

# アナログ-デジタル混載型 CMOS 回路による二次元動き検出

An Analog-Digital Hybrid CMOS Circuits for Two-dimensional Motion Detection

幸谷 真人, 浅井 哲也, 雨宮 好仁

Koutani Masato, Asai Tetsuya, and Amemiya Yoshihito

北海道大学 工学部

Department of Electrical Engineering, Hokkaido University

## 1. はじめに

視覚対象の動きの検出は、高次視覚情報処理システムにとって極めて重要である [1],[2]。本稿では、昆虫の動き検出機構に学んだコンパクトかつ実用的な「二次元動き検出チップ」のアーキテクチャを提案し、SPICEにより回路の基本動作を確認する。

## 2. アナログ-デジタル混載型動き検出回路

提案する動き検出回路は「二値化回路」「XOR 回路」、および「相関回路」から構成される。二値化回路は、入射光の光強度を平均光強度に応じた閾値で二値化する（ノイズ除去）。XOR 回路は、二値化された隣接二画素間の排他的論理和を計算する（エッジ検出）。相関回路は、エッジ移動に伴う画素間の局所速度を計算する。二値化回路と XOR 回路は、アナログ電流モードで動作する相関回路と容易に接続できるように、電流モードで動作する非同期デジタル回路として設計されている。

二値化回路を図 1 に示す。光電流が、閾電流 ( $I_{th}$ ) より大きくなると、 $M_a$  のゲート電位が高くなり、 $I_{sat}$  で制限された定電流が出力される ( $I_{out} = I_{sat}$ )。一方、光電流が  $I_{th}$  より小さい場合、 $M_a$  のゲート電位が低くなり、出力電流は得られない ( $I_{out} = 0$ )。

XOR 回路を図 2 に示す。XOR 回路は、隣接する二つの二値化回路から入力を受ける ( $I_{inA}, I_{inB}$ )。二つの入力が等しいとき ( $I_{inA} = I_{inB} = 0$  または  $I_{inA} = I_{inB} = I_{sat}$ )、XOR 回路の出力電流は零になる。二つの入力が異なるとき ( $I_{inA} = 0, I_{inB} = I_{sat}$  または  $I_{inA} = I_{sat}, I_{inB} = 0$ )、回路の出力電流は  $I_{sat}$  になる。

昆虫の動き検出機構に学んだ「相関型動き検出モデル」および、それに相当する相関回路を図 3 と 4 に示す。相関回路は、 $M1 \sim M5$  による単利得アンプ、 $M6$  と  $M7$  によるソースフォロア型アンプから構成される。単利得アンプは動き検出モデルにおける相関細胞に相当し（積演算）、ソースフォロア型アンプは遅延細胞に相当する。遅延信号 ( $D_{out1}$ ) はソースフォロア型アンプのミラー効果により生ずるため、遅延の時定数は  $V_{in1}$  により外部から制御できる。相関回路の出力は、隣接する相関回路の遅延信号と自分自身への入力の積である。したがって、視覚対象が  $PD_1 \rightarrow PD_2$  の方向へ移動したときのみ相関出力が得られる。視覚対象の速度は相関出力が出ている時間に反比例するため、相関出力を時間積分することにより速度量を検出できる。

## 3. SPICE シミュレーション結果

図 5 に、動き検出回路の過渡応答を示す。視覚対象が等速度で受光器上を通過したことを仮定して、図 5(a), (b) に示すような入力を回路に与えた。図 5(c) と (d) に、遅延信号と相関回路の出力を示す。相関回路の出力が入力 [図 5(b)] と遅延信号 [図 5(c)] の積として得られることを確認した。

図 6 に、一次元動き検出回路を直交配置した「二次元動き検出回路」のシミュレーション結果を示す。視覚対象が 0 度方向と 45 度方向に動くことを想定し [図 6(a), (b)]、それらの動きに対する動き検出回路の出力を調べた [図 6(c),

(d)]。図 6(c) 中の白矢印（局所速度）は、視覚対象が 0 度方向に動いたときに相関回路 (CC1) が検出した速度量 ( $v_0$ ) を、図中の二点間の距離で規格化したものである。視覚対象が 45 度方向に動いた場合 [図 6(d)]、相関回路 (CC2, CC3) が検出した速度量はともに  $v_0$  の約 0.7 倍となり、45 度方向の動きが検出できることが確認できた。

## 4. まとめ

一次元および二次元動き検出回路を提案し、SPICE シミュレーションにより基本動作を確認した。提案した回路は、構成が比較的コンパクトであり、消費電力が少ない。また、相関回路の出力が電圧であるため、後段に続く変換回路の実装が容易である。今後は、回路の試作とあわせて、広域的な動き情報を検出する電子回路への拡張を行う予定である。

## 参考文献

- [1] 永野 俊 他, 視覚系の情報処理. 啓学出版, pp. 60-78, 1993.
- [2] W. Reichardt, *Principles of Sensory Communication*. Wiley, New York, 1961.

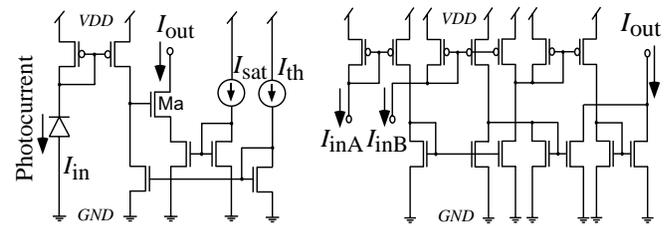


Fig.1 Current-mode binary circuit Fig.2 Current-mode XOR circuit

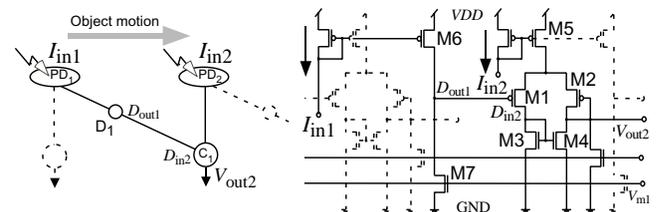


Fig.3 One-dimensional correlative model for motion-detection Fig.4 One-dimensional correlative analog circuit

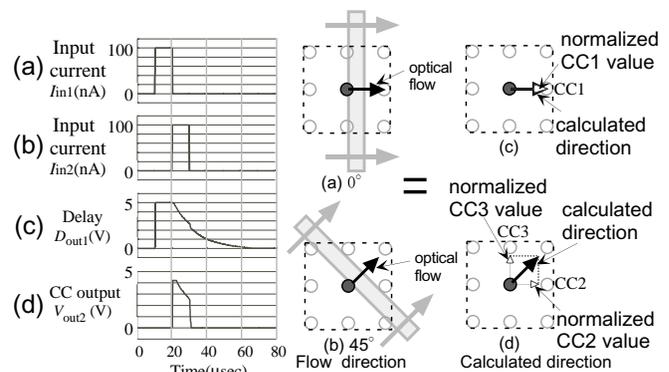


Fig.5 Transient response of the CC network Fig.6 Flow-direction & calculated direction