

「ながら」の歩行制御アルゴリズムの開発

張 明 光井 輝彰 浅井 博次 杉山 正晴

Neural-Oscillator-based Algorithm for Humanoid Robot Locomotion

Ming CHANG Teruaki MITSUI Hirotugu ASAI Masaharu SUGIYAMA

あらまし 神経振動子に基づいた歩行制御アルゴリズムの開発を行った。同アルゴリズムは、①足踏みを実現する部分、②前進歩行を制御する部分、③重心位置補正を制御する部分など、三つの独立した部分からなる。本報は、アルゴリズムの詳細及び実機による歩行実験の結果について報告する。

キーワード ヒューマノイドロボット、2足歩行、神経振動子

1. はじめに

2足ロボットの歩行制御には、これまで様々な手法が提案されている。本報では特に神経振動子 (neural oscillator) を用いたアプローチに注目する。神経振動子は生体における非線形振動を生成する神経細胞、あるいは神経細胞群を指し、それらによって構成された中枢パターン生成器 (central pattern generator) が脊椎動物の脊椎の中に見出され、リズムカルな生体の周期運動、例えば呼吸、歩行、飛ぶ、泳ぐなどを司る実体と考えられている。

神経振動子に基づいた歩行制御に関する研究も盛んに行われてきた。例えば、多賀ら^[10]はヒトの安定な歩行運動をCPG、筋骨格系及び環境の三者の相互作用を通じて生成できることを示した。宮腰ら^[11]は同手法を用いて2足ロボットの三次元空間における足踏みをシミュレーションし、また木村ら^[12]は同様の手法を四足ロボットに適用し、実機による不整地歩行と整地走行を実現している。最近、富士通研究所はCPGと数値摂動法を用いたヒューマノイドロボットの動作学習に成功した^[3-7]。神経振動子に基づいた歩行制御には神経振動子と物理系の動特性の共鳴や上位入力による高度な動作の実現などの特徴があるため、本報では富士通研究所が提案した手法に着目し、神経振動子に基づいて歩容を生成することとする。

2. 神経振動子モデル

神経振動子の数学モデルは神経細胞の数、それらの間の結合関係などによって様々であるが^[8,9]、振動という特性を得るためには2個のお互いに抑制しあう神経細胞は十分である。例えば図1に示したモデルは、パラメータ

$C_{12}C_{21}$ の値により線形・非線形などの波形を発生することができる^[5]。本報では神経振動子の出力を、 $\sin()$ あるいは $\cos()$ 関数などを用いて近似する。

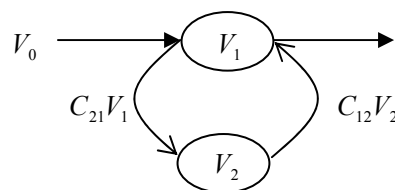


図1 神経振動子モデル

3. 2足歩行ロボットのモデル

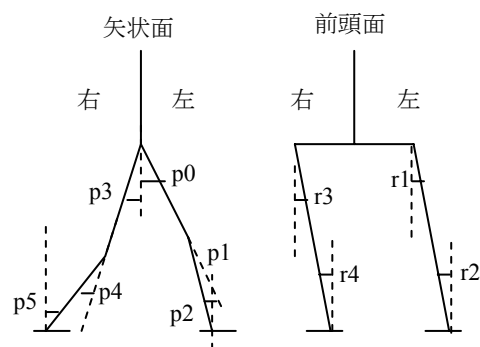


図2 ロボットのモデル

小型ヒューマノイドロボット「ながら」に関する制御ハードウェアの設計詳細については、^[13]を参照されたい。ここでは、図2に示すようなモデルを用いる。関節自由度の配置は片足につき股に2、膝に1、足首に2となる。

4. 歩行制御アルゴリズム

開発したアルゴリズムの構成を図3に示す.^[1,2]に従い、並列プロセスにした。また、歩容を前頭面と矢状面に分離して定義する。

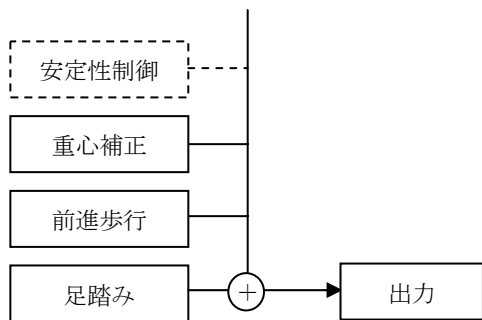


図3 アルゴリズムの構成

4. 1 特異姿勢の回避

特異姿勢をさけるため、歩行の前、あるいは歩行と同時にロボットに以下のような動きを与える。

$$p0=p1/2=p2=p3=p4/2=p5=(-0.5+1/(1+\text{Exp}(-wt)))*2.0$$

ただし、 $w=2\pi/\text{Period}$, Periodは歩行周期を表す。

4. 2 足踏み

足踏みはまず前頭面で次のように定義する。

$$r1=r2=D*\text{SIN}; r3=r4=E*\text{SIN}$$

ただし、 $\text{SIN}=\sin(wt)$ 。D, Eは左右振れの度合いを表すパラメータであり、その値は機構解析ソフトウェアDADSによる足踏みのシミュレーションを行うことで決定した。

矢状面では、次のような動きを定義する。

```
if(SIN > 0){
    p0+=A*COSS; p1=-2*A*COSS; p2+=A*COSS; }
else{
    p3+=A*COSS; p4=-2*A*COSS; p5+=A*COSS; }
```

ただし、Aは足上げの度合いを表すパラメータであり、 $\text{COSS}=(1-\cos(2wt))/2.0$ 。

4. 3 前進

前進運動は矢状面で定義する。

```
if(t < Period/2.0){
    p0+=H*COSS2; p2=-H*COSS2;
    p3=-H*COSS2; p5+=H*COSS2; }
else{
    p0+=H*COSS; p2=-H*COSS;
    p3=-H*COSS; p5+=H*COSS; }
```

ただし、Hは歩行幅を表すパラメータである。最初の一步の後には周期運動に入る。

4. 4 重心位置補正

重心位置の補正を矢状面だけで行う。図4に示すように重心を一定の高さに保つためには、 $\cos(b) = \cos(a)/\cos(c)$ となる必要がある。よって、 $c = \text{acos}(\cos(a)/\cos(b))$ となり、補正量は $a-c$ となる。

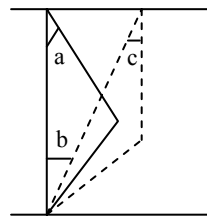


図4 重心位置の補正

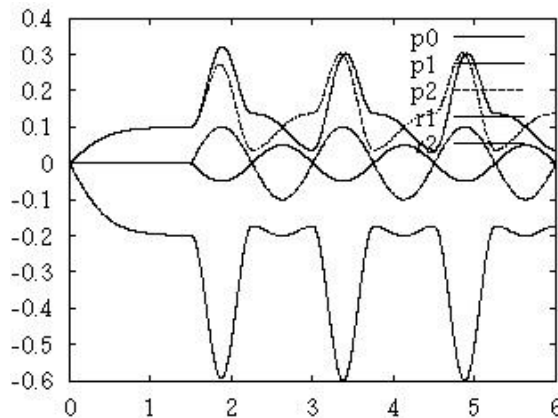


図5 制御波形

5. 実験及び考察

以上提案したアルゴリズムを「ながら」に実装した。図5には実際に使った制御波形を示している。実機実験の前、機構解析ソフトウェアDADSによるシミュレーションを行った。提案したアルゴリズムにより、実機での歩行運動を実現した。本報では、各関節の一つの神経振動子を割り当て、神経振動子間の結合を考慮していない。これからは環境からのフィードバックを考慮し、図3に示すように安定性制御部分を付け加えることを考えている。

文献

- [1] Brooks R. A., "A Robust Layered Control System for a Mobile Robot", Proceedings of the 3rd International Symposium of Robotics Research, pp.1-8, 1985.
- [2] Brooks R. A., "Intelligence without Representation", Artificial Intelligence Journal, vol.47, pp.139-159, 1991.
- [3] Jiang Shan, Fumio Nagashima, "Biologically Inspired Spinal Locomotion Controller for Humanoid Robot", 第19回日本ロボット学会学術講演会, pp.517-518, 2001.
- [4] Jiang Shan, Fumio Nagashima, "Neural Locomotion Controller Design and Implementation for Humanoid Robot HOAP-1", 第20回日本ロボット学会学術講演会, pp.-, 2002.
- [5] Fumio Nagashima, "A Motion Learning Method using CGP/NP", Proceedings of the 2nd International

Symposium on Adaptive Motion of Animal and Machines, 2003.

- [6] 永嶋史郎, “CPG/NPによるロボット運動学習”, 日本ロボット学会創立20周年記念学術講演会, 2002.
- [7] Riadh Zaier, Fumio Nagashime, “Recurrent Neural Network Language for Robot Learning”, 日本ロボット学会創立20周年記念学術講演会, 2002.
- [8] Matsuoka K., “Sustained Oscillations Generated by Mutually Inhibiting Neurons with Adaptations”, *Biological Cybernetics*, vol.52, pp.367-376, 1985.
- [9] Matsuoka K., “Mechanisms of Frequency and Pattern Control in the Neural Rhythm Generators”, *Biological Cybernetics*, vol.56, pp.345-353, 1987.
- [10] Taga G., “Self-organized control of bipedal locomotion by neural oscillators in unpredictable environment”, *Biological Cybernetics*, vol.65, pp.147-159, 1991.
- [11] 宮腰清一, 多賀巖太郎, 国吉康夫, 長久保晶彦, “神経振動子を用いた三次元2足踏みシミュレーション”, *日本ロボット学会誌*, vol.18, pp.87-93, 2000.
- [12] 木村浩, 秋山征一, 桜間一彰, “神経振動子を用いた四足ロボットの不整地動歩行と整地走行”, *日本ロボット学会誌*, vol.16, pp.1138-1145, 1998.
- [13] 稲葉昭夫, 光井輝彰, 西村太志, 千原健司, 田中等幸, “ヒューマノイドロボット基本ハードウェアの開発”, 岐阜県生産情報技術研究所研究報告第3号, pp.1-8, 2002.