

ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2017

北 川 克 也

Katsuya KITAGAWA

機械システム工学専攻修士課程 2年

1. はじめに

2017年5月10日から13日に福島のビッグパレットふくしまで開催された「ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017」に参加し、発表題目「馬型4脚歩行ロボットの CPG 設計」をポスターセッション形式で発表した。

2. 研究内容

2.1 研究背景

実際の4脚動物は、歩行速度に応じて歩容を使い分けている。馬においては、歩行時に消費される単位距離当たりのエネルギーを最小にするためとされている^[1]。そこで本研究では、馬の構造を模した4脚歩行ロボットを製作し、馬の歩容であるウォーク・トロット・バウンス・ギャロップを実現させ、各歩容での速度と消費エネルギーの関係を解明することを本研究の最終目的とし、研究を行っている。

これまで本研究で製作したロボットは、歩行は可能であるものの安定性が不十分であった。現在使用している脚先軌道は人間が手動で決定しており、これが、安定性が欠ける要因の1つであると考えられる。そこで、手動ではなくロボット自身に適した歩行動作を決めさせるために、CPG 制御による歩行動作の実現を目指すこととした。本報告では、開発中の4脚ロボット用の CPG の設計について述べる。

2.2 4脚ロボットの概要

本研究で用いている4脚ロボットを Fig. 1 (a) に示す。この4脚ロボットのリンク長は、実際の馬のリンク長比を参考に製作されている。前脚に2自

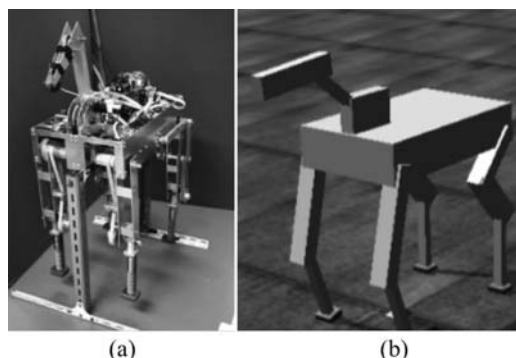


Fig. 1 Photograph and simulation model

由度、後脚に3自由度、首に1自由度を有しており、すべて DC モータによって駆動される。それらの自由度の回転軸は、すべて矢上面と垂直な方向である。すなわち、進行方向の前後にしか回転しない構造である。

センサはエンコーダとジャイロセンサ、傾斜角センサがあり、モータの現在角度と、胴体のロール方向、ピッチ方向の角加速度と角度を計測できるようになっている。

また、本研究のシミュレーションは、ODE (Open Dynamics Engine) を用いている。シミュレーション上の4脚ロボットを Fig. 1 (b) に示す。このモデルは、2.2 で説明した実際のロボットをもとに作成している。

2.3 CPG 制御について

CPG 制御は脊椎に備わっている生物の周期的な運動（歩行動作、羽ばたき、心臓の鼓動など）を生成し制御している神経回路 CPG (Central Pattern Generator) をロボットに適用させる歩行制御手法である。CPG の特徴として、CPG とロボットが相互に引き込みあうことでロボット自身に適した歩行動作を自律的に生成することができる。

この CPG は幾つもの神経振動子を任意に結合し構成することができる。神経振動子の最も代表的なモデルは松岡に提案された松岡振動子^[2]ある。この松岡振動子は、神経回路内で見られるニューロン間

の興奮と抑制のメカニズムをモデル化したものであり、以下の微分方程式で表すことができる。

$$\begin{aligned}\tau \dot{u}_e &= -u_e - wy_f - \beta v_e + u_0 \\ \tau \dot{u}_f &= -u_f - wy_e - \beta v_f + u_0 \\ \tau' \dot{v}_e &= -v_e + y_e \\ \tau' \dot{v}_f &= -v_f + y_f \\ y_i &= f(u_i) \quad (f(u_i) = \max(0, u_i)) \quad (i = e, f)\end{aligned}\quad (1)$$

ここで dot は時間微分を表す。また、 u_i はニューロン内部の状態変数、 v_i は疲労を表す状態変数、 y_i はニューロンの出力、 u_0 は外部からの入力、 w は結合係数をそれぞれ表す。 e, f は伸筋 (extensor) と屈筋 (flexor) を表す。

CPG はこの松岡振動子を複数結合させる必要があるため決めなければならないためパラメータが膨大になる。さらに、CPG とロボット間を結合し相互に引き込ませるためには多くのパラメータが必要になる。これらのパラメータを最適値に決める有効な手段として、機械学習や遺伝的アルゴリズムが用いられている。

2.4 4脚ロボット用 CPG の設計

Fig. 2 のように松岡振動子を結合し4脚ロボット用の CPG を構成した。 e の○が伸筋ニューロンで f の○が屈筋ニューロンを表しており、1つの関節に対して1つの松岡振動子がある。結合パターンについては、多賀氏の2脚ロボットに用いられている CPG を参考にしている^[1]。

同側の関節に適切な相対位相を生成させるために、膝関節、または足首関節の伸筋ニューロンが肩関節、または腰関節の屈筋ニューロンにより抑制・興奮されるように相互接続している。また、肩関節と腰関節を構成している松岡振動子の結合を任意に変更することで歩容 (トロット、ウォークなど) を変更させることができると考えている。

一つの関節の屈筋・伸筋ニューロンの出力から、その関節のトルクが得られ、トルクから4脚ロボットの運動方程式を用いて角度を算出し、ロボットに指令値として与えようと考えている。

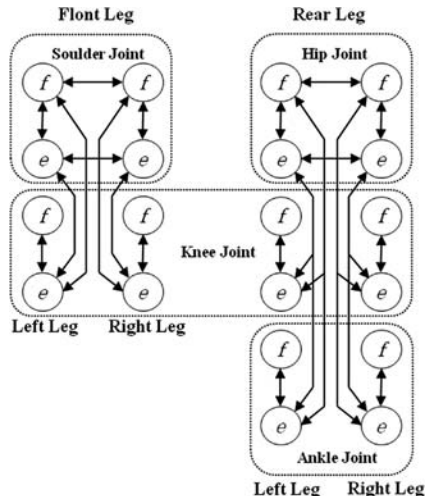


Fig. 2 CPG coupling pattern

また、外部からの入力 u_0 は四脚ロボットの脚先に付ける接地センサに反応があるときは正の定数とし、反応がないときは0としようと考えている。

3. おわりに

講演会のポスターセッションはポスター掲載が90分、コアタイムが45分と短い時間でしたが、様々な意見を聞くことができ勉強になった。また、他大学の研究に触れることで、新たな知見を得ることができた。今回の経験を今後の研究に生かしていこうと考える。

最後に、ポスター作成や発表にご指導いただいた渋谷恒司教授に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] Donald F. Hoyt and C. Richard Taylor, Gait and the energetic of locomotion in the horses, Nature, (1981)
- [2] K. Matsuoka, Sustained oscillations generated by mutually inhibiting neurons with adaptation, Biological Cybernetics, Vol.52, pp.367-376, (1985)
- [3] G. Taga, Y. Yamaguchi, and H. Shimizu, Self-organized control of bipedal locomotion by neural oscillators in unpredictable environment, Biological Cybernetics, Vol 65, pp.147-159, (1991)