

画像処理サブルーチンライブラリSLIPについて

—画像処理機能の一覧

鳥脇純一郎 福村晃夫
(名古屋大学 工学部)

おらまし 本稿は、画像処理用プログラムパッケージに含むことが望まれる画像処理機能も、種類別に整理したものである。これは、先に著者らの研究グループに於いて、画像処理サブルーチンパッケージSLIP (Subroutine Library for Image Processing) の開発のための指針として用意されたものを、その後の画像処理技術の発展を加味して改訂したものであり、今後の画像処理手法の研究およびプログラムパッケージ開発のための資料となり得るであろう。

1. まえがき

電算機による画像処理は、一部において最もよく実用期に入りつつある。そのもとに応用分野の拡大、非専門家による画像処理の需要の増大が期待され、それが再び従来以上に高度な処理を要求する新たな契機となるであろうと予想される。従って、これまで蓄積されてきた諸成果を容易に利用できるように整備しておくことが極めて重要となる。これに討して、筆者の研究グループでは、画像処理サブルーチンライブラリSLIPを開発し、1975年1月以来、名古屋大学大型計算機センターのライブラリとして一般利用者の使用に供してきている。一方、最近では、画像処理プログラムパッケージにも関心が増し、開発に着手したものもある。⁽⁴⁻¹⁾

そこで、この種のパッケージの開発に際しては、まづどのような種類の機能で用意しておけばよいか問題となる。上記SLIPの場合には、画像処理機能の一覧表をつくり、開発の指針とした。本稿は、この機能表を、その後の画像処理技術の発展を考慮して全面的に改訂したものである。SLIPは、登録後4年の使用経験に基づいて、今年度から大幅な改訂と強化を計りたいと考えている。本文の表もその準備として作成されたものであるが、画像処理の研究の発展は余りにも急速かつ広範囲にわたるため、本表もすべての手法を尽くしてはいよとは到底言えない。しかしながら、この種の資料はこれまで余り発表されてはいないため、今後の画像処理ライブラリ開発の一資料も提供し得るものと思われる。また、画像処理手法を概観するための資料としても役立つのではないかと考えている。

2. 画像処理プログラムパッケージのための機能の一覧

記法：表中で $xxx = (ooo, ooo, \dots)$ は、 xxx の項目に関しては、 ooo, \dots 等の各場合が考えられることを表す。主として次の略記法が用いられている。

- データの型：Type = (I, R), I = 整数型, R = 実数型。
 - 連結性：Con = (4-c, 8-c, m-c), 4-c = 4連結, 8-c = 8連結, m-c = 混合連結⁽⁴⁾。
 - データ画像の濃度値：G-level = (B, G), B = 2値画像, G = 濃淡画像。
 - 処理対象領域：Area = (All, Sub, Point, Random), All = 全画像, Sub = 部分画像, Point = 1点, Random = 2個以上の指定点。
 - アルゴリズム：Alg. = (Seq., Par.), Seq. = 逐次型, Par. = 並列型。
 - 実行条件：Cond. = (有, 無), 有 = 条件付き実行, 無 = 無条件実行。
 - 入力画像の保存：入力保存 = (可, 否), 可 = 入力画像を処理後も保存, 否 = 保存されない。
- その他、画像および画像演算の代数表現として、文献(4)の記法を用いる。

しかし、表に関しては、次の点をお断りしておく。

- ① SLEIPには、画像処理の進展、および、アルゴリズムデータベースの両面がある。従って、本表も色々の方法を幅広く収録するようにし、各方法の有効性に関する評価はしていない。
- ② 手法の選択基準はSLEIPの方針⁽⁵⁻¹⁾に基づくが、最終的には筆者の主観による。従って、各項目によって詳しい度合には差がある。
- ③ ここにあげた文献は、筆者の知り得た範囲で、プログラム作成に便利なものに重点をおきながら適当に選んだもので、決して網羅的のものではない。また、最初の提案者のものとは限らない。

④ 出力

(1.1) 画像濃度値の数値印刷: 画像濃度値を指定されたFORMATでラインプリンタ(LP)に印刷する。Type=(I,R), Area=(All, Sub)。原則として1次元配列の印刷は含まないが、「たて型印刷」⁽⁴⁾のみは含める。

(1.2) 画像の印刷: (1.2.1) 2次元画像のLP出力: 2次元画像をLPに出力する。Type=(I,R), 印刷濃淡レベル数=(2値, 多値^{(2),(3)} LPの2重印字による), 印字方式=(濃淡, 英文字), Area=(All, Sub)。

濃度値量子化しきい値設定法=(上限・下限・分割数指定, 全しきい値指定, データから自動設定)

(1.2.2) 1次元グラフのLP出力: 1変数関数(波形)のグラフ, 棒グラフをLPで印刷。LPのプロット的使用方も含む⁽⁷⁾ Type=(I,R)。

(1.2.3) 2次元画像のXYプロット出力: 表示形式=(立体図, 平面図), Type=(I,R)。
[立体図形式のとき] 作画方法=(縦型, 横型)⁽²⁾, 隠線消去=(有, 無)。

[平面図形式のとき] G-level=(B,G,等高線), 出力G-level=(B,G), 色情報=(有, 無)。

名大大型計算機センターの場合は、これ以外に高度かつ広汎な機能をもつプロット専用ライブラリが利用できる⁽⁶⁾。

② ファイルリング

ファイルリングの定義は文献(5-3)参照。定義式通り実行すると計算時間が長くなり、高速アルゴリズムの開発が必要。

(2.1) 線形ファイル: Type=(I,R), 重み関数の形=(任意関数, 一様重み⁽⁵⁾, 差分型⁽⁶⁾), 画面の縁の処理=(約9種)⁽⁵⁻³⁾。
[一様重みの場合] アルゴリズム=(高速I型⁽⁶⁾,

高速II型⁽⁶⁾), 作業領域の個数=(0,1,2), 入力画像の保存=(有, 否)。

[差分型の場合] 種類=(1階差分, 2階差分)。

(2.2) 非線形ファイル: Type=(I,R), 種類=(range⁽⁷⁾, 局所最大値(最小値)⁽⁸⁾, 局所分散⁽⁸⁾, 局所相関⁽⁹⁾, 局所傾斜度⁽⁹⁾, 連結数⁽⁹⁾, 曲率係数⁽⁹⁾, Heucler演算⁽¹⁰⁾, 3x3辺階差分演算⁽¹¹⁾, edge保存ファイル^{(12),(13)}, median⁽¹⁴⁾, K-S統計量⁽¹⁵⁾, その他検定用統計量), 画面の縁の処理=(約9種⁽⁵⁻³⁾)。[3x3辺階のとき] 辺傍=(固定, 可変⁽¹⁶⁾)。

③ 点演算および2項点演算

処理結果の各標本点における値は、入力画像(1個または2個)の同じ位置にある点の値の4から定まる。文献(16)の点演算および2項点演算に対応する。機能面からいえばインターフェイス機能が多い⁽⁵⁻¹⁾個々のルーチンがプログラム自体は着しく簡単であるから利用者がその都度つくることも容易であるが、これまでの使用経験によれば、各種のものを用意しておくことの効果は大きい。

(3.1) しきい値演算: 入力画像の各点に対してしきい値演算を実行する。Type=(I,R), 種類=(2値化, 3値化, 0と入力値, その他), しきい値の個数=(1,2,3個以上), しきい値に等しい値の処置=(各種)。

なお、しきい値の選択法が実際の処理においては重要な問題であるが、これについては別項(12.3)にあげる。

(3.2) 代入: 与えられた定数(文字列を含む)を、入力画像の指定領域内の各点に代入。Type=(I,R), Area=(All, Sub, Point, Random), 代入範囲の指定法=(指定領域内部, 外部, 画面の縁, 任意要素集合, その他), Cond.=(有, 無)。なお、条件つきの場合には、各

る性質をもつ点を抽出し、マークをつけて
いう意味で、特徴点抽出, marking, labeling
の機能を念む。

(3.3)型変換: 入力データの型を交換する。

種類 = (I → R, R → I)

(3.4) 1変数関数(点演算)⁽¹⁴⁾: Type = (I, R),
種類 = (cF, F ± c, c - F, √F, Fⁿ, |F|, log F,
F等), 但し, F = {fij} = 入力画像。Fは各
要素に対する否定演算で2値画像のみに通用
される。また, cは定数。

(3.5) 画像間の項点演算⁽¹⁶⁾: Type = (I, R),
種類 = (F ± G, F × G, F/G, |F - G|, Max(F,
G), Min(F, G), F ⊕ G, F = G, F ≥ Gのテスト
等)。但し, F = {fij}, G = {gij}は入力画像, F
⊕ Gは2値画像のみに通用される。

[画像比較 (F = G, F ≥ G等)の場合]出力 =
(比較命題の真偽, 各要素ごとの所定の関係
が成立つか否かを表示)。

(3.6)量子化: 入力画像をより少ない濃度レ
ベル数の画像に変換する。Type = (I, R),
レベル数削減法 = (線形⁽¹⁷⁾, 濃度分布一様化,
⁽¹⁸⁾ 任意関数)

(3.7)主記憶内のデータ転送: 主記憶内にあ
る2次元配列データを同じ主記憶内の別の配
列内へ転送する。Type = (I, R), 種類 = (2
次元配列全体 → 2次元配列全体, 2次元配列
(部分) → 1次元配列(部分), 任意閉曲線内部
→ 1次元配列, 任意閉曲線内部 → 別の配列の
同一領域, 任意指定要素 → 1次元配列),
Cond. = (有, 点)。

④ 細線化

幅をもつ図形を線状図形に変換する。

G-level = (B, G), Con. = (4-c, 8-c), Type = (I),
種類 = (WPM, 網の型, 追跡型, 並列型)⁽²⁰⁻²³⁾

⑤ 距離変換(DT), スケルトン(SKL)

与えられた画像の距離変換を実行し, かつ,
スケルトンを求める。Type = (I), G-level
= (B, G), 並列型 = (8近傍型, 4近傍型),
出力情報 = (SKL, SKL + 距離値, 距離値のみ),
Con. = (8-c, 4-c, m-c), 種類 = (DT,
逆DT⁽²⁴⁾, SKL⁽²⁴⁻²⁵⁾, SKLから2値図形復元,
方向性DT⁽²⁷⁾, 一般化DT⁽²⁸⁾, 図形幅変換⁽²⁹⁾, 線図
形DT⁽²⁷⁾, 可変並傍DT⁽³⁰⁻³¹⁾), 変換対象 =

(図形内部, 外部⁽³²⁻³³⁾), Alg. = (Seq., Par.)。

⑥ 連結成分の抽出

与えられた画像内の連結成分を抽出する(連
結成分のラベル付け)⁽³⁴⁻³⁵⁾ G-level = (B, G),
Type = (I, R), Con. = (4, 8), しきい値処理の組
込み = (有, 点), 入力画像の濃度値の保存 =
(可, 否), 領域名ラベル = (通し番号, 任意
整数値), Alg. = (Seq., Par.)

⑦ 連結成分の処理

連結成分の形状や特徴抽出。

(7.1) 連結成分の特徴抽出: 指定された連結成
分の特徴量を求める。成分の指定法 = (成分
名(label), 特徴量の値, 特徴量の頂位(例:
最大面積のもの)), 特徴量 = (長さ, 位置,
面積, モーメント, 位相的性質, 複数個の成分
の相互位置関係等)。

(7.2) 連結成分の取捨選択: 主として連結成
分の性質に関する条件を指定し, それを満た
す連結成分の選択や消去を行う。種類 = (成
分の消去, 保存, 抽出), 条件の指定法 = (成
分名, 特徴量への値, 特徴量の頂位, 指定点
集合との包含関係⁽³⁶⁾)。

(7.3) 連結成分の収縮(shrinking)^{(36), (37)}: 連結
成分を一点に収縮し, その過程に於て特徴量
(成分の個数を含む)を抽出する。Alg. = (Seq., I,
Seq. II, Par. I, Par. II)⁽³⁷⁾, Con. = (4-c,
8-c), 特徴量 = (成分の個数, 面積, その他)。

(7.4) 境界線追跡(border following): 指定さ
れた連結成分の縁をたどる境界線を抽出する。
連結成分の指定法 = (7.1と同じ), Con. = (4-c,
8-c), 機能の種類 = (境界線線図形抽出,
2値図形上の境界点マーク付け, 2値図
形 → リスト変換), 境界点(線)の定義と追
跡方法 = (数種類あり)^{(38), (39)}

[図形 → リスト変換のとき] リストの形式 =
(追跡頂の境界点座標列, 追跡開始点の座標
と方向コードまたは方向変化コード, 各行ま
たは列ごとの境界線座標, その他)。

(7.5) 連結成分の縮小と拡散, Fusion⁽³⁷⁾:

連結成分を指定された方向に指定幅だけ縮
小または拡散する。Con. = (4-c, 8-c), 方向
特性 = (有, 点), 濃度値の利用 = (有, 点),
種類 = (Fusion I, II)⁽³⁷⁾ 方向性, 任意並傍^{(33), (40)}

⑧線図形処理

線図形の変形や特徴抽出。入力は常に2値図形とする。

(8.1)線図形の簡単化と要素の分類: 図形上の要素を3の性質で分類し, 冗長な点を除く。Con. = (4-C, 8-C, m-C), 要素分類法 = (連結数⁽³²⁾, 分岐数⁽⁴⁴⁾, 距離変換⁽²⁷⁾)。

(8.2)線図形の変形: 種類 = (平滑化, セグメンテーション⁽⁵²⁾, 削除^{(43), (45)}, 等)

(8.3)線図形の特徴抽出: 特徴量の種類 = (幾何学的特徴(長さ, 変曲点の位置, 個数, 全体の位置, 等), 関数近似(直線, 2次曲線, 正弦波等のあてはめ⁽⁵²⁾, Hough変換⁽⁴³⁾⁻⁽⁴⁵⁾, 距離変換⁽²⁷⁾)。

(8.4)線図形と記号系列の相互変換: 種類 = (図形→記号列, 記号列→図形), 記号列表現の形式 = (線上の点の座標列, 端点座標と方向指数列, 樹状記述⁽⁴⁴⁾, 図形生成文法^{(47), (48)})

⑨画像の局所処理

各標本点に於て, その近傍3x3点の情報に基づく処理を行う。

G-level = (B, G), Type = (I, R), Area = (All, Sub, Point, Random), 近傍型 = (4-近傍型, 8-近傍型, 可変近傍⁽⁵¹⁾), 出力形式 = (フィルタ形式-各点に処理結果を代入, marker形式-指定特徴量を持つ点のみマーカをつける), 種類 = (連結数, 曲率係数^{(7), (53), (58)}その他)。

⑩画像の幾何学的変換

Type = (I, R), G-level = (G, B), Area = (All, Sub), 変形の種類 = (平行移動, アフィン変換, 2次変換, 各種歪補正⁽³⁴⁾), 縮小法 = (単純サンプリング, 単純平滑化, 特殊な変換⁽⁴⁷⁾), 座標追端数処理 = (線形補間, 加重平均⁽⁵⁹⁾, その他⁽⁵⁷⁾), 画面外の部分の処理 = (切捨て, 循環形式, その他)

⑪フーリエ変換及び関連処理

Type = (I, R, 複素数), 外部記憶の利用 = (有, 無), 計算方式 = (標準型, 一般基底^{(59), (60)}, 無転置⁽⁵⁶⁾), 種類 = (フーリエ変換, 逆変換, 複素スペクトラム→絶対値, 複素スペクトラムの積, スペクトラムの表示, その他)。

⑫統計量の計算とその処理

(12.1)通常の統計量: 画像濃度値の統計量を求める。Type = (I, R), 但し結果は常に実数型。統計量の種類 = (濃度値度数分布, 最大(小)値, 平均値, 中央値, 範囲, 平均値ベクトル, 共分散行列, 等)

(12.2)2点の濃度値の同時分布: 統計量の種類 = (同時頻度分布とその統計量⁽¹⁸⁾)

(12.3)しきい値選択: 画像の2値化のためのしきい値を選択する。Type = (I, R), 種類 = (モード法⁽³⁶⁾, 差分ヒストグラム法⁽⁵⁷⁾, 分散比最大化⁽⁵⁸⁾, その他⁽⁵⁷⁾)。

(12.4)ヒストグラム処理: 濃度値ヒストグラムに種々の処理を加え, それに従って画像自体も変換する。Type = (I, R), 種類 = (平滑化, 強調, 一様化^{(16), (17)}, その他)

なお, 統計解析に関しては, 名大大型計算機センターでは, 別のパッケージSPSSがあるが, その構成も参考にされる⁽⁷⁵⁾。

⑬画像の生成

指定された画像を配列上に生成する。生成画像のtype = (I, R), G-level = (B, G), 画像の指定法 = (幾何学的性質, 確率的性質, スペクトラム, 生成規則(文法))

[2値画像の場合]種類 = (円, 楕円, 直線⁽⁴⁰⁾⁻⁽⁴¹⁾, 長方形, 格子, 任意形状, ランダム雑音, texture)

[濃淡画像の場合]種類 = (混合正規濃度型濃度分布, 一様分布雑音, 正規雑音, texture)

⑭画像データの外部記憶・主記憶間転送

データベース管理システムに含める^{(5-10), (5-12)}。

⑮その他

(15-1)画像のマッチングと比較: 2個の画像の比較と最良照合位置の検出。種類 = (単純マッチング(類似度), 線図形マッチング⁽⁶²⁾, DPマッチング⁽⁶³⁾, SDDA法⁽⁶⁴⁾, その他)。

(15-2)反復型局所並列処理と最適化: 局所演算の反復による特徴抽出, および, 詳細関数最適化を伴う図形検出。種類 = (場の効果法⁽⁴⁵⁾, relaxation⁽⁴⁶⁾⁻⁽⁴⁷⁾, flexible template⁽⁴⁸⁾, 輪郭線抽出⁽⁴⁷⁾, その他⁽⁵⁰⁾⁻⁽⁵¹⁾)

(15-3)領域解析: 画素間類似度に基づく領域生成と画面の分割, 成分図形の抽出^{(62), (62)}。

(15-4)記号系列処理: 図形を生成する記号系

列の生成、変形、マッピング等^{(97), (98), (96)} SLIPではFORTRANに基くリスト処理言語DLOP3⁽⁹⁷⁾の利用を考慮している。

⑬ パターン分類^{(93), (97), (80)}

本項の枠も本格的に構成するにばう大世ものにたすが、リストもまだ十分に検討されていないので、大まかに項目のみをあげる。なお、ここでは原則として実数型データのみを対象とする。

(16-1) パターン分類: 識別関数 = (線形, 非線形, 最尤法, k近傍則, 決定木), パターンの分布に関する事前情報 = (既知, 分布形のみ既知-parametric, 未知-nonparametric), 分類実験 = (Resubstitution法, Hold-out法, Leave-one-out法)⁽⁸⁰⁾

(16-2) 識別関数の設計:

(16-3) 特徴量の選択: 方式 = (線形法, 逐次選択-前向き, 同一後向き)⁽⁸¹⁾

(16-4) パターンの変換: 種類 = (正規化, 最近似基準を伴う線形変換)

(16-5) クラス分析:

(16-6) パターン集合の統計量とその印刷: 種類 = (平均値ベクトル, 共分散行列, 相関行列, フラス別ヒストグラム, scattergram, confusion matrix)

(16-7) パターンデータ操作: 種類 = (特定部集合の抽出, 特定部分パターンの抽出, 並び換え)

3. むすび

画像処理ソフトウェアライブラリSLIPは、名大大型計算機センターに登録後約4年を経過、現在ソフトウェア数315個、カード約1500枚程度に達し、また、かまりの使用経験も得ている。そこで、これまでの経験に基づいて、今年度から新たな改訂および拡充に着手したいと考えている。本文は、そのための指針として用意された画像処理機能の一覧を示したものである。画像処理の研究は極めて多岐にわたる、また、進歩も急速であつて、本文が手紙のやばてを尽しているとは言ひ難いが、画像処理ライブラリ開発、および、画像処理手法を概観する上での基礎資料の一つとして役立つのではないかと考えている。なお、紙数の制約もあるため、拡充計画に関しては別の機会にゆずる。⁽⁵⁻¹²⁾

謝辞 御鞭撻を賜り本学工学部本多波雄教授、SLIP開発に御協力頂く本学大型計算機センター吉田輝二助教授、三重大学横井茂樹助教授に深謝する。また、有益な御討論を為すの御協力を頂いた研究室の皆様にも深謝する。なお、SLIP開発の一部は、本学大型計算機センターライブラリ開発課題(昭和51-54年度)に依る。また、本研究の一部は文部省科研費に依る。

参考文献

(I) SLIP関係

- (S-1) 島脇, 塩見, 福村: "画像処理プログラム-4 ンライブラリSLIPについて", 信学会PRL研資, PRL78-17 (Jan. 1979)
- (S-2) 島脇: "画像処理ソフトウェアについて(その1)", 名大大型計算機センターニュース, 6, 2, p.103/145 (May 1975)
- (S-3) 島脇: "同上(その2)", 同上, 6, 3, p.181/208 (August 1975)
- (S-4) 島脇: "同上(その3)", 同上, 6, 3, p.201/218 (August 1975)
- (S-5) 島脇: "同上(その4)", 同上, 6, 4, p.309/332 (Nov. 1975)
- (S-6) 島脇: "同上(その5)", 同上, 7, 1, p.33/46 (Feb. 1976)
- (S-7) 島脇: "同上(その6)", 同上, 7, 1, p.47/64 (Feb. 1976)
- (S-8) 島脇, 塩見: "画像処理用ソフトウェアSLIP概説(その1)", 同上, 8, 4, p.341/353 (Nov. 1977)
- (S-9) 島脇, 塩見: "同上(その2)", 同上, 9, 1, p.19/30 (Nov. 1978)
- (S-10) 島脇: "画像処理研究用データベースについて", 名大大型計算機センター研究開発部研究報告, No.3, p.21/43 (April 1977)
- (S-11) 塩見, 島脇, 福村: "画像処理プログラムのためのプログラム情報検索システム", 信学会PRL研資, PRL78-85 (March 1979)
- (S-12) 柴田, 島脇, 福村: "胸部X線像データベースの開発と素軸の応用", 信学会PRL研資, PRL78-70 (Jan. 1979)
- (S-13) 島脇: "画像処理プログラム-4 ンライブラリSLIPの現状と拡充計画", 名大大型計算機センター研究開発部研究報告, No.5 (April 1979)

(II) 一般

- (G-1) 田村: "SPIDER作成に於ける方針と規約", および, "画像処理ソフトウェアの蓄積と移植を妨げる要因", 情報処理学会イメージング研究連絡会資料 (Feb. 1979)

(III) アルゴリズム関係

- (1) 阿部: "プログラムミング-10-1 縦書き印刷プログラム", 京都大学大型計算機センター広報, 4, 3, p.13/16 (April 1971), および, 阿部: "同上(13)-縦書き印刷プログラムその後", 同上, 4, 8, p.14/18 (August 1971)
- (2) 島脇: "画像処理のソフトウェアについて(その1)", 名大大型計算機センターニュース, 6, 2, p.103/145 (May 1975)
- (3) P. Henderson and S. Tanimoto: "Considerations for efficient picture output via lineprinter", Computer Graphics And Image Processing, 3, 4, p.327/335 (Dec. 1974)
- (4) 岡形出力の手引, 名大大型計算機センター (May 1977)
- (5) 島脇, 横井, 福村: "電子計算機による画像処理におけるファイルリングのための高速アルゴリズム", 情報処理, 17, 3, p.215/221 (March 1976)
- (6) 末永, 島脇, 福村: "濃淡図形処理のための差分型線形フィルタについて", 信学論D, 57-D, 3, p.111/126 (March 1974)
- (7) 末永, 島脇, 福村: "濃淡図形処理のためのRangeフィルタとその応用", 信学論D, 57-D, 1, p.23/30 (Jan. 1974)
- (8) 横井, 島脇, 福村: "濃淡図形処理のためのFilteringおよびShrinkingの高速逐次型アルゴリズム", 信学会バージョン認識と学習研資 PRL74-13 (July 1974)
- (9) 横井, 島脇, 福村: "濃淡図形における特徴点の抽出と細線化の一方策", 信学論D, 58-D, 10, p.601/608 (Oct. 1975)
- (10) M. H. Hueckel: "A local visual operator which recognize edges and lines", J.ACM, 20, 4, p.634/647 (Oct. 1973)
- (11) 長尾, 倉出: "ピクセル認識における線, 線の抽出", 信学誌, 55, 12, p.1618/1627 (Oct. 1972)
- (12) 入村, 栗保, 桑原, 木下: "非線形デジタルフィルタによるR工画像の画質改善", 医用電子と生体工学, 15, 5, p.25/31 (Sep. 1977)
- (13) 長尾, 松山: "エッジを保持したスムージング", 信学会PRL研資, PRL77-67 (Feb. 1978)
- (14) P. M. Narendra: "A separable median filter for image noise smoothing", Proc. IEEE Computer Soc. Conf. on PRIP, p.137/141 (May 1978)

- (15) J. Toriwaki and T. Fukumura: "Extraction of structural information from grey pictures," *Computer Graphics And Image Processing*, 7, p. 30/51 (1978)
- (16) 横井, 島脇, 福村: "画像の並列処理系の代数的性質(1)一定式化と基礎的諸性質," *信学論D*, 60-D, 6, p. 411/418 (June 1977)
- (17) 島脇, 福村: "濃淡画像のパターン認識における濃度適量子化しこみ数削減の効果," *信学論D*, 60-D, 6, p. 403/410 (June 1977)
- (18) R. M. Haralick, K. S. Shanmugan and I. Dinstein: "Texture features for image classification," *IEEE Trans. SMC*, SMC-3, 6, p. 610/621 (Nov. 1973)
- (19) E. L. Hall, R. P. Kauger, S. J. Dwyer, III, D. L. Hall, R. W. McLaren and G. S. Lodwick: "A survey of preprocessing and feature extraction techniques for radiographic images," *IEEE Trans. C*, C-20, 9, p. 1032/1044 (Sep. 1971)
- (20) 田村: "図形の細線化についての比較研究," *情報処理学会メソッド・レビュー研究会資料*, IX-V-75-1 (June 1975)
- (21) 田村: "細線化法についての諸考察," *信学会PRL研資*, PRL 75-66 (Dec. 1975)
- (22) 島脇, 成瀬, 福村: "濃淡画像の細線化手法の比較研究," *信学論D*, 60-D, 12, p. 1093/1100 (Dec. 1977)
- (23) 鹿野, 島脇, 福村: "濃淡図形処理のためのWave Propagation Methodの諸変形について," *信学論D*, 56-D, 9, p. 515/522 (Oct. 1973)
- (24) A. Rosenfeld and J. L. Pfaltz: "Sequential operations in digital picture processing," *J. ACM*, 13, 4, p. 401/494 (Oct. 1966)
- (25) G. Levi and U. Montanari: "Grey weighted skeleton," *Information And Control*, 17, 1, p. 62/91 (Aug. 1970)
- (26) 横井, 島脇, 福村: "濃淡図形処理における図形融合, 距離変換, およびスケルトンの性質," *信学論D*, 61-D, 9, p. 613/620 (Sep. 1978)
- (27) 横井: "ディジタル画像処理における図形特徴量と処理アルゴリズムの基礎的性質に関する研究," 名古屋大学位論文 (1977)
- (28) 島脇, 成瀬, 福村: "濃淡画像の重みつき距離変換の基礎的性質," *信学論D*, 60-D, 12, p. 1101/1108 (Dec. 1977)
- (29) 加藤, 島脇, 福村: "線図形の距離変換のためのための反復型局所並列処理との応用," *信学会PRL研資*, PRL 77-72 (March 1978)
- (30) 横井, 島脇, 福村: "可変近傍系列を用いた一般距離変換について," *信学会PRL研資*, PRL 78-76 (Feb. 1979)
- (31) 横井, 島脇, 福村, 横井: "Octagonal distanceによる距離変換の性質とその応用," *同上*, PRL 78-77 (Feb. 1979)
- (32) J. Toriwaki and K. Preston, Jr.: "Application of neighborhood logic operators in medical image processing," *Proc. 3rd USA-Japan Computer Conf.* p. 104/111 (Oct. 1978)
- (33) C. Lantuejoui: "La squelettisation et son application aux mesures topologique des mosaïques polycristallines," Ph.D. Thesis, l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris (June 1978)
- (34) A. Rosenfeld and A. C. Kak: *Digital Picture Processing*, Academic Press, N.Y. (1978)
- (35) 永永: "連結領域のぬりつき及び番号づけに関する一考察," *信学会IEE研資*, IE 78-10 (May 1978)
- (36) 横井, 島脇, 福村: "図形方程式で表現されたルゴリズム-距離変換, 図形伝播, 巡回線形フィルタについて," 昭52年度電子通信学会総合全国大会講演論文集 S-213 (March 1977)
- (37) 横井, 島脇, 福村: "二次元図形収縮のための逐次型アルゴリズムについて," *信学論D* (掲載予定)
- (38) 横井, 島脇, 福村: "標本化された二値図形のトポロジカル性質について," *信学論D*, 56-D, 11, p. 662/669 (Nov. 1973)
- (39) 横井, 島脇, 福村: "濃淡画像の局所平滑化処理とその相互関係," *信学論61-D*, 11, p. 880/883 (Nov. 1978)
- (40) G. Matheron: "Random Sets And Integral Geometry," John Wiley & Sons, N.Y. (1975)
- (41) 根井, 島脇, 福村: "線図形を構成する点要素の分類の方法," *信学論D*, 55-D, 11, p. 762/763 (Nov. 1972)
- (42) T. Pavlidis: "Structural Pattern Recognition," Springer-Verlag, N.Y. (1977)
- (43) R. O. Duda and P. E. Hart: "Pattern Classification And Scene Analysis," John Wiley & Sons, N.Y. (1973).

- (44) J. Sklansky: "On the Hough technique for curve detection," *IEEE Trans. C*, C-27, 10, p. 923/926 (Oct. 1978)
- (45) A. Iannino and S.D. Shapiro: "A survey of the Hough transform and its extraction for curve detection," *Proc. IEEE Computer Soc. Conf. on PRIP*, p. 32/38 (May 1978)
- (46) 武田, 吉岡, 福村: "線図形の図状記述と認識," 信学会AL研資 72-67 (Sep. 1972)
- (47) K.S. Fu: *Syntactic Methods in Pattern Recognition*, Academic Press, N.Y., (1974)
- (48) R. Gonzalez and W. Thompson: *Syntactic Pattern Recognition*, Addison-Wesley (1978)
- (49) 山崎, 飯島: "文字図形の観測機構," 信学論D, SS-D, 1, p. 15/22 (Jan. 1972)
- (50) D. Rutovitz: "Data structures for operations on digital images," in G.C. Cheng et al. (eds.): *Pictorial Pattern Recognition*, Thompson Book Co., Washington, D.C., p. 105/133 (1968)
- (51) 加藤, 池田, 徳永: "変換図形の標本化の一方 法," 昭48信学全大講演論文集5, p. 1160 (March 1973)
- (52) J.W. Cooley, P.A.W. Lewis and P.D. Welch: "The fast Fourier transform algorithm: programming considerations in the calculation of sine, cosine and Laplace transforms," *J. Sound Vib.*, 12, 3, p. 215/337 (March 1970)
- (53) J.W. Cooley and J.W. Tukey: "An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series," *Math. of Computation*, 19, 90, p. 297/301 (1965)
- (54) 高橋: "フーリエ変換の7-4-4-1-4-2-1の作成 (その1)," 名大大型計算機センターニエス, 10, 1, p. 24/53 (Feb. 1979)
- (55) 高橋: "高速フーリエ変換(FFT)について," 情報処理, 14, 8, p. 616/622 (August 1973)
- (56) 尾上: "大規模画像データの無転置2次元変換法," テレビジョン, 30, 8, p. 672/677 (August 1976)
- (57) 渡辺, 永山, 友池: "濃淡図形のセグメンテーション-微分ヒストグラム法-", 信学会画像工学研資 (May 1972)
- (58) N. Otsu: "A threshold selection method from gray-level histograms," *IEEE Trans. SMC*, SMC-9, 1, p. 62/66 (Jan. 1979)
- (59) 森, 大津: "認識問題としての2次元と各種方法の検討," 情報処理学会イメージプロセッシング研 資料, 14-Vプロセッシング 15-1 (Nov. 1977)
- (60) R. Brons: "Linguistic methods for the description of a straight line on a grid," *Computer Graphics And Image Processing*, 3, p. 68/82 (1974)
- (61) J. Rothstein and C. Weiman: "Paralleled and sequential specification of a context sensitive language for straight lines on grids," *Computer Graphics And Image Processing*, 5, p. 106/124 (1976)
- (62) M. Tasto and U. Block: "Locating objects in complex scenes using a spatial distance measure," *Proc. of the 2nd IJCP*, p. 336/340 (1976)
- (63) 磯達, 小川: "郵の計画法によるパターンの情報処理," 情報処理, 14, 1, p. 15/22 (Jan. 1975)
- (64) D.I. Barnea and H.F. Silverman: "A class of algorithms for fast digital image registration," *IEEE Trans. C*, C-21, 8, p. 179/186 (Feb. 1972)
- (65) 森, 森, 山本: "場効果法による特徴抽出," 信学論D, SS-D, 5, p. 308/315 (May 1976)
- (66) A. Rosenfeld: "Iterative methods in image analysis," *Pattern Recognition*, 10, 4, p. 181/187 (Oct. 1973)
- (67) A. Rosenfeld, R.A. Hummel and S.W. Zucker: "Scene labeling by relaxation operations," *IEEE Trans. SMC*, SMC-6, 6, p. 420/433 (June 1976)
- (68) M.A. Fishler and R.A. Elschlager: "The representation and matching of pictorial structures," *IEEE Trans. C*, C-22, 1, p. 67/92 (Jan. 1973)
- (69) Y.P. Chien and K.S. Fu: "A decision function method for boundary detection," *Computer Graphics And Image Processing*, 3, 2, p. 125/140 (June 1974)
- (70) D.H. Ballard: "Hierarchic recognition of tumors in chest radiographs," School of Engineering, Univ. of California, Irvine, Technical Rep., TP76-4 (June 1974)
- (71) U. Montanari: "Optimization methods in image processing," in *Information Processing 74*, North-Holland Pub. Co., p. 727/732 (1974)
- (72) S.W. Zucker: "Region growing: childhood and adolescence," *Computer Graphics And Image Processing*, 5, p. 382/399 (1976)
- (73) 吉田: "DLOP3 エキスラムの実現," 名古屋大学大型計算機センター研究開発部報告, No. 3, p. 67-75 (March 1977)

- (74) 加藤, 島脇, 福村: "コルモゴロフ-スミルノフ・フィ
ルシの能力評価と撮目パターン処理への応
用", 信学論D, 56-D, 4, p. 247/249 (April 1973)
- (75) 三宅, 山本: SPSS 統計パッケージ (I) 基礎編 (1976),
同 (II) 解析編 (1977), 東洋経済新報社
- (76) 辻藤, 阿部, 福村: "系列の文法的処理による
文字認識", 信学会インテグレーション理論研
究, IT71-9 (April 1971)
- (77) J.R. Rumsey and R.S. Walker: "A practical approach
to implementing line printer graphics", *Computer
Graphics*, 12:3, p. 102/106 (August 1978)
- (78) 二宮: "複素変数フーリエ変換, その応用", マイ
クログラフ-プログラム利用の手引, 名古屋大学
大型計算機センター, p. 95/106 (March 1978)
- (79) K. Fukunaga: "Introduction to statistical pattern
recognition", Academic Press, N.Y. (1972)
- (80) G. T. Toussaint: "Bibliography on estimation of mis-
classification", *IEEE Trans. IT*, IT-20, 4, p. 472/479
(July 1974)
- (81) L. Kanal: "Patterns in pattern recognition: 1968-
1974", *IEEE Trans. IT*, IT-20, 6, p. 677/722 (Nov.
1974)
- (82) 島脇, 木永, 福村, 根来: "間接撮影胸部X線写
真における肋骨像と異常陰影の識別", 信学
会パターン認識と学習研資, PRL 73-57 (
Sep. 1973)
- (83) 田中, 島脇, 福村: "距離変換に基づく軌円形
の構造解析", 信学会パターン認識と学習研
資, PRL 77-9 (May 1977)