

生体の視覚系に学んだ実時間動画画像処理チップ

A Chip for Processing Moving Image in Real Time Based on Biological Vision System

研究代表者 米子工業高等専門学校電気情報工学科 講師 西 尾 公 裕

[研究の目的]

監視カメラや防犯システムなどにおいて、動画画像を実時間で処理することは必要不可欠である。現在の画像処理システムは、主に Charge Coupled Device (CCD) カメラと逐次処理型コンピュータにより構成されている。このシステムでは、直列演算により情報を処理するため、膨大な時間を必要とし、動画画像処理の実現は難しいとされている。一方で、生体の視覚系は、個々の細胞が並列に処理することで高速処理するため、実時間での画像処理を容易に行うことができる。

本研究は、生体の視覚系に学ぶことで、超コンパクトな実時間動画画像処理チップを実現することを目的としている。このようなチップが実現すれば、ロボットビジョン、視覚障害者のための視覚代行装置、移動体の衝突防止システムなどへの応用が期待され、我々人の生活にとって極めて役に立つと考えられる。

[研究の内容、成果]

網膜の動き検出モデル

本研究では、網膜の動き検出モデルに学んで、電子回路を構築した。生体の網膜は、主に外網膜と内網膜に分けられる。外網膜は入

力画像のエッジの位置を検出する。内網膜にあるアマクリン細胞は、外網膜で生成されたエッジ信号を用いて、動き情報を生成するとされている。

図 1 に、網膜に学んだ動き検出モデルの時間応答を示す。このモデルでは、エッジ信号 V_{e1} が生成される。また、信号 V_{e1} から信号 V_{e2} を生成する。このとき、 V_{e2} は V_{e1} に対して時間 t_d の遅れを持つ。出力信号 V_{out} は V_{e1} と V_{e2} との和になるため、正と負のパルスが出力される。 V_{out} は、エッジが受光部の上に移動する瞬間に正のパルスを示し、離れた瞬間に負のパルスを示すため、これらのパルス信号が動き信号になる。

電子回路化

図 1 の応答を基に考案した Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) 電子回路を図 2(a)に示す。回路の入力にはフォトダイオード(PD)を用いた。エッジ検出回路はアナログ回路で構成されており、シンプルな構成になっている。動き検出回路はディジタル回路で構成されており、素子間のばらつきによる回路の誤動作を改善している。

エッジ検出回路は、PD 上に投影された画像のエッジ信号 V_{e1} および V_{e2} を出力する。このとき、 V_{e2} はキャパシタ C_d により遅れが生じる。

V_{e1} および V_{e2} は、動き検出回路に入力され、NOT 回路によりデジタル信号に変換されて XOR 演算される。これにより回路の出力電圧 V_{out} は C_d による遅れ時間分のパルス幅を持った信号となる。この信号は、PD 上に画像が投影された瞬間と、離れる瞬間に出力されるため、画像のエッジの動きを示す信号となる。なお、パルス電圧を生成する時間 t_d が、この回路の処理時間になる。時間 t_d は、 C_d に依存する。

考案した動き検出回路は、2 つの NOT 回路と 1 つの XOR 回路で構成されている。図 2 (b) および(c)に各回路の回路図を示す。NOT 回路は 2 個の MOS トランジスタで構成でき、XOR 回路は 6 個の MOS トランジスタで実現できる。よって、動き検出回路は 8 個の MOS トランジスタで構成することができ、これまでに考案されているアナログ回路とほぼ同じ素子数となる。これにより、考案した回路は少ない素子数でありながら確実に動作することができる。

考案した回路の一次元配列は移動する物体の速度を検出することが可能である。一次元配列した単位回路上を物体が通過するとき、パルス信号を単位時間でカウントすることにより、物体の速度を検出できる。また、相関型動き検出モデルに学んだ機能を追加することで、物体の移動方向を検出することも可能になる。

考案した回路の評価

まず、電子回路シミュレータ (SPICE) により、図2の単位回路を評価した。電源電圧 V_{DD} を 3 V とし、キャパシタ C_d を 1 pF として与えた。シミュレーションには、1.2 μm CMOS プロセスを想定したモデルパラメータを与えた。

図3(a)に入力電流 I_{in} を示す。時間 $t=4$ msec のときに、PD 上に画像が投影されると仮定して I_{in} を与えた。図3(b)に出力電圧 V_{out} を示す。 I_{in} (エッジ) の立ち上がり、 V_{out} は電源電圧 V_{DD} を示した。考案した回路は、図1に示した網膜の動き信号と同等の電圧 V_{out} を生成すること

がわかった。

考案した電子回路が正常に動作することを確認するために、テスト回路を作製して、測定を行った。PD 上に光を照射し、出力電圧をオシロスコープにより観測した。電源電圧 V_{DD} は 5 V とした。

図4に測定結果を示す。PD 上に光を照射したときに、電圧 V_{e2} は V_{DD} を示した。回路の出力電圧 V_{out} は、PD に光を照射した瞬間と、離れた瞬間にパルス信号を示した。以上より、考案した回路は正常に動作することが確認された。

応用システムの作製

本研究では、テスト回路を前処理とする基本的な応用システムを作製した。まず、防犯システムの模型を構築した。このシステムでは、考案した回路をコンピュータと接続している。考案した回路を前処理に用いることで、高速な動き検出が可能となり、回路の出力信号をコンピュータで処理することで、様々な機能を付加することができる。防犯システムの模型の概観を図 5 に示す。この模型では、室内へ侵入しようとする侵入者に対して警告を行う場合を想定している。回路が侵入者の動きを検出し、ロボットが動作し、スピーカから警告音が発せられ、掲示板に警告文が表示されることが確認された。

ロボットビジョンなどでは、対象物体を追跡することが求められている。考案した回路の一次元ネットワークを前処理とする物体追跡システムを構築した。一次元ネットワークは、物体の速度と方向を検出できるように設計された。右方向および左方向を示すそれぞれの信号を直流モータに与えることで、対象物を追跡させるようにした。直流モータの回転数を制御するために、速度信号を与えた。作製した物体追跡システムを図 6 に示す。受光部中心の PD を手で覆って光を遮り、手を左から右方向へ移動させた。受光部は常に光が遮られる位置に移動した。この結果、物体

追跡システムが手の動きに追従することが確認された。

本研究で構築した電子回路は非常にシンプルな構造であった。この回路を用いることで、物体の接近を検出するネットワーク、背景の動き情報を生成せずにターゲットのみの動き情報を生成するネットワークなどの素子数を低減することができることもわかった。

[今後の研究の方向、課題]

本研究では、比較的素子数が少なく、正常に動作する動き検出回路を構築することができた。これにより、実時間で動画像を処理するシンプルなシステムを実現することが可能になると考えられる。しかし、このような回路の応用例は、未だに乏しいように感じられる。本研究では、応用例として基本的なシステムを構築してきたが、模型の作製しかできなかった。防犯システムにおいては、模型ではなく、実際の家屋などでの検証を行う必要があると考えられる。また、その他にも、本電子回路は自動速度取締り装置などにも適用できると考えており、実際に自動車の速度などが検知することができるかなどの検証が今後必要になると考えられる。

本研究で設計した回路は、今後移動体に組み込むことができるように改良していく必要があると考えられる。これにより、自動の車いすなどへの適用やロボットへの導入も可能になると考えており、今後このような研究を行う予定である。

[成果の発表、論文等]

1) 松坂建治, 佐々木慎吾, 西尾公裕 : 網膜の情報処理に学んだ動き検出機能の電子回路化, 平成 19 年電気学会全国大会 講演論文集 エレクトロニクス/情報工学システム/センサ・マイクロマシン, pp. 12-13 (2007).

本助成研究の成果は、今後関連する国際会議や論文投稿によって発表する予定である。

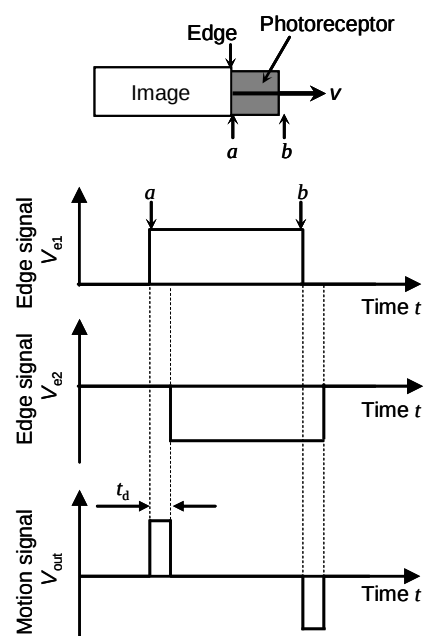


図1 網膜に学んだ動き検出モデルの時間応答.

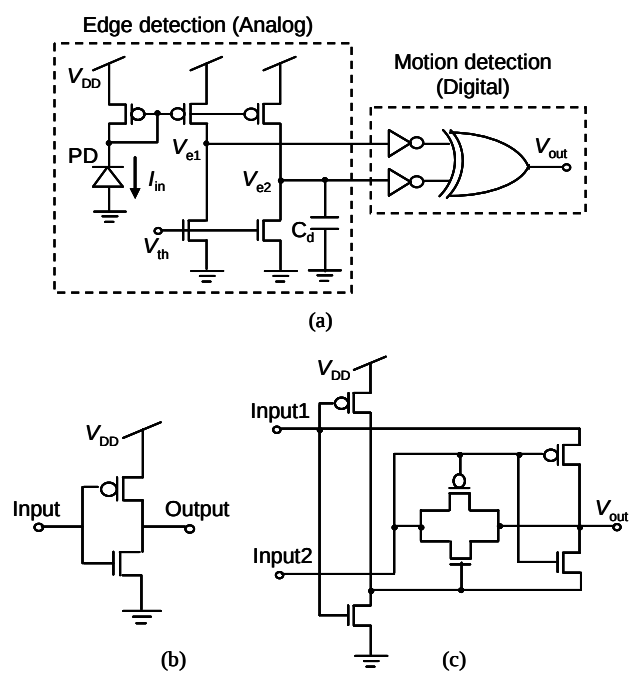
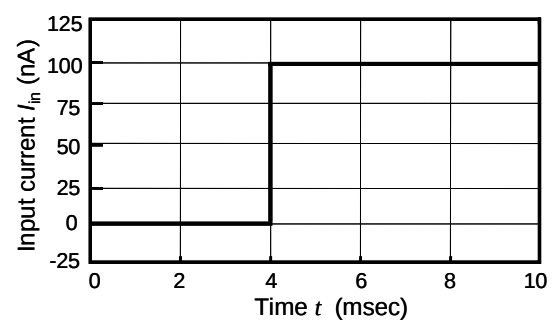
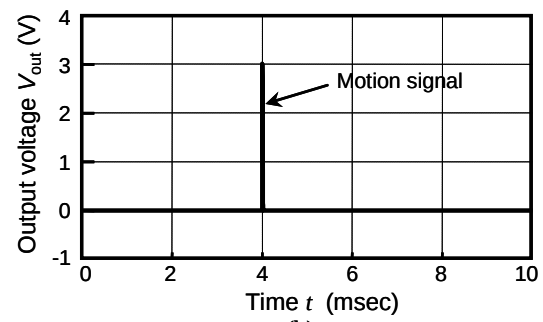


図2 動き検出回路. (a) 単位回路. (b) NOT回路. (c) XOR回路.



(a)



(b)

図3 シミュレーション結果. (a) 入力電流. (b) 出力電圧.

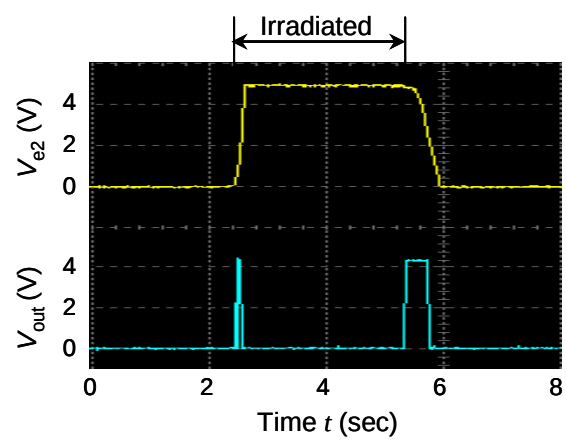


図4 動き検出回路の測定結果.

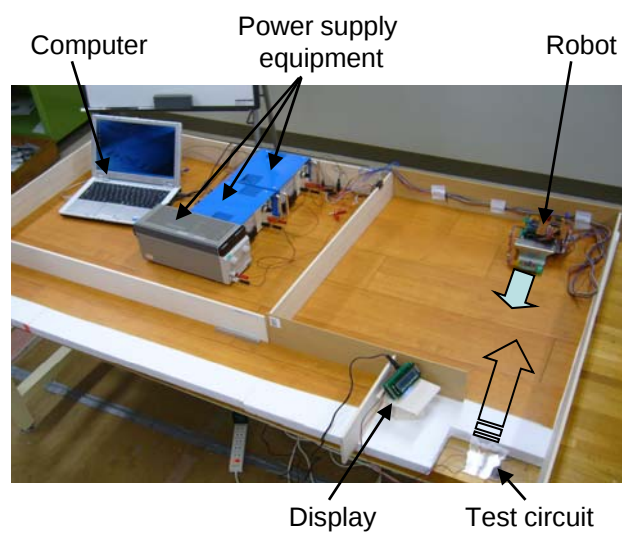


図5 防犯システムの模型.

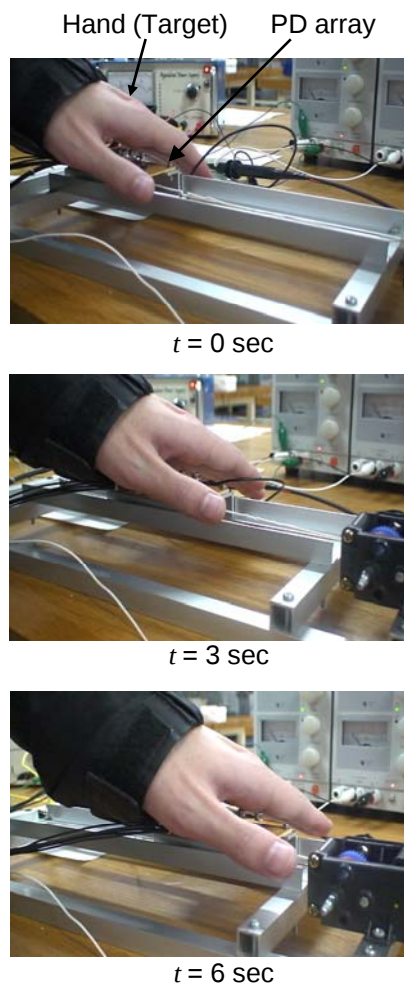


図6 対象物追跡システム.