

デジタル直線を構成するセグメントの値に注目した Hough 変換の改善法

金 義鎮[†] 長谷山 美紀[†] 北島 秀夫[†]

[†] 北海道大学 工学研究科

〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目

TEL (011)706-7259

E-mail kim@media.eng.hokudai.ac.jp

あらまし 本論文は、デジタル直線の Hough 変換について述べる。以前提案した分割パラメータ空間による手法は、デジタル直線のセグメントの方向性および大きさ(画素数)を用いてパラメータ空間に分割投票を行なうことより計算量の削減が実現できた。しかし、このような手法においてパラメータは整数の間隔に離散化されるため、すべてのデジタル直線に対して正しい累積値の検出が不可能である。これは、特徴点が離散化された直線以外の直線に対しては満足させない。画素数によって決定される離散化された傾きと切片パラメータ値からなるパラメータ空間と任意の傾きと切片をもつデジタル直線の構成するセグメントの平均値とを用いる手法を提案する。提案手法を用いることによりデジタル直線の大きさ(画素数)と相当する累積値を得る実験結果から有効性が確認できる。

キーワード Hough 変換, 分割パラメータ空間, セグメントの方向性, セグメントの画素数, セグメントの平均値

The Improvement of Hough Transform using the Value of Segments

Euijin Kim[†], Miki Haseyama[†], and Hideo Kitajima[†]

[†]School of Engineering, Hokkaido University

Kita-ku Kita-13 Nishi-8 Sapporo, 060 Japan

TEL 81-11-706-7259

E-mail kim@media.eng.hokudai.ac.jp

Abstract We describe how to vote in the parameter space of the Hough transform in a digital image. It has been proven that the calculation cost can be reduced by using the direction and length of the segments. However, the previous algorithm can not represent the value of the correct peaks in the parameter space because the parameter space was defined as a discrete intercept and slope interval. In this paper, we propose an algorithm that uses the association of the intercept and slope parameters and the length of the segments of the digital lines. We show by experimental results that the algorithm can detect the correct value of the peaks in the parameter space.

key words Hough transform, line segment, segment direction, segment length, segment average

1 まえがき

Hough 変換は [1][2], 画像中の直線が画素点として構成されていることよりパラメータ空間に描いた軌跡の交差の累積値から直線を抽出する手法である。当初, 画像から直線を抽出する手法として提案されたが, 現在は方程式で解析可能な図形にも適用範囲が拡張されている [3]. デジタル画像の処理を行なう際, 量子化特有の誤差が発生する。したがって, Hough 変換もパラメータ空間に写像する際, 偏りという問題点が生じる。和田らは, 画素数による切片と傾きパラメータを離散化して偏りが生じない γ - ω Hough 変換を提案し, その有効性を示した [4]. しかし, γ - ω Hough 変換で, 直線のパラメータ (切片, 傾き) が離散化されたので, 画像中のすべてのデジタル直線の切片と傾きが 1 対 1 に対応していない。したがって, Hough 変換を行なったパラメータ空間中でデジタル直線の大きさである画素数に相当する正確な累積値は検出されない。また, このような問題に対して和田らは, デジタル直線の幾何学的性質に基づいて高精度の累積値検出する手法を提案した [5]. しかし, デジタル画像上に表現が可能であるすべてのデジタル直線に対応させるため, パラメータ空間が大きくなり, 計算量が非常にかかる問題点がある。

このような計算量の問題点に対して我々は以前に γ - ω Hough 変換に基づいた分割パラメータ空間による Hough 変換を提案した [6]. (分割パラメータ空間による Hough 変換を以下から文献 [6] の手法とする) 文献 [6] の手法は直線のセグメントからあらかじめ方向を制限し, 方向に当るパラメータ空間のみ投票することより計算量を削減する手法である。しかし, このような手法も γ - ω Hough 変換に基づいているので, 精度が高い累積値検出が出来なかった。

本文で, まず, 分割パラメータ空間に基づき, 計算量を抑制する。次に, セグメントの最初点と最終点から得た切片の平均値から近似切片を求める。近似切片 R をパラメータ空間に投票することより累積値の精度があがる。精度が上がっても計算量が高くない改善手法を提案する。2. で提案手法のパラメータ空間に用いられる文献 [6] の手法について述べて, この手法における累積値が高い精度で検出されないという問題点を明らかにする。3. ではデジタル直線を構成しているセグメントが存在可能をもつ近似値について述べて, 精度が高くなる改善手法を提案する。その際, γ - ω Hough 変換,

文献 [6] の手法との計算回数を比較する。4,5. 傾きパラメータによる手法を用いて実験画像をパラメータ空間に投票する際, γ - ω Hough 変換, 文献 [6] の手法, 提案手法の累積値と計算回数の比較を行なってその有効性を示す。

2 分割パラメータ空間による手法

本章では文献 [6] の手法について簡単に説明する。以前に提案した文献 [6] の手法では, デジタル直線を構成しているセグメントを画素の連結方向によって水平, 垂直, 対角水平, 対角垂直方向の四つの基本セグメントとして定義する。また, それぞれのセグメント方向成分が交差する共有セグメント, 交差しない真セグメントの区分の導入より, セグメントの方向性質からパラメータ空間の投票範囲の制限した。すなわち, この手法はデジタル直線のセグメントが傾きパラメータ m によってそれぞれのセグメントの方向と画素数が異なることを用いて分割したパラメータに投票する手法であり, 計算量を削減する特長を持つ。

2.1 セグメントの方向と傾きパラメータ m との関係

図 1 で x は横軸, y は縦軸である $M \times M$ の画像上で, (a) は - 傾き直線, (b) は + 傾き直線が存在する際に, 対応する傾きパラメータ m の関係を示している。図 1 の $A \sim (I-1)$ の傾きパラメータ m の値は画素数によって式 (1) のように定義される。

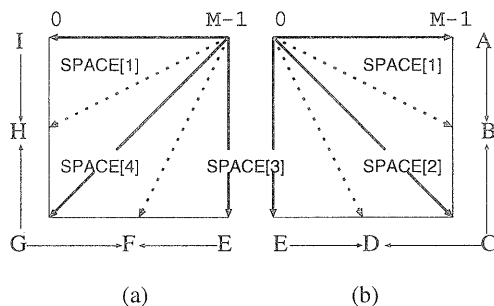


図 1: 傾きパラメータ m の範囲

$$M = \text{画素数}, A = 0, B = \frac{M}{2}, C = M-1,$$

$$D = \frac{3M}{2}-1, E = 2(M-1), F = \frac{5M}{2}-2, G = 3(M-1),$$

$$F = \frac{5M}{2} - 2, H = \frac{7M}{2} - 3, I = 4(M-1) \quad (1)$$

図 2,3. は式 (1) より傾きパラメータ m の値が実際のパラメータ空間に配置されることを示す. パラメータ空間において, 切片パラメータ R が縦軸, 傾きパラメータ m が横軸であり, 図 2 のパラメータ空間は図 1 に示された直線のセグメントが交差しない真セグメントが存在する *SPACE* を表し, 図 3 のパラメータ空間は交差する共有セグメントが存在する *SPACE* を表す.

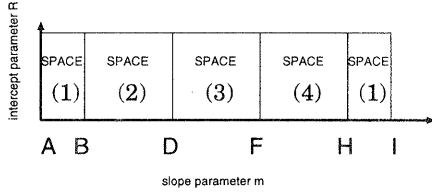


図 2: 真セグメントの投票パラメータ範囲

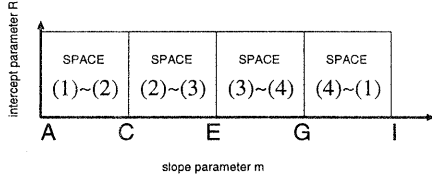


図 3: 共有セグメントの投票パラメータ範囲

図 1,2,3 から水平, 垂直セグメントが対角成分セグメントと交差しない真セグメント, 交差する共有セグメントに区分して, 制限した分割パラメータ空間に投票する Hough 変換を以下の式で定義する.

式 (2)~(5) は真セグメントを表している.

$$SPACE(1). \begin{cases} R_x = Y - \left(\frac{m}{M-1}\right)X, \\ \quad (A \leq m < B) \\ R_x = Y - \left(\left(\frac{m}{M-1}\right) - 4\right)X, \\ \quad (H \leq m < I) \end{cases} \quad (2)$$

$$SPACE(2). \begin{cases} R_x = Y - \left(\frac{m}{M-1}\right)X, \\ \quad (B \leq m \leq C) \\ R_y = X - \left(2 - \left(\frac{m}{M-1}\right)\right)Y, \\ \quad (C \leq m < D) \end{cases} \quad (3)$$

$$SPACE(3). \begin{cases} R_y = X - \left(2 - \left(\frac{m}{M-1}\right)\right)Y, \\ \quad (D \leq m < F) \end{cases} \quad (4)$$

$$SPACE(4). \begin{cases} R_y = X - \left(2 - \left(\frac{m}{M-1}\right)\right)Y, \\ \quad (F \leq m < G) \\ R_x = \left(Y - \left(\frac{m}{M-1}\right) - 4\right)X, \\ \quad (G \leq m < H) \end{cases} \quad (5)$$

式 (6)~(9) は共有セグメントを表している.

SPACE(1)~(2).

$$R_x = Y - \left(\frac{m}{M-1}\right)X, \quad (A \leq m < C) \quad (6)$$

SPACE(2)~(3).

$$R_y = X - \left(2 - \left(\frac{m}{M-1}\right)\right)Y, \quad (C \leq m < E) \quad (7)$$

SPACE(3)~(4).

$$R_y = X - \left(2 - \left(\frac{m}{M-1}\right)\right)Y, \quad (E \leq m < G) \quad (8)$$

SPACE(4)~(1).

$$R_x = Y - \left(\left(\frac{m}{M-1}\right) - 4\right)X, \quad (G \leq m < I) \quad (9)$$

2.2 セグメントの画素数による傾きパラメータ m の再分割

2.1 章のようにセグメントの方向によって分割パラメータ空間を構成した. また, セグメントの画素数を用いてさらに傾きパラメータ m の制限が可能である. まず, S をセグメントの画素連結数, m_k を S から得られる再分割傾きパラメータとすると, 式 (10) が成立する.

$$m_k = \left[\frac{M}{S} + 0.5 \right] \quad (10)$$

ここで, $[\]$ はガウス記号を表す. 得られた m_k は式 (11) のように傾きパラメータ m の範囲制限が可能である.

$$-m_k \leq m \leq m_k \quad (11)$$

2.3 分割パラメータ空間による手法の問題点

2 章で, 文献 [6] の分割パラメータ空間による手法について簡単に述べた. しかし, このような手法のパラメータである切片パラメータ R と傾きパラメータ m の値が画素数によって整数値に離散化されているので, 画像中ですべてのデジタル直線に正確な対応はできな

い、すなわち、Hough 変換によるパラメータ空間上で正しい累積値検出ができない問題点が生じる。図 4 は横軸が x 、縦軸が y である画像に水平セグメントのデジタル直線を示している。共有セグメントの導入により水平セグメントの両端の画素が共有セグメントとして判断され、式 (10) における連結画素数 S の値が小さくなる。このため、範囲制限の m_k の値が小さくなる問題点が生じる。

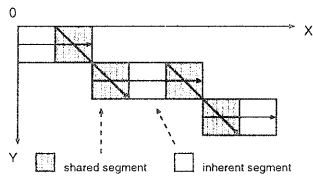


図 4: 水平セグメント上の真・共有セグメント

3 近似値による全デジタル直線の対応

画像中のすべてのデジタル直線の切片と傾きを表現するためには、無限のパラメータ空間の範囲を要する。しかし、計算量がパラメータ空間の大きさに比例するため、パラメータ空間は小さくした方がよい。和田らは文献 [5] で、すべてのデジタル直線に対応し、累積値が高精度になる手法を提案した。しかし、この手法は 128×128 の画像に対して、必要なパラメータ空間は γ - ω Hough 変換のパラメータ空間より約 43 倍になるので効率上の問題が生じる。

本章では、セグメントから平均の切片パラメータ値を用いて近似切片値を求め、パラメータ空間に投票することにより、計算量を増加させずに累積値の精度が上がる手法を提案する。

3.1 近似切片値の算出

文献 [6] の手法では、画像上の直線のセグメントを構成する各々点に対して投票が行なう。しかし、図 4 に示されたように共有セグメントの導入より、実際のセグメントの連結画素の数は少なくなるので、近似切片値を算出する際に、正確な近似切片値の算出ができない。したがって、提案手法では交差する共有セグメントは使わず、四つ (水平, 垂直, 対角水平, 対角垂直) のセグメント方向を用いる。図 5 のように画素数 3 の水平セグ

メントから最初点 (Firstpoint) と最終点 (Lastpoint) の座標値をそれぞれ $(X1, Y1)$ と $(X2, Y2)$ と定義する。2 章に文献 [6] の手法を述べたようにセグメントの方向性によって傾きパラメータ m の範囲が決定される。決定された傾きパラメータ m と座標値に対して、方向にあたる 2.1 章の式 (2)~(5) を用いる。図 5 のセグメントは水平セグメントであり、式 (2) を用いて切片パラメータである $R1, R2$ の値を求める。

$$R1(m) = Y1 - \left(\frac{m}{M-1}\right) \times X1 \quad (12)$$

$$R2(m) = Y2 - \left(\frac{m}{M-1}\right) \times X2 \quad (13)$$

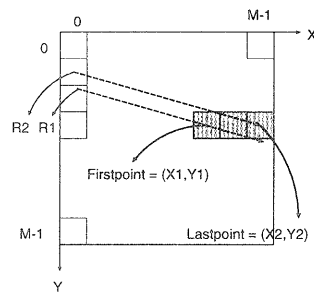


図 5: 水平方向のセグメント

また、文献 [6] の手法では画素数によって離散化された切片と傾きパラメータより図 6 のような $M \times M$ の画像上に傾きパラメータ m が 1 であり、切片パラメータ R が各々 0, 1, 3, 6 の整数値をとって変化すると直線は y 軸を沿って平行移動する。 $R_{average}$ を $R1, R2$ の平均値で定義し、近似切片値 R は式 (14) より算出する。図 6 に示したように、傾きパラメータ m が 1 であるデジタル直線のセグメントは整数の切片 R によって y 軸を沿って 1 画素間隔で移動する。すなわち、算出した $R1, R2$ の間隔が 1 を超えると $R1, R2$ のセグメントはデジタル直線を構成するセグメントでは存在しないという性質を持つ。次に、 $R1, R2$ の間隔が 1 を超えない際に、セグメントはデジタル直線に存在するので式 (14) より近似切片 R を投票する。また、パラメータ空間に投票する際に、セグメントの画素数 (水平セグメントの場合は $(x2 - x1 + 1)$ の画素数) を投票度数として用いる。

$$\text{近似切片 } R = [R_{average} + 0.5] = \left[\left(\frac{R1 + R2}{2} \right) + 0.5 \right] \quad (14)$$

ここで, $[\]$ はガウス記号を表す.

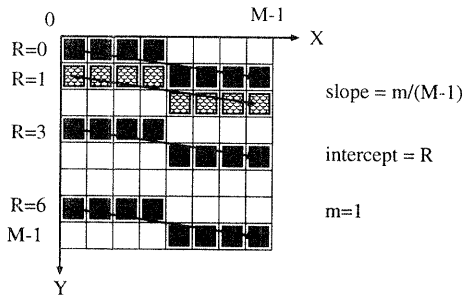


図 6: $M = 8, M \times M$ 画像の中で $m = 1$ であるデジタル直線

3.2 計算回数の比較

256×256 画像中で, 画素数 256, 切片が 0, 傾きパラメータ m を式 (1) より A から $(I - 1)$ まで変化させ, 図 7 のような直線を描く. それぞれデジタル直線に対してパラメータ空間に投票する際の計算回数を図 8 に示す. $\gamma - \omega$ Hough 変換の計算回数は

$$\begin{aligned} \text{計算回数} &= \text{直線の画素数} \times \text{傾きパラメータ } m \text{ の総数 } (A \sim I-1) \\ &= 256 \times (256 - 1) \times 4 = 261, 120 \end{aligned}$$

となる.

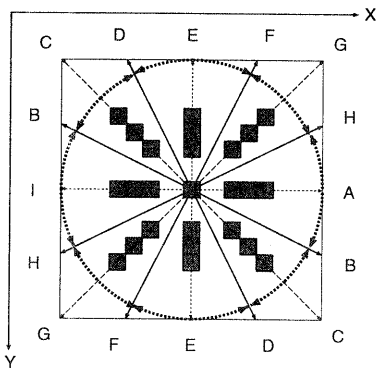


図 7: 傾きパラメータ m の傾きをもつデジタル直線

図 7 で, 傾きパラメータ m は横軸, 計算回数は縦軸である. また, (a) は $\gamma - \omega$ Hough 変換, (b) は文献 [6] の手法, (c) は提案手法の計算回数を示している. 図 7, 8 に示すように提案手法の最大計算値の傾きパラメータ

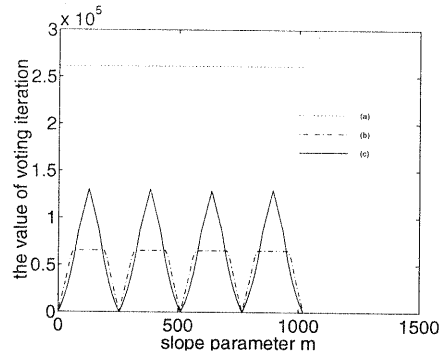


図 8: それぞれ計算回数

m は B, D, F, H である. B は水平と対角水平セグメント, D は対角水平と垂直セグメント, F は垂直と対角垂直, H は対角垂直と水平セグメントの方向が混在するデジタル直線である. なお, それぞれパラメータ空間に投票を行なわなければならないので, 最大計算回数をもつ.

4 実験

本章では, 分割パラメータ空間による手法と提案手法との計算回数と累積値の精度を比較し, 実験を行なってその有効性を示す. 実験画像として, 図 9 のように 256×256 の画像中に表 1 の傾きパラメータ m と切片パラメータ R を持つ画素数 240 の 5 本のデジタル直線を用いる. 文献 [6] の手法と提案手法を用いてパラメータ空間に投票を行なった際のそれぞれの累積値を図 10, 11 に示す.

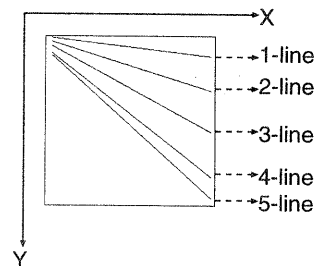


図 9: 実験画像

5 考察

図 10 は提案手法, 図 11 は文献 [6] の手法を用いてパラメータ空間の投票する際の累積値をそれぞれ示して

いる。図10,11の実線は240画素数を示し、横軸は傾きパラメータ m 、縦軸は累積値である。図10に示されたように提案手法の累積値はデジタル直線を構成するセグメントの画素数と、ほぼ相当する値が得られる。文献[6]の手法は約79%しか累積値投票されていない。表2はそれぞれの手法の計算回数を示す。提案手法と文献[6]の手法との計算回数を比べると、計算回数約2%増加した。ただ、 $\gamma - \omega$ Hough変換の場合は3.2章のように計算した値である。

表 1: 実験画像中の直線の切片と傾き

直線	傾き	傾きパラメータ m	切片
1	0.118587451	30.2398	1.754
2	0.300670588	79.671	5.45
3	0.545098039	139.0	9.754
4	0.781949019	199.397	18.154
5	0.901960784	230.0	20.154

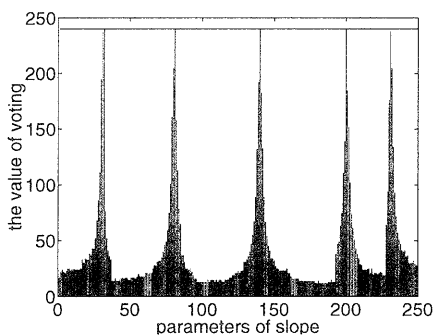


図 10: 提案手法の累積値

表 2: 計算回数の比較

それぞれの手法	計算回数	百分率 (%)
$\gamma - \omega$ Hough 変換	1,224,000	100 %
文献 [6] 手法	235,984	19.3 %
提案手法	262,034	21.4 %

6 まとめ

本文では、デジタル直線を構成するセグメントの平均値を用い、すべてのデジタル直線に対して高精度の累積値検出が可能である手法を提案した。累積値の精度を上げる際に、パラメータ空間の拡張をしないで、セグ

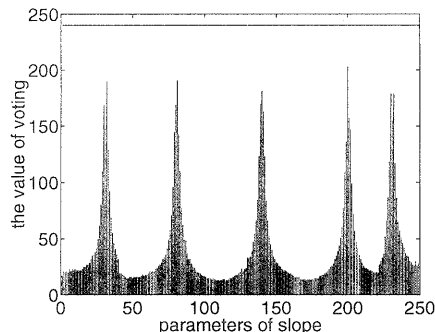


図 11: 文献 [6] の累積値

メントの方向性を用いた分割パラメータ空間への投票することにより、計算量の削減もできた。今後の課題として、傾きパラメータ m から得た近似切片 R から近似傾きパラメータ m の制限することにより、もっと高精度の累積値検出が可能を思われる。

参考文献

- [1] P. V. C. Hough : “Method and means for recognizing complex patterns” U. S. Patent No. 3069645, 1962.
- [2] R.O.Duda and P.E.Hart: “Use of Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures” Comm. ACM, Vol. 15, No. 1, pp.11-15,1972.
- [3] 松山 隆司, 和田 俊和 : ”Hough 変換 : 投票と多数決原理に基づく幾何学的対象の検出と識別” (株) 新技術コミュニケーションズ「コンピュータビジョン:技術評論と将来展望」10 章, 1998
- [4] 和田 俊和, 藤井 高広, 松山 隆司: “ $\gamma - \omega$ Hough 変換”, 信学論 (D-II), J75-D-II, No. 1, pp. 21-30(1992-01)
- [5] 和田 俊和, 関 真規人, 松山 隆司: “デジタル直線の幾何学的特性に基づいた $\gamma - \omega$ ハフ変換の高精度化”, 信学論 (D-II), J77-D-II, No. 3, pp. 529-539(1994-05)
- [6] 金 義鎮, 長谷山美紀, 北島秀夫, “デジタル画像の性質を考慮した Hough 変換の考察”, 信学技報, IE99-37, 1999