

興奮性信号の空間的伝播遅延を用いた任意方向動体 検出イメージセンサアーキテクチャ(高機能イメー ジセンサ)

著者	Akita Junichi, Takayasu Misako, Takayasu Hideki, Koizumi Amane
雑誌名	映像情報メディア学会技術報告
巻	26
号	42
ページ	23-26
発行年	2002-06-21
URL	http://hdl.handle.net/2297/3532

興奮性信号の空間的伝播遅延を用いた 任意方向動体検出イメージセンサアーキテクチャ

秋田純一¹ 高安美佐子¹ 高安秀樹² 小泉周³

¹ 公立はこだて未来大学システム情報科学部 〒 041-8655 北海道函館市亀田中野町 116-2

² ソニーコンピュータサイエンス研究所 〒 141-0022 東京都品川区東五反田 3-14-13

³ 慶応大学医学部生理学教室 〒 160-8582 東京都新宿区信濃町 35

E-mail: ¹{akita,takayasu}@fun.ac.jp, ²takayasu@csl.sony.co.jp, ³amane@physiol.med.keio.ac.jp

あらましイメージセンサ上に情報処理機能の一部をとりこむ VisionChip が広く研究されているが、ロボットビジョンなどで必要な画像の「意味」を抽出しようとするものはほとんどない。本稿では、画像の「意味」を出力とするイメージセンサとして、画像中の動く輝点の速度と方向を出力とするイメージセンサのための新規アーキテクチャの提案とその基礎的な検討を行なう。この輝点の方向検出の際に、画素を格子状に並べる通常の構成で問題となる方向の特異性を解消し、任意方向の検出が可能となるアーキテクチャの提案とその基礎的な検討を行なう。

キーワード Vision Chip・動き検出・興奮性信号・任意方向検出・無作為配置

Image Sensor Architecture for Arbitrarily Directional Motion Detection Using Spacial Propagation Delay of Excitement Signal

Junichi AKITA¹ Misako TAKAYASU¹ Hideki TAKAYASU² Amane KOIZUMI³

¹ Future University-Hakodate 116-2 Kamedanakano, Hakodate, Hokkaido, 041-8655 Japan

² Sony Computer Science Laboratories, Inc. 3-14-13 Higashigotanda, Shinagawa, Tokyo, 141-0022 Japan

³ Keio University 35 Shinanomachi, Shinjuku, Tokyo, 160-8582 Japan

E-mail: ¹{akita,takayasu}@fun.ac.jp, ²takayasu@csl.sony.co.jp, ³amane@physiol.med.keio.ac.jp

Abstract The integration of signal processing circuit in imase sensor, so called 'Vision Chip' is widely studied, but most of them don't aim at extracting image's meaning, which is often useful for the application of robot vision. In this paper, we propose a novel architecture for image sensor detecting the speed and the direction of moving point on focal plain. This architecture has an possibility to solve the direction dependency problem derived from matrix placement of pixels, and we consider a basic architecture for arbitrarily directional motion detection.

Keyword Vision Chip, Motion Detection, Excitement Signal, Arbitrarily Directional Detection, Random Pixel Placement

1 概要

通常の画像処理システムでは、CCD カメラなどのビデオカメラと PC などのコンピュータからなるシステムを用いるのが一般的である。この構成では、ソフトウェア処理を用いるために柔軟性に富むが、特に画素数が多い場合や高度な処理を行なう場合にカメラとコンピュータの間、あるいはコンピュータ内のメモリとプロセッサの間のデータ転送が全体の処理速度を制限する要因となることが多い。これらの制限要因を除くために各種高速化アルゴリズムや並列アーキテクチャによる信号処理系に関する研究が盛んであるが [1, 2, 3]、根本的に画像を構成する画素の 1 つ 1 つに対して順次処理を行なう逐次処理方式であるため、劇的な高速化・高機能化は望みにくい。

これに対し、集積回路技術の進歩により、一部の情報処理

機能をイメージセンサにとりこむ、いわゆる Vision Chip が広く研究されている [4, 5]。しかしほとんどの Vision Chip に関する研究では、ノイズ除去やエッジ検出などの比較的単純な処理を対象とするものがほとんどであり、またその出力自身も処理後の映像のままである場合が多い。しかしロボットビジョンなどへの応用を考えると、最終的に必要となるのは画像の「意味」であり、それを抽出するためには再びコンピュータによるソフトウェア処理によることになる。

本稿では、画像の「意味」を出力とするイメージセンサとして、画像中の動く輝点の速度と方向を出力とするイメージセンサを実現するためのアルゴリズムとそのアーキテクチャの提案、および基礎的な検討を行なう。この輝点の方向検出の際に、画素を格子状に並べる通常の構成では水平や垂直などの特定方向のみ検出しやすい、といった方

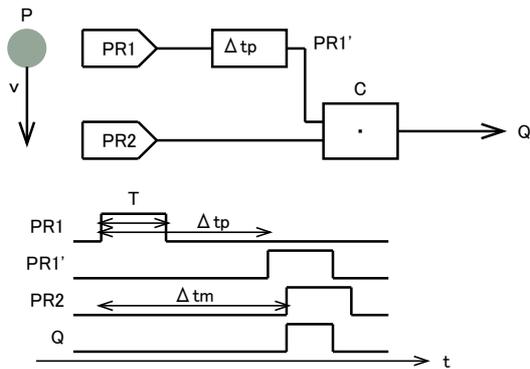


図 1: 興奮性信号のみによる動き検出機構

向の特異性が問題となる場合があるが、それを解消し、任意方向の検出が可能となる新規アーキテクチャの提案とその基礎的な検討を行なう。

2 興奮性信号の空間的伝搬遅延を用いた動体検出アルゴリズム

生体の網膜中には、受光素子にあたる錐体や桿体という受光細胞以外にも、水平細胞・ガングリオン細胞といった細胞が存在し、相互にネットワークを作っていることが知られている。このネットワークによって、網膜が単なる撮像素子だけではなく、初期的な視覚情報処理を行なう機能をもつことが知られている [6]。

この網膜がもつ情報処理の 1 つに、網膜上を動く輝点の動きの方向と速度を検出する機能がある。方向選択性とよばれているこの機能のメカニズムは未だに未解決の問題で、神経の持つ興奮性信号と抑制性信号のうち、従来は抑制信号が重要な役割を担っていると思われてきた [7, 8] が、最近、カメなどの一部の動物の網膜中では、抑制性信号が発生せず、興奮性信号のみが発生していることが知られている [9]。

高安らは、興奮性信号のみでも方向選択性が実現可能であることを、次に示すような単純化したモデルと神経細胞の電気生理的特性を記述する数値シミュレータ NEURON を利用して明らかにしている [10]。これは、図 1 のように空間的に離れた、光があたると幅 T の興奮性信号を発生する 2 つの受光素子 PR1, PR2 を仮定し、動く輝点 P が両者に順にあたるのに要する時間を Δt_m とする。すなわち両者の空間的な距離を L 、動く輝点 P の速度を v とすれば $\Delta t_m = L/v$ である。また PR1 で発生した興奮性信号が、 Δt_p の遅延を経て C まで到達するのに要する時間を Δt_p とする。そして両者をつなぐ細胞 C は、同時に興奮性信号が到達した場合のみ、出力 Q を興奮させるとする。この出力 Q には、以下の条件を満たすときに興奮性信号が発生する

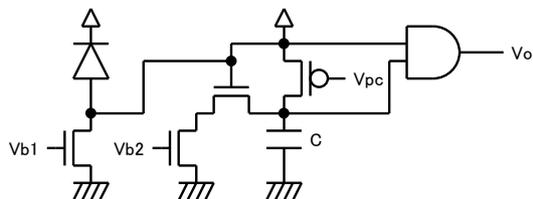


図 2: 受光部の回路構成

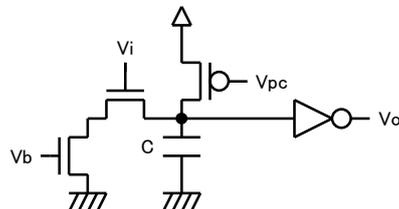


図 3: 遅延発生回路の回路構成

ことになる。

$$|\Delta t_m - \Delta t_p| < T \quad (1)$$

逆に出力 Q に興奮性信号が発生した場合には、 $\Delta t_m \sim \Delta t_p$ と近似すると、この Q に接続している受光素子 PR1 から PR2 へ向かう方向に輝点の動きがあったことになり、その輝点の速度 v が $v = L/\Delta t_p$ 程度であることになる。この L と Δt_p は 2 つの受光素子 PR1 と PR2 の空間的な配置と遅延要素によってのみ決まるため、Q のみを見ることで、それに対応する方向と速度の輝点の動きがあったことを知ることができることになる。

3 興奮性信号の空間的伝搬遅延を用いた動体検出イメージセンサ

以上の興奮性信号のみを用いる動き検出アルゴリズムを用いて、動体検出機能をもつイメージセンサを構成することを考える。以下に各構成回路要素について述べる。

3.1 受光部

受光部の回路構成を図 2 に示す。受光部は、光を受けて電流を生成するフォトダイオードと、その光電流によって発生する電圧によって容量 C を放電するトランジスタからなる。この回路により、輝点がこの受光部を通過した場合にのみ、 $T \sim 1\mu s$ 幅程度の一定時間幅のパルスが発生する。なお C は $1pF$ 程度の容量、 V_{PC} はそのプリチャージ信号である。

3.2 遅延発生回路

動く輝点、空間的に離れた別の受光部を通過するまでに要する時間と同程度のパルスの遅延時間を生成するため

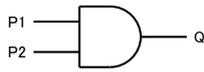


図 4: パルス到達検出部の回路構成

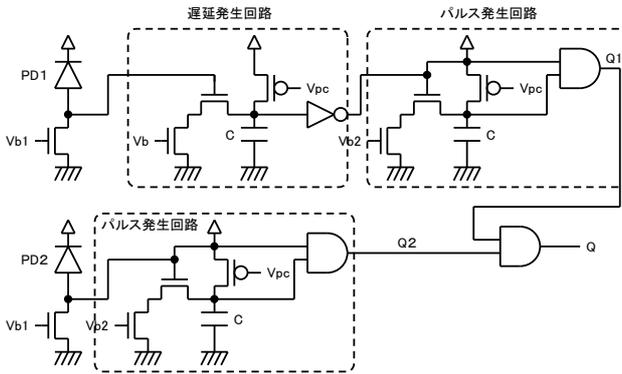


図 5: 全体の構成

の遅延発生回路を図 3 に示す。輝点の動く速度から 1ms 程度の遅延時間が必要である。ここで容量 C を 1pF 程度とし、その放電に要する時間を用いてこの遅延時間を発生するとすると $10^9\Omega$ 程度の抵抗が必要となるため、これには MOS トランジスタのサブスレッショルド領域を利用する。この遅延時間発生回路の出力を、図 2 の受光部の右半分にあるパルス発生回路に与えることで、1ms 程度の遅延 Δt_p をもった $T = 1\mu s$ 程度の幅のパルスを発生させることができる。

3.3 パルス到達検出部

前述の遅延発生回路を経て遅延したパルスと、空間的に離れた受光部を動く輝点が通過することで時間的に遅れて発生したパルスが同時に到達する場合に、この遅延時間と空間的距離との関連が求められるのが、本イメージセンサのアーキテクチャの要点である。このパルスの同時発生を検出する回路を図 4 に示す。パルスの形状には依存せず、パルスの同時発生のみを検出するために AND ゲートを用いる。

3.4 全体の構成と評価

以上の各要素を用いた、興奮性信号の空間的伝搬遅延を用いた動き検出イメージセンサの構成を、1 対の受光回路ペアに関して図 5 に示す。

この回路に対し、輝点の動きによるフォトダイオード PD1, PD2 の露光の遅延を $250\mu s$ および $100\mu s$ の 2 通りとし、遅延発生回路による遅延時間を $250\mu s$ となるように $V_b=0.53V$, $V_{b2}=0.8V$ とした条件の、HSpice を用いた回路シミュレーションの結果を図 6 に示す。なおトランジスタのモデルは VDEC CMOS 0.6 μm プロセスのモデルを

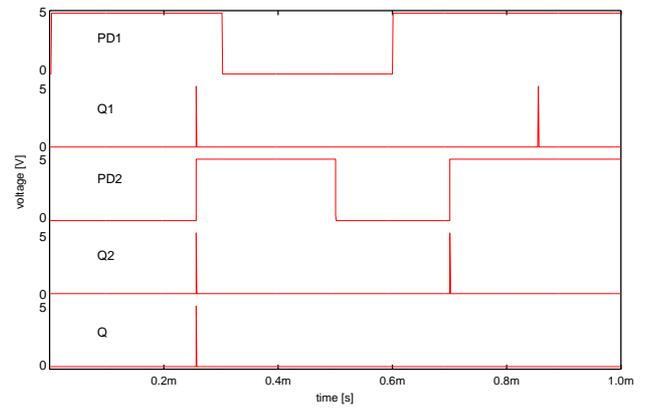


図 6: 回路シミュレーション結果

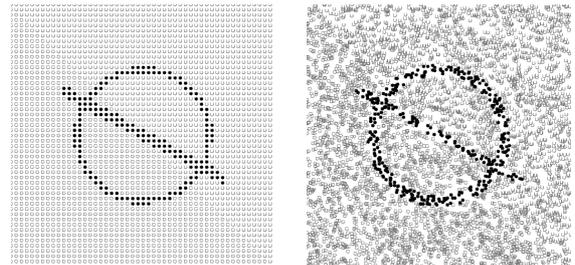


図 7: (a) 正方形格子状の画素配置、(b) 無作為の画素配置

用いた。なおこの条件での受光部が発するパルス幅 T はおよそ $1\mu s$ であり、また遅延発生部の遅延 Δt_p はおよそ $250\mu s$ である。

$t = 0$ で輝点が受光部 PD1 に達し、そこから $250\mu s$ 後に幅約 $1\mu s$ のパルスが Q1 が発生している。その輝点がちょうど $250\mu s$ 後に受光部 PD2 に達し、同時にパルスが Q2 が発生したことで、Q1 と Q2 の AND である出力 Q が 1 となっている。このことから、PD1 から PD2 へ向かう方向に、この両者の距離を $250\mu s \pm 1\mu s$ で輝点が移動するような速度で、PD1 から PD2 に向かう方向の輝点の動きが検出されたことになる。

同様に $t = 600\mu s$ に別の輝点が PD1 に達してパルスが発生しているが、それが PD2 に達するのが $100\mu s$ 後の $t = 700\mu s$ であるため、出力 Q は 1 とならず、「PD1 から PD2 へ $250\mu s$ で移動する輝点の動き」は検出されなかったことになる。

4 任意方向の動き検出のためのアーキテクチャ

通常のイメージセンサでは、受光部は正方形、あるいは六角形などの平面を埋め尽くす格子状に配置される。これは各受光部の信号を読み出すときの簡便さや、またイメージセンサの設計自身の簡素化に有効であり、また走査線によって映像を作るビデオカメラのイメージセンサには特に有効なアーキテクチャである。しかしこの格子状の受光部

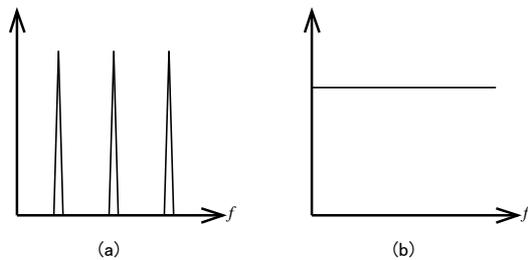


図 8: 画素の配置の空間スペクトル。(a) 正方形格子状配置、(b) 無作為配置

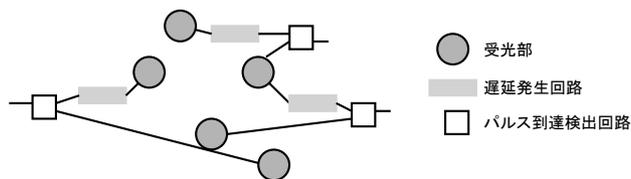


図 9: 無作為画素配置による任意方向動き検出回路の構成

の配置により、平面上の輝点や輝線の方向に特異性が現われる。例えば図 7(a) は正方形格子状の画素配置をもつイメージセンサによって斜め線と円を受けた場合の各受光部の信号のモデルであるが、これらの信号は斜め線や円の、正方形格子状の近似でしかない。これに対し、図 7(b) のように、受光部を空間的に無作為に配置した構造を考えると、多少空間解像度が低下するものの、斜め線や円のような曲線に対しても方向の特異性が現われにくいことがわかる。

受光部の空間的な配置が無作為であるということは、数学的にはその配置の空間周波数のスペクトルが図 8(b) のようにホワイトノイズであり、方向による特異性もないことに対応する。すなわち理想的に空間的に無作為に配置された受光部からなるイメージセンサでは、対象となる画像に対して方向特異性が全くなくなると考えられる。

3 節で述べた、興奮性信号の空間的伝搬遅延を用いた動体検出イメージセンサのアーキテクチャは、以下のような特長がある。

- 遅延回路による遅延を各種用意することで、さまざまな速度の輝点の動きを検出することができる
- 動きの検出自体は、始点位置の受光部と終点位置の受光部の組合せのみによって決まる

これらの特長を利用すると、各受光部の空間的な配置を図 9 のように無作為にすることが可能となる。すなわちさまざまな遅延の遅延回路を、空間的に均一な分布となるように配置し、各受光部との接続も空間的に均一な分布となるようにすることができれば、さまざまな速度の輝点の動きが、理想的には任意の空間的な方向に対して検出することが可能となると考えられる。

ただしこれらの無作為に配置した各出力 Q をどのようにまとめて外部へ出力する方法については今後の検討課題で

ある。

5 まとめ

生体の網膜中での信号処理システムをモデルとした、興奮性信号のみを用い、その空間的な伝搬遅延を利用した輝点の動き検出を行なうアルゴリズムと、それをイメージセンサ上に集積するための回路構成について検討した。またこの回路構成では、動きの検出が 2 つの受光部のみの空間的位置関係によって決まることを利用し、画素を空間的に無作為に均一に配置することで方向の特異性のないイメージセンサのアーキテクチャについて提案した。このアーキテクチャに基いた、イメージセンサの実際の設計方法については今後の課題である。

参考文献

- [1] I.Andreadis *et al.*, “A New Hardware Module for Automated Visual Inspection Based on a Cellular Automaton Architecture,” *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, Vol.16, No.1, pp.89–102, 1996.
- [2] M.Meribout *et al.*, “Hough Transform Algorithm for Three-Dimensional Segment Extraction and its Parallel Hardware Implementation,” *Computer Vision and Image Understanding*, Vol.78, No.2, pp.177–205, 2000.
- [3] W.Badawy, M.Bayoumi, “A Multiplication-Free Algorithm and A Parallel Architecture for Affine Transformation,” *The Journal of VLSI Signal Processing*, Vol.31, No.2, pp.173–184, 2002.
- [4] G.Indiveri, “Modeling Selective Attention Using a Neuromorphic Analog VLSI Device,” *Neural Computation*, Vol.12, No.12, pp.2857–2880, 2000.
- [5] R.Etienne-Cummings *et al.*, “High Performance Biomorphic Image Processing Under Tight Space and Power Constraints,” *Autonomous Robots*, Vol.11, No.3, pp.227–232, 2001.
- [6] C.Mead, “Analog VLSI and Neural Systems,” Addison-Wesley Reading, 1989.
- [7] H.B.Barlow, R.M.Hill and W.R.Levick, “Retinal ganglion cells responding selectively to direction and speed of image motion in the rabbit,” *J. Physiol.* 173 pp.377–407, 1964.
- [8] W.R.Taylor, S.He, W.R.Levick and D.I.Vaney, “Dendritic computation of direction selectivity by retinal ganglion cells,” *Science* 289 pp.2347–2350, 2000.
- [9] R.D.Smith, N.M.Grzywacz and L.J.Borg-Graham, “Is the input to a GABAergic synapse the sole asymmetry in turtle’s retinal directional selectivity?,” *Visual Neuroscience*, 13 pp.423–439, 1996.
- [10] M.Takayasu, A.Koizumi, Y.Shiraiishi, H.Takayasu and A.Kaneko, “Agility enhancement by inhibitory bypasses in the retina” (in preparation).