

藤村是明 (電子技術総合研究所)

濃淡図形から縁線と抽出することは図形処理の諸技術のうちでもとくに重要なものの一つである。これまでに多くの手法、方式が提案されているが、その性格——目的、処理対象、原理等——はじつに多様である。

実際にはこの方式は、**換算**の簡潔性、結果の品質においてはかなり満足すべきものであったが、**雑音の影響**の除去方の点で、**処理対象の性質**に大きく依存していた。その後、**図形中の雑音の大きさ**を局所的に推定することによってこの点を改善するこゝができた。⁽³⁾ 今回の報告は雑音の推定による局所換算の機能向上の一例として著述図形の線画の線画化を考察するものである。

```

graph LR
    A([原図形]) --> B[縁強度算出]
    B --> C([縁強度配列])
    C --> D[縁画点検出]
    D --> E([ディミット線図形])
    E --> F[リスト化]
    F --> G([線リスト])
    
    subgraph DashedBox [ ]
        B
        C
    end
    
    H((閾値係数)) --> B
    I([データ]) --> D
    J[処理] --> B
  
```

(1)

所演算の組み合わせであるが、リスト化は一種演算ではない。(1)

線強度は濃淡勾配のことであり、次のようにして算出される。

(ステップ1: 平滑化) 原図形の各点ごとに3×3近傍内で平均する。

(ステップ2: 1次微分) 平滑化されたデータの各点について、水平、垂直方向の1次微分をとり、その絶対値の和を線強度とする。すなわち

$$|A+B+C-G-H-I| + |A+D+G-C-F-I|$$

である。(A~Iについては図2参照、以下これを
 するよう記法も使用する。

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ と}$$

図3のような図形データについて求めた線強度を濃淡表示したものを図4に示す。

A	B	C
D	E	F
G	H	I

図2
近傍内記法

A	(B)	(C)
D	(E)	F
(G)	H	I

図5
連結性



図3. 原図形

図4 線強度

線図形に対応した二次元2値配列(デジタル線図形)については各種の定義方法があるが、ここでは4連結と8連結の混合形(図5参照)にした。このとき線幅が1であるという条件を“任意の2×2×Nシユ内に少なくとも一点は非線画点が含まれること”——バタ塗り禁止条件——という形で定義する。以上の定義の下では各線画点に直接連結する線画点の数はその点の交差数(その点の周囲における線画点の連結成分数)に等しい⁽⁴⁾。本稿では各点における交差数(非線画点については0)を値とする二次元配列をデジタル線図形とす。

線強度配列をデジタル線図形に変換するのに次の4段の局所処理を用いる。

(ステップ1) 各点においてその3×3近傍内で中心(E)を通る水平線(AEF)、垂直線(BEH)、2対角線(CEG)、(AEI)のそれぞれについて、中央点Eの線強度が他の2点の線強度よりも大なるとき、その線に中央極大であるという。ただし大小比較を一意的にするため、A, B, C, Dについては等しいときでもEのほうが小、F, G, H, Iについてはその逆としておく。

線強度の値を全画面について平均し閾値係数をかけたものよりも大きな線強度をもつ点のうち中央極大線が2本以上あるものを尾根点、1本だけそれが水平または垂直であるときを半尾根点とする。尾根点と半尾根点を合わせたものについてバタ塗り禁止条件が成立していることに注意されたい。

(ステップ2) ステップ1で得られた尾根点、半尾根点から線画点を決定する。尾根点はすべて線画点とし、半尾根点は次の2条件を満たすときに線画点とする。

(条件2-1) その点の周囲での尾根点の交差数が2であること。

以上のことにより、等方性を失わずにしかも分岐部、鞍部における連続性のよい線画点が得られる。^{(2), (3)}

(ステップ 4) ステップ 3 で得られる交差数配列の値を一部変更する。ただし、この変更も逐次的にでなく、並列的に行われなければならない。

(ケ-ス2) その点の交差数が3または4のときには、その4近傍内の交差数1の点の数を引いた値に変更する。

以上で線画点の検出および若干の修正が完了した。このようにして得られたディジタル線図形をチェイン符号化したり、誤差2以内で線分近似することは比較的容易なことを示して省略する。図6に閾値係数を0.0にしたときの図3のデータの線画化例(誤差1以内で線分近似したもの)、図7に閾値係数1.0のときの例、図8に図7の向うて右の目の部分のディジタル線図形の出力例を示す。

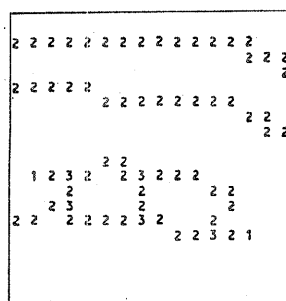


図8 デジタル回路図形式(部分)

3. 線形回帰による雑音振幅の推定

ここで $3 \times 3 \times \chi \equiv \Sigma$ 内の各点の自由度がたかいたに独立に同一分散 σ^2 の正規分布でその平均が水平座標 x , 垂直座標 y の一次式 $ax+by+c$ であるような場合、つまり線形回帰モデルに想定し、 χ を雑音振幅と考える。各 $3 \times 3 \times \chi \equiv \Sigma$ 内で考えるのであるから、中心点 E で $x=0, y=0$ 、格子間隔を 1 とし、各点における近似誤差の二乗和を最小にする a, b, c を求めよう。二次元回帰についての周知の

公式 (たとは (5) 参照) を用いて

$$a = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad b = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}, \quad c = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

が得られる。E (中心点) B (辺点) A (隅点) について、それでの理論値 $\hat{E}$, $\hat{B}$, $\hat{A}$ を示すと次のようになる。

$$\hat{E} = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad \hat{B} = \frac{1}{18} \begin{bmatrix} 5 & 5 & 5 \\ 2 & 2 & 2 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}, \quad \hat{A} = \frac{1}{18} \begin{bmatrix} 8 & 5 & 2 \\ 5 & 2 & -1 \\ 2 & -1 & -4 \end{bmatrix}.$$

また残差平方和 $Q = (\hat{A} - A)^2 + (\hat{B} - B)^2 + \dots + (\hat{E} - E)^2$ と分散との比 Q/σ^2 は自由度 6 ($= 9 - 3$) の χ^2 分布 (平均 6, 分散 12) にしたがう。よって

$$\bar{Q} = 6\sigma^2.$$

となり雑音振幅 σ の不偏推定量 $\hat{\sigma}$ は

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{Q}{6}}$$

で与えられる。

現実のデータについて $\hat{\sigma}$ を計算した結果の詳細な報告は別の機会に譲り、大体の性質について述べる。図形の輪郭に相当する部分では 3×3 の線形近似は無理が大きく $\hat{\sigma}$ は大きい。その他の部分については一応雑音振幅とみなされる値となる。すなわち、ダイセクタ管式入力装置を用いたときに、その一点についての積分時間を変化させると、雑音振幅は時間の平方根に逆比例するはずであるが、 $\hat{\sigma}$ はそれに近い。また入力光量に比例した値を出力する線形増幅モードでは $\hat{\sigma}$ はその点の明度の平方根に比例するように見えるが、これは一定光量について発生する光子数が 2 項分布または Poisson 分布にしたがうとしたときの傾向と合致する。さらに入力光量の対数に比例した値を出力する log モードでは $\hat{\sigma}$ は明度の平方根に逆比例するように見えるが、これも上記の仮定は矛盾しない。

以上のことから現実のデータにおいても、図形の輪郭部分を除けば $\hat{\sigma}$ が雑音振幅の推定に使用できることが確かめられた。なお 5×5 の近傍を使用した残差平方和 χ^2 テクニク・キューとして用いた報告がある。⁽⁶⁾

4. 雑音推定による観画点検出の改良

3. で述べたように図形データには雑音が含まれ、その振幅も同一画面内でも場所 (明度) によって変化する。このことを考慮して観画点検出を見直してみよう。

線強度算出の出力 (E) で、まえには 2 段の 3×3 演算の組み合わせで説明したが、これを一段の 5×5 演算としてまとめると

$$E = |E_H| + |E_V|, \quad E_H = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 0 & 1 & 1 \\ -2 & -2 & 0 & 2 & 2 \\ -3 & -3 & 0 & 3 & 3 \\ -2 & -2 & 0 & 2 & 2 \\ -1 & -1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad E_V = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & 3 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -3 & -2 & -1 \\ -1 & -2 & -3 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

となる。ここで 5×5 の χ^2 キュー内での線形性をもとに仮定すると、 E_H は平均 $6a$ 分散 $76\sigma^2/81$ の正規分布にしたがい、 E_V は同じ分散の正規分布で、平均は $6b$ である。

とくに、 $a=0$ 、 $b=0$ のときは、

$$\begin{aligned} E(\varepsilon) &= E(|\varepsilon_H|) + E(|\varepsilon_V|) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{V(\varepsilon_H)} + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{V(\varepsilon_V)} \\ &= \frac{2}{3} \sqrt{\frac{76}{2\pi}} \sigma \div 1.55\sigma, \end{aligned}$$

$$V(\varepsilon) \div V(|\varepsilon_H|) + V(|\varepsilon_V|) = 2(1 - \frac{2}{\pi}) \cdot \frac{76}{81} \sigma^2 \div (0.83\sigma)^2$$

となる。(ただし第2式では $|\varepsilon_H|$ と $|\varepsilon_V|$ の相関が微小であると仮定している。)この場合から推察されることは、その平均値は a, b の不偏推定値の絶対値和とならず、雑音振幅の定数倍だけ大きくなること、またその分散は雑音振幅 σ の二乗に比例することである。

このような形で雑音を含んだ線強度について線画点検出を行うとどのようなようになるであろうか。2. でみたように全体としての出力の問題点は、閾値係数0.0のときに出現する線強度が小さく平坦な部分における線(過剰線)と本来の線を区別するところにある。過剰線の成因は次のようにして説明される。実際の線強度値は 3×3 近傍内で独立ではないが、各点が独立に同一分布にしたかうものと仮定しよう。このときは $A \sim E$ までの順に並べる9!個の順列が等確率で出現する。大小比較はこの順列によって一意的に定まることから、閾値係数0.0ならば、ある一点が尾根点となる確率は $41/105 \div 0.39$ となることが解る。これが過剰線の成因の定性的説明である。

以上のことから過剰線の発生確率を一定水準以下に抑えるためには、線強度がその点における雑音振幅の定数倍よりも小さいときには尾根点としないことにすればよいことが解る。この定数(K)は統計的基準として客観的に指定される。ここで問題となるのは図形の線に沿って推定雑音振幅が段差に比例した値をとることである。しかし実験によれば 126×126 点の完全ランダムデータで $K=5.0$ として処理した結果は長さ2~3の線が6本程度得られ、これに対し線に沿っての E と G の比は10~11程度であるので実用上は問題とならない。

以上の考察に基づいて、次のように補正線強度を定める。これまでの方法による線強度(以後単純線強度と呼ぶ)を各点について求める。一方原因形のデータを用い、このようにして雑音振幅を各点について求めた後に 3×3 の平滑化を行う。ここで各点につき単純線強度から平滑化雑音振幅の定数(K)倍を引き、負になつたときは0にした量を係数 K の補正線強度とする。

単純線強度で閾値係数を用いたときと、補正線強度によるときの比較を、同一対象をSN比を変え(積分時間を変え)て量子化した3種のデータで行ったのが図9である。原データは左からSN比23dB, 29dB, 35dBのSN比である。上段は閾値係数1.0で単純線強度による場合であり、下段は係数5.0の補正線強度による線画出力である。

図9において特徴的なことは、上段の単純線強度では雑音の減少により出力される線が減少し、より良質な画像が得られるが、下段の補正線強度では逆に雑音が減少すると線数が増加し画質が低下していることである。これは一見補正線強度の欠点のように見えるがそうではない。雑音が大きいときに単純線強度で見られる細かい線はさきの過剰線で説明できるものであるが、雑音が小さいときに補正線強度で見られる細かい線は本来原因形データ中に存在する微弱だが系統的な濃淡変化が雑音の減少によって有意レベルに達したものである。図10の図9の一部

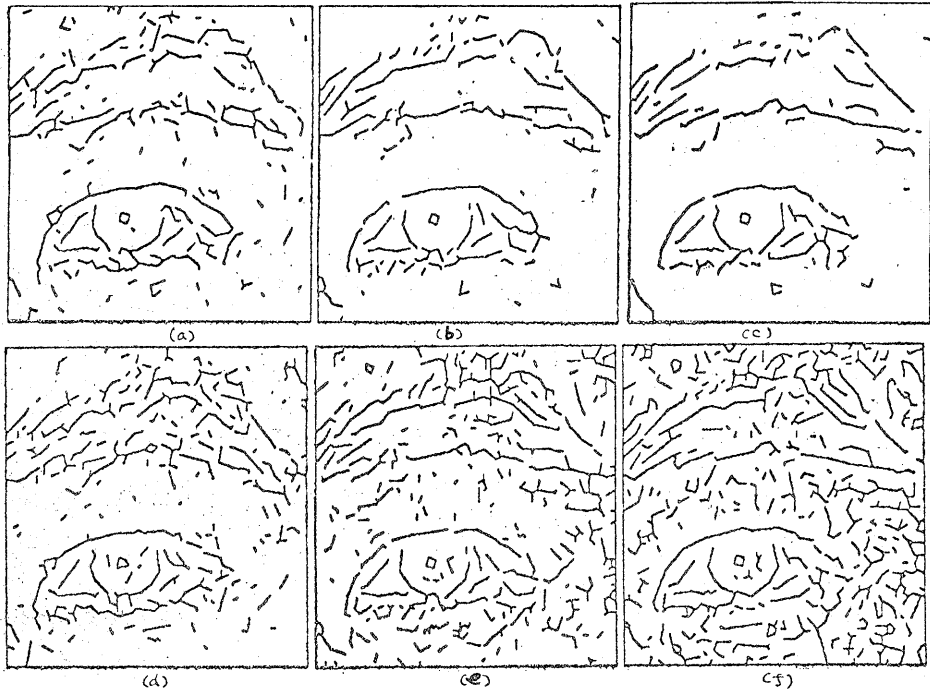


図9 (a), (b), (c) 一単純線強度 (閾値係数 1.0)
 (d), (e), (f) 一補正線強度 (係数 5.0)
 (a), (d) - SNR 23dB (b), (e) 29dB (c), (f) 35dB

を拡大し、濃淡レベルも誇張したものであり図11は同じ部分の観画点を示している。明らかに局所的な情報だけによる処理ではこの処理結果は当然期待されるものである。実際の応用分野とくに生体写真などでは、大きな段差とまった鮮明な線よりも、このように雑音に埋もれそうな段差の線のほうが抽出すべき情報であることが考えられる。したがって図9で見られるような雑音と補正線強度線画の関係はむしろ望ましいものであろう。

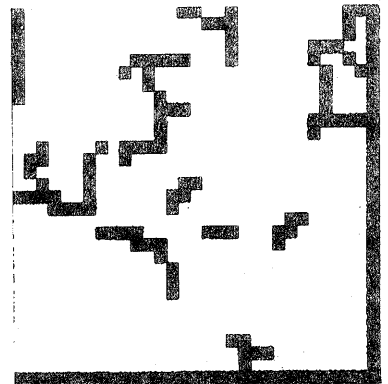
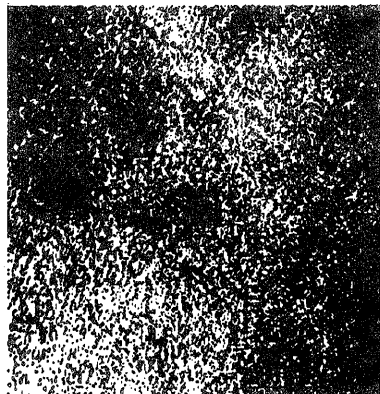
一方、多くの場合として大きな段差の線だけに興味を持たれるときには、補正線強度と閾値係数を併用する方法が考えられる。この場合単純線強度のときに閾値係数が果していた二つの役割——過剰線の抑制と興味範囲の設定を明確に分離したことになる。

左: 図10

図9-e 右下の
 拡大図

右: 図11

同上観画点



5. おわりに

本稿では濃淡図形の線の線画化において推定値のもたらす効果について詳しく検討した。濃淡図形の線の線画化については今後これを利用した高次処理を行い、データの客観的評価を行うこと、高次の知識によるフィードバックグループを完成させることが課題である。

一方、推定値については、線の影響の除去といった方法の改良、各種入力装置、データ種類における実測を行う一方、濃淡階調の自動変換/補正、さめ検出への適用といった応用面を広げることが課題であろう。

最後に、本研究の機会を与えられた石井治リフトリエア部長、討論、支援していただいた情報システム研究室のオキ、とくに適切な指導により本稿の完成を可能にされた横上昭男研究室長に感謝の意を表す。

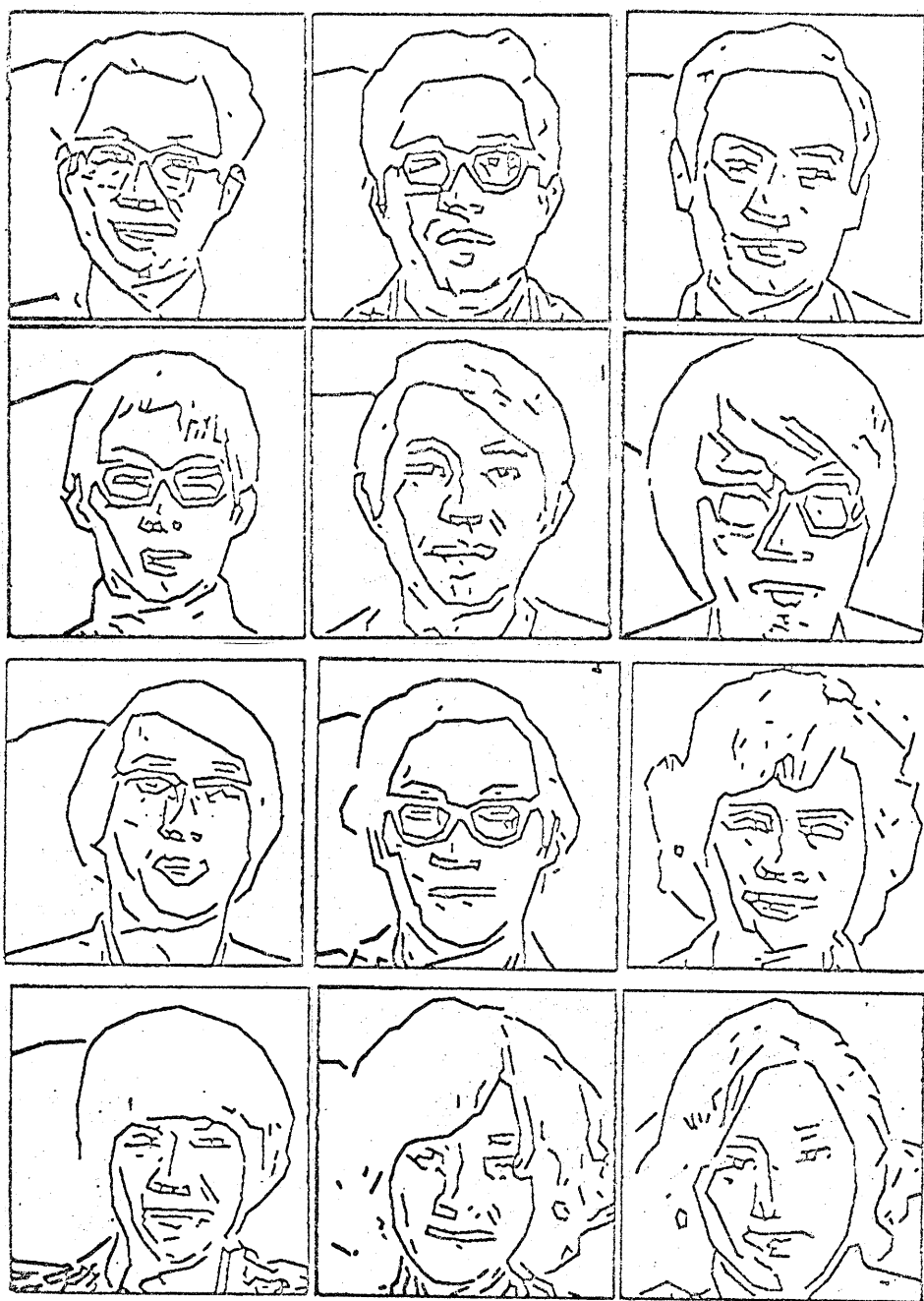
参考文献

- (1) 長尾，金出：パターン認識における線・線の抽出，電子通信学会誌，Vol. 55, No. 12, pp. 1618-1627 (1972)
- (2) 藤村：濃淡図形の輪郭抽出の一方法，昭50 情報処理学会大会予稿集 (1973)
- (3) 藤村：局所並列演算による濃淡図形の線の線画化，情報処理，Vol. 17, No. 7, (掲載予定)
- (4) C.J. Hilditch: Linear Skeletons from square cupboards, in B. Meltzer and D. Michie eds: Machine Intelligence IV, Edinburgh Univ. Press, Edinburgh, pp. 403-420 (1969).
- (5) 竹内：数理統計学，東洋経済新報社，(1963)
- (6) 諏訪，築山：テクスチャ・マスを利用したシーンアナリシスの一手法，昭51年度電子通信学会全国大会予稿集 (1244)，(1976)

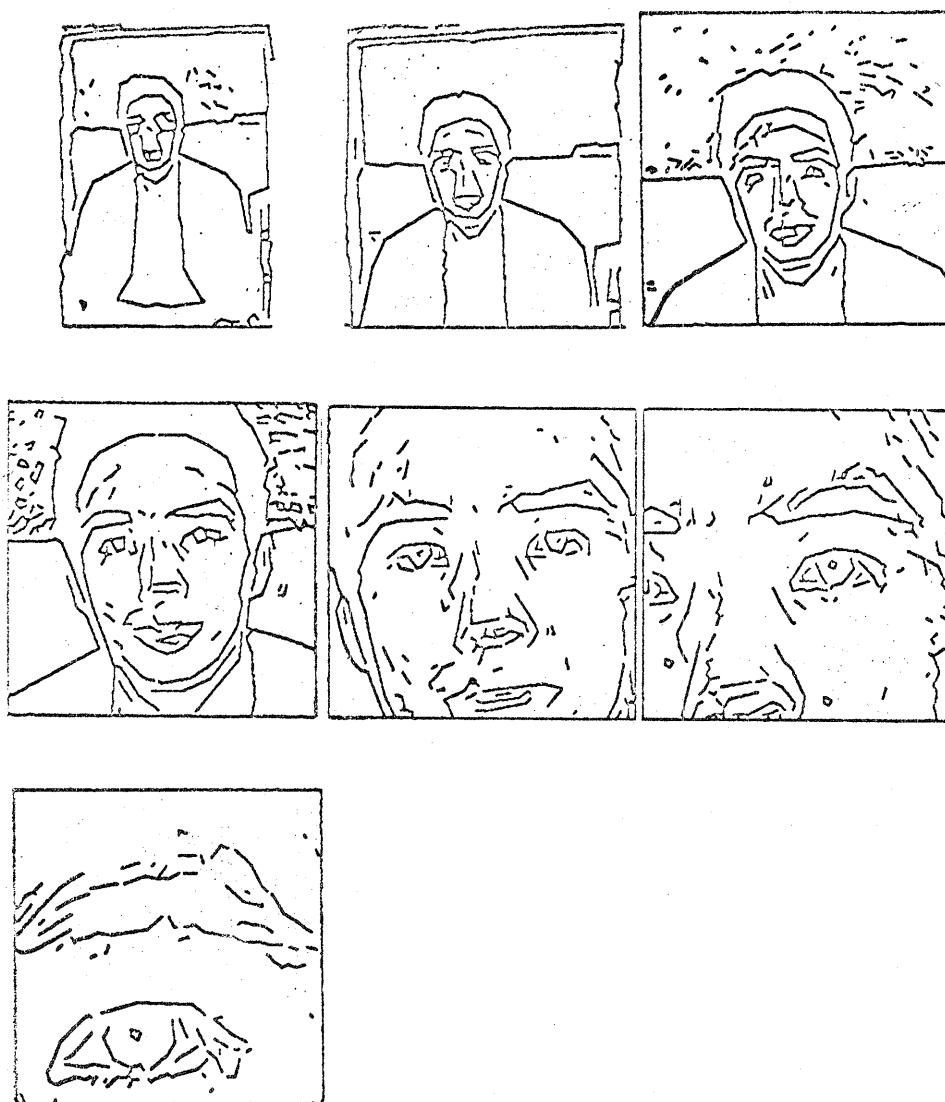
付録

付図1に、図2と同一条件で撮映した写真の線画例を示す。単純線強度、係数1.0である。

付図2には、サニプルサイズ変化の効果を調べるために同一写真にサニプル間隔を変化させて作、在データを同一条件（単純線強度、係数1.0）で線画化した例を示す。



付图1. 漫画化例 (图7与同一条件)



付図2. サンプル間隔変化の影響 (図7と同一条件)