

研究室紹介

早大、大照研の画像処理

大 照 究 (早稲田大学 理工学部)

大照研の最近の画像処理を中心とした研究を研究室を案内しながら紹介する。
主なテーマは次の6つである。

1. 眼球運動の確率的シミュレーション

人間の眼球は、1定点を注視している時でも絶えず小さく振動しており、この微小振動は、固視微動と呼ばれ、micro-saccades, tremor, driftに大別されている。ここでは眼球運動の1つの確率モデルを考え、ストカスティック計算機(S.C.)を用いてシミュレーションを行なった。S.C.はランダムパルスの出現確率を計算機変数とする計算機で、神経系と類似した情報処理を行なう。

図1にシミュレーションシステムの概略を示すが、眼球はフォトランジスタで構成し、眼球を動かす代わりに図形の方を動かしている。すなわちブラウン管上の入力図形 $U(x)$ の空間微分を検出し、そのアナログ信号をアナログ/ストカスティック変換器を経てランダムパルスの形でS.C.の積分器へ入力する。積分器出力は図形を表示しているブラウン管にフィードバックされ、図形が眼球の中心へ来るように制御する。この系では積分器の値 x が視角を表わすことになるが、時刻 t における x についての確率密度関数 $\pi(x, t)$ は次式で与えられる。

$$\frac{\partial \pi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial U}{\partial x} \pi \right) + \frac{D}{2} \frac{\partial^2 \pi}{\partial x^2} \quad (1)$$

この様に視角 x が確率過程となるのは、システムに、神経系と同じようにランダムパルス列を導入したためであり、これによりtremorとdriftが発生する。

図形として図2-aのような強度分布を持つスポットを与えて定常状態においてサンプルを取り、ヒストグラムとしたものが図2-bである。実際の眼球のtremor及びdriftの振幅分布の測定データがないので比較できないが、このモデルから、micro-saccadesの発生間隔をシミュレートした結果、実測値と良好一致を見た。

次に、上記のシミュレーションでは眼球が図形関数 $U(x)$ で直接制御されるとしたが、実際はもっと複雑な処理が行なわれていると考えられる。これを実験で推定するため、微振動が眼球システムという非線型システムに白色雑音が入力された結果生じると考える。上述の実験とは逆に振幅分布が分れば、非線型システムでもその系の同定が可能な方法を見出したので、この理論を応用して眼球の定常振幅分布 $P(x)$ を測定し、これからこの非線型システムを同定することを試みる。つまり、システムを、

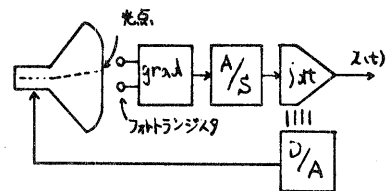


図1 シミュレーションシステム

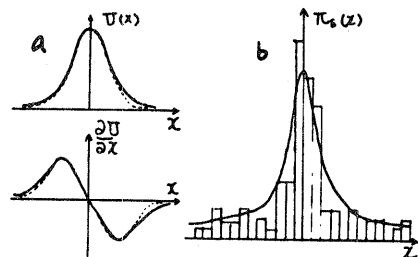


図2 シミュレーション結果

$$\dot{x} = -\frac{\partial V(x)}{\partial x} + n(t)$$

$n(t)$: 白色雑音

(2)

とすれば,

$$V(x) \propto \log p(x)$$

(3)

で与えられる。1点固視の場合、 $V(x)$ は入力点画像 $\Pi(x)$ によって眼球運動系に形成されるポテンシャルと考えられる。現在、眼球運動測定装置を作製し、上述の手法により種々の入力に対して $V(x)$ を試みることを試みている。

2. ランダム走査による画像伝送と画質評価

近年、電話回線を用いた医用画像伝送システムなどで、エーTVの静止画像を最初には鮮明な画質でなくとも、短時間に伝送したい要求が増えてきた。1で述べたS.C.はランダムパルスを用いるため、1パルス1ビットの形ではなく、1パルスが全体の情報を一定の濃度で含んでいる。従ってS.C.の計算結果は、時間の経過と共に正確になる。ここに述べる画像伝送システムは、S.C.の原理を用いたもので受信画像が時間と共に鮮明になるものである。

システム構成は、送信側、受信側共に、M系列シフトレジスタを用意し、その出力を座標信号として用いることによりランダムスキャンを行うもので、両側のM系列の初期値を同じにすることにより、2つのM系列は常に同じ座標を示すため、画像情報を送るだけで、画像の再生が可能となる。伝送結果を図3に示す。ランダム走査ではサンプリング画素数 N が小さくとも全体の大きな像が得られるのに対し、比較のために示したラスタ走査画像では、全情報が伝送されるまでは全体像がわからない。このようにランダム走査は、人間の視覚特性に適合していると思われるが、受信画像の画質評価をWalsh Hadamard展開係数の分散 σ^2 を尺度として行なった。図4に画素数 $L \times L$ の画像を伝送した場合の分散が、受信画素数 N と共に小さくなるようすを示す。このグラフと図3を見た時の我々の心理的画質評価は良く一致していると思われる。この計算にはM系列が1周期($L \times L$)の間、重複しないで(セルフアポイディング)ランダムに座標を発生することを考慮してあるため、 $N = L \times L$ で $\sigma^2 = 0$ となっている。これは純ランダムに座標を指定した場合とちがって、1周期間で画面の全情報が伝送されることを表わしている。

このシステムはエーTVカメラと少数の工じで作る事ができ、バッファメモリも少なくすむ。

なお、比較パターンとしてラスタ走査画像の他に、間引き走査画像、平均化走査画像に対しても実験を行っている。

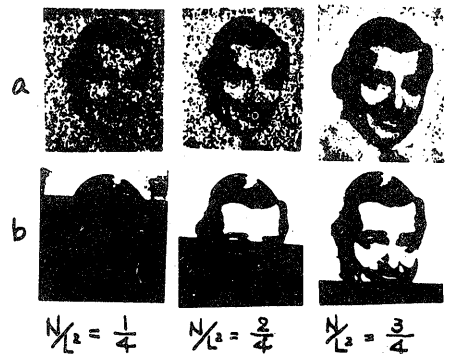


図3 伝送結果 a:ランダム走査
b:ラスタ走査

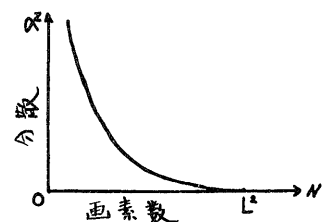


図4 分散 σ^2 と画素数 N の関係

3. 統計的にボケた画像の修正

通常、画像を観測すると散乱等の影響でボケが生じる。この観測像 $F(x, y)$ は原画像 $f(x, y)$ と次の関係にある。

$$F(x, y) = \iint K(\xi, \eta) f(x-\xi, y-\eta) d\xi d\eta \quad (4)$$

ここで $K(\xi, \eta)$ はボケ関数である。したがって、上の積分方程式を解けば原画像 $f(x, y)$ を得ることができる。しかし、X線、R.I. 画像などでは、 $K(\xi, \eta)$ が平均的には定まるが、実際は線量を少なくするために、ボケ関数 $K(\xi, \eta)$ でボケた画像を得るまで十分な観測を行うことができない。したがって、この場合 $K(\xi, \eta)$ は確率的な関数 $K(\xi, \eta, \omega)$ であると考えられる。ここでは、このように確率的なシステムを通して観測した像の像修正の基礎的試みを行なっている。

簡単のために原画像を1次元2値画像とし、観測像はランダムパルスで与えられるとする。つまり、原画の白の部分では確率 P_1 、黒の部分では確率 P_2 でパルスが発生すると考える。この時、得られた1, 0パルス列 N_i ($i=1, 2, \dots, n$) から原画の白から黒への変化位置を推定することを問題とする。ただし、白黒の境界は1カ所だけであるとする。ここでは、位置 r で白から黒へ変化したとする時、そのような原画から観測系列 N_i が得られる確率 $P(r)$ を次のように求める。

$$P(r) = \prod_{i=1}^r P_1^{N_i} (1-P_1)^{(1-N_i)} \prod_{i=r+1}^n P_2^{N_i} (1-P_2)^{(1-N_i)} \quad (5)$$

ここで $P(r)$ が最大値を取る r を原画での境界線の推定位置とする。現在、この手法を他の推定法と比べ、又、周期的画像への適用などを試みている。

4. パターン認識機構を持つ自動焦点調節装置

近年、カメラ、顕微鏡などの自動焦点調節装置が実用化されてきたが、これは我々人間のように画面内の特定物体を認識し、そのものに焦点を合わせることができない。我々は以前ボケの積分方程式に基づいた連立代数方程式を解くことにより、物体の大きさ、平行物動、焦点ズレ等のパラメータを推定してパターン認識と焦点合わせを同時に行う方法を提案したが、その最も簡単な場合を具体化して、装置を試作した。この装置はとりあえず認識対象を大きさおよび焦点位置の異なる2つの円形2値パターンと限定して、顕微鏡の焦点合わせを指定された円に知して行うものである。

装置としては、ITVカメラ、顕微鏡、電算機その他、電算機により指定された領域内での焦点の合い具合を示す量(焦点量)および画像データを電算機に送る装置と、電算機の指示により顕微鏡のステージを上下する駆動装置より構成される。ここでは焦点量として、映像信号の高周波成分の量を電圧に変換した値を用いた。

図5にシステムの動作の流れを示す。まず顕微鏡のステージをスタート位置に物動し、次に2つの円の画像情報を取り出せるように領域を定め、最良結像位置(焦点量最大位置)へステージを物動する。この位置で画像情報を読み出し、2つの円の直径を認識し、指定された円を選択してその円だけが入るような領域を小さくする。(もし、この時円が2つ発見されない場合は、領域を変化させて、は

じめからやりなおす。)最後に新しく設定された領域内で、最良結像位置にステージを動かし、動作を終了する。

本装置で焦点合わせを行なった結果、2つの円をよく分離し、最良結像位置(最終ステージ位置)のバラツキも人間が行なった場合に比べて1桁位よくなることがわかった。

5、磁気バブルの光学的应用

磁気バブルは、従来メモリ素子としての研究が殆んどでその光学的应用は極めて少ない。ここでは、バブルを空間変調器および光学スキャナーとして応用した。

1) 空間変調器への応用 ホログラムメモリの記録装置には書き込み速度の速い空間変調器が必要である。空間変調器は、電気信号を位置精度のよい空間的な情報に高速に変換できる必要がある。この目的のため液晶を用いた空間変調器の報告があるが、磁気バブルは高速の点で勝っている。図6に磁気バブルを空間変調器として用いたホログラム撮影装置の構成を示す。この装置によりバブルの部分(明“1”)、それ以外の部分(暗“0”)の2値パターンが、フーリエ変換ホログラムとして記録される。試料は手持ちの YFeO_3 を用いて行なったが、原理的に可能なことが確かめられ、さらに良質のホログラムがえられる見通しを得た。

100×20ビット程度の空間変調器を考えた場合、液晶ではパターン記録のサイクルタイムは約1秒でそれは主にパターンの書き込み、消去に要する時間である。これに対して、磁気バブルでは書き込みおよび消去の時間は極めて短かく済み、サイクルタイムは主に露光時間のみで現在の装置でも1/10秒程度になる。

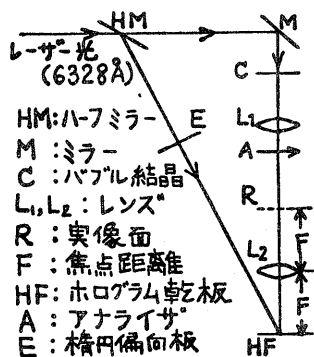


図6 ホログラム撮影装置の光学系

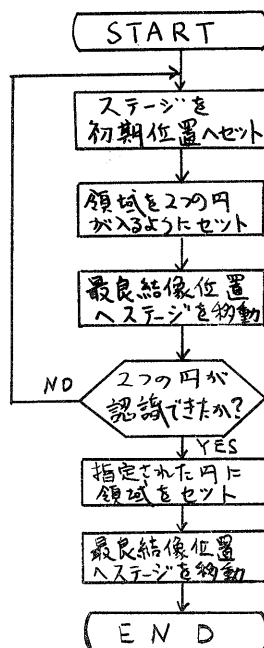


図5 焦点調節の流れ図

ii) 光スポットスキャナーへの応用

バブルは回転駆動磁界で位置を制御できる小口径(数 μm)の1種の光スポットと考えることができる。これを利用して、光学スキャナーを試作した。バブル材としてフアラデー回転角の比較的小さい(2°) YFeO_3 を用いても、濃淡10レベル程度は検出ができたが、転送中のバブル径の変動が受光出力に直接影響を与えるため、転送中のバブルの動特性を正確に把握し、バブルの位置と受光素子出力の同期を厳密にとる必要が生じた。このため従来のアナログ発振器ではなく、デジタルメモリを用いたバブル駆動装置を試作し、任意の位相で回転磁界を維持したままバブルを停止させるようにした。さらに、電算機を用いて駆動磁界およびバイアス磁界をオンライン制御し、バブルの面積を一定のまま

駆動することに成功した。この実験はスキャナとしての当初の目的の他に、バブルおよび駆動パターンの動特性の研究に極めて有効なことが明らかになった。

6. ランダムパルスを用いたデジタルシステムの故障診断

デジタルシステムの故障診断は、近年、系の規模の増大複雑化に伴い、従来の決定論的な方法では最適なテスト系列を見出すのが困難になってきている。たとえば、システムを組み合わせた論理回路に限定しても、入力数40、出力数1の論理回路の真理値表を確認するには、 2^{40} 組の入出力をテストする必要がある。これは1MHzの周期で行なっても約300時間を要することになり現実的なオーダではなくなる。

実際は真理値表のテストを行なうのではなく、故障発見のための一連のテスト入力によって診断を行なっているが、この場合もしS/Eになると困難になってくる。

これに対し、入かにランダム系列を用いる試みがあり、特に組み合わせ回路にランダム入力を用い、出力の統計的性質から故障を検出する方法は、その簡便性および高速性から有望と考えられる。この方法は本研究室のS.C.を用いて簡単に実行できるが、現在、実際の回路を用いて実験を行ない、順序論理回路への拡張を行なっている。

図7にテストシステムの概略を示す。テスト回路U.T.のm本の入力端にそれぞれ独立に、1をとる確率 W_i ($i=1, 2, \dots, m$)のクロックに同期した2値のランダム信号をKクロック間加える。この時出力が1となるクロック数 K_1 をカウンタで計数すると、 $Z = K_1/K$ の期待値は入力確率ベクトル $W(W_1, \dots, W_m)$ に対するU.T.の出力のパルス生起確率を表わす。このZとあらかじめ計算した正常な回路に対する出力の生起確率 $Z_c(W)$ とを比較し、Zが $[Z_c - \epsilon, Z_c + \epsilon]$ の範囲に収まればU.T.は正常と考える。ここで ϵ は許容誤差でモンテカルロ法と同様に $1/\sqrt{K}$ で特性づけられテストの信頼度を決定する。

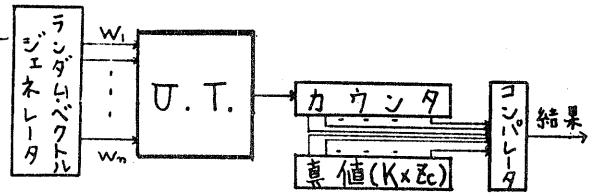


図7 テストシステム

(U.T. はテストされる
デジタル回路を表わす)