デジタル画像における線の扱い

京都大学 工学部 金 出 武 雄

デジタル画像処理において重要な線を扱う技術のうち、デジタル直線の性質の定式化と濃淡画像から線を抽出する方法について、最近の研究の話題を解説する。

1. ま え が き

デジタルプロッターやドットプリンターによって直線や曲線を表示するためのデータ生成、ペン入力装置で入力された線のデータを線分や円弧で近似して符号化する問題、デジタル濃淡図形から線やエッジを抽出する問題など、デジタル画像処理において、直線および曲線の扱いは最も基本的な技術として重要である。

本稿では、

- (1) 直線をデジタル画像として表わしたときの性質の定式化
 - (2) 画像からの線の抽出法
- の2つの問題について、最近の研究を整理してみよう。

2. デジタル直線の性質

デジタル画像データは普通、画素の明るさを表わす格子状の数値の配列(2次元データアレイ) $F(i, j)$, ($1 \leq i, j \leq n$)として表わされる。特に $F(i, j)$ の値として 0 (白) か 1 (黒) の値しかとらないものはデジタル画像のうちでも2値画像と呼ばれている。

デジタル画像処理を行うとき、領域の連結性・面積・凸性、線の直線性といった幾何学的・位相的性質がどう定義でき、計算できるかという興味が存在する。そのような研究はデジタル幾何とか、ディスクリット幾何と呼ばれている。ここでは、デジタル直線の性質を調べよう。この問題は2値画像において1の値をとる格子点が決どのように配置されていれば、直線を表わしていると考えてよいかという問題である。

2.1 デジタル直線と chain code

Rosenfeld らはデジタル画像の性質に関する一連の論文^{1)~8)}を発表しているが、文献6)ではデジタル化された直線の性格づけを行った。まず、digital arc⁴⁾と chord property を定義する⁶⁾。

digital arc (図1参照)

格子点 $P_1, P_2, \dots, P_n$ ($P = (i, j)$ i, j は整数)で、(1) $P_r = P_s$ if and only if $r = s$ すなわち $\{P_s\}$ の中には同一のものは繰返しておこっていない。(2) $P_r \in E P_s$ if and only if $r = s \pm 1$ (ここで、 $E P$ とは $P = (i, j)$ の格子点に対する8近接点の集合(図1(a)参照)すなわち、両端 P_1 と P_n をのぞく各 P_r は8近接点の意味で、ちょうど2つずつの隣接点をもつ。

図1(b)(c)は digital arc の例であり、図1(d)は digital arc でない。

(a) 8近接点(斜線の格子点が中央の格子点 (i, j) に対する8近接点である)

(b) digital arc, chain code=2211

(c) digital arc, chain code=0010

(d) digital arcでない
(2)のために条件(2)をみたさない

(e) chain code のシンボル

図1 8近接点と digital arc

"Processings of Lines in Digital Pictures" by Takeo Kanade (Department of Information Science, Kyoto University, Kyoto)

chord property

デジタル画像の格子点の集合 S 内の 2 点を P, Q とし, P, Q を結ぶ線分を PQ と書く. PQ 上の任意の点 (x, y) に対して $\max[|i-x|, |j-y|] < 1$ を満たす S に属する格子点 (i, j) が存在するということが, S 内のすべての P, Q の組についていえるとき, S は chord property をもつという.

文献 6) の結果は “digital arc が直線線分のデジタル化となっている必要十分条件は, それが chord property をもつことである” である.

P_{r+1} が P_r の 8 近接点のどれであるかによって, 図 1 (e) のような 0~7 のシンボルの系列として表わせば図 1 (b) (c) の例に示すように, digital arc はよく知られている Freeman の chain code⁹⁾による線の表現と同じことである. chain code を作成する標準的手続きを考えると, 上の結果は容易に理解できる.

この結果を用いてわかるデジタル直線 (格子点の集合) の性質をあげる. 上述のとおり, デジタル直線と chain code は本質的に同一のものであるから, これらは, すでに chain code の性質¹⁰⁾として知られていることと同等である. 比較対照して書くと,

デジタル直線

- i) 同じ方向に, 点が続くこと (Run) は多くとも 2 方向 (45° 異なる) にしか起こらない.
- ii) 一方の方向の Run の長さは常に 1 である.
- iii) もう一方の方向の Run の長さは多くとも 1 だけ異なる 2 種類しかなく, 一方の Run の長さは, つづけておこなない.

上のことは Run の長さの Run についてもいえる.

直線の chain code

- 多くとも 2 種類のシンボルしか現われず, それらは modulo 8 で, 1 異なるだけである.
- 2 種類のシンボルのうち, 続けて現われることがあるシンボルは一方だけである.
- つづけて現われない方のシンボルの現われる間隔は多くとも, 1 だけ異なる 2 種類しかなく, その間隔についてもまた, 続けて現われることがある間隔は一方だけである.
- 上のことは間隔の系列にもいえる.

となる. これらを chain code のことばで最も端的に言えば, “多くとも 2 種類 (modulo 8 で 1 だけ異なる) のシンボルからなる系列で, 出現数の少ない方のシンボルがその系列中にできるだけ一様に現われているもの” が直線のデジタル化であるといえる.

2.2 デジタル直線の認識と生成の問題

上述の規則性は直線を表す chain code (すなわち, デジタル直線の点の集合) がどの程度複雑な言語をなしているのだろうかという疑問を生じさせる. これに対してはすでに, “それは Linear Bounded Automaton によって認識される (真の) Context Sensitive Language

図 2 デジタル直線の chain code

をなす”ことが示されている. Feder¹¹⁾ の証明はデジタルプロッターで描かれた線が直線かどうか調べるといったイメージを使ってなされている. つまり, chain code の両端の点を結んだ直線線分に対して, chain code 内のすべての点がそれからの一定距離以内にあるかどうか調べるには, その chain code の長さ分の計算スペースでよいといったものである.

最近になって, 直線の chain code として先に述べた性質をもつシンボルの系列を生成・認識するという観点から, デジタル直線の性質を数論, アフィン変換, オートマトンなどに関連させたなかなかおもしろい論文が出た¹²⁾¹³⁾.

以下の話を簡単にするため, 一般性を失うことなく, $0 \leq y \leq x$ の傾域にあって原点を通る直線 $y = ax$, $0 \leq a \leq 1$ に議論を限る. 図 2 の例および性質 i) からわかるように, それらの chain code に現れるシンボルは 0 と 1 だけである. 既約有理数 p/q を傾きとする直線の chain code はちょうど q の長さの周期をもっているから, その 1 周期分の系列を決めれば充分である. 1 周期の始めと終りの位置を, 0 から始まり, 1 で終り, かつ短い方の 1 の間隔が最後に来るように決める (性質 ii) iii) よりこの決め方は一意である. all 0, all 1 の系列は特別).

いま, 考えている格子全体の大きさが $n \times n$ であると, 可能な chain code の種類は $0 \leq p \leq q \leq n$, p, q 既約として,

$$\{0/1, 1/n, \dots, p/q, \dots, (n-1)/n, 1/1\}$$

なる有理数の傾きをもつ直線に対応するものだけであることがわかる. この数列を order n の Farey 数列という (これはすでに文献 10) で指摘されている).

これより, 有理数 p/q に対応する連分数展開による chain code の生成法を定める. 以下では傾き $0/1$ と $1/1$ をのぞいて考える.

(1) 連分数展開による直線の chain code 生成法

与えられた既約有理数 $p/q < 1$ に対し, $S_1, S_2, \dots, S_N$ を 1 より大きい正整数として,

$$p/q = \cfrac{1}{S_1 - \cfrac{1}{S_2 - \cfrac{1}{\ddots - \cfrac{1}{S_{N-1} - \cfrac{1}{S_N}}}}}$$

という負の剰余を用いた連分数展開をして、これを $p/q = [S_1, S_2, \dots, S_N]$ と記述することにする。生成ルールはつぎのとおりである。

1-a) $[S_N]$ に対する code は 0^{S_N-1} 。

1-b) $[S_{i+1}, \dots, S_N]$ から $[S_i, S_{i+1}, \dots, S_N]$ に移るにはつぎの書換えルールを適用する。
 $0 \rightarrow 0^{S_i-1}1, 1 \rightarrow 0^{S_i-2}1$ 。

例として、傾き $5/17$ の直線ならば、

$$\frac{5}{17} = \frac{1}{4 - \frac{1}{2 - \frac{1}{3}}} = [4, 2, 3]$$

であるから

$$\begin{aligned} [3] &= \overbrace{0}^0 \overbrace{0}^0 \overbrace{1}^1 \\ [2, 3] &= \overbrace{0}^0 \overbrace{0}^0 \overbrace{0001}^0 \overbrace{001}^1 \overbrace{001}^1 \\ [4, 2, 3] &= \overbrace{0001}^0 \overbrace{001}^0 \overbrace{0001}^0 \overbrace{001}^1 \overbrace{001}^1 \end{aligned}$$

となる。

これは、2.1 節で述べた chain code の性質と関連させると、つぎのように説明できる。問題は“0 と 1 からなる長さ 17 のシンボル列の中に 5 個の 1 をできるだけ一様に置きたい”である。まず、0 が 12 個、1 が 5 個あるのだから $0^{12}1^5$ が第 1 次近似である。さらに一様に 1 を配分するには 1 だけ長さの違う 2 種類の部分系列が要る。 $5/17$ を $\frac{1}{4 - \frac{3}{5}}$ と表わすことにより、長さ 4 の部

分系列 0001 を 2 回、長さ 3 の部分系列 001 を 3 回置けばよいことがわかる。すなわち、 $(0001)^2(001)^3$ が第 2 次近似となる。したがって、問題は 2 個の 0001 と 3 個の 001 をどう配置するかになるが、これは長さ 5 の系列の中に 1 を 3 個どう配置するか、すなわち、傾き $3/5$ の直線の code を得るのと同じである。 $3/5 = \frac{1}{2 - \frac{1}{3}}$ だから

長さ 2 の部分系列 01 を 2 個、長さ 1 の部分系列 1 を 1 個とすればよい。また、この配置法は傾き $1/3$ の直線の code に対応するから明らかに 0^21 である。 $3/5$ にもどって考えると、 $0 \rightarrow 01, 1 \rightarrow 1$ で置きかえると $(01)^21$ 。さらに $5/17$ にもどるため $0 \rightarrow 0001, 1 \rightarrow 001$ で置きかえ、 $(0001001)^2001$ を得る。

文献 12) と 13) にはこの連分数展開に対応してより良い近似を求めていくのに当る、直線の code 生成のための recursive なアルゴリズムをはじめ、各種の Grammar がでている。

上のルールによって、生成される系列の集合が、context free でないことは比較的容易に示される。

(2) 直線の chain code の認識

与えられた 0 と 1 からなる系列がデジタル直線を表わしているかどうかの判定は (1) の生成ルールの逆を行うことでできる。つまり、

2-a) すべての同じシンボルの系列 (特に長さ 1 の系列) は直線である。

2-b) 2.1 節の性質 iii) によって、このルールのすべての段階において、デジタル直線である系列は、多くとも 2 種類の長さが 1 だけ違う segment $0^{k+1}1$ と 0^k1 からなっているはずでこの性質のないものは reject する。

2-c) 長い方の segment を 0 で、短い方の segment を 1 で置きかえる。2-a) へ。

ここで、2-c) の操作は、1-b) の操作のちょうど逆をしていることに注意されたい。

このルールとまったく同じ内容のことを実行する Linear Bounded Automaton を作ることができる¹³⁾ので、(1)の結果と合わせて、直線の chain code は真に context sensitive であることがわかった。

このような操作は幾何学的にはどういう意味をもっているのだろうか。いま、原点を固定したアフィン変換 S と C を次式で定義する。

$$(x', y') = (x, y) \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} = (x, y) S$$

$$(x', y') = (x, y) \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} = (x, y) C.$$

すると、上の規則の 2-c) の操作は $S^k C S C$ なるアフィン変換 (k は短い方の segment の 0 の数) を直線に施したことに対応している。この変換は先の連分数展開の 1 回分に対応しており、

$$p/q = \frac{1}{(k+2) - r/p}, \quad r < p$$

とすると、直線 $y = p/q \cdot x$ を直線 $y = r/p$ に変換していることが、実際に計算してみると確かめられる。

3. 画像からの線の抽出

デジタル画像処理において、縁・線の抽出は画像の認識処理のための最も基本的技術である。1972 年初め頃までの研究については文献 14) にまとめられている。それ以後はカラー画像の扱いが多くなった点があるが、基本的なデータ処理法としては特別新しい手法は提出されていないようである。むしろ、従来の方法を適用し、より“意味のある線の抽出”を目標としている。これはデジタル画像処理の中心が、単なる線の抽出法というような個々の技術の研究でなく、各種の現実的な要求を解決する応用に移っており、線の抽出法はそのなかで基礎的技術として使用されていることの反映であろう。最

近の線抽出の話題を、

- (1) カラーエッジ抽出
- (2) 問題領域の拘束や線の性質を線抽出法の中でどう生かすか

の方法の点からみてみたい。

3.1 カラーエッジ抽出

白黒濃淡画像の場合は各画素の値が濃淡値というスカラーであるのに対し、カラー画像では代表的には測色理論の3刺激値に対応する (R, G, B) という3次元ベクトル量をとる(もっと一般にはマルチスペクトル画像)。カラー画像の線抽出の方法は基本的には白黒濃淡画像の場合と同じで、微分による方法と Hueckel オペレーターの拡張が報告されている。

(1) 微分による方法

いま、画像に対する微分操作として、文献14)中の表1にあるようなものを一般に d 、そして閾値処理による2値化操作を H と表わす。カラー画像の R, G, B の要素はそれぞれ1枚の濃淡画像を表わしている。したがって、たとえば R の要素の画像に微分操作を施した結果の画像を dR と書くと、カラー画像からの微分によるエッジ抽出のための操作としては、

1-1) $H(dR+dG+dB)$ ……各色の微分画像の和を閾値処理

1-2) $HdR+HdG+HdB$ ……各色の微分画像の閾値処理した2値画像の和

がある¹⁵⁾¹⁶⁾。1-2)では結果として各画素の値は $\{0, 1, 2, 3\}$ のどれかをとるので、その画素のエッジらしさの評価として後の処理を利用することも可能である。

(2) Hueckel オペレーターの拡張

円板状の窓 D 内の濃淡の様子 $f(x, y)$ を図3のようなステップ状に変化するエッジ $F(x, y, \alpha, \rho, b, d)$ で近似したときの誤差、

$$N_2 = \int_D [f(x, y) - F(x, y, \alpha, \rho, b, d)]^2 dx dy$$

が最小となるパラメーター α, ρ, b, d を求める。誤差が小さく、ステップの高さ (d) が大きい位置に方向 (α) の

図3 Hueckel オペレーターの窓 D 内の理想的なステップエッジ、 $F(x, y)$

エッジが存在すると判定する。Hueckel オペレーターは適当なフィルターの組によって $\min N^2$ を効率良く計算できるようにしている。カラー画像への拡張¹⁷⁾では R, G, B の各画像にエッジ方向は共通(すなわち、 $\alpha_R = \alpha_G = \alpha_B$)の条件で、別個にオペレーターを適用し、

$$N^2 = N_R^2 + N_G^2 + N_B^2$$

を最小にするようにしたときの各画像でのエッジのステップの高さ d_R, d_G, d_B を求める。このときもエッジ点の決定としては(1)の微分の場合と同様、

$$2-1) H(d_R^2 + d_G^2 + d_B^2)$$

$$2-2) Hd_R + Hd_G + Hd_B$$

の2方法が可能である。

カラー画像を表現するには、先に述べた3刺激値に対応する、

$$a) (R, G, B)$$

の他に正規化した値として、

$$b) (r, g, b); r = R/I, g = G/I, b = B/I,$$

$$I = R + G + B$$

$$c) (r, g, Y); Y = C_1 R + C_2 G + C_3 B, C_1, C_2, C_3: \text{定数}$$

$$d) (h, s, I); h \text{ と } s \text{ は } r, g \text{ の極座標表示。}$$

がよく使われる¹⁸⁾。特に1-2)や2-2)の方法を使うときにはb)~d)の表現が有効である。なおd)は一応色相・彩度・明度に対応させていることになるので良い面もあるが、 R, G, B のデジタル値から変換して計算すると、 h, s のヒストグラムに特異な偽のピークが現れて扱いにくい。図4は (r, g, b) のカラー画像表現に対して1-2)の方法で線抽出をしたものと、白黒濃淡情報による線抽出結果とをくらべたもので、前者は影の影響を除去している効果のあることがわかる。

3.2 線の抽出法における拘束条件の利用

拘束条件を満たす線、目的に合った線を見出す方法として、①繰返し法、②パラメーター変換法、③目的関数の利用、④知識の直接利用、について特徴や考え方を比較すると表1のようになる。

(1) 繰返し法による直線性の強調

画面内の各点について、近隣に同様な方向の線の要素があれば、その点の線の要素点らしさを増加させ、そうでなければ減少させる。この操作を繰返すことにより、一定の直線を形成する線要素が近傍に存在しているような点だけが強調されて残る。繰返しの際の線の要素点らしさの更新に、文献19)では加減点法を用い、文献20)ではその確率に対する緩和法を用いている。

(2) 変換による直線の取出しとセグメンテーション

直線をパラメーター空間に変換する方法もよく使われている。代表的なものは、直線を $x \cos \theta + y \sin \theta = \rho$ と

(a) カラー(r, g, b) 画像からの微分による方法

(b) 白黒濃淡(1)画像からの微分による方法

図 4 カラーエッジ抽出の効果

表 1 線抽出における拘束条件の導入

方 法	考慮している範囲	計算する局所性質	条件を大局に及ぼす方法	計算法・表現	問 題 点	例
繰返し法	線要素点まわりの Consistency	線要素の存在, その方向性	局所的評価の繰返しによる伝播	加減点法 Relaxation	non-purposive な一様処理	衛星写真からの linear pattern 検出
パラメーター変換法	線全体の Collinearity	線要素の存在 (方向あるいは曲率)	パラメーター空間内でのクラスタ解析		計算量, デジタルでの取扱い, 連結性のチェック	ρ - θ 変換 ψ - s 変換
目的関数の利用	一連の線全体の評価	線要素の検出, 曲率	線追跡による最適経路選択	DP Graph Search	表現できる拘束条件の制限	Noisy な画像からの線抽出
知識の直接利用	画面全体の線の組に対する条件	線要素の検出, 線の方向を知った上	応用ごとの Heuristic	プログラム	Mini-World の設定法	Block World の Line Finder

表現する ρ - θ 変換²¹⁾である。図 5(a) に示すように、 x - y 平面内の点は ρ - θ 平面内の正弦曲線に写像され、直線を構成する点集合は ρ - θ 平面内の 1 点で共通に重なる。したがって、まず線要素を微分法などで求め、それらの点を変換し、 ρ - θ 平面内で重なるの大きい点 (クラスタ) の座標 (ρ_0, θ_0) を求めることによって直線 $x \cos \theta_0 + y \sin \theta_0 = \rho_0$ の存在を検出できる。この方法を実際にディジタル画像に適用するには、 x - y , ρ - θ とも量子化されるところからくる問題に対処するなど、いくつかの工夫を要する²²⁾。図 5(b)~(d) は机の画面に適用した例である。線を追跡する手法ではわかりにくい、離れた線分間の collinearity を利用できるのも、2 本の近接する平行線の取出しや、不要な線分除去の効果がわかる。

線要素点 (X, Y) を ρ - θ の正弦曲線に写像するのではなく、その点の gradient の方向を θ として、それから決まる点 (ρ, θ) の点へ写像する方法もある。文献 23) では文字認識、文献 24) では物体認識に使った。

まず線を追跡しておいて、線の始点からの長さ s に対

して、各点における接線の傾き (ψ)、あるいは、曲率 (δ) の値を関数グラフとして表現する方法も線のセグメンテーションに利用できる。最近では Turner²⁵⁾ が ψ - s 変換を、曲面物体シーンの線を直線と 2 次曲線に分割するのに使用している。

図 6 に示すように、もとの曲線上で直線となる点列は ψ - s グラフでは水平線となり、円弧をなす点列は傾いた直線となる。したがって、 ψ - s グラフを折線近似し、折点の位置でもとの曲線を分割すればよい。

(3) 目的関数を用いる線抽出

求めたい線の性質を figure of merit として埋めこむことにより、雑音のある画面から線を抽出する問題を、与えられた目的関数を最適化する問題に還元できる²⁶⁾。Montanari らによる線抽出に関連した一連の論文のうち最も最近のもの²⁷⁾では、最適問題をグラフ上の最短経路を求める Graph search 問題とみるか、ダイナミックプログラミングの問題とみるかとの関係を論じ、各種の heuristic 情報が利用できる前者の方が計算時間の点で有利であると述べている。

(a) ρ - θ 変換の意味

(b) 原写真

(c) 線要素点を抽出後、細線化と孤立点除去をしたもの

(d) ρ - θ 変換法によって抽出された直線

図 5 変換による線抽出

図 6 ψ - s 変換による曲線の分割と近似

この手法を現実の画像からの線抽出に応用した例としては、胸のX線写真からの腫瘍検出²⁸⁾、心臓の境界線検出²⁹⁾がある。実際に使われた目的関数の形は文献²⁸⁾では円形に近い閉曲線を求めるため、

$$\min \left[\sum_{K=1}^N L(P_K) + \alpha \sum_{K=1}^N G(P_{K-1}, P_K, P_{K+1}) \right]$$

$P_1, P_2, \dots, P_N$ は closed curve で $P_i = P_{i \pm N}$ とする。

$L(P_K)$: P_K における画像データの gradient 値,
 $G(P_{K-1}, P_K, P_{K+1})$: 3 点が low curvature をなす
 評価,

であり、文献²⁹⁾では垂直方向にのびる線を求めるということで、

$$\min \left[\sum_{i=1}^N l(P_i) + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^N g(P_i, P_j) \right]$$

$l(P_j)$: vertical edge らしさ (小さい方がよいとする)

$g(P_i, P_j) = (p_{iy} - p_{jy})^2 C$ (ただし、 p_{iy}, p_{jy} はそれぞれ P_i, P_j の y 座標である)

とした。 L や l が local な、 G や g が global な評価関数である。

(4) 問題領域の知識の直接利用

認識に必要な線の抽出を、微分オペレーターの出力の大きい点を単純につなぐといった方法によると良い結果を得にくい、ということはいくつとわかれるところである。限られた問題領域ではそのセマンティックな知識を利用

図 7 Shirai³⁰⁾ の Line Finder の解析順序

図 8 方向コード映像による直方体認識の考え

することが可能である。代表的な研究は Shirai³⁰⁾による Block World のための Line Finder である。線の抽出を、(イ)物体(の集まり)と背景の間の線、(ロ)物体間の線、(ハ)同一物体内の稜線という順序で物体を認識しながら実行する(図 7)。前の段階ほど抽出がやさしく、かつ各段階ではその前の段階の結果から、線の存在するはずの位置が予想できるので、信頼性高く線が抽出できる。

工業応用では、方向コード映像による直方体認識³¹⁾がある。方向コード映像というのは、濃淡画像の gradient をとり、その値が大きい点にはその gradient の方向を表わす 0~63 の記号を与えたもので、ディジタル画像処理ではよく使われる。

手法の基本的考えは図 8 に示す簡単なものである。もとの画面中に長方形が存在している場合には、方向コード映像について、方向コードのヒストグラムをとると、4つの辺から生じた方向コードによって $\pi/2$ ごとにピークが出る。したがって、modulo $\pi/2$ でヒストグラムを加算すれば長方形の姿勢を示す角度 α_0 が大きなピークの位置として求まる。画面中に文字や記号があったとし

ても、それらに起因する方向コードは特定のピークを作らないから、この角度は安定に求まる。

α_0 の値がほぼ得られると、画面中で長方形の位置を求めるのは容易となる。直方体を斜めから見たときについては、対応する変換を考えることにより同じ手法が拡張できる。局所オペレーターの出力から対象物体の性質を反映しているものだけを選択的に取出すものであり、工業応用において重要な、簡単でタフな手法としておもしろい。

4. む す び

ここではふれなかったが、ディジタル幾何の問題として、凸性検出、連結性のチェック、細線化など、画像の特徴抽出に関する多くのアルゴリズムについて、それが常に一定の望ましい結果を与えるかどうか、本質的に逐次処理アルゴリズムか並列処理アルゴリズムか、というような証明や検討がなされている。

ディジタル濃淡画像からの線抽出は、応用ごとに主として思いつきで多くの手法やその変形が生みだされてきたのが現状である。今後はそれらを整理して比較し、利点、適用範囲、問題点などを明確にすること、そしてさらには一般的で適用性の広いものは標準的のライブラリーとしてまとめていくような努力も必要ではないかと思われる。

(昭和 52 年 2 月 21 日受付)

〔参 考 文 献〕

(CG & IP は, Computer Graphics and Image Processing の略)

- 1) Rosenfeld and Phaltz: Sequential operations in digital picture processing, JACM, **13** (1966) 471-494
- 2) Rosenfeld and Phaltz: Distance functions on digital pictures, Pattern Recognition, **1** (1968) 33-61
- 3) Rosenfeld: Connectivity in digital pictures, JACM, **17** (1970) 146-160
- 4) Rosenfeld: Arcs and curves in digital pictures, JACM, **20** (1973) 81-87
- 5) Rosenfeld: Adjacency in digital pictures, Information and Control, **26** (1974) 24-33
- 6) Rosenfeld: Digital straight line segments, IEEE Trans., **C-23** (1974) 1264-1269
- 7) Rosenfeld: Compact figures in digital pictures, IEEE Trans., **SMC-4** (1974) 211-223
- 8) Rosenfeld, Johnston: Angle detection on digital curves, IEEE Trans., **C-22** (1973) 875-878
- 9) Freeman: On the encoding of arbitrary geometric configurations, IRE Trans., **EC-10** (1961) 260-268
- 10) Freeman: "Boundary encoding and processing" in Picture Processing and Psychopictorics (Academic Press) 241-266
- 11) Feder: Languages of encoded line patterns, Information and Control, **13** (1968) 230-244
- 12) Brons: Linguistic methods for the description of

- a straight line, CG & IP, **3** (1974) 48-62
- 13) Rothstein and Weiman: Parallel and sequential specification of a context sensitive language for straight lines on grids, CG & IP, **5** (1976) 106-124
 - 14) 長尾, 金出: パターン認識における線・線の抽出, 信学誌, **55** (1972) 1618-1627
 - 15) Yachida and Tsuji: Application of color information to recognition of 3-dimensional objects, Pattern Recognition, **3**, 3 (1971)
 - 16) 坂井, 金出, 久保: 計算機による色彩画像処理, 第4回画像工学コンファレンス予稿集(昭 48) 13-16
 - 17) Nevatia: A color edge detector, Proc. 3rd Intern. Joint Conf. on Pattern Recognition (1976) 829-832
 - 18) 伊藤: コンピュータによる色彩画像処理, 日経エレクトロニクス, No. 124 (1975) 76-103
 - 19) VanderBrug and Rosenfeld: Experiment in iterative enhancement of linear features, Univ. of Maryland, TR. 425 (1975)
 - 20) Zucker, Hummel and Rosenfeld: Application of relaxation labelling 1, Univ. of Maryland, TR. 419 (1975)
 - 21) Duda, Hart: Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures, CACM, **5** (1972) 11-15
 - 22) 有木: モデルを用いた物体認識のための特徴構造化, 京大情報工学科修士論文(昭 51.2)
 - 23) 齊藤, 森, 森: 角度座標分布によるカタカナ手書文字認識実験, 信学会技術研究報告, PRL-75-29 (昭 50.7)
 - 24) O'Gorman and Clows: Finding picture edges through collinearity of feature points, Proc. 3rd IJCAI (1973) 543-555
 - 25) Turner: Computer perception of curved objects using a television camera, PhD thesis Univ. of Edinburgh (1974)
 - 26) Montanari: On the optimal detection of curves in noisy pictures, CACM, **14** (1971) 335-345
 - 27) Martelli: An application of heuristic search methods to edge and contour detection, CACM, **19** (1976) 73-83
 - 28) Ballard and Sklansky: Tumor detection in radiograph, Computer Biomedical Res., **6** (1973) 299-321
 - 29) Chien and Fu: A decision function method for boundary detection, CG & IP, **3** (1974) 125-140
 - 30) Shirai: A context sensitive line finder for recognition of polyhedron, Artificial Intelligence, **4**(1973) 95-119
 - 31) 依田, 本池, 江尻: 方向コード映像による直方体形状物体の認識, 情報処理学会イメージプロセッシング研究会資料(昭 51.1)

新発売

画像鮮明、2時間ビデオ

ベータマックスX2

ビデオデッキ SL-8100

組合せ価格 ¥268,000

(本体 ¥255,000 / RFユニット ¥13,000)

ソニーが新しく開発したPI(フェイズ インバーター) カラー記録方式やNRS(ノイズ リダクション システム)の採用で、画像は一段と鮮明になりました。しかも、2時間録画。ビデオカセットは、最も小さく、経済的です。

主な特長

- 鮮明な画像で2時間の録画ができます。
- ビデオカセットは最も小さく、経済的です。
- 自由に選べる2スピード方式です。
- 操作は簡単、録画・再生ワンタッチです。
- 見たい番組が重なったら裏番組録画で解決です。
- 外出中・お休み中の番組は、別売のタイマーを使って自動的に留守録画できます。
- お手持ちの8ミリフィルムをビデオカセット化すれば、テレビで見られます。
- ご愛用のどのテレビにも接続できます。

ビデオカセット

L-500 ¥4,000

L-250 ¥2,850

デジタルタイマー DT-31 ¥10,000

資料のご請求は 〒141 東京都品川区大崎局区内
ソニー商事株式会社 ビデオ営業部 TEL(03) 493-3676