
知能制御システム学

ビジョンチップ・
コンピュータショナルセンサ

東北大学 大学院情報科学研究科
鏡 慎吾

swk(at)ic.is.tohoku.ac.jp

2006.06.20

復習: CCD と CMOS

現在の主流は大きく二つに分かれる

CCDイメージセンサ

特殊な製造プロセス

高感度・低雑音

消費電力が大きい

機能化が困難

CMOSイメージセンサ

標準CMOSプロセス

一歩劣るが改善されつつある

消費電力が小さい

機能化が容易

機能集積 CMOS イメージセンサ

周辺機能のオンチップ化

- 制御信号生成, 電源生成
- ADC
- ゲイン制御
- 色補正, ガンマ補正

カメラ・オン・チップ

画像処理機能の追加

- 列レベル/画素レベル
- 前処理
- 特徴抽出
- 画像圧縮・動画圧縮

一般に, 画素レベルで何らかの処理を付加したイメージセンサを「ビジョンチップ」「コンピューショナルセンサ」などと呼ぶ

今日の目的

- 機能イメージセンサの中でも「視覚処理」に重点をおいたものについて紹介する
- アナログ中心・デジタル処理はまた今度

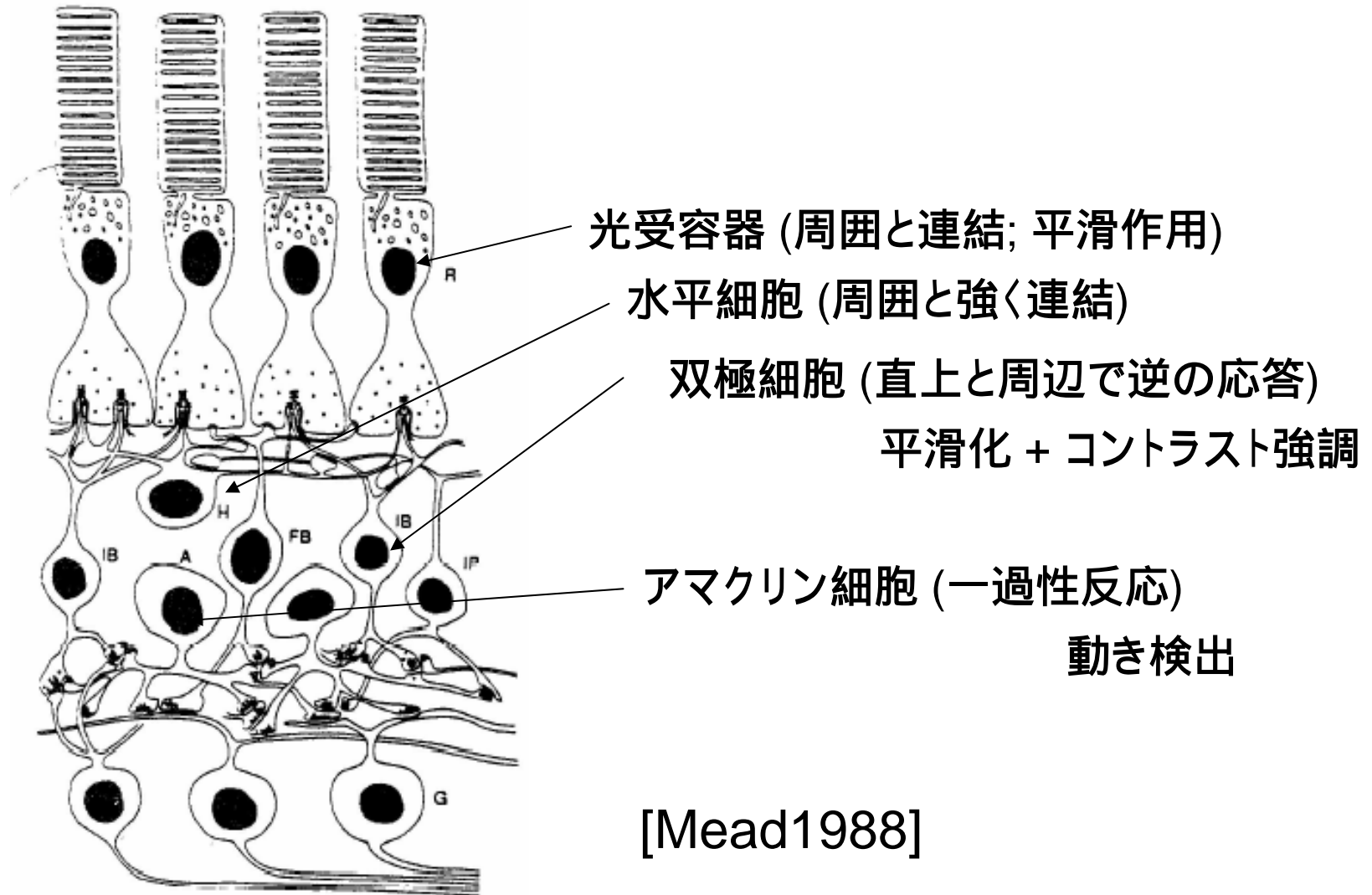
[Moini1997] [松本1993]

Outline

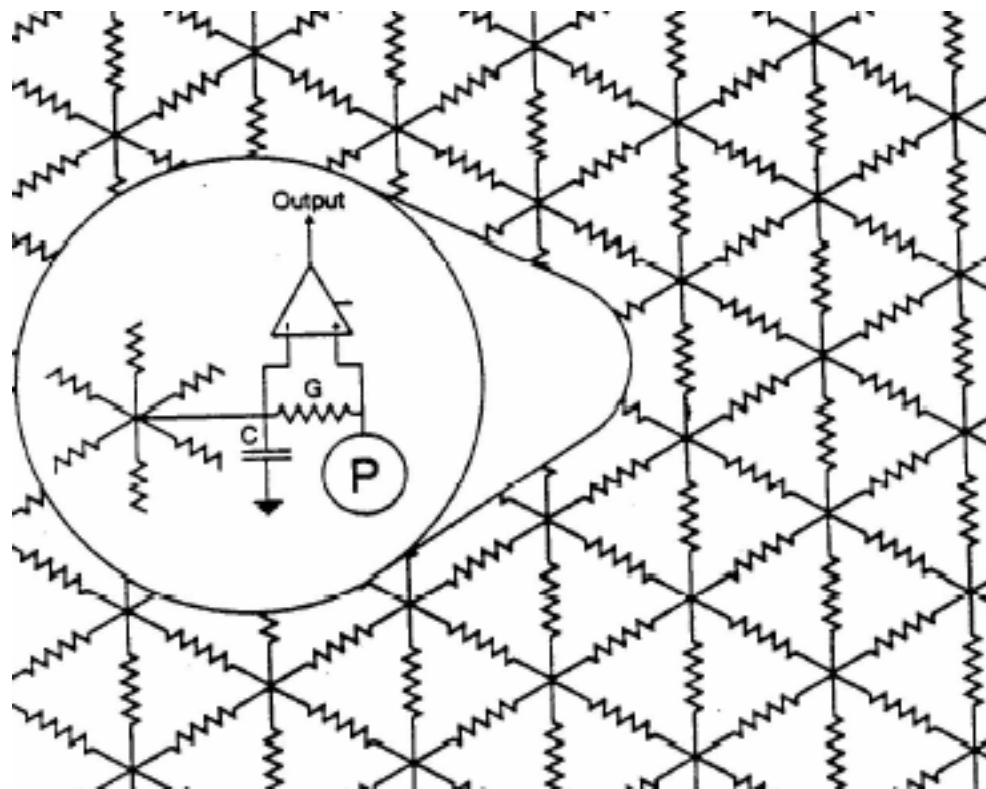
たくさんありすぎてとても話しきれない

- 網膜模倣型
- 空間処理型
- 時空間処理型
- プログラマブル型
- 画像圧縮
- 人工視覚

網膜の断面図



シリコン網膜



抵抗ネットワークで得られた周囲平均と自分自身の差を出力 (Laplacian型)

MOSTランジスタのサブスレッシュولد領域で動作
低消費電力だが精度が悪い

しかし、生物だってそうじゃないか、というのが Mead の主張

[Mead1988]

アナログビジョンチップの黎明期

実は最初のシリコン網膜は安定して動かなかった

ダイナミカルシステムの安定状態として解が得られるというのが計算原理なので、安定性の保証が重要

アナログビジョンチップの理論的研究

- 安定性の解析 (時間的安定性, 空間的安定性, その等価性)
- 各種の初期視覚処理を, 評価関数の最小化問題として定式化

$$G(v, d) = \underbrace{\|Av - d\|^2}_{\text{問題ごとに設定}} + \underbrace{\sum_{k=1}^p \int \lambda_k(x) \left(\frac{d^k v(x)}{dx^k} \right)^2 dx}_{\text{なめらかさ}} \rightarrow \min.$$

出力 v (矢印)
入力 d (矢印)

e.g. エッジ検出, ステレオ視, ...

シリコン網膜の発展

- 2層回路網アーキテクチャ [Matsumoto1992]
 - Laplacian of Gaussian 型フィルタ
 - 構造上安定
- 持続性応答と一過性応答の2種類を持つシリコン網膜 [Kameda2003]
 - 2層ネットワーク
 - アクティブピクセル, 蓄積型
 - 固定パターンノイズ対策

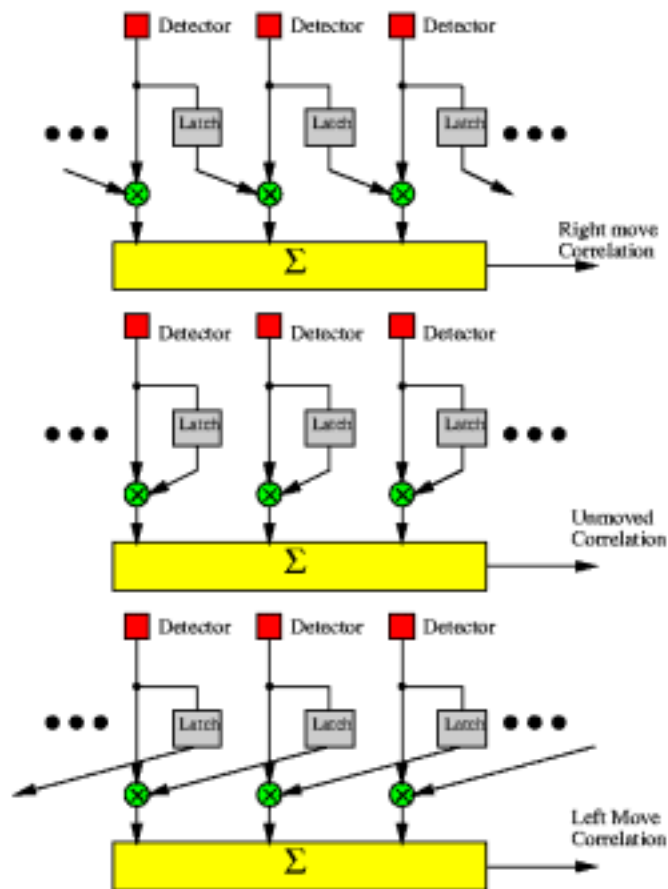
空間処理型ビジョンチップの例

- エッジ検出
- 平滑化
- 物体の方向検出
- 重心計算
- ステレオマッチング
- ...

時空間処理型のビジョンチップ

視覚入力1枚に対して出力を計算する
入力の時系列に対して出力を考える

空間フィルタ
時空間フィルタ



[Tanner1984]

動き検出チップ

(前フレームの像を2値化してラッチに記憶, 現フレームとアナログ相関を計算)

「動き検出ビジョンチップ」は
さまざまなものが作られた

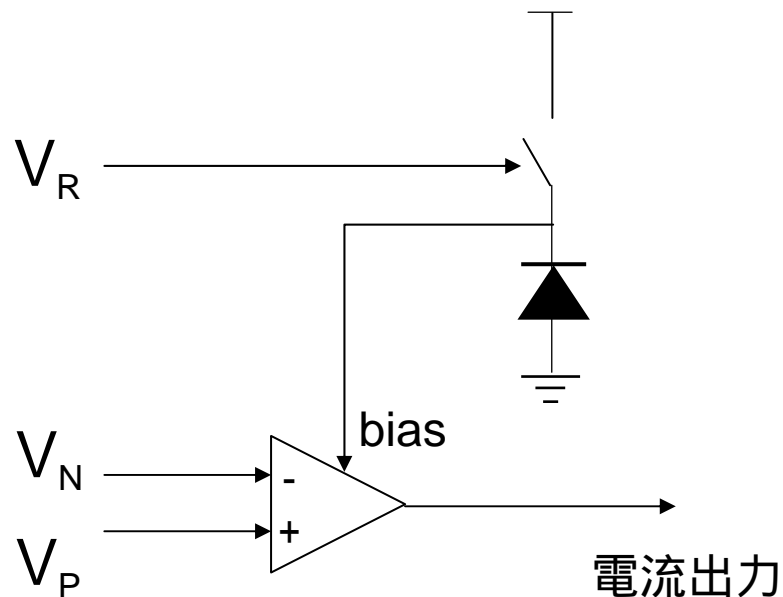
時空間処理型ビジョンチップの例

- 動き検出
- オプティカルフロー
- 衝突時間判定
- 移動方向検出
- ...

プログラマブルなアナログビジョンチップ

三菱電機 人工網膜チップ [Funatsu1997]

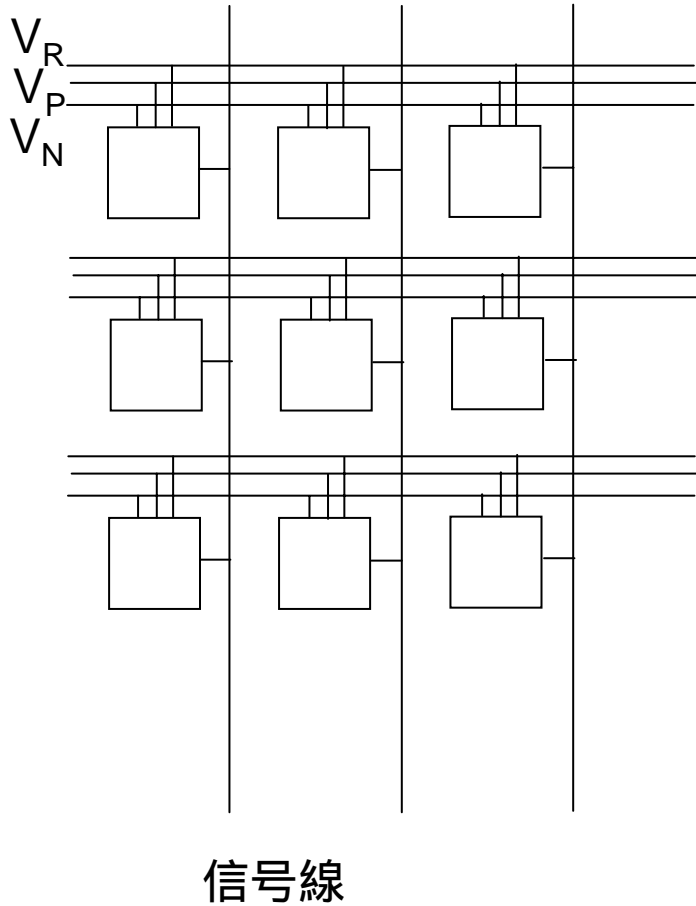
1つのチップでいろいろな視覚処理ができる「アナログ」ビジョンチップ



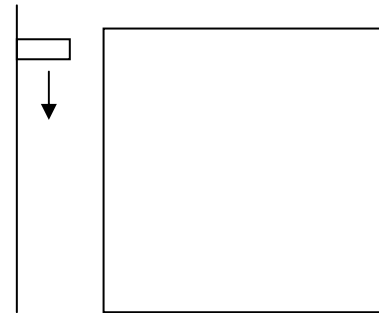
V_P, V_N により, 感度を変化させられる (マイナスにもできる)

画素値の加減算ができる

人工網膜チップの動作

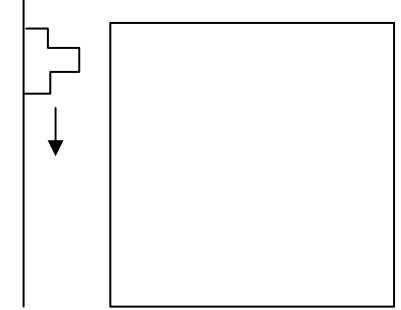


-1 0 +1

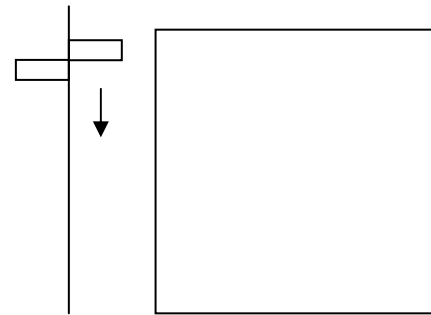


普通に撮像

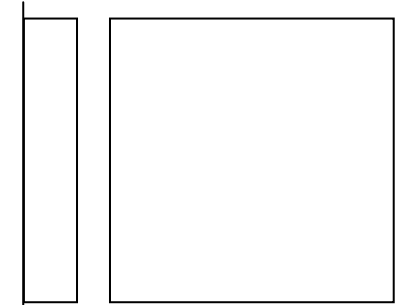
-1 0 +1



平滑化

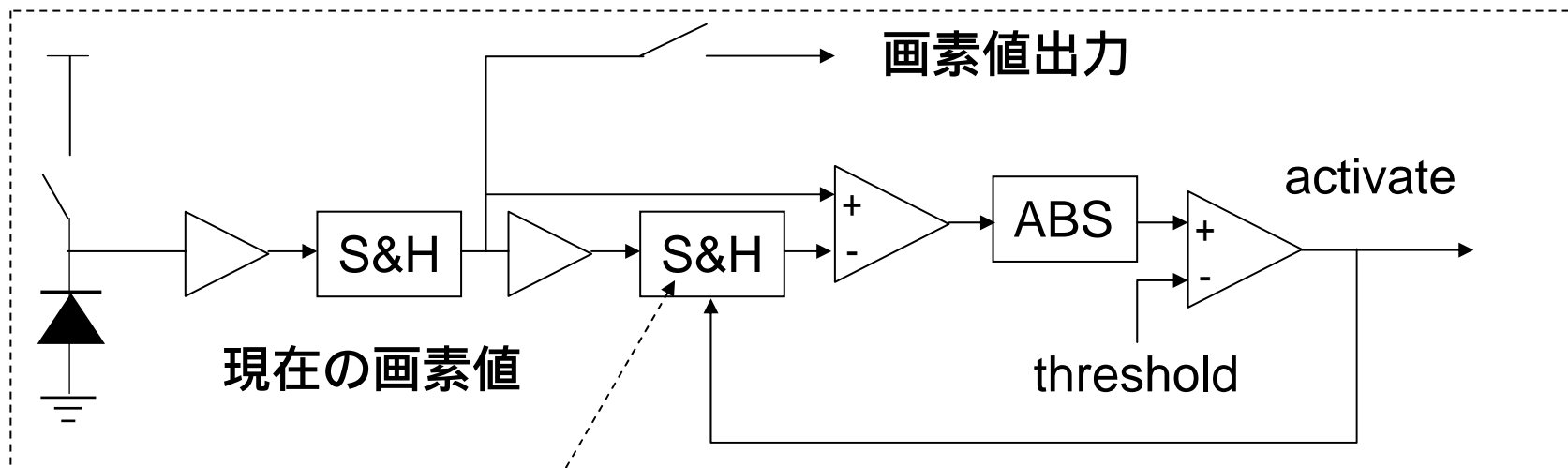


エッジ検出



射影

動画圧縮チップ



現在の画素値

画素値出力

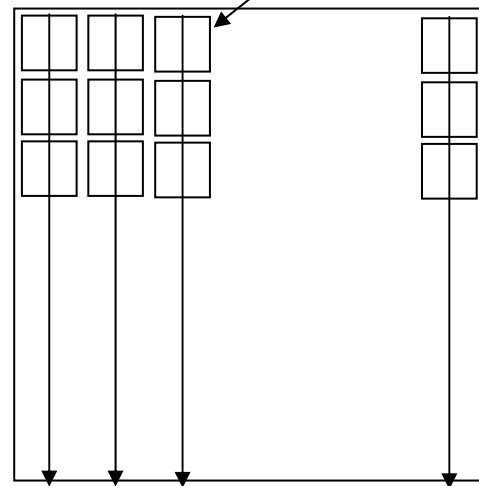
activate

threshold

記憶されている
過去の画素値

行は普通に
スキャン

[Aizawa1997]
前フレームと違っていると
ころだけ出力



activate が出ていないところは
スキップしながらスキャン

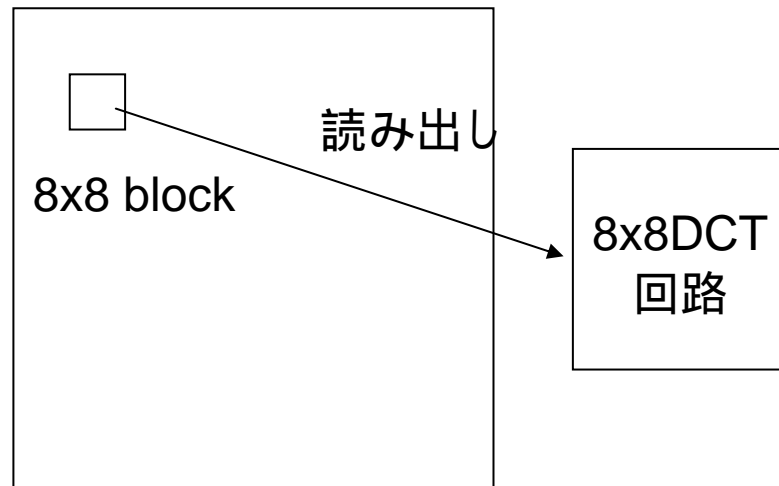
離散コサイン変換イメージセンサ

[Kawahito1997]

JPEGやMPEG圧縮処理の一部をアナログ処理で行う

CMOSイメージセンサの場合、画素の読み出し順序は比較的柔軟に変えられる

1行ずつ読み出す代わりに、8x8のブロックずつ読み出す



人工視覚デバイス

網膜疾患で失明してしまっても、視覚情報を伝える細胞は大部分が生きていることが多い

網膜に電気刺激デバイスを埋め込むことで視覚を回復できる可能性がある

Humayun ら, 4x4のプラチナ電極を患者の網膜に埋め込む実験 . 6人の被験者全員が光を検出し, 物体を同定したり動きを知覚したりできた [usc.edu]

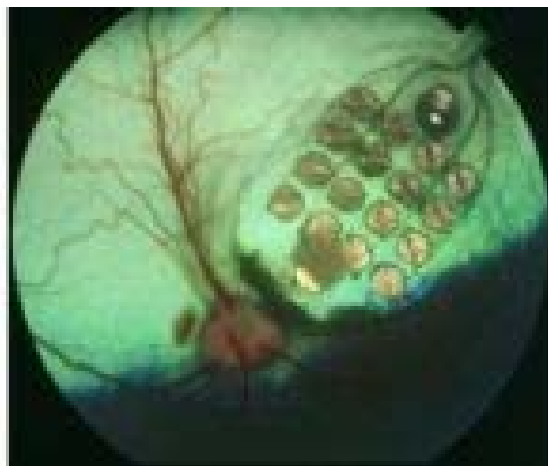
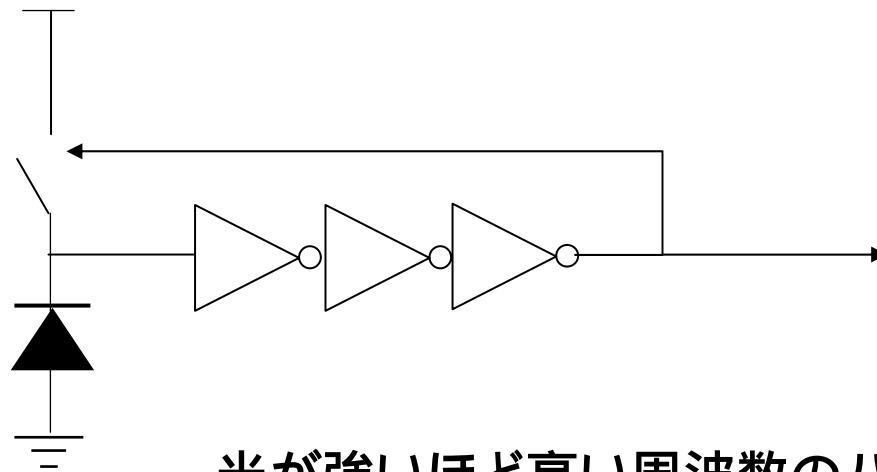


Photo from
[doemedical]

人工視覚イメージセンサ

ビジョンチップによる人工視覚へのアプローチも行われている

パルス周波数変調ビジョンチップ [古宮2004]



光が強いほど高い周波数のパルスが発生

その他最近ホットかも知れないもの

3次元視覚イメージセンサ

- 光切断法
- time-of-flight 法
- 点滅照明による明度差

時間変調光検波イメージセンサ

- アナログ相関
- デジタル相関

点滅光によるID検出センサ

...

References

- [Moini1997] Alireza Moini, "Vision chips or seeing silicon", at <http://www.eleceng.adelaide.edu.au/Groups/GAAS/Bugeye/visionchips/>, Last update April 1997.
- [松本1993] 松本, 小林, 八木: ビジョンチップ [I] アナログ画像処理用ニューロチップ, 電子情報通信学会誌, vol.76, no.7, pp.783-791, 1993. --: ビジョンチップ [II・完] アナログ画像処理用ニューロチップ, --, vol.76, no.8, pp.851-858, 1993.
- [Mead1988] C. A. Mead and M. A. Mahowald: A Silicon Model of Early Visual Processing, Neural Networks, vol.1, pp.91-97, 1988.
- [Matsumoto1992] T. Matsumoto, T. Shimmi, H. Kobayashi, A. A. Abidi, T. Yagi and T. Sawaji: A Second Order Regularization Vision Chip for Smoothing-Contrast Enhancement, Proc. IJCNN92, 1992.
- [Kameda2003] S. Kameda and T. Yagi, An Analog VLSI Chip Emulating Sustained and Transient Response Channels of the Vertebrate Retina, IEEE Trans. Neural Networks, vol.14, no.5, pp.1405-1412, 2003.
- [Tanner1984] J. Tanner and C. Mead, A Correlating Optical Motion Detector, MIT Advanced Research in VLSI, pp. 57-64, 1984.
- [Funatsu1997] E. Funatsu, Y. Nitta, Y. Miyake, T. Toyoda, J. Ohta and K. Kyuma: IEEE Trans. Electron Devices, vol.44, no.10, An Artificial Retina Chip with Current-Mode Focal Plane Image Processing Functions, pp.1777-1782, 1997.
- [Aizawa1997] K. Aizawa, Y. Egi, T. Hamamoto, M. Hatori, M. Abe, H. Maruyama and H. Otake: Computational Image Sensor for On Sensor Compression, IEEE Trans. Electron Devices, vol.44, no.10, pp.1724-1730, 1997.
- [Kawahito1997] S. Kawahito, M. Yoshida, M. Sasaki, K. Umehara, D. Miyazaki, Y. Tadokoro, K. Murata, S. Doushou and A. Matsuzawa: A CMOS Image Sensor with Analog Two-Dimensional DCT-Based Compression Circuits for One-Chip Cameras, IEEE J. Solid-State Circuits, vol.32, no.12, pp.2030-2041, 1997.
- [usc.edu] <http://www.usc.edu/uscnews/stories/11286.html>
- [doomedical] <http://www.doemedicalsciences.org/abt/retina/art-retina.shtml>
- [古宮2004] 古宮, 香川, 上原, 徳田, 太田, 布下: 32 × 32 画素パルス周波数変調方式人工視覚イメージセンサ, 映像情報メディア学会誌, vo.58, no.3, pp.352-361, 2004.