったと考えられる。

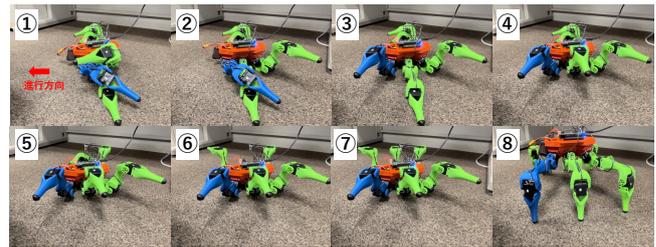


図4 判定結果(D)に基づく立ち上がり動作

表2 立ち上がり動作の成功率

重なり方	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)
成功率(%)	100	100	100	100	100	90
重なり方	(G)	(H)	(I)	(J)	(K)	
成功率(%)	100	100	100	100	100	

5 考察

表2のように、動作順序に従って動作することで脚同士の重なりがなくなった状態ではほぼ確実に立ち上がることが出来た。本研究では、脚の重なりを表1の場合に限定した。今後は、左右の脚が重なる場合や、脚が胴体の下に入り込む場合も考える必要がある。また、使用するロボットの構造によっても重なり方の組み合わせが変化することがあると考えられる。

6 おわりに

本研究では研究で使用する6脚ロボットを作製し、ロボットが自力で立ち上がることが出来るように、脚同士の重なり方を判定するアルゴリズムを実装した。実機実験では、脚同士の重なり方を判定し、決定した脚の動作順序の通りに正しく動作し、動作終了後には重なりがなくなり、立ち上がった様子が確認できた。

参考文献

- [1] 吉田 和司, 中島 明, 稲垣 伸吉, 坂本 登, 「多脚ロボットの転倒復帰におけるモデル化と脚の揺動について」, ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2021.
- [2] Saijin Peng, Xilun Ding, Fan Yang and Kun Xu, "Motion planning and implementation for the self-recovery of an overturned multi-legged robot", Robotica, online 2015, Vol.35, pp.1107-1120, 2017.