M-2

四足歩行パターンを生成する CPG モデルの歩留まり改善に対する一検討

A Study on Improvement of Yield CPG Model Generating a Quadruped Locomotion Pattern

○岩切達也[1]　佐伯勝敏[2]　佐々木芳樹[2]
*Tatsuya Iwakiri[1] Katsutoshi Saeki[2] Yoshiki Sasaki[2]

Abstract: Many investigators have used CPG (Central Pattern Generator) models in order to develop control adaptation in robots. Previously, we proposed a CPG model for low frequency quadruped locomotion that was controlled by interstitial cells. However, the yield of the integrated circuit is low. In this paper, we propose a CPG model that improve of yield. As a result, it is shown that IC chips have yield of over 80% in the quadric-phase synchronization using a Monte-Carlo method.

１．まえがき

動物の運動は脳からの信号を受け，屈筋・伸筋が収縮することにより行われるが，歩行運動のように無意識下で行う運動は，脳からの刺激を受けず，脊髄に存在する Central Pattern Generator(CPG)からの信号を受け運動をしていることが知られている．

先に我々は，生体のニューロン，シナプスを電子回路にてモデル化したパルス形ハードウェアニューロンモデル(以下 P-HNM と略す)，歩行制御に適した低周波を低容量で発振が可能な介在細胞集団を構築し，四足歩行パターンを生成する CPG モデルを提案した[1]．しかし，提案したモデルは電流の微調整が必要であり，チップ化を行う際に素子ばらつきの影響を受け，歩留まりの低下が問題となっている．

本稿では，CPG モデルの歩留まり改善を行うため，従来のモデルとは異なる位相制御方式を用いた新たな CPG モデルを提案する．

２．パルス形ハードウェアニューロンモデル

図 1 に P-HNM の回路図を示す．P-HNM は細胞体モデルとシナプスモデルから構成される．細胞体モデルは細胞体の発火現象を電子回路で模したものであり，電源 V_A のみで発振する自励振モードと外部からの電流供給を受け発振する他励振モードが存在する．シプスモデルは時空間的加算特性を積分回路で表し，V_{INT} により時定数を変更することができる．また，他の細胞体に電流を供給する興奮性，他の細胞体から電流を引き抜く抑制性を有する．

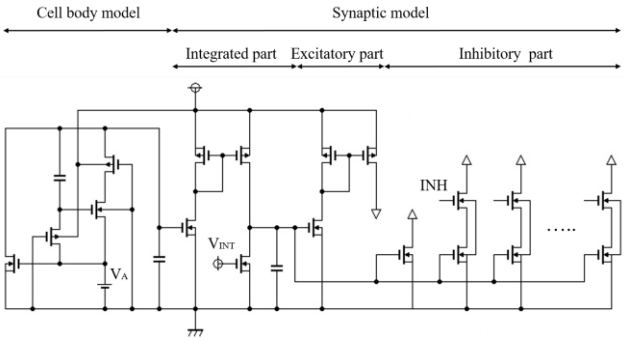

図 1　P-HNM

３．介在細胞集団

図 2 に介在細胞集団の概略図を示す．同図は，集積化が容易な低容量のみで，歩行制御に適した数 Hz での発振が可能な構成である．図中，Self は自励振モードの P-HNM を，$S_{1\sim N}$ は他励振モードの P-HNM を示している．

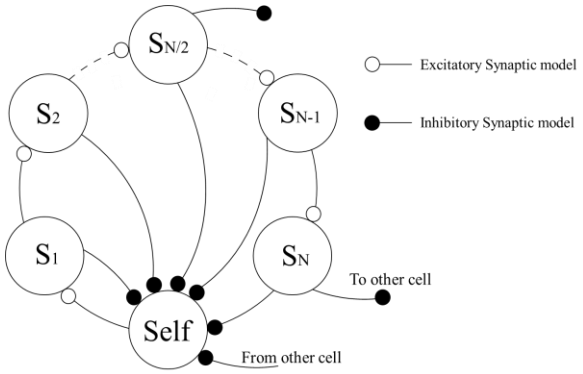

図 2　介在細胞集団

介在細胞集団はまず，自励振である Self が発振し，他励振である S_1 へ電流を供給し，S_1 が発振する．S_1 が発振すると，S_2 へ電流を供給し，S_2 が発振する．これを繰り返し S_N まで発振する．Self は $S_{1\sim N}$ から抑制性結合されているため，$S_{1\sim N}$ が発振している間，発振せず，S_1 への電流供給が停止する．そのため，S_1 は停止し，S_2 への電流供給も停止する．同様に S_N まで停止し，Self への電流引き抜きが停止し，初期状態へと戻る．

図 3 に介在細胞集団各段の出力波形を示す．同図は，初段から最終段にかけてパルス幅が増加することを示している．

１：日大理工・学部・電子，２：日大理工・教員・電子

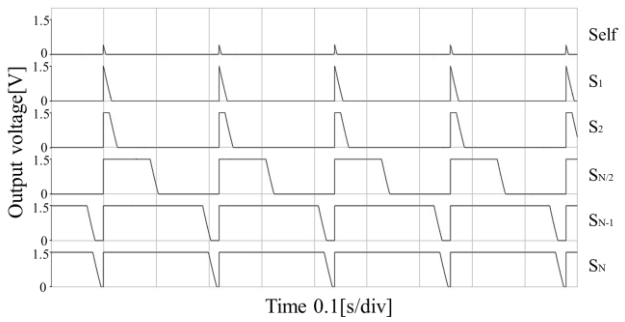

図 3 介在細胞集団出力波形

４．ＣＰＧモデル

図 4 に四足歩行動物の代表的な歩行パターンを示す．図中，F，H，L，R はそれぞれ，Fore，Hind，Left，Right を示す．四足歩行動物の歩行パターンは，各脚の位相差によって定義付けられ，四相同期(walk，gallop)と呼ばれる各肢位相差が 90°になるパターンと二相同期(trot，pace，bound)と呼ばれる各肢位相差が 180°となるパターンを有する．

図 5 に構成した CPG モデルの概略図を示す．　図中白丸は介在細胞集団を示し，各介在細胞集団の抑制性結合により構成している．二つの介在細胞集団を，双方向に抑制する相互抑制を行うと交互に発振を行い，四つの介在細胞集団を，環状かつ片方向に抑制する環状抑制を行うと結合方向順に発振を行う．CPG モデルは抑制性結合パターンを変化させることにより，各歩行パターンが出力可能である．

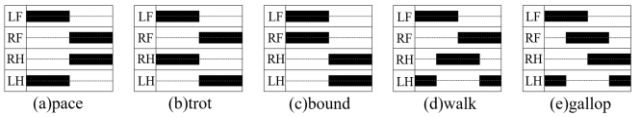

図 4　四足歩行動物の歩行パターン

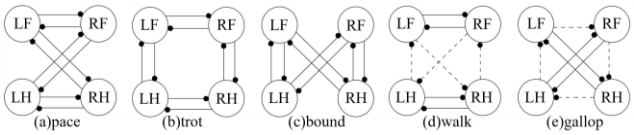

図 5　CPG モデルの各肢結合構成

従来のモデルはシナプス結合荷重値により位相制御を行うモデルで，INH 端子電圧により抑制電流を調整し，位相制御を行っている．しかし，チップ化を行った際に素子ばらつきの影響が，抑制電流値にばらつきを与え，結果として各肢位相差に大きな誤差が生じる．これが歩留まり低下を引き起こす原因であるため，新たな位相制御方式を提案する．

今回提案するモデルは，介在細胞集団中段から抑制性結合させることにより位相制御を行うモデルである．四相同期波形の各肢位相差は 90°であるため，図中破線で示す環状抑制を，介在細胞集団の $S_{N/2}$ から抑制を行い 90°の位相差を生成している．この抑制方式は結合先の P-HNM の発振を抑制できる電流量以上を引き込めばよいため，従来のモデルで問題となっていた電流調整は必要ない．したがって，素子ばらつきの影響を受けにくい構成となっている．

図 6 に，一例として歩行状態 gallop の出力波形を示す．同図より，四相同期波形が出力可能であることを示している．

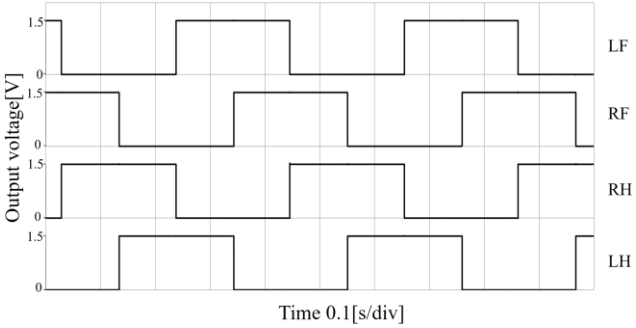

図 6　歩行状態 gallop の出力波形

表 1 に HSPICE を用いてシナプスモデルを構成する MOSFET のゲート長，幅に±10nm のばらつきを与えモンテカルロ解析を行い，歩留まり率を算出した結果を示す．同表より，今回提案するモデルは，四相同期状態において 80%以上改善することを示している．

表 1　CPG モデルの歩留まり率

	pace	trot	bound	walk	gallop
従来のモデル[%]	94.0	97.8	96.6	1.8	1.4
提案するモデル[%]	91.4	93.2	92.0	86.4	89.2

５．まとめ

今回，介在細胞集団中段から抑制性結合を行う位相制御方式を用いることで，四足歩行パターンを生成する CPG モデルの歩留まり改善を行い，四相同期状態において，従来のモデルより 80%以上歩留まりが改善することを明らかにした．

今後は，環境の変化に対応できるよう，CPG の感覚情報処理について検討を行うため，ロボットにセンサーを搭載し，フィードバック制御を行う予定である．

６．参考文献

[1]　建部達弥，佐伯勝敏，関根好文：「四足歩行運動の遊脚・接地パターンの生成・移行を行う ANN に対する検討」，知能システムシンポジウム，Vol.38，pp.345-348，2010.