

## マイクロロボットのための受容細胞モデルを用いた動体検知の検討

## A Study on Motion Detection Using Receptor Cell Model for Microrobots

○関山晃生<sup>1</sup>, LYU SHUXIN<sup>2</sup>, 齊藤健<sup>3</sup>\*Kosei Sekiyama<sup>1</sup>, Shuxin Lyu<sup>2</sup>, Ken Saito<sup>3</sup>

Abstract: The authors study neuromorphic chips for controlling microrobots that mimic insects. Previously, microrobots equipped with neuromorphic chips were not equipped with sensors to recognize the external environment and could not act in response to the external environment. Therefore, we have developed a receptor cell model that mimics the function of a receptor cell in living organisms using analog electronic circuits. In this paper, we designed and simulated a motion detection circuit using the receptor cell model. The simulation results show that the designed motion detection circuit can detect the direction of motion of a moving object.

## 1. はじめに

近年、マイクロロボットは災害現場など、人や大型ロボットの侵入が困難な狭い空間での活躍が期待されている。マイクロロボットの研究では、昆虫の機能や機構を模倣する手法が多くみられる。しかし、現在のロボットの制御手法は、生物の情報処理機構とは異なるプログラミングによるデジタル制御が主流である。そこで、ロボットの制御手法についても生物の神経系の機能を模倣する研究に関心が寄せられている。

我々は、ニューロモルフィックチップをマイクロロボットの制御に応用する研究を行っている。先に我々は、生物の中枢パターン生成器の機能を模倣したニューロモルフィックチップをマイクロロボットへ駆動回路として搭載し、歩行実験に成功した。しかし、開発したマイクロロボットは外部環境を認知するセンサが非搭載であった。そこで、我々は生物の受容細胞の機能をアナログ電子回路で模倣した受容細胞モデルを開発した<sup>[1]</sup>。

本論文では、受容細胞モデルを用いて動体検知回路を設計し、HSPICEによるシミュレーションを行ったので報告する。受容細胞モデルを用いた動体検知回路は、昆虫の動体検知モデルである相関型運動検出器を参考にした。また、本論文における動体は光体とする。

## 2. 相関型運動検出器

相関型運動検出器は、昆虫の視覚システムをもとにした動体検知モデルである。Figure 1に相関型運動検出器のモデル図を示す。動作原理は、2つの隣接する光受容体からの信号を比較することで動体の運動方向を選好的に検知する。Figure 1に示すように、光刺激が左から右に移動する際、最初に左の光受容体によって感知され、時間遅延要素により信号が遅延される。光刺

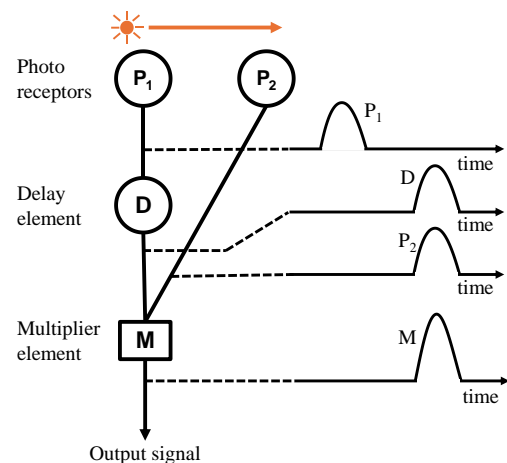


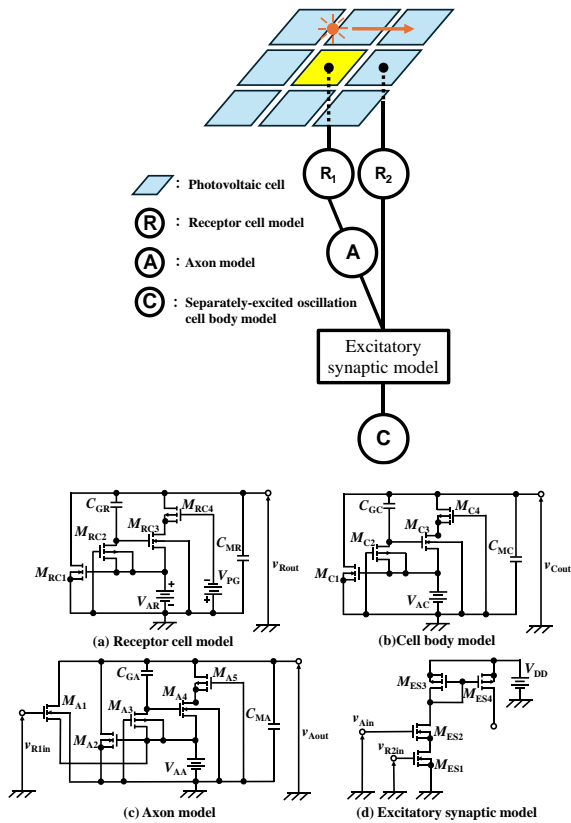
Figure 1. Model diagram of correlated motion detector

激が右の光受容体に伝わる時間と遅延時間が等しい場合、信号が乗算され、強い出力が生成される。対して光刺激が右から左に移動する際は、二つの受容細胞の遅れ信号と遅れなし信号は同期しないため、検出器は信号を出力しない。

## 3. 受容細胞モデルを用いた動体検知回路

Figure 2に今回開発した受容細胞モデルを用いた動体検知回路の概略図と構成要素を示す。受容細胞モデルを用いた動体検知回路はフォトセルを接続した受容細胞モデル、軸索モデル、興奮性シナプスモデル、他励振動細胞体モデルから構成した。フォトセルはFigure 2の概略図に示すように3×3の2次元アレイ状に配置することを想定している。中央のフォトセルを接続した受容細胞モデルの出力にのみ軸索モデルを接続し、周囲のフォトセルを接続した受容細胞モデルの出力は直接興奮性シナプスモデルに入力する。軸索モデルは8個連結することで、受容細胞モデルの出力を遅

1: 日大理工・院(前)・精機 2: 日大理工・院(後)・精機 3: 日大理工・教員・精機

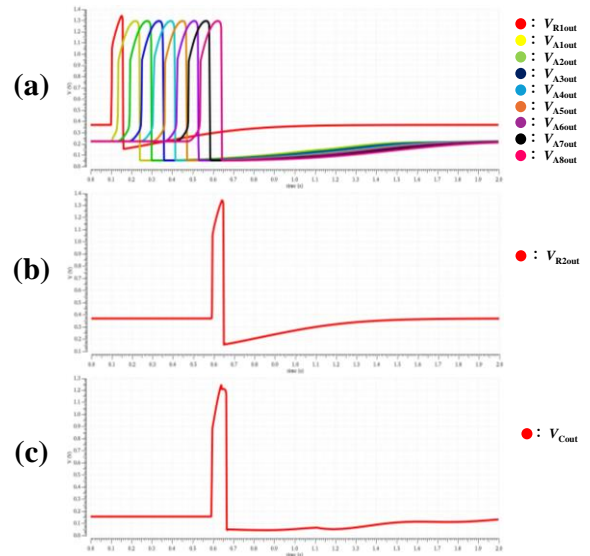


**Figure 2.** Schematic diagram and components of a motion detection circuit using a receptor cell model

延させた. 二つの隣接する受容細胞モデルの遅れ信号と遅れなし信号が興奮性シナプスモデルの二つの入力部に同時に入力された時, 他励振動細胞体モデルが発火する仕組みとなっており, 動物の8つの運動方向の検知が可能となる想定である.

#### 4. シミュレーション結果

HSPICE を用いて受容細胞モデルを用いた動物検知回路のシミュレーションを行った. 回路定数を以下に示す. 他励振動細胞体モデル:  $M_{C1} = W/L = 3.0\mu\text{m}/10\mu\text{m}$ ,  $M_{C2} = 1.2\mu\text{m}/10\mu\text{m}$ ,  $M_{C3} = M_{C4} = 10\mu\text{m}/1.2\mu\text{m}$ ,  $C_{GC} = 3.0\mu\text{F}$ ,  $C_{MC} = 10\text{nF}$ ,  $V_{AC} = 2.2\text{V}$  とした. 受容細胞モデル:  $M_{RC1} = W/L = 3\mu\text{m}/10\mu\text{m}$ ,  $M_{RC2} = 1.2\mu\text{m}/10\mu\text{m}$ ,  $M_{RC3} = 10\mu\text{m}/1.2\mu\text{m}$ ,  $M_{RC4} = 27\mu\text{m}/11\mu\text{m}$ ,  $C_{GR} = 3.0\text{nF}$ ,  $C_{MR} = 10\text{nF}$ ,  $V_{AR} = 3.0\text{V}$  とした. 軸索モデル:  $M_{C1} = W/L = 10\mu\text{m}/10\mu\text{m}$ ,  $M_{C2} = 3.0\mu\text{m}/10\mu\text{m}$ ,  $M_{C3} = 1.2\mu\text{m}/10\mu\text{m}$ ,  $M_{C4} = M_{C5} = 10\mu\text{m}/1.2\mu\text{m}$ ,  $C_{GC} = 3.0\mu\text{F}$ ,  $C_{MC} = 10\text{nF}$ ,  $V_{AC} = 2.3\text{V}$  とした. 興奮性シナプスモデル:  $M_{ES1} = M_{ES2} = M_{ES3} = M_{ES4} = W/L = 15\mu\text{m}/10\mu\text{m}$ ,  $V_{DD} = 3.0\text{V}$  とした. Figure 3(a)に受容細胞モデル( $R_1$ )と各軸索モデルの出力波形を, Figure 3(b)に遅延なしの受容細胞モデル( $R_2$ )の出力波形を, Figure 3(c)に他励振動細胞体モデルの出力



**Figure 3.** (a) Output waveforms for Receptor cell model ( $R_1$ ) and each axon model. (b) Output waveforms for Receptor cell model ( $R_2$ ). (c) Output waveforms for cell body model.

波形を示す. シミュレーションの結果より, 動物の運動方向の検知が可能であることを確認した.

#### 5. まとめ

本論文では, 相関型運動検出器を参考に受容細胞モデルを用いて動物検知回路を設計し, シミュレーションを行った. シミュレーションの結果, 動物検知回路は動物の運動方向を検知可能であることを確認した.

#### 謝辞

本研究は, 令和2年度日本大学学術研究助成金総合研究, および令和4年度日本大学特別研究の助成を受けたものである. 本研究は d.lab(旧 VDEC)を通して, 日本シノプシス合同会社, 日本ケイデンス・デザイン・システム社, シーメンス EAD ジャパン株式会社の共同でおこなわれました.

#### 6. 参考文献

[1] K. Morishita, S. Kato, Y. Takei, K. Saito, "Development of Receptor Cell Model with Oscillation Frequency-Dependent on Sensor Input Intensity", The papers of technical meeting on electronic circuits, IEEE Japan, vol 142, no.1, pp.33-39, 2022.