

局所画像の特徴抽出に特化した Hough 変換応用モデルとその集積回路化

Analog Vision Chips for Applied Hough-Transformation Systems performing Local Feature Extraction

山田 崇史¹(北大) 幸谷 真人²(シャープ) 浅井 哲也¹(北大) 雨宮 好仁¹(北大)
Takashi Yamada¹, Masato Koutani², Tetsuya Asai¹, and Yoshihito Amemiya¹

¹Department of Electrical Engineering, Hokkaido University,
Kita 13, Nishi 8, Kita-ku, Sapporo, 060-8628, Japan.

²Sharp Corp., Nagaike cho, Abeno ku, Osaka, 545-8522, Japan.

An analog vision chip is proposed for implementing feature extraction systems that detect parameters of lines in local images. The chip implements a new algorithm based on the Hough and Muff transformation where the Hough transformation is performed around the image frames as in the Muff transformation. The chip consists of current-mode CMOS circuits for the Muff-Hough transformation, and outputs analog values (currents) representing parameters of lines in incident images. In this paper, we show operational principles of the chip as well as experimental results of the fabricated chip.

Key Words : vision chips, Hough transformation, feature extraction

1 はじめに

ロボットビジョンをはじめとする画像処理の応用分野では、視覚情報の動きや特徴を高速に検出するハードウェアが非常に重要である [1]。そのため近年、認知・判断などの負荷の高い画像処理を行う前に、初期視覚処理(輪郭抽出や動きベクトル抽出など)を施す画像プリプロセッサに関する研究開発が盛んに行なわれている [2]。本稿では、初期視覚処理をさらに押し進めた「線分のパラメータ検出(画像の特徴抽出)」を行うプロセッサを提案し、試作した「特徴抽出ビジョンチップ」(特徴抽出プロセッサと画像センサを融合したチップ)の基本特性を示す。

2 チップアーキテクチャ

Hough 変換は画像パターンの特徴を検出する方法の一つである [3]。平面上の直線を N 個の点 $[(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_N, y_N)]$ で表し、これらの点を Hough 変換式

$$\rho = x_i \sin \theta + y_i \cos \theta \quad (1)$$

へ代入すると、 ρ - θ 平面上で N 本の曲線を描くことができる。これらの曲線が局在する点 (ρ_0, θ_0) が直線の垂角 (θ) と原点からの距離 (ρ) を表す。

本稿では複数の直線を検出し、かつ高集積化が可能な Hough 変換と Muff 変換 [4] を応用したアルゴリズム(Muff-Hough 変換)を提案する。図 1 に Muff-Hough 変換チップのシステム構成を示す。この Muff-Hough 変換では入力空間のすべてに直線を検出する画素(離散点)を配置するのではなく、入力空間の外枠(画像フレーム)とその内側(補償フレーム)にのみ画素を配置する。補償フレームの 1 辺は省略可能であり(コの字形配置)このときチップ上を通過する任意の直線は 3 個以上の画素を通過する。1 本の直線下にある画素から (1) に従い Hough

曲線を求めると、それらの曲線は全て 1 点で交わる。複数の直線がチップ上を通過する場合も同様に複数の Hough 曲線の交わる点が入力直線の本数分できる。このように従来の Hough 変換よりも画素を減少させているが、複数直線の識別が可能である。

提案した Muff-Hough 変換システムは画素及び θ を単位時間毎に変化させ、それに応じた ρ を電流として出力する。システムは受光部と量子化回路、Hough 変換回路で構成する。受光部と量子化回路を図 2 に示す(x 軸上にある画像フレームの例)。フォトダイオードに入射された光の強度がしきい値 (V_{th} で決定)を超えると、基準電流を出力段のカレントミラー比(図中着色部)倍した電流を座標 I_{inX}, I_{inY} として出力する。

Hough 変換回路を図 3 に示す。この回路は $\sin \theta$ と $\cos \theta$ に相当する値をカレントミラー回路によって作り、 θ 選択信号によって θ 値を離散的に切り替える。電流 I_{inX}, I_{inY} を入力とするカレントミラーのミラー比をそれぞれ $1 : k \cos \theta, 1 : k \sin \theta$ とすると、出力電流 I_{out} は

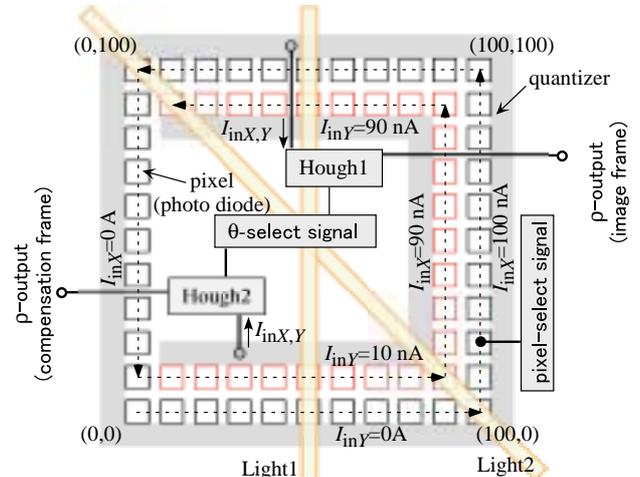


Fig. 1 Floorplan of the Muff-Hough vision chip

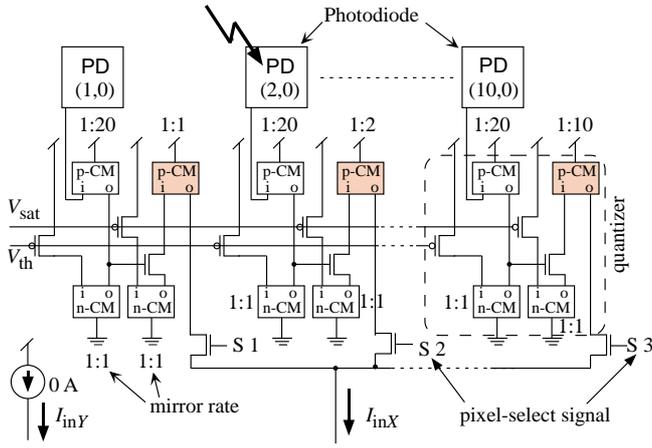


Fig. 2 Photoreceptors and quantizers

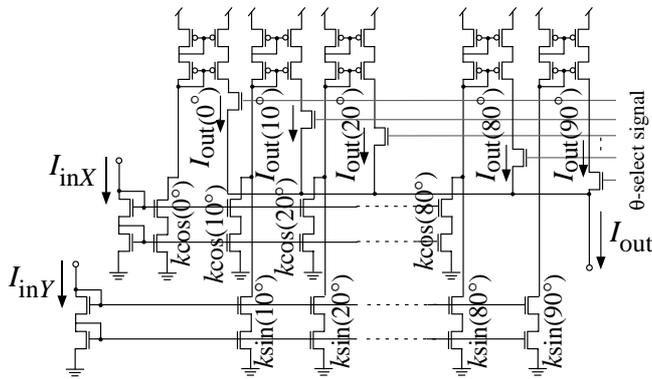


Fig. 3 Analog reference circuits for the Hough transform

$$I_{out} = k(I_{inX} \cos \theta + I_{inY} \sin \theta) \quad (2)$$

となる。平面(チップ)上の距離と電流の次元を合わせるために画像フレームの辺の長さを L [m]、 $I_{inX,Y}$ の最大値を I_{max} [A] とおく。このとき平面上の座標値 $(x$ [m], y [m]) は

$$x = \frac{L}{I_{max}} I_{inX}, \quad y = \frac{L}{I_{max}} I_{inY}$$

となる。さらに直線と原点との距離 ρ [m] を

$$\rho = \frac{L}{k I_{max}} I_{out} \quad (3)$$

とおくと (1) と (2) は等価となる。

3 実験結果

図 4 に Hough 変換回路のレイアウトパターンを示す ($0.6 \mu\text{m}$ CMOS プロセス)。 θ は ($0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 45^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ, 90^\circ$) の 11 個の離散値をとり、 $k = 33$ 、 $I_{max} = 100 \text{ nA}$ となるよう設計した。図 5 に Hough 変換回路の測定結果を示す。Hough 変換回路単体の測定のため、光による入力ではなく画素の座標を表す電流 I_{inX}, I_{inY} を入力とする。画像フレームの 1 辺の長さ

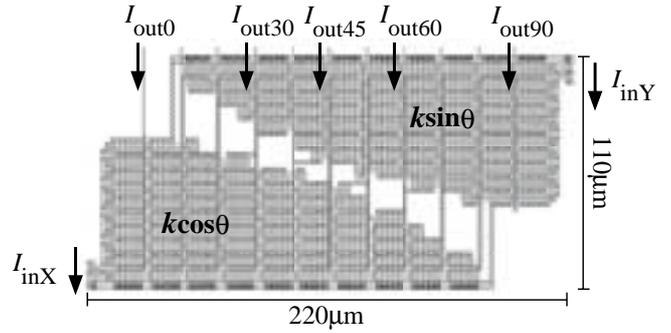


Fig. 4 Layout pattern of the reference circuit

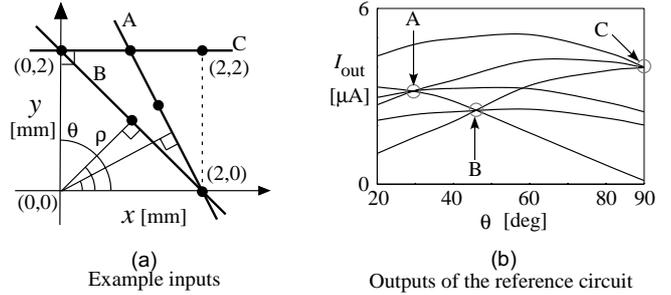


Fig. 5 Experimental results of the reference circuit

L は 2 mm とした。3つの直線 (A: $y = -2x + 4 \times 10^{-3}$, B: $y = -x + 2 \times 10^{-3}$, C: $y = 2 \times 10^{-3}$) を仮定し、その直線下の6個の画素の出力を測定した [図 5 (a)]。すべての直線は3つの画素を通過しているため、3本の Hough 曲線が交わる点が直線の本数分だけ現れる [図 5 (b)]。交点 (I_{out}, θ) はそれぞれ $(3.2 \mu\text{A}, 29.5^\circ)$, $(2.5 \mu\text{A}, 45.8^\circ)$, $(3.9 \mu\text{A}, 90^\circ)$ となる。この測定結果から (3) に従い ρ を計算すると、 (ρ, θ) はそれぞれ $(1.939 \text{ mm}, 29.5^\circ)$, $(1.515 \text{ mm}, 45.8^\circ)$, $(2.364 \text{ mm}, 90^\circ)$ となった。この結果より、Hough 変換回路が3本の直線の特徴を正しく出力することを確認した。

4 まとめ

Hough 変換を応用した新しい特徴抽出アルゴリズムを提案した。このアルゴリズムは従来の Hough 変換よりも計算量が少なく高集積化も容易である。また従来の Muff 変換ではできなかった複数の直線の検出も可能である。このアルゴリズムのための LSI システムを構成し、システムの心臓部にあたる Hough 変換回路を測定し、正しい結果を得た。

参考文献

- [1] D. H. Ballard and C. M. Brown, *Computer vision*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1982.
- [2] C. Koch and H. Li, *Vision chips: implementing vision algorithms with analog VLSI circuits*. IEEE computer Society Press, Los Alamitos, 1988.
- [3] P. V. C. Hough, "Method and means for recognizing complex patterns," *U.S. Patent*, 3069654, 1962.
- [4] R. S. Wallace, "A Modified Hough Transform for Lines," *Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR)*, IEEE, 1985.