

CPG 型学習システムを用いた二足歩行ロボットの ZMP 理論による歩行動作の安定化制御

情報科学科 加藤 憲吾

指導教員：小林 邦和

1 はじめに

二足歩行ロボットが我々の生活空間に適応するためには、転倒しないような歩行制御の技術は必要不可欠である。本研究では、先行研究で用いられた CPG (Central Pattern Generator) 型学習システム [1] により歩行動作を獲得させた二足歩行ロボットに、ZMP (Zero Moment Point) 理論によるトルクの制御をすることで簡易的な歩行の安定化制御を行なう。この手法により、CPG モデル [2] によるヒトに近いリズムカルな歩行パターンを実現しつつ、安定した歩行動作を獲得させることを目指す。

2 歩行動作の安定化

ZMP[3] は、床反力の圧力中心であり、両足裏の床面に接触している点すべてを直線で囲んだ領域である支持多角形内に必ず存在するという特性を持つ。支持多角形外に重心投影点が存在する場合、その方向にモーメントが発生し、その物体はいずれ転倒してしまうが、両者が支持多角形内に存在する場合、モーメントが床反力によって打ち消されるため、物体は転倒しない。

トルクの制御は、出力値と目標値との偏差を操作量とする比例制御 (P 制御)、およびその偏差を微分した値を操作量とする微分制御 (D 制御) のそれぞれを組み合わせて行なう PD 制御 (Proportional Derivative Controller) を用いる。支持多角形の中心の x 軸座標を S 、二足歩行ロボットの重心の x 軸座標を Mg 、比例ゲイン $K_p = 1.0$ 、微分ゲイン $K_d = 0.05$ とすると、操作量 $X(t)$ は式 (1) のようになる。

$$X(t) = (S - Mg) + 0.05 \frac{d(S - Mg)}{dt} \quad (1)$$

右腿、右脛の絶対角度をそれぞれ θ_1, θ_2 、左腿、左脛の絶対角度をそれぞれ θ_4, θ_5 、比例ゲイン $K_p = 1.0$ 、微分ゲイン $K_d = 0.01$ として与えると、右膝関節の操作量 $R(t)$ 、左膝関節の操作量 $L(t)$ はそれぞれ式 (2)、(3) のようになる。

$$R(t) = (\theta_1 - \theta_2) + 0.01 \frac{d(\theta_1 - \theta_2)}{dt} \quad (2)$$

$$L(t) = (\theta_4 - \theta_5) + 0.01 \frac{d(\theta_4 - \theta_5)}{dt} \quad (3)$$

二足歩行ロボットの各関節に $X(t)$ を両腰・両足首、 $R(t)$ 、 $L(t)$ をそれぞれ右膝・左膝のトルクに加えることで制御を行なう。

3 計算機シミュレーション

計算機シミュレーションにおいて、学習した CPG パラメータの歩行安定化の制御なしと制御ありの比較を行なう。

表 1 二足歩行ロボットの部位サイズ・重量

	胴	大腿	下腿	足
縦 (m)	0.2	0.1	0.1	0.2
横 (m)	0.2	0.1	0.1	0.1
高さ (m)	0.7	0.3	0.3	0.1
重量 (kg)	4	0.4	0.32	0.1

表 2 CPG パラメータ

a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8
0.51	0.52	-0.02	0.80	0.33	-0.64	0.83	0.26

シミュレーションをする際に用いた二足歩行ロボットの各部位のサイズを表 1 に示す。表 2 のパラメータを二足歩行ロボットに適用し、それぞれ制御なし、制御ありの場合と分けて 10 秒間の計算機シミュレーションを行なった。

CPG の出力の 1 番目のニューロンである y_1 の値は図 1 のようになり、青色の曲線が制御あり、赤色の曲線が制御なしの出力を示す。

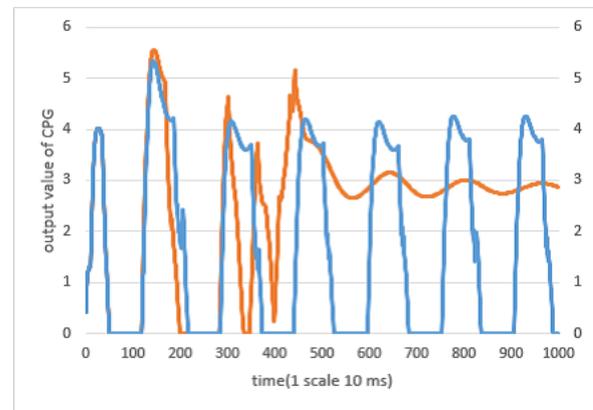


図 1 CPG の出力

表 3 歩行距離

	制御なし	制御あり
歩行距離 (m)	2.06	5.36
最終状態	転倒	歩行

4 まとめ

制御なしの場合、二足歩行ロボットは足の接触センサのみで体勢を考慮しているため、十分なフィードバックを得られずに途中で転倒してしまった。しかし、制御を加えることによって歩行可能な姿勢を維持し、その後は歩行動作を行なうことができた。また、図 1 より学習によって得られた周期的なりズム振動を損なわず、歩行の安定化制御ができていることが分かる。

参考文献

- [1] 松原 弘晃, 小林 邦和: "CPG 型学習システムを用いたヒューマノイドロボットの歩行動作の獲得", 愛知県立大学・情報科学部 卒業研究 (2014)
- [2] G. Taga, Y. Yamaguchi, and H. Shimizu, "Self-organized control of bipedal locomotion by neural oscillators in unpredictable environment," *Biol. Cybern.*, vol.65, pp.147-159, 1991.
- [3] M. Vukobratović and J. Stepanenko, "On the Stability of Anthropomorphic System," *Mathematical Biosciences*, Vol.15 pp.1-37, 1972.