

231 不整地移動を目的とした四脚式ロボットのCPGによる歩行制御

Walking Control Using CPG for a Four Legged Robot an Uneven Terrain

○ 神田 高輔 (宇都宮大学), 横塚 将志 (ソニーイーエムシーエス株式会社 長野テック), 正 横田 和隆 (宇都宮大学),
正尾崎 功一, 正山本 純雄

Kosuke KANDA Masasi YOKOZUKA Koichi OZAKI Kazutaka YOKOTA and Sumio YAMAMOTO

In recent years, CPG(Central Pattern Generator)modelled on animals is attracting attentions as a suitable control technique for legged robots. The CPG network is considered to be effective to make the legged robot capable of adjusting its gait on uneven terrain. However, the CPG network requires a number of parameters to be decided for application. In this paper we propose a CPG network for a four legged robot, constructed a simulator to try out various combinations of parameters to find a suitable set, and show that with a certain set of parameters the proposed CPG network successfully generated satisfactly gait for the four legged robot.

Key Words : CPG, neuron oscillator, walking control

1. 緒 言

現在まで多くの脚式ロボットの歩行制御に関する研究がなされてきている。その中で、生物の歩行を規範とした制御手法として注目されるCPG (Central Pattern Generator)を用いることで、多様な不整地への自律的適応が可能になると考えられている⁽¹⁾。しかし、CPGを用いた四脚式ロボットの制御は非常に多くのパラメータを決定しなくてはならない。そこで、本研究ではシミュレータを用いて歩行の解析を行い、シミュレータ上で歩行可能であることを確かめる。

2. CPG

CPGは神経振動子を複数組み合わせたものと定義されている。以下に神経振動子のモデルを示す⁽¹⁾。

$$\begin{aligned} \tau \dot{u}_{\{e,f\}i} &= -u_{\{e,f\}i} + w_{fe} v_{\{e,f\}i} - \beta v_{\{e,f\}i} + u_{0i} \\ &\quad + \text{Feed}_{\{e,f\}i} + \sum_{j=1}^n w_{ij} y_j \\ y_{\{e,f\}i} &= \max(0, u_{\{e,f\}i}) \end{aligned}$$

$$\tau' \dot{v}_{\{e,f\}i} = -v_{\{e,f\}i} + y_{\{e,f\}i}$$

$u_{\{e,f\}i}$, $v_{\{e,f\}i}$ は神経振動子の状態変数, $y_{\{e,f\}i}$ は出力, $\text{Feed}_{\{e,f\}i}$ は外部からの入力, u_{0i} は操作量を表す。 τ , τ' , β , w_{fe} はモデルのパラメータを表し, w_{fe} は神経振動子間の結合の強さを表すパラメータである。

CPGが n 個の神経振動子で構成されるとき, 決定しなければならないパラメータの数は最大 $n^2 + 4$, 最低 4 となる。脚式ロボットでは, 主に関節 1 つにつき神経振動子を 1 つ用いられてきた。1 脚 3 自由度の 4

脚式ロボットを例にとれば, 考慮しなければならないパラメータの数は最大 148 となる。実際には神経振動子間の結合は $1:n$ でなく, $1:2 \sim 1:4$ の間で決められることが多い。結合を $1:3$ として先の例を考えた場合, 考慮すべきパラメータは 40 となり依然として多い。

このため, 実機を用いたパラメータの調整は膨大な時間とコストがかかるため現実的ではない。そこで, パラメータの調整を短時間でを行い, 試行回数を増やすためにシミュレーションによる検討が有効である。

3. シミュレータ

CPGによる歩行制御は, 関節に対応した神経振動子の出力をトルクとしてロボットに入力することでを行い, 各関節の神経振動子に外部からの影響に応じて入力するトルクを変化させることで歩行を創発する。この制御をシミュレーションするには, CPGを用いたロボット・システムと環境からの力学的影響をシミュレーションする必要がある。ロボット・システムのシミュレーションはCPGモデルを実装することで実現でき, 環境からの力学的影響をシミュレーションするには, 脚式ロボットの運動方程式を解くことで実現できる。Fig.1にシミュレータの流れを擬似コードで示す。

本研究では, 四脚式ロボットの脚関節 1 つにつき神経振動子を用いて制御を行った。肩第一関節を制御する神経振動子を Fig.2 のように結合し, CPG ネットワークを構築した。1 つの関節に屈筋ニューロン u_f と伸筋ニューロン u_e をそれぞれ 1 つずつ含む。

```

begin
  各剛体の位置、姿勢の初期化、時間の初期化
  while do
    各剛体の位置、姿勢、速度、角速度の更新
    for (i, j)すべての剛体の組み合わせ do
      衝突判定 (剛体 i, 剛体 j)
      if 剛体 iと剛体 jが衝突している
        剛体 iと剛体 jの侵入量を計算する
        剛体 iと剛体 jにペナルティ法による力を加える
      for 拘束点を持つ剛体の組み合わせ do
        剛体間の拘束力を計算し、剛体に加える
      各剛体について制御による力を加える
      各剛体について運動方程式を解く
      各剛体について加速度、角加速度ベクトルを更新する
      現在の時間に1ステップ分の時間を加え更新する
    end
  end
  
```

Fig. 1 シミュレーションの流れ

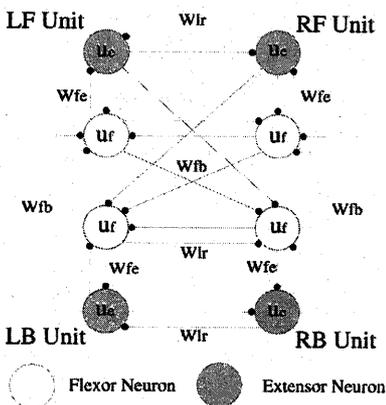


Fig. 2 CPG ネットワーク

4. 歩行解析

本研究では、筋骨格系の構成を SONY 製 4 脚式ロボット ERS-210 にあわせてシミュレーションを行った。Fig.3 に筋骨格系の構造を記す。Fig.4 に適当なパラメータで CPG を動作させた時の CPG ネットワークの出力を示す。CPG ネットワークの出力は、肩第一関節を制御する神経振動子の出力をプロットした。縦軸の出力の正負はそれぞれ脚のスイングの向きを表している。歩容のタイミングはグラフから分かるように、4 脚の運びが順に行われるように CPG ネットワークから創発され、ネットワークの出力を基準に歩行が行われた。更にシミュレータの出力データより、4 脚の軌跡を調べた所、この時ロボットはクローラ歩容で歩行を行ったことが分かった。

本研究で設計した制御系を実機に搭載する際のシステム構成図を Fig.5 に示す。実機では SONY から提供されているロボット・システムのインターフェイス、OPEN-R を用いてプログラムする。アプリケーション層がプログラマの作成部分であり、それより下が OPEN-R の層となる。ロボットの脚の各関節の角度をシステムのオブジェクトを通して、CPG 制御プログラムに送り、CPG の出力をモータを制御するオブジェ

クトへ、関節の目標角度を指令値として送信することにより制御する。シミュレーションの知見をもとに実機の制御を行うことを今後の課題とする。

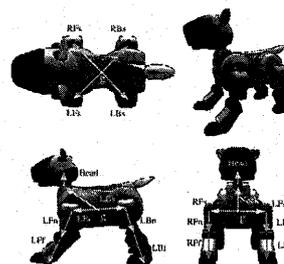


Fig. 3 ERS-210 のリンクベクトル

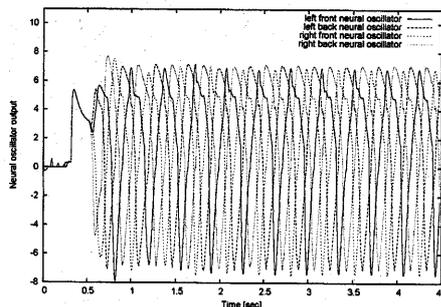


Fig. 4 CPG ネットワークの出力

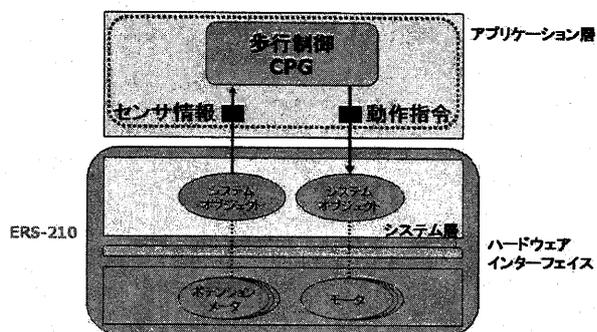


Fig. 5 実機のシステム構成

5. 結 言

本研究では、CPG を含む自律神経系による制御系を設計、実装したシミュレーションを行い、設計した制御系がシミュレータ上で歩行可能であることを示した。今後の展望としては、シミュレータ上で不整地を実現し、歩行可能な自律神経系を設計する。また、実機でシミュレーション結果の妥当性を検討する。

文 献

(1) K.Matsuoka, "Mechanisms of Frequency and Pattern Control in the Neural Rhythm Generator", Biol.Cybern, vol.56, (1987), 345-353