

3D エージェントの簡易歩行制御の開発

中村 哲[†] 山西 輝也[‡]

福井工業大学

1. はじめに

ヒューマノイドロボットの歩容の生成において、これまで様々な手法が提案されている。例えば、富士通研究所はヒューマノイドロボットの動作学習に CPG (Central Pattern Generator) と数値摂動法を用いた[1]。岐阜県生産情報技術研究所では、富士通研究所が提案したこの方法に着目し、神経振動子の出力を \sin 関数または \cos 関数などで近似する歩行アルゴリズムを提案し、ヒューマノイドロボットでの 2 足歩行を実現した[2]。

本研究では、ロボカップ 3D リーグの試合に使われるヒューマノイドロボットモデルと 3D シミュレータを用いて、岐阜県生産情報技術研究所が提案した手法を参考に基本動作である歩容の生成を目指した。また、ヒューマノイドロボットが歩き始める際に、上体がのけぞってしまうことがある。そこで、歩き始める際に上体を安定させる方法を提案する。

2. ロボットモデル

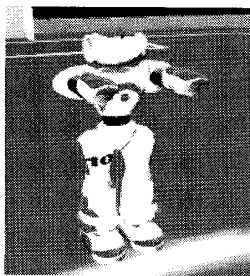


図 1 nao モデル(2008 年版サッカーロボット)

ロボットモデルは、RoboCup 2008 蘇州の 3D リーグで使用された nao モデルを採用する(図 1 参照)。このモデルはサッカーサーバの仮想フィールド内で、身長が約 57cm、体重は約 4.5kg、22 の自由度を持つ(表 1 参照)。

3. ロボットの基本動作とアルゴリズム

本研究では、次の動作の生成を目指す。

- 歩行(前進・後退)
- 左右方向への移動

これらの生成におけるアルゴリズムの構成を図 2 に示す。このアルゴリズムは、岐阜県生産情報技術研究所が提案した歩行アルゴリズムを参考にし、これを規範として歩行の一般的な状態方程式を構築する。

最初に、重心移動を次のように定義する、

$$X_G = X \sin(\omega t). \quad (1)$$

ここで、 t は時間で 0 から $180/\pi$ ずつ増加していく。 X は左右への振れ度合いを表すパラメータである。 ω は任意の実数である。重心移動は足首と股関節を使い身体を左右に動かすことで行う。足踏みは、関節

部位	自由度
頭部(頭, 首)	2
左・右腕部(肩, 肘)	8
左・右脚部(股, 膝, 足首)	12
合計	22

表 1 nao モデルの身体の自由度

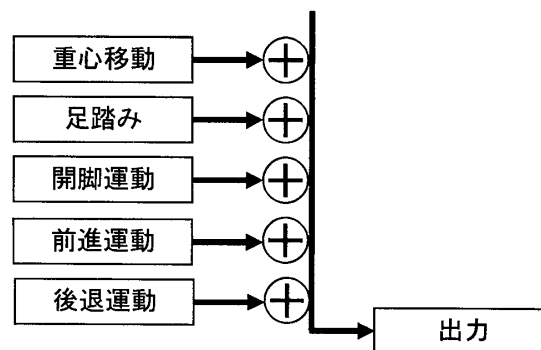


図 2 アルゴリズムの構成

の屈伸角度を U とすると、

$$U = R(1 - \cos(2\omega t)) \quad (2)$$

のように定義する。このとき、 $X_G > 0$ のとき

$$r_1 = r_3 = U, \quad r_2 = -2U,$$

とし、 $X_G < 0$ のとき

$$l_1 = l_3 = U, \quad l_2 = -2U,$$

とする。 r_1 と r_2 , r_3 は右脚の、 l_1 と l_2 , l_3 は左脚のそれぞれ股と膝、足首の屈伸角度である。 R は脚上げの度合いを表すパラメータである。そして、式(1)と(2)を時間 t ごとに計算することで足踏み運動を生成する。この足踏み運動を用いて、前進運動を次のように定義する、

$$\begin{aligned} r_1 &= r_1 - D, & l_1 &= l_1 + D, \\ r_3 &= r_3 + D, & l_3 &= l_3 - D. \end{aligned} \quad (3)$$

ここで

$$D = S \cos(\omega t) \quad (4)$$

である。式(2)で脚の各関節角度を更新した後に、式(4)を加減算することで前進運動を生成する。 ω と t は式(1)と共通であり、 S は脚の開きの度合いを表す

パラメータである。このとき S は

$$S = Y \cdot \sigma(H),$$

$$\sigma(H) = \frac{1}{1 + e^{-H\alpha + \beta}} \quad (5)$$

で、 Y は目標歩幅のパラメータである。 α と β は、それぞれゲインと閾値である。 $H(H=1,2,3,\dots)$ は歩数である。 $\sigma(H)$ を用いて歩き始めるときの歩幅を小さくし、歩数が増えるに従って歩幅(脚の開きの度合い)を徐々に大きくすることで、上体に発生する加速度を和らげ、上体を安定させることを試みる。

後退歩行は前進歩行の逆と考え、式(3)を次のように変形する、

$$r_1 = r_1 + D, \quad l_1 = l_1 - D, \quad (6)$$

$$r_3 = r_3 - D, \quad l_3 = l_3 + D.$$

左右方向への移動は開脚運動により生成し、

$$(\text{右方向}) L = Z(1 - \cos(\omega t)) \quad (7)$$

$$(\text{左方向}) L = Z(1 - \cos(\omega t - \pi)) \quad (8)$$

とした。 Z は開脚の度合いを表す任意の実数のパラメータである。そして、式(5)と各状態方程式に含まれるパラメータの範囲をロボットモデルの許容角度から算出し、遺伝的アルゴリズム(GA)で各パラメータの値を求める。

4. シミュレーション実験

今回の GA によるパラメータ探索で用いた設定値を表 2 と表 3 に示す。

GA でパラメータ探索を開始してから 8 世代目で前進歩行を確認することができた。また、提案した方法で歩幅を制御しなかった時と制御した時の、上体のジャイロセンサの波形を図 3 と図 4 に示す。ここで、実線が上体の前後の揺れを表し、破線が上体の左右の揺れを表している。図 3 よりも図 4 の方が、歩き始める時の上体の揺れが少なく、安定していることが分かる。

選択方式	トーナメント選択 エリート保存
トーナメントサイズ	5
1 世代あたりの個体数	40
交叉の確率	70%
突然変異の確率	40%

表 2 GA の設定値

パラメータ	探索範囲
重心の左右の揺れ X	0 ~ 0.4
脚上げ R	0.5 ~ 1
目標歩幅 Y	0.5 ~ 1
歩幅に係るゲイン α	0.5 ~ 5
歩幅に係る閾値 β	1 ~ 10

表 3 GA で探索するパラメータとその範囲

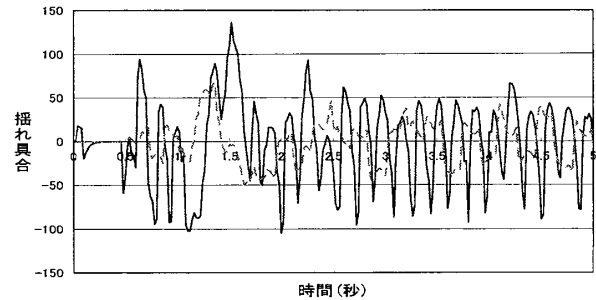


図 3 歩幅制御なし

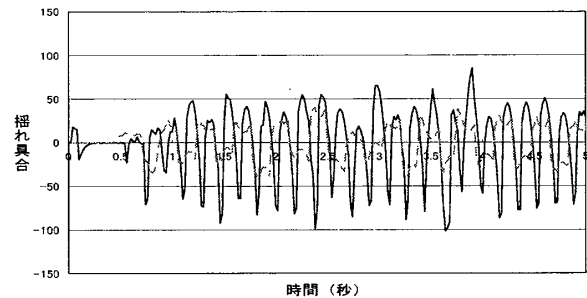


図 4 歩幅制御あり

5. 結論

本研究では、岐阜県生産情報技術研究所が提案した歩行アルゴリズムを参考に一般的な状態方程式を構築し、そこに含まれるパラメータを GA で探索することで基本動作(前進・後退・左右への移動)を生成することができた。また、提案した方法で歩幅を細分化することで、第 1 歩目でロボットの上体がのけぞりバランスを崩してしまう状況が改善され、歩き出すときの姿勢を安定させることができた。

参考文献

- [1] Fumio Nagashima, "A Motion Learning Method using CGP/NP", Proceedings of the 2nd International Symposium on Adaptive Motion of Animal and Machines, 2003.
- [2] 張明, 光井輝彰, 浅井博次, 杉山正晴, "「ながら」の歩行制御アルゴリズムの開発", 岐阜県生産情報技術研究所研究報告第 5 号, pp.77-79, 2003.