(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3798021号
(P3798021)
(45)発行日　平成18年7月19日(2006.7.19)　(24)登録日　平成18年4月28日(2006.4.28)

(51)Int.Cl.			F I		
H04N	1/405	(2006.01)	H04N	1/40	B
H04N	1/401	(2006.01)	H04N	1/40	101A
G06T	5/00	(2006.01)	G06T	5/00	100
B41J	2/52	(2006.01)	B41J	3/00	A

請求項の数 23　(全 23 頁)

(21)出願番号　特願平8-532514
(86)(22)出願日　平成8年3月22日(1996.3.22)
(65)公表番号　特表平10-502793
(43)公表日　平成10年3月10日(1998.3.10)
(86)国際出願番号　PCT/US1996/004057
(87)国際公開番号　WO1996/034487
(87)国際公開日　平成8年10月31日(1996.10.31)
審査請求日　平成15年2月17日(2003.2.17)
(31)優先権主張番号　08/427,880
(32)優先日　平成7年4月26日(1995.4.26)
(33)優先権主張国　米国(US)

(73)特許権者
ポラロイド　コーポレイション
アメリカ合衆国０２１３９－３５８９　マサチューセッツ州，ケンブリッジ，テクノロジー　スクウェアー　５４９
(74)代理人
弁理士　浅村　皓
(74)代理人
弁理士　浅村　肇
(74)代理人
弁理士　清水　邦明
(74)代理人
弁理士　林　鈺三

最終頁に続く

(54)【発明の名称】確率的しきい値アレーを生成する像再現システムおよび方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
連続トーン像データを表す像の離散トーン像データを生成して再現装置で再現する像再現システムであって、
Ａ．　複数の確率的しきい値アレーを記憶する確率的しきい値アレーライブラリであって、各確率的しきい値アレーは、前記像の所定のトーンに対応する個々のシードパターンから生成され、前記個々のシードパターンは、前記シードパターンがタイル張りされるときに最適視覚タイル張り特性および対応する所定の粒子／斑点トレードオフ条件を反映するように最適化される前記確率的しきい値アレーライブラリと、
Ｂ．　前記確率的しきい値アレーを用いて前記連続トーン像データを処理する像データ処理部であって、前記像データ処理部はオペレータが選択する前記所定の粒子／斑点トレードオフ条件の１つについての前記確率的しきい値アレーのひとつを前記確率的しきい値アレーライブラリから検索し、前記検索した確率的しきい値アレーを前記連続トーン像データ上にタイル張りし、前記連続トーン像データの対応する位置にある画素と前記タイル張りした確率的しきい値アレーのしきい値に応じて前記離散トーン像データを生成する、像データ処理部と、
を備える像再現システム。
【請求項２】
連続トーン像データを表す離散トーン像データを生成して再現装置で再現する像再現システムであって、

Ａ．　複数の確率的しきい値アレーを記憶する確率的しきい値アレーライブラリであって、各確率的しきい値アレーは各シードパターンから生成され、前記シードパターンはランダムにタイル張りされたときに最適視覚タイル張り特性を持つよう最適化される前記確率的しきい値アレーライブラリと、
Ｂ．　前記確率的しきい値アレーを用いて前記連続トーン像データを処理する像データ処理部であって、前記像データ処理部は前記確率的しきい値アレーライブラリから前記確率的しきい値アレーをランダムに検索し、前記検索した確率的しきい値アレーを前記連続トーン像データの上にランダムにタイル張りし、前記連続トーン像データの対応する位置にある画素と前記タイル張りした確率的しきい値アレーのしきい値との両方に応じて前記離散トーン像データを生成する、像データ処理部と、
を備える像再現システム。
【請求項３】
前記確率的しきい値アレーは、
Ａ．各シード確率的パターンからそれぞれ複数の最適化確率的パターンを生成し、少なくともいくつかの最適化確率的パターンは前記各シード確率的パターンと前に生成した最適化確率的パターンからそれぞれ生成して、他の最適化確率的パターンとタイル張りしたとき、生成した最適化確率的パターンは各エッジの近くに最適視覚タイル張り特性を持ち、
Ｂ．　前記最適化確率的パターンの１つを用いて各確率的しきい値アレーを生成する、
ステップで生成する、請求項２記載の像再現システム。
【請求項４】
前記最適化確率的パターンを生成するステップは、
Ａ．　初期確率的パターンを生成し、第１繰り返しの初期確率的パターンは前記各シード確率的パターンを持ち、第１最適化確率的パターンの後に最適化確率的パターンを生成するときに用いる少なくともいくつかの初期確率的パターンは、前の繰り返し中に生成した少なくとも１つの最適化確率的パターンの複写で囲まれた前記各シード確率的パターンを含み、
Ｂ．　前記初期確率的パターンを最適化する、
ステップを含む、請求項３記載の像再現システム。
【請求項５】
前記確率的パターン最適化ステップは、繰り返して
Ａ．　与えられた確率的パターンと、前記確率的パターンと像を見る観察者が行う心理視覚的処理により定義される像を再現する再現装置が行う処理、との差を反映する誤差写像を生成し、
Ｂ．　繰り返し中に生成した誤差写像の更新確率的パターンを生成し、前記更新確率的パターンは次の繰り返し中に前記誤差写像を生成するのに用いる確率的パターンとして用いる、
ステップを含む、請求項４記載の像再現システム。
【請求項６】
各確率的パターンは２つの補色で表される画素を備え、前記更新確率的パターンの更新パターン生成ステップは、各色の選択された数の画素の色と各補色とを交互にするステップを含み、前記数は逐次の繰り返しで選択的に減らす、請求項５記載の像再現システム。
【請求項７】
各確率的パターンは複数の画素を備え、また前記誤差写像生成ステップは、
Ａ．　画素の大きなクラスタを再現するときに与えられる前記確率的パターンで表される像を前記再現装置で処理するときの誤差を識別することによって粒子を最小化する再現装置誤差写像を生成し、
Ｂ．　画素の小さなクラスタを再現するときに与えられる確率的パターンで表される像を前記再現装置で処理するときの誤差を識別することによって斑点を最小化する近接誤差写像を生成し、
Ｃ．　前記再現装置誤差写像と近接誤差写像との両方に応じて、粒子／斑点トレードオフ

を提供する複合誤差写像を生成する、
ステップを含む、請求項５記載の像再現システム。
【請求項８】
前記再現装置誤差写像生成ステップは、
Ａ．　前記確率的パターンの再現装置フィルタリング動作を行って再現装置フィルタ化確率的パターンを生成し、前記再現装置フィルタ化確率的パターンは前記確率的パターンを含む画素の大きなクラスタを再現するときに前記再現装置が行う処理を反映し、
Ｂ．　前記再現装置フィルタ化確率的パターンのコントラスト感度フィルタリング動作を行ってコントラスト感度フィルタ化確率的パターンを生成し、前記コントラスト感度フィルタ化確率的パターンは前記再現装置フィルタ化確率的パターンを観察するときに観察者が行う心理視覚的処理を反映し、
Ｃ．　前記確率的パターンと、画素の大きなクラスタのコントラスト感度フィルタ化確率的パターンとの差を識別する再現装置誤差写像を生成する、
ステップを含む、請求項７記載の像再現システム。
【請求項９】
第１最適化確率的パターンを生成中に前記初期確率的パターンと更新確率的パターンを処理する間は、前記再現装置フィルタリング動作とコントラスト感度フィルタリング動作を共に円形たたみこみフィルタリング法を用いて行う、請求項８記載の像再現システム。
【請求項１０】
前記複合誤差写像生成ステップは、
Ａ．前記確率的パターンの近接フィルタリング動作を行って近接フィルタ化確率的パターンを生成し、前記近接フィルタ化確率的パターンは前記確率的パターンを持つ画素の小さなクラスタを再現するときに前記再現装置が行う処理を反映し、
Ｂ．前記確率的パターンと、画素の小さなクラスタの近接フィルタ化確率的パターンとの差を識別する近接誤差写像を生成する、
ステップを含む、請求項７記載の像再現システム。
【請求項１１】
第１最適化確率的パターンを生成中に前記初期確率的パターンと更新確率的パターンを処理する間は、前記近接フィルタリング動作を円形たたみこみフィルタリング法を用いて行う、請求項１０記載の像再現システム。
【請求項１２】
一定値から所定のガウス関数を引いた形で各画素を生成するフィルタを用いて前記近接誤差写像を前記確率的パターンから生成し、前記所定のガウス関数は可変であってフィルタリングしたクラスタの大きさを変えるパラメータを持つ、請求項１０記載の像再現システム。
【請求項１３】
前記近接誤差写像は、

$$k\left[\delta(x-x_0,y-y_0)-e-\left(\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}\right)e-\left(\frac{(y-y_0)^2}{2\sigma^2}\right)\right]$$

の形の、前記確率的パターンの各画素に作用させるフィルタを用いて前記確率的パターンから生成し、ただし、「ｘ」と「ｙ」はそれぞれ前記確率的パターンの水平軸と垂直軸、「$ｘ_0$」と「$ｙ_0$」はそれぞれフィルタリングされた画素の「ｘ」軸と「ｙ」軸に沿った座標、「ｋ」と「σ」は選択された値を持つ定数、σは可変であってフィルタリングしたクラスタの大きさを変え、「δ」は（ｘ，ｙ）＝（$ｘ_0$，$ｙ_0$）のときは１、そうでないときは０に対応するデルタ関数である、請求項１２記載の像再現システム。
【請求項１４】
前記複合誤差写像生成ステップは、
Ａ．　前記再現装置誤差写像から重み付き再現装置誤差写像を、また前記近接誤差写像から重み付き近接誤差写像を、共に重み値から生成し、

Ｂ．　前記重み付き再現装置誤差写像と重み付き近接誤差写像から前記総合誤差写像を生成する、
ステップを含む、請求項７記載の像再現システム。
【請求項１５】
前記重み値はオペレータが選択することができる、請求項１４記載の像再現システム。
【請求項１６】
各前記確率的しきい値アレーは、
Ａ．　シード確率的パターンから最適化確率的パターンを次のステップで生成し、すなわち、
ｉ　初期確率的パターンを生成し、
ｉｉ　一連の繰り返しで前記初期確率的パターンを次のようにして最適化し、すなわち、
ａ．　与えられた確率的パターンと、前記確率的パターンと像を見る観察者が行う心理視覚的処理を表す近接フィルタ化確率的パターンとで定義される像を再現するとき再現装置が行う処理を表す再現装置フィルタ化確率的パターン、との差を反映する誤差写像を生成し、前記再現装置フィルタ化確率的パターンと近接フィルタ化確率的パターンの誤差写像への各寄与は各相補重み係数で決定され、前記確率的しきい値アレーの最適化中に異なる相補重み係数を用いて異なる粒子／斑点トレードオフ条件を与え、
ｂ．　繰り返し中に生成する誤差写像の更新確率的パターンを生成し、前記更新確率的パターンを次の繰り返し中に誤差写像を生成するときに用いる確率的パターンとして用い、
Ｂ．　前記確率的しきい値アレーを前記最適化確率的パターンから生成する、
ステップで生成する、請求項１記載の像再現システム。
【請求項１７】
各確率的パターンは複数の画素を備え、前記誤差写像生成ステップは、
Ａ．　画素の大きなクラスタを再現するときに、与えられる確率的パターンで表される像を前記再現装置で処理するときの誤差を識別することによって粒子を最小化する再現装置誤差写像を生成し、
Ｂ．　画素の小さなクラスタを再現するときに、与えられる前記確率的パターンで表される像を前記再現装置で処理するときの誤差を識別することによって斑点を最小化する近接誤差写像を生成し、
Ｃ．　前記相補重み値を用いて前記再現装置誤差写像と近接誤差写像との両方に応じて粒子／斑点トレードオフを提供する複合誤差写像を生成して、前記再現装置誤差写像と近接誤差写像の前記複合誤差写像への各寄与を決定する、
ステップを含む、請求項１６記載の像再現システム。
【請求項１８】
前記再現装置誤差写像生成ステップは、
Ａ．　前記確率的パターンの再現装置フィルタリング動作を行って再現装置フィルタ化確率的パターンを生成し、前記再現装置フィルタ化確率的パターンは前記確率的パターンを持つ画素の大きなクラスタを再現するときに前記再現装置が行う処理を反映し、
Ｂ．　前記再現装置フィルタ化確率的パターンのコントラスト感度フィルタリング動作を行ってコントラスト感度フィルタ化確率的パターンを生成し、前記コントラスト感度フィルタ化確率的パターンは前記再現装置フィルタ化確率的パターンを観察するときに観察者が行う心理視覚的処理を反映し、
Ｃ．　前記確率的パターンと、画素の大きなクラスタのコントラスト感度フィルタ化確率的パターンとの差を識別する再現装置誤差写像を生成する、
ステップを含む、請求項１７記載の像再現システム。
【請求項１９】
第１最適化確率的パターンを生成中に前記初期確率的パターンと更新確率的パターンを処理する間は、前記再現装置フィルタリング動作とコントラスト感度フィルタリング動作を共に円形たたみこみフィルタリング法を用いて行う、請求項１８記載の像再現システム。
【請求項２０】

前記複合誤差写像生成ステップは、
Ａ．　前記確率的パターンの近接フィルタリング動作を行って近接フィルタ化確率的パターンを生成し、前記近接フィルタ化確率的パターンは前記確率的パターンを持つ画素の小さなクラスタを再現するときに前記再現装置が行う処理を反映し、
Ｂ．　前記確率的パターンと、画素の小さなクラスタの近接フィルタ化確率的パターンとの差を識別する近接誤差写像を生成する、
ステップを含む、請求項１７記載の像再現システム。
【請求項２１】
第１最適化確率的パターンを生成中に前記初期確率的パターンと更新確率的パターンを処理する間は、前記近接フィルタリング動作を円形たたみこみフィルタリング法を用いて行う、請求項２０記載の像再現システム。
【請求項２２】
一定値から所定のガウス関数を引いた形で各画素を生成するフィルタを用いて前記近接誤差写像を前記確率的パターンから生成し、前記所定のガウス関数は可変であってフィルタリングされたクラスタの大きさを変えるパラメータを持つ、請求項２０記載の像再現システム。
【請求項２３】
前記近接誤差写像は、

$$k\left[\delta(x-x_0,y-y_0)-e^{-\left(\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}\right)}e^{-\left(\frac{(y-y_0)^2}{2\sigma^2}\right)}\right]$$

の形の、前記確率的パターンの各画素に作用させるフィルタを用いて前記確率的パターンから生成し、ただし、「ｘ」と「ｙ」はそれぞれ前記確率的パターンの水平軸と垂直軸、「x_0」と「y_0」はそれぞれフィルタリングした画素の「ｘ」軸と「ｙ」軸に沿った座標、「ｋ」と「σ」は選択された値を持つ定数、σは可変であってフィルタリングしたクラスタの大きさを変え、「δ」は（ｘ，ｙ）＝（x_0，y_0）のときは１、そうでないときは０に対応するデルタ関数である、請求項２２記載の像再現システム。
【発明の詳細な説明】
発明の分野
この発明は一般にディジタル像の処理と再現の分野に関し、より詳しくは連続トーン像データに応じてハーフトーン像データなどの離散トーン像データを生成するのに用いる確率的しきい値アレイを生成する装置と方法に関する。
発明の背景
画の要素（「画素」）の値がたとえば黒と白の間の値をとる像データにより表される連続トーンを、再現する画素が黒と白などの２つまたは少数の画素値だけをとる離散トーン媒体すなわち表示装置を用いて再現する方法はすでにいくつか開発されている。一般にこれらの方法は、たとえばグレーの特定の色合い（すなわち「トーン」）を表す連続トーンの像の種々の領域について再現像の中に黒と白の画素の組み合わせを作って、グレーの対応する色合いとして目に見えるようにする。たとえば、５０％のグレーすなわち黒と白の中間の連続トーン像の領域は、画素の半分が白く他の半分が黒い、離散トーンの領域で表される。カラー像の場合は一般に各カラーを別個に処理し、像の画素のたとえば赤・緑・青（「ＲＧＢ」）、シアン・マゼンタ・黄（「ＣＭＹ」）、シアン・マゼンタ・黄・黒（「ＣＭＹＫ」）の強さを表す画素値を独立に生成する。
「誤差拡散」と呼ぶ再現法は連続トーン像データを画素毎に処理し、画素毎に離散トーン画素データを生成する。一般に誤差拡散法で像データを処理する場合は、たとえば像の左上から開始して像の逐次の線を走査する。第１画素の画素データを生成するときは、誤差拡散法は画素の連続トーン画素値に応じて、選択したしきい値を用いて離散トーン画素を生成する。たとえば連続トーン画素値が０（黒を表す）と２５５（白を表す）の間の数値で表される場合は、離散トーン画素値は（黒なら０、白なら２５５）しきい値（一般に連続トーン画素データがとる値の範囲の中間に選択する）の上か下かによって決定する。第

２画素の値を生成する場合は、誤差拡散法はやはりしきい値に応じて離散トーン画素値を生成するが、単に画素の連続トーン画素値を用いるのではなく、連続トーン画素値と、第１画素で生成した離散トーン画素値と第１画素の連続トーン画素値との差（すなわち「誤差」であって、選択した重み関数により重みを付ける）との和に対応する調整した連続トーン画素値を生成する。次にその結果をしきい値と比較して、これに応じて離散トーン画素値を生成する。この操作を第１線の各画素について、また逐次の線の各画素について繰り返す。ただし誤差を調整した連続トーン画素値は、重み関数を用いて前に処理した画素で生成した誤差を用いて、各画素について生成する。この方法の要点は、誤差（一般に、対応する位置の画素の離散トーン像データと連続トーン像データで表されるルミナンスの差に関係する）は像の左上端から像の右下にかけて離散トーン像全体に拡散され、拡散の度合いは選択した重み関数に関係する、ということである。このように、任意の特定の画素の離散トーン画素値で表されるルミナンスが所定の画素の連続トーン画素レベルとはかなり異なっていても、画素のグループ全体では誤差がならされるので、離散トーン像は連続トーンの像と同じように見える。

誤差拡散法は一般に正確な見た目によい再現像を作るが、１つの像の離散トーン像データを生成するのに大量の処理が必要である。必要な処理量を減らすために、「確率的スクリーン」法と呼ぶ別の方法が開発された。確率的スクリーン法を用いて動作するシステムでは、選択した数の行と列で構成するアレー要素を持つ確率的しきい値アレーを生成する。確率的しきい値アレーの各アレー要素はしきい値である。離散トーン像の値を生成するとき、確率的しきい値アレーを連続トーン画素値の上に実質的にタイル張りして(tiled)、画素の連続トーンの画素値と対応する位置にある確率的しきい値アレー要素のしきい値とを比較して、これに応じて離散トーンの画素値を生成する。確率的しきい値アレーは最適化パターンから生成し、最適化パターンはシードパターンから生成する。シードパターンは、その種々のアレー要素に最初にランダムに２進値を割り当てたアレーである。選択した分布特性を持つようシードパターンを処理し、その分布特性が得られた後に確率的しきい値アレーを生成する。一般に最適化パターンおよび関連する確率的しきい値アレーは特定の像の連続トーン像データには依存しないので、像データを処理する前に生成することができる。連続トーン像の連続トーン画素値とタイル張りした確率的しきい値アレーのアレー要素とを比較するので、また隣の画素の処理には依存しないので、画素の処理を並列に行うことができ、したがって像全体の処理速度を高めることができる。

誤差拡散法と確率的スクリーン法を用いて動作するシステムは一般に見た目によい離散トーン像を生成することができるが、問題がいくつかある。第１の問題は、連続トーン像にはない、指向性構造などの望ましくない人工物を離散トーン像内に作ることが多いことである。特に誤差拡散法では、通常、これらの人工物は一定のまたは徐々に変わるルミナンスを持つ像の部分に存在する。確率的スクリーン法では、タイル張りした確率的しきい値アレーのエッジが像の上にタイル張りされる位置に対応して、通常の構造物として人工物が現れがちである。さらに特に誤差拡散法では、階段エッジ(abrupt edges)が望ましくない一方向に鋭くなる傾向がある。

確率的スクリーン法で動作する装置を用いて生成する再現像で特に起こる問題が他にいくつかある。一般に、たとえば２つの離散トーン画素値を持つ離散トーン像を再現するときは、その離散トーン画素値によって、各画素を記録媒体上に再現するときに点を生成しまたは生成しない。このような装置に用いる確率的しきい値アレーのしきい値が、任意の離散トーン値の点の比較的大きな集合のクラスタができるように分布する場合は、特に一定のまたは徐々に変わるルミナンスを持つ像の領域では、このような均一な値の画素の集合は目に見えるので、離散トーン像は比較的に粒子が粗くなる。

他方、個々の点またはせいぜい点の小さな集合ができやすくなるようにしきい値を分布させて粒子の粗さを最小にすると、離散トーン像はここで「斑点」と呼ぶ望ましくない結果を示す。特に一定のまたはほとんど一定のルミナンスを持つ連続トーン像の領域において、均一にしたい再現像の領域に密度のゆっくりした変動として斑点が現れる。これはたとえば離散トーン像を再現する過程の変動から起こり、その結果、媒体の異なる部分に再現

される点の大きさが変動する。ルミナンスが一定でなければならない像の別の領域では、点でカバーされる再現媒体と点でカバーされない再現媒体との割合が変わると、人が見る領域のルミナンスが実際上変わる可能性がある。離散トーン像の個々の点または点の小さな集合で点の大きさがかなり変わると、目に見えるルミナンスが変わる。というのは、領域の異なる部分の間で多数の散在する点の大きさがかなり変わると、それらの部分の間の点でカバーされる媒体の部分と点でカバーされない部分の相対的割合が大きく変わるからである。これが斑点として現れる。

点の比較的大きなクラスタでも点の大きさの変化は起こるが、クラスタ内では点が重なるので、クラスタの周辺の点の大きさの変動だけがクラスタの大きさを変化させる。したがって、点でカバーされる媒体の部分と点でカバーされない部分との割合の変化は大きくない。したがって、点が比較的大きな集合として集まりやすい確率的しきい値アレーを用いると斑点は減るが、上に述べたように、再現像の中の粒子の可能性は増える。

発明の概要

この発明は新しい優れた像再現システムを与えるもので、像の再現システムに用いる確率的しきい値アレーを生成する新しいシステムと方法を含む。

要約すると、この発明の一態様は、連続トーン像データに応じて離散トーン像データを生成して再現装置で再現する像再現システムを与える。この像再現システムは確率的しきい値アレーライブラリと像データ処理部を備える。確率的しきい値アレーライブラリは複数の確率的しきい値アレーを記憶し、各確率的しきい値アレーは個別に生成する最適化パターンに応じて生成し、各最適化パターンは所定の粒子／斑点トレードオフ条件を反映するように最適化し、またさらに、自身でタイル張りした場合に各確率的スクリーンが最適な視覚タイル張り特性を持つように最適化する。像データ処理部はライブラリから得た確率的しきい値アレーを用いて連続トーン像データを処理する。像データ処理部は所定の粒子／斑点トレードオフ条件の１つの確率的しきい値アレーを前記確率的しきい値アレーの記憶から検索し、検索した確率的しきい値アレーを連続トーン像データ上にタイル張りし、連続トーン像データの対応した位置にある画素とタイル張りした確率的しきい値アレーのしきい値に応じて、離散トーン像データを生成する。

別の態様では、この発明は連続トーン像データに応じて離散トーン像データを生成して再現装置で再現する像再現システムを与える。この像再現システムは確率的しきい値アレーライブラリと像データ処理部を備える。このライブラリは、それぞれ個別に生成する最適化パターンに応じて生成する複数の確率的しきい値アレーを備え、最適化パターンは、共にタイル張りしたときに最適な視覚タイル張りになるように最適化する。像データ処理部は確率的しきい値アレーを用いて連続トーン像データを処理する。像データ処理部は確率的しきい値アレーをランダムに検索し、検索した確率的しきい値アレーを連続トーン像データ上にランダムにタイル張りし、連続トーン像データの対応した位置にある画素とタイル張りした確率的しきい値アレーのしきい値に応じて、離散トーン像データを生成する。

【図面の簡単な説明】

この発明の詳細は特許請求の範囲に示す。この発明の上記のまたはその他の利点は、以下の説明を添付の図面と共に参照すればよく理解できる。

第１図は、この発明に従って構成した像再現システムを備える例示のコンピュータシステムである。

第２図は、この発明に従って構成した像再現システムの機能的ブロック図である。

第３図は、第２図に示す像再現システムに用いる確率的しきい値アレー生成装置の機能的ブロック図である。

第４図と第５図は、第３図に示す確率的しきい値アレー生成装置の動作を理解するのに役立つ確率的パターンを示す図である。

第６図は、第３図に示す確率的しきい値アレー生成装置に用いる複合誤差写像(error map)発生器の機能的ブロック図である。

第７図は、第２図に示す像再現システムに用いる、この発明の確率的しきい値アレーの生成に関して確率的しきい値アレー生成装置が行う一般的な動作を記述する流れ図である。

第８Ａ図から第８Ｅ図は、初期パターンとこれに応じて確率的しきい値アレーを生成するときに確率的しきい値アレー生成装置が行う詳細な動作を記述する流れ図である。
第９Ａ図から第９Ｅ図は、次のパターンと確率的しきい値アレーを生成するときに確率的スクリーン生成装置が行う詳細な動作を記述する流れ図である。
例示の実施態様の詳細な説明
第１図は、この発明に従って構成した像再現システム（第２図）を備えるコンピュータシステム１０を示す。第１図において、一実施態様のコンピュータシステム１０はコンピュータ１１と、像を収集して連続トーンディジタル像データに変換するカメラ１２Ａおよび３５ミリメートルのスライドスキャナ１２Ｂで表す１個以上の像収集装置（一般に参照番号１２で示す）と、出力像を生成するプリンタ１３Ａおよびラスタ像プロセッサ１３Ｂで表す１個以上の像再現装置（一般に参照番号１３で示す）を備える。コンピュータ１０は、一実施態様では汎用のプログラム記憶式ディジタルコンピュータであって像再現システム２０を備えており、連続トーンディジタル像データを受けて、第２図から第９Ｅ図に関連して以下に説明する確率的しきい値アレーを用いてこれを処理し、たとえば像再現装置１３で再現する離散トーンディジタル像データを生成する。
従来通り、コンピュータ１０はプロセッサモジュール１４とキーボード１５Ａおよび／またはマウス１５Ｂなどのオペレータ入力要素（一般に参照番号１５で示す）を備えるオペレータインターフェース要素と、ビデオディスプレイ装置１６などのオペレータ出力装置を備える。プロセッサモジュール１４はたとえばプロセッサや、メモリや、ディスクおよび／またはテープ記憶要素（別個に示さず）などの大容量記憶装置などを備え、与えられたディジタルデータの処理と記憶を行う。像再現システム２０を動作させる場合は、コンピュータシステム１０は一般に或るプログラムを処理して、第２図から第９Ｅ図に関して以下に説明する選択された動作を行う。オペレータ入力要素１５は、処理する情報や像処理動作を制御する情報をオペレータが入力するためのものである。ビデオディスプレイ装置１６は、像データを処理する際にオペレータが行う選択を識別する情報などの出力情報をオペレータに表示するためのものである。図のコンピュータシステム１０は、オペレータからの入力情報を受けるキーボードやマウスやオペレータに出力情報を表示するビデオディスプレイ装置などの特定の要素を備えるが、コンピュータシステム１０は第１図に示す要素の他にまたは代わりに種々の要素を備えてよい。
一実施態様のコンピュータシステム１０は、カメラ１２Ａや３５ミリメートルスキャナ１２Ｂなどの特定の種類の像収集装置１２や、プリンタ１３Ａやラスタ像プロセッサ１３Ｂなどの特定の種類の像再現装置１３から連続トーン像データを受けると上に説明したが、コンピュータシステム１０は、多くの他の種類の像収集装置１２や像再現装置１３を用いてよいことが分かる。
像処理システム２０の一実施態様は汎用のプログラム記憶式コンピュータシステム１０の要素を備えると上に説明したが、像処理システム２０は専用のハードウェアおよび／またはプログラム要素、または専用のハードウェアおよび／またはプログラム要素を備えるコンピュータシステム１０の組み合わせを含んでよいことは、当業者には明らかである。
第２図は、この発明に従って構成した像再現システム２０の機能的なブロック図である。第２図において、像再現システム２０は確率的しきい値アレー生成装置２１と、確率的しきい値アレーライブラリ２２と、協同して入力像データを受けまたこれに応じて出力像データを生成する像処理サブシステム２３を備える。一般に二次元の像では、多数の行と列に配列した二次元アレーの画の要素すなわち「画素」として像を表し、入力像データ値を各画素に与える。入力像データマトリクスの行と列の数は像の高さと幅と解像度に依存する、すなわち像の高さと幅に沿う長さの単位当たりの画素の数に依存する、ことが分かる。
グレースケール像では、各画素の入力像データは画素の強さに対応する値を持つ。カラー像では、各画素の連続トーン像データは像が符号化されている各原色毎の値を持つ。どちらの場合も、入力像データは一般に選択された範囲内、たとえば０と２５５（量子化して８ビットのデータ語にすることができる）の間の値に制限されている。像処理サブシステ

ム２３は、入力像データアレーに応じて、入力像データアレーのアレー要素にそれぞれ対応する複数のアレー要素を持つ出力像データアレーを生成する。ただし各出力像データアレー要素は入力像データアレーの対応する位置にある要素に応じて生成される出力像データ値を持つが、これは再現装置により再現することのできる２つまたはごく少数の色密度(calorant density)値に制限される。

第３図から第９Ｅ図を用いて以下に詳細に説明するが、確率的しきい値アレー生成装置２１は複数の最適化パターンを生成し、この各最適化パターンを用いて確率的しきい値アレーを生成して、確率的しきい値アレーライブラリ２２に与える。各確率的しきい値アレーは実質的に所定の数の行と列に配列したマトリクス要素を持つマトリクスで、各マトリクス要素は１つのしきい値を持つ。出力像データを生成するには、しきい値と入力像データの値とを比較し、比較に応じて出力像データ値を生成する。確率的しきい値アレー生成装置２１は多数の確率的しきい値アレーの組を作り、各組は上に説明したように粒子と斑点の間の特定のトレードオフを与える。しきい値アレーを生成するには一般にしきい値を分布させて、再現装置１３で再現するときに、入力像の平均グレー値を局所的に保持しまた連続トーン像と同じように見える離散トーン像を与えるようにする。

確率的しきい値アレーライブラリ２２は複数の確率的しきい値アレーグループ２４Ａから２４Ｍ（一般に参照番号２４ｍで示す）を含み、それぞれ複数のしきい値アレー記憶２４ｍ（１）から２４ｍ（Ｎ）（一般に参照番号２４ｍ（ｎ）で示す）を持つ。各確率的しきい値アレーグループ２４ｍは確率的しきい値アレー生成装置２１が生成した一組のしきい値アレーを記憶して、各確率的しきい値アレーグループに記憶されているしきい値アレーが粒子と斑点の間の特定のトレードオフに関連するようにする。各確率的しきい値アレーグループ２４ｍ内では、各しきい値アレー記憶２４ｍ（ｎ）はそのグループの粒子／斑点トレードオフに用いるための、確率的しきい値アレー生成装置２１が生成した確率的しきい値アレーの１つを記憶する。

確率的しきい値アレーライブラリ２２は、ランダム確率的しきい値アレーセレクタ２５をさらに備える。ランダム確率的しきい値アレーセレクタ２５は確率的しきい値アレーグループ２４ｍと記憶２４ｍ（ｎ）を実質的に管理して、確率的しきい値アレー生成装置２１が生成したアレーを該当する粒子／斑点トレードオフ用の種々の記憶２４ｍ（ｎ）に記憶させ、記憶２４ｍ（ｎ）に記憶した確率的しきい値アレーを像処理サブシステム２３に与えて入力像データの処理に用いる。

像処理サブシステム２３は像データプロセッサ２６を備える。像データプロセッサ２６は像データ入力２７から像の入力像データを受け、確率的しきい値アレーライブラリ２２から得た確率的しきい値アレーを用いて出力像データを生成し、これを像データ出力３０に与える。入力２７が与える入力像データから出力像データを生成するとき、像データプロセッサ２６は特定の所望の粒子／斑点トレードオフを識別してランダムしきい値アレーセレクタ２５に与えて確率的しきい値アレーグループ２４ｍの１つを識別する。また像データプロセッサ２６によりランダム確率的しきい値アレーセレクタ２５は識別されたグループ２４ｍの中の記憶２４ｍ（ｎ）から確率的しきい値アレーをランダムに与えることができる。像データプロセッサ２６はしきい値アレーライブラリ２２から与えられる確率的しきい値アレーを入力像データの上にランダムにタイル張りして、出力像データを生成する。ランダムにタイル張りした確率的しきい値アレーの各マトリクス要素を連続トーン像の画素と関連させ、対応する位置にある確率的しきい値アレー要素を用いて入力像データを処理して出力像データを生成する。２進の処理の場合は、像データプロセッサは連続トーン画素値と確率的しきい値アレー要素値とを要素毎に比較して、比較に応じて離散トーン像の対応する画素の出力像データを生成する。像データプロセッサ２６は出力像データを生成するときに多数のランダムに選択しタイル張りした確率的しきい値アレーを用いるので、出力像データは、従来の誤差拡散法や確率的スクリーニング法を用いた像処理装置が生成する出力像データに存在するような、目に見える人工物を一般に含まない。

上に説明したように、確率的しきい値アレー生成装置２１は多数の確率的しきい値アレーを生成し、像処理サブシステム２３はこれを用いて、与えられた入力像データに応じて出

力像データを生成する。確率的しきい値アレー生成装置２１の構成と動作について第３図から第９Ｅ図を用いて説明する。第３図と第６図は、像再現システム２１に用いる確率的しきい値アレー生成装置とその一部すなわち複合誤差写像発生器のそれぞれの機能的なブロック図を示す。第４図と第５図は、確率的しきい値アレー生成装置２１が生成して用いるパターンを示す。第７図から第９Ｅ図は、確率的しきい値アレー生成装置２１が確率的しきい値アレーを生成して確率的しきい値アレーライブラリ２２に記憶する動作を示す流れ図である。

まず第３図において、確率的しきい値アレー生成装置２１は一般にシードパターン発生部４０と、パターン最適化部４１と、最適化パターン記憶４２と、確率的しきい値アレー発生器４３を備え、すべては制御要素４４の制御の下にある。制御４４はシードパターン発生部４０と、パターン最適化部４１と、最適化パターン記憶４２と、確率的しきい値アレ発生器４３を制御して一連の繰り返しを行わせ、繰り返す度に１つの最適化パターンおよび対応する確率的しきい値アレーを生成する。一般に、シードパターン発生部４０は制御要素４４の制御の下にシードパターンを生成する。各シードパターンは、ここで「黒」または「白」と呼ぶ２つの値の一方をそれぞれ持つ複数のアレー要素を含むアレーの形である。確率的しきい値アレー生成装置２１は、たとえば入力像データがとる値の範囲の両端に対応する数値「０」および「２５５」か、または任意の他の便利な表現で、アレー要素値を表してよい。

シードパターン発生部４０はランダムに割り当てた黒と白のパターン要素を持つシードパターンを生成し、所定のグレーレベルを達成する。シードパターンのグレーレベルは白要素の数と全要素の数との比に対応するので、５０％のグレー特性を持つシードパターンの要素の半分は白値であり他の半分は黒値である。シードパターン発生部４０はパターン全体に白と黒のアレー要素をランダムに割り当ててシードパターンを生成するので、黒要素のクラスタと白要素のクラスタがパターン全体にできる。

最初の繰り返しで、シードパターン発生部４０は第４図のパターン４５で表す初期シードパターンを生成する。第４図において、初期シードパターン４５は一般に基準数字４６と呼ぶ多数の要素を含み、確率的しきい値アレー生成装置２１が生成する確率的しきい値アレーと同じ数の行と列で構成されている。上に説明したように、各要素４６は白値または黒値を持つ。白要素と黒要素は初期シードパターン４５内にランダムに割り当てられており、白値と黒値を持つ要素の数は、シードパターンで選んだグレーレベルで決まる。実施態様では随意に５０％とした。

最初の繰り返しの後の各シードパターンでは、パターン発生部４０はパターン最適化部４１で用いるパターンとして第５図に参照番号４７で示す複合シードパターンを生成する。複合シードパターン４７の中心部には「次の繰り返し」シードパターン４８がある。これは一般に初期繰り返しシードパターン４５（第４図）と同じ方法で生成し、同じグレーレベルを持つ。複合シードパターン４７には、次の繰り返しシードパターン４８を囲んで最適化パターン４９がある。最適化パターン４９は、最適化パターン記憶４２に記憶されている、前に生成した最適化パターンの中から選択する。実施態様では、生成した第１最適化パターン（すなわち第１繰り返し中に初期繰り返しシードパターン４５に応じて生成した最適化パターン）を用いて、すべての次の繰り返しに用いる複合シードパターン４７を形成する。以下に説明するようにパターン最適北部４１で処理すると、中央部４８は新しい最適化パターンになる。第１繰り返しで生成した中心部４８と最適化パターン４９を処理することにより、パターン最適化部４１は、像処理部２３（第２図）で用いたときに、生成した確率的しきい値アレーが互いにうまくタイル張りするような最適化パターンを生成することが観察された。一実施態様では、シードパターン発生部４０が生成する次の繰り返しシードパターン４８を制限して、すべて最初の繰り返し中にパターン最適化部４１が生成した最適化パターンと同じパターン要素を周辺に持つようにすることにより、またパターン最適化部４１を制限して、周辺パターン要素が実質的に同じである最適化パターンを生成するようにすることにより、このタイル張り特性が向上する。

シードパターン発生部４０はシードパターン発生器５０とパターン発生器５１を備え、こ

の両者により初期シードパターン４５を、または繰り返し毎に複合シードパターン４７を生成する。シードパターン発生器５０は、上に説明した所望のグレーレベルを持つパターン４５または４８を生成する。第１繰り返しでは、パターン発生器５１は生成したシードパターン４５をパターン最適化部４１に送って処理する。第１繰り返し後の繰り返し毎に、パターン発生器５１は「次の繰り返し」シードパターン４８を複合シードパターン４７の中心部として用い、また最適化パターン記憶４２から１つ以上の前に生成した最適化パターンを検索し、これを用いて複合シードパターン４７を生成する。

初期シードパターン発生部４０が生成した各パターン４５または４７について、パターン最適化部４１は各パターンの一連の繰り返しで各パターンの黒および白アレー要素を再調整して、所望の空間特性を持つパターンになるように最適化する。パターン最適化部４１は複合誤差写像発生器５２と、複合誤差値記憶５３と、パターン更新発生器５４を備える。繰り返し毎に更新パターンを生成するとき、パターン最適化部４１は、詳しく言うとパターン更新発生器５４は、複合誤差写像発生器５２が生成した誤差写像を用いる。これについては、第６図に関連して後で詳細に説明する。一般に、繰り返し毎に複合誤差写像発生器５２は、フィルタ機能に従って現在のパターン（最初にパターン発生器５１から与えられたもの、またはパターン更新発生器５４により更新されたもの）をフィルタリングする。フィルタ機能が反映するのは、（ｉ）現在のパターンに対応する像を再現するときに再現装置が像に与える歪みと、（ii）このような再現像を観察者が観察したときの粒子と起こり得る斑点の相対的な度合い、である。フィルタリングによって、複合誤差写像発生器は誤差写像と複合誤差値を生成する。再現され観察されるパターンの像において、誤差写像は像の各画素の粒子の位置と斑点の起こりやすさを示し、複合誤差値は像全体の粒子の測度と斑点の起こりやすさを全体的に示す。

パターン更新発生器５４は誤差が最大だった同数の黒要素と白要素を識別し、識別した黒画素を白に、また識別した白要素を黒に変えてパターンを更新する。更新パターンを複合誤差写像発生器５２で再び処理し、更新パターンの複合誤差一値が前の複合誤差値より小さい場合は更新パターンを保持し、そうでない場合は更新パターンを捨てる。複合誤差写像発生器５２とパターン更新発生器５４は一連の繰り返しによりこれらの動作を行い、繰り返しの度に、繰り返し中に更新したパターンの複合誤差値が更新しないパターンの値より小さい場合は更新パターンを保持する。複合誤差値記憶５３は、繰り返し間の複合誤差値を記憶するためのものである。多数の繰り返しを行った後に更新パターンが最適であると決定し、確率的しきい値アレー発生器４３で用いるために最適化パターン記憶４２に記憶する。

パターン発生器５１が与える第１パターンを処理するとき、複合誤差写像発生器５２は二次元円形たたみこみ(circular convolution)法、または同等な高速フーリエ変換法を用いてフィルタリング動作を行う。二次元円形たたみこみ法を用いると、最終的に最適化したパターンは、自身でタイル張りして再現した場合にそのエッジに望ましくない人工物を持たず、またこれから生成した確率的しきい値アレーも自身でタイル張りしたときに境界人工物を生じない。パターン発生器５１が与える次のシードパターンでは、中心部４８（新しい確率的しきい値アレーを生成するのに用いる）は前に最適化したパターン４９に囲まれているので、複合誤差写像発生器５２は二次元円形たたみこみ法を用いてフィルタリングを行う必要はない。前に最適化したパターンと共に新しいパターンをフィルタリングすることにより、新しいパターンについて生成した確率的しきい値アレーと第１パターンについて生成した確率的しきい値アレーとをタイル張りしたときに境界人工物は減少する。第１パターンの後のすべてのパターンについて同様の動作を行うので、すべての確率的しきい値アレーと第１パターンについて生成した確率的しきい値アレーとをタイル張りしまた相互にタイル張りしたときに境界人工物は減少する。第１パターンの後のパターンについて更新を行うときは、パターン更新発生器５４は新しい現在のパターンを形成するのに用いる中心部４８内の画素を更新するだけである。その理由は、中心部４８の外側の部分は第１最適化パターンの生成のときに固定されているからである。

第６図は、第３図に示す確率的しきい値アレー生成装置に用いる複合誤差写像発生器５２

の機能的なブロック図である。第６図において、複合誤差写像発生器５２はいくつかのフィルタ、すなわち像再現モデルフィルタ６０と、像観察機能フィルタ６１と、近接フィルタ６２を備える。像再現フィルタ６０と像観察機能フィルタ６１は「粒子」フィルタ路６８を構成し、近接フィルタ６２は「斑点」フィルタ路６９を構成する。

像再現モデルフィルタ６０は、セレクタ６３の選択によりシードパターン発生部４０から（第１パターン更新繰り返し中）またはパターン更新発生器５４から（次のパターン更新繰り返し中）現在のパターンを受け、これに応じて、特定の記録装置の像を再現するときに像再現装置（プリンタなど）が持つ効果を表すアレーを生成する。より特定すると、現在のパターンの種々の要素の「白」と「黒」の値を生成するとき、分析のための仮定として、印刷またはその他の方法で再現した場合に正方形の点を持つ再現装置で現在のパターンを再現するとしてもよい。しかし当業者が理解するように、再現装置はこのような特性を持たず、互いにタイル張りしたときに媒体を完全にカバーする丸い点などのいろいろの形の点を生成してよい。再現される点の大きさや形も特定の媒体によっても影響を受ける。たとえば再現装置が、媒体に当たる領域全体に特定のパワー分布を持つレーザビームを媒体に当てて媒体に点を記録する場合は、実際に記録される点の大きさは、パワー分布特性と、媒体が実際に点を再現するパワーのしきい値に従って決まる。

像再現モデルフィルタ６０は、これらのまた同様な矛盾を調整する出力を生成する。実施態様の像再現モデルフィルタ６０は２つの要素を備える。すなわち（ａ）点を再現するときに記録装置の特性（前のパラグラフで示したレーザビームのパワー分布など）を反映する記録特性要素、（ｂ）点を再現するのに必要な媒体の特性（前のパラグラフで示した、媒体が点を再現するしきい値など）を反映する媒体特性要素である。

像観察機能フィルタ６１は、像を観察するときの観察者の影響を表す機能を用いて像再現モデルフィルタ６０の出力をフィルタリングする。一実施態様では、像観察機能フィルタ６１はコントラスト感度機能（人間の目の感度を空間周波数１の関数として表す）を用いる。ただし従来の低域フィルタ機能などの、他のフィルタ機能を用いてもよい。像観察機能フィルタ６１の出力の形は像再現モデルフィルタ６０に入る現在のパターン入力の行と列に対応する多数の行と列を持つアレーであって、誤差写像発生器６４に与えられる。誤差写像発生器６４は像観察フィルタ６１からのアレー出力を受けて各画素値から平均画素値を引き、絶対値とその差とを比較して誤差写像を生成する。誤差写像は一般に目に見えるほど大きい画素のクラスタでは比較的大きな誤差値を持つ。したがって、誤差写像発生器６４が生成する誤差写像は、単色の画素の比較的大きいクラスタを強調する。これにより、再現装置が再現する像の中の粒子の度合いが増加する。

近接フィルタ６２もセレクタ６３から現在のパターンを受けて、近接フィルタ機能を用いてこれをフィルタリングする。近接フィルタ機能は高域フィルタであって、再現装置がたとえば白画素の領域内の個々のまたはクラスタになった黒画素を再現する困難さすなわち無力さの表示を生成するよう選択する。一実施態様では、近接フィルタ機能はデルタ関数「δ」（（ｘ，ｙ）＝（x_0，y_0）の場合の値は「１」で、その他の場合の値は「０」に対応する）から二次元ガウス関数すなわち

$$k\left[\delta(x-x_0, y-y_0) - e^{-\left(\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}\right)} e^{-\left(\frac{(y-y_0)^2}{2\sigma^2}\right)}\right]$$

を引いた形である。ただし、「ｘ」および「ｙ」はパターンの水平座標および垂直座標としてとり、「x_0」および「y_0」はフィルタリング中の特定の画素の座標であり、「ｋ」は定数である。近接フィルタ６２の出力は斑点フィルタ路６９が生成する誤差写像を含む。上述の近接フィルタ機能は、単一の値の個々の画素または画素の小さなクラスタでは大きな誤差値を与え、クラスタの大きさは、ガウス関数用に選択された「σ」の値によって制限される(penalized)。したがって、近接フィルタ６２は同じ値の個々の画素または画素の小さなグループ（グループの大きさは選択された「σ」の値による）など、斑点の原因となる特性を制限するような誤差値を生成する。

フィルタ路６８と６９の出力はそれぞれマルチプレクサ６６と６７に結合し、マルチプレ

クサ６６と６７は各発生器６４と６５が生成した誤差写像に相補重み係数「λ」と「１－λ」を掛ける。ただし、λの値はオペレータが０と１の範囲内で選択する。λの値が大きい場合は、像再現モデルフィルタ６０と像観察機能フィルタ６１の出力に応じて写像発生器６４が生成する誤差写像からの複合誤差写像への寄与が大きくなる。他方「１－λ」の値が大きい（すなわち「λ」の値が小さい）場合は、近接フィルタ６２が生成する誤差写像からの寄与が大きくなる。したがって、オペレータはλの値を変えることにより、像の中に観察される粒子と斑点の量を調整することができる。すなわち、λの値が小さい場合は斑点の可能性が小さく、λの値が大きい場合は粒子の量が少ない。再現像の中に存在する斑点の実際の量は、再現過程に実際に存在する変動に依存するので、λの値は斑点の可能性に影響するだけであって、存在する斑点の実際の量には影響しない。

この背景に基づいて、確率的しきい値アレー生成装置２１が行う詳細な動作を、第７図から第９Ｅ図に示す流れ図を用いて説明する。第７図は、確率的しきい値アレー生成装置２１が行う一般的動作であり、第８Ａ図から第８Ｅ図は、初期最適化パターンとこれに応じて確率的しきい値アレーを生成するときに確率的しきい値アレー生成装置２１が行う詳細な動作を示す流れ図であり、第９Ａ図から第９Ｅ図は、次の最適化パターンとこれから確率的しきい値アレーを生成するときに確率的しきい値アレー生成装置２１が行う詳細な動作を示す流れ図である。まず第７図において、確率的しきい値アレー生成装置２１はいくつかの初期化ステップを行う。まず確率的しきい値アレー生成装置２１は生成する確率的しきい値アレーの数を決めて、確率的しきい値アレーカウンタをこの値で初期化する（ステップ１００）。以下に説明するように、確率的しきい値アレー生成装置２１は終了させる基準としてこのカウンタを用い、生成するすべての確率的しきい値アレーの生成をいつ終了したかを識別する。確率的しきい値アレー生成装置２１は、フィルタ６０から６２（第４図）で用いる像再現モデル機能と像観察機能と近接機能を選択し（ステップ１０１）、また誤差写像重みパラメータ「λ」と近接機能の任意のパラメータを含む種々のパラメータの値を選択する（ステップ１０２）。近接機能が上に定義したガウス関数である一実施態様では、オペレータが値を与える近接機能パラメータは「σ」の値を含む。

次に、確率的しきい値アレー生成装置２１は確率的しきい値アレーの生成を開始する。まず、確率的しきい値アレー生成装置２１は像再現モデル機能と像観察機能と近接機能と諸パラメータを用いて第１最適化パターンを生成し、第１最適化パターンを用いて、確率的しきい値アレーライブラリ２２に与える確率的しきい値アレーを生成する（ステップ１０３）。（ステップ１０３において確率的しきい値アレー生成装置２１が行う詳細な動作は、第８Ａ図から第８Ｅ図を用いて後で説明する。）初期確率的しきい値アレーを生成した後、確率的しきい値アレー生成装置２１は確率的しきい値アレーカウンタを減らし、カウンタの計数が終わったかどうかを決定する（ステップ１０４）。ここでは、確率的しきい値アレー生成装置２１は多数の確率的しきい値アレーを生成すると仮定しているので、カウンタの計数は終わっていない。その場合、確率的しきい値アレー生成装置２１はステップ１０５に進み、また像再現モデル機能と像観察機能と近接機能と種種のパラメータと、さらにステップ１０３で生成した第１最適化パターンを用いて別の最適化パターンを生成し、またこの生成したばかりの最適化パターンを用いて別の確率的しきい値アレーを生成して、確率的しきい値アレーライブラリに追加する。（ステップ１０５において確率的しきい値アレー生成装置２１が行う詳細な動作は、第９Ａ図から第９Ｅ図を用いて後で説明する。）ステップ１０５に続いて、確率的しきい値アレー生成装置２１はステップ１０４に戻り、確率的しきい値アレーカウンタを減らし、カウンタの計数が終わったかどうかを決定する。

確率的しきい値アレー生成装置２１は一連の繰り返しによりステップ１０４と１０５を用いて上に説明した動作を繰り返し、繰り返す度に新しい最適化パターンと確率的しきい値アレーを生成し、ステップ１０４でカウンタの計数が終わったと決定するまで繰り返す。カウンタの計数が終わると、生成する予定の確率的しきい値アレーをすべて生成し終わったので、ステップ１０６に進んで、像処理サブシステム２３は確率的しきい値アレーを入力像データの処理に使用する。

ステップ１０３において確率的しきい値アレー生成装置２１が行う詳細な動作と、第１最適化パターンの生成と、確率的しきい値アレーを生成するときの第１最適化パターンの使用について、第８Ａ図から第８Ｅ図を用いて説明する。第８Ａ図において、確率的しきい値アレー生成装置２１は、ランダムに割り当てた白と黒の画素値を持つシードパターンをまず生成する（ステップ１０３ａ）。次に複合誤差写像発生器５２により、像再現モデルフィルタ６０と像観察機能フィルタ６１によりシードパターンを現在のパターンとしてフィルタリングし（ステップ１０３ｂ）、誤差写像発生器６４に関連して前に説明した誤差写像を生成する、すなわちステップ１０３ｂで生成したフィルタリングした現在のパターンの画素値から平均画素値を引いて、その絶対値をとり、黒および白画素のクラスタをグレーレベル写像として符号化する（ステップ１０３ｃ）。また確率的しきい値アレー生成装置２１は近接機能フィルタ６２により現在のパターンをフィルタリングして（ステップ１０３ｄ）第２誤差写像を生成する。上に述べたように、第１の現在のパターンをステップ１０３ｂと１０３ｅでフィルタリングするとき、各フィルタ６０から６２は二次元円形たたみこみ法を用いる。

次に確率的しきい値アレー生成装置２１はステップ１０３ｃと１０３ｄで生成した誤差写像に相補重みパラメータ「λ」と「１－λ」を掛け、重み付き誤差写像を加算して複合誤差写像を生成する（ステップ１０３ｆ）。誤差写像を生成した後、確率的しきい値アレー生成装置２１は複合誤差写像内の誤差値から全平均二乗誤差値を生成する（ステップ１０３ｇ）。確率的しきい値アレー生成装置２１は全平均二乗誤差値を複合誤差記憶５３（第２図）に保持してよい。複合誤差値はステップ１０３ｆで複合誤差写像のアレー要素について生成した誤差値の二乗の和であって、ステップ１０３ａで生成したシードパターンを像再現モデルフィルタと像観察機能フィルタと近接フィルタでフィルタリングした誤差の度合いを反映する。

ステップ１０３ａで生成した初期シードパターンについて複合誤差写像と複合誤差値を生成した後（ステップ１０３ｇ）、確率的しきい値アレー生成装置２１は一連の繰り返しを行い、繰り返しの度に最大の誤差値を持つ現在のパターンの種々の黒画素と白画素を更新し、更新した現在のパターンを複合誤差写像発生器５２により処理して（ステップ１０３ｃから１０３ｇ）、更新した現在のパターンの複合誤差写像を生成する。繰り返しの度に更新した現在のパターンについて生成する複合誤差値すなわち全平均二乗誤差値が前のパターンの複合誤差より小さい場合は、更新した現在のパターンを次の繰り返しの現在のパターンとして用いる。

より特定すると、確率的しきい値アレー生成装置２１はシードパターン、すなわちステップ１０３ａで生成したパターン、を現在のパターンとしてまず選択する（ステップ１０３ｈ）。次に確率的しきい値アレー生成装置２１は画素番号パラメータ「ｍ」を選択し（ステップ１０３ｉ）、ステップ１０３ｆで生成した複合誤差写像に基づいて複合誤差写像の最大値を持つ現在のパターンの「ｍ」個の白画素と「ｍ」個の黒画素の位置を識別する（ステップ１０３ｊ）。次に確率的しきい値アレー生成装置２１は、現在のパターンの識別した画素、すなわち複合誤差写像の最大値を持つ画素、の値を逆転して前の白画素を黒画素にし前の黒画素を白画素にした、試行更新パターンを生成する（ステップ１０３ｋ）。確率的しきい値アレー生成装置２１は試行更新パターンについて上に述べたステップ１０３ｂから１０３ｇの動作を繰り返し（ステップ１０３１）、試行更新パターンの複合誤差写像と複合誤差値を生成する。試行更新パターンで生成した複合誤差値が現在のパターンで生成した複合誤差値より小さい場合は（ステップ１０３ｍ）、確率的しきい値アレー生成装置２１は試行更新パターンを現在のパターンとして選択する（ステップ１０３ｎ）。他方ステップ１０３ｍで確率的しきい値アレー生成装置２１が、試行更新パターンで生成した複合誤差値が現在のパターンで生成した複合誤差値より小さくないと決定した場合は（ステップ１０３ｍ）、確率的しきい値アレー生成装置２１は現在のパターンを保持し、試行更新パターンを捨てる。試行更新パターンの複合誤差値が現在のパターンの複合誤差値以上の場合は、試行更新パターンの黒画素と白画素の配列は現在のパターンの配列と同じであり、試行更新パターンの複合誤差値が現在のパターンの複合誤差値より大きい場合

はむしろ悪い。
試行更新パターンまたは現在のパターンを新しい現在のパターンとして選択した後、確率的しきい値アレー生成装置２１は画素番号パラメータ「ｍ」の新しい値を選択する（ステップ１０３ｏ）。ステップ１０３ｍで確率的しきい値アレー生成装置２１は、試行更新パターンの複合誤差値が現在のパターンの複合誤差値より小さいと決定した場合は「ｍ」のその値を保持するが、複合誤差値が小さくないと決定した場合は「ｍ」の値を減らす。画素番号パラメータ「ｍ」の値が０より大きい場合は、確率的しきい値アレー生成装置２１はステップ１０３ｊに戻って、ステップ１０３ｊから１０３ｏで説明した動作を、画素番号パラメータ「ｍ」の新しい値について繰り返す。確率的しきい値アレー生成装置２１はこれらの動作を繰り返し、ステップ１０３ｏで画素番号パラメータ「ｍ」の値が０と決定するとステップ１０３ｐに進む。
ここで「現在のパターン」は白画素と黒画素の最適化パターンを持つ、すなわちステップ１０３ａで生成した元のシードパターンと、像再現モデルフィルタと像観察機能フィルタと近接機能フィルタによって最適化され、また重みパラメータ値「λ」によっても最適化される。ステップ１０３ｐで、確率的しきい値アレー生成装置２１は将来最適化パターンとして用いるためにこの現在のパターンを保存する。
ステップ１０３ｐの後、確率的しきい値アレー生成装置２１は、詳しく言うと確率的しきい値アレー発生器４３は、ステップ１０３ｐで保存した最適化パターンを検索して、これに応じて確率的しきい値アレーを生成する。確率的しきい値アレー生成装置２１はこれらの動作を２段階で行う。第１段階では、最適化パターン内の黒画素の位置に対応する確率的しきい値アレーの位置に記憶されている最適化パターンの黒画素の一連のしきい値を生成する。第２段階で確率的しきい値アレー生成装置２１は、最適化パターン内の白画素の位置に対応する確率的しきい値アレーの位置に記憶されている最適化パターンの白画素の一連のしきい値を生成する。各段階において、確率的しきい値アレー生成装置２１は最適化パターンの複写に関して一連の繰り返しを行い、繰り返しの度に複合誤差写像発生器５２を用いてステップ１０３ｂから１０３ｇにおいて上に説明したように複合誤差写像を生成し、複合誤差値が最大である各黒画素または白画素を識別する。確率的しきい値アレー生成装置２１は識別した画素を黒から白にまたは白から黒に逆転し、該当するしきい値を割り当てる。一実施態様では、更新した最適化パターンを像再現モデルフィルタ６０でフィルタリングすることにより該当するしきい値を生成して、フィルタリングし更新した最適化パターンを生成し、その結果をフィルタリングし更新した最適化パターン全体で合計し、更新した最適化パターンにより表される領域全体でこの合計を正規化する。これにより、確率的しきい値アレー生成装置２１が生成した任意のしきい値アレーは同じ空間平均密度を作る。
より特定すると、第１段階で確率的しきい値アレー生成装置２１はまず最適化パターンを検索して、これを作業パターンとして記憶する（ステップ１０３ｑ）。確率的しきい値アレー生成装置２１はステップ１０３ｂから１０３ｇで説明した動作を作業パターンについて繰り返して複合誤差写像を生成し（ステップ１０３ｒ）、最大の誤差値を持つ作業パターンの黒画素を識別する（ステップ１０３ｓ）。次に確率的しきい値アレー生成装置２１は識別された黒画素の値を逆転させて白にし（ステップ１０３ｔ）、作業パターンの新しいグレーレベルを生成し、また識別された黒画素のしきい値を生成し、これを確率的しきい値アレーの対応する位置にロードする（ステップ１０３ｕ）。確率的しきい値アレー生成装置２１は作業パターン内に別の黒画素があるかどうかを決定し（ステップ１０３ｖ）、もしあればステップ１０３ｒに戻って、作業パターンに関する動作を繰り返す。
確率的しきい値アレー生成装置２１は一連の繰り返しにより、ステップ１０３ｖで作業パターンに黒画素がないと決定するまで、ステップ１０３ｒから１０３ｖで上に述べた動作を繰り返す。作業パターンに黒画素がないと決定するとステップ１０３ｗに進み、第２確率的しきい値アレー生成段階を開始する。第２段階でも、確率的しきい値アレー生成装置２１はステップ１０３ｐで生成した最適化パターンから開始する。まず確率的しきい値アレー生成装置２１はステップ１０３ｐで生成した最適化パターンを検索し、これを作業パ

ターンとして記憶する（ステップ１０３ｗ）。確率的しきい値アレー生成装置２１はステップ１０３ｂから１０３ｇに述べた動作を作業パターンについて繰り返して複合誤差写像を生成し（ステップ１０３ｘ）、最大の誤差値を持つ作業パターンの白画素を識別する（ステップ１０３ｙ）。次に確率的しきい値アレー生成装置２１は識別した白画素を逆転させて黒画素にし（ステップ１０３ｚ）、作業パターンの新しいグレーレベルを生成し、識別した白画素のしきい値を生成して、これを確率的しきい値アレーの対応する位置にロードする（ステップ１０３ａａ）。確率的しきい値アレー生成装置２１は作業パターン内に別の白画素があるかどうかを決定し（ステップ１０３ａｂ）、もしある場合は、ステップ１０３ｘに戻って作業パターンの動作を繰り返す。確率的しきい値アレー生成装置２１は一連の繰り返しにより、ステップ１０３ａｂですべての画素が黒であると決定するまで、ステップ１０３ｘからステップ１０３ａｂに述べた動作を繰り返す。すべての画素が黒であると決定すると、確率的しきい値アレー生成装置２１は第１最適化パターンの確率的しきい値アレーのすべての画素のしきい値を生成し終わったので、ルーチンから出て（ステップ１０３ａｃ）、確率的しきい値アレーを確率的しきい値アレーライブラリ２２に与える。

第１最適化パターンおよび関連する確率的しきい値アレーを生成した後、確率的しきい値アレー生成装置２１は次のパターンおよび関連する確率的しきい値アレーを生成することができる。これらの動作に関して確率的しきい値アレー生成装置２１が行う動作を、第９Ａ図から第９Ｅ図に示す。一般に、これらの諸動作は第１パターンの動作と同じなので詳細をここに繰り返さない。次のパターンおよび関連する確率的しきい値アレーについて行う諸動作の主な違いは次の通りである。ステップ１０３ｂと１３０ｄで上に示したように、複合誤差写像発生器５２が行うフィルタリングは二次元円形たたみこみ法を用いる。他方ステップ１０５ｃと１０５ｅでは、パターン発生器５１（第３図）に関して上に述べたようにまたステップ１０５ｂに示したように、ステップ１０５ａで生成する新しいシードパターン（第３図のシードパターン発生器５０が生成するパターンに対応する）をステップ１０３ｐで前に生成した最適化パターンとタイル張りし、すなわち新しいシードパターンを前に生成した最適化パターンで囲む複合シードパターン４７（第５図）を生成し、確率的しきい値アレー生成装置２１は、詳しく言うと複合誤差写像発生器５２は、ステップ１０５ｃから１０５ｈを行ってそのパターンに関して動作する。新しい最適化パターンを生成するとき（ステップ１０５ｉから１０５ｑ）、確率的しきい値アレー生成装置２１は中心部４８、すなわち新しいシードパターンを得る元になった複合パターン４７の部分、の画素だけを修正する。

確率的しきい値アレーを生成するとき（第１段階のステップ１０５ｒから１０５ｗと、第２段階のステップ１０５ｘから１０５ａｄ）、確率的しきい値アレー生成装置２１はステップ１０５ｑで保存した最適化された複合パターン４７を用いてステップ１０３ｕと１０３ａａで上に説明したのと同じ方法で、中心部４８の画素を更新する。さらに、確率的しきい値アレーを生成する際に、確率的しきい値アレー生成装置２１が中心部４８内の画素を更新して新しいグレーレベルに対応する新しいしきい値を生成するとき、最適化複合パターン４７の周辺部４９内の画素をさらに更新する。更新した周辺部４９内の画素が対応するのは、前に生成した確率的しきい値アレー値がこれから生成する新しいしきい値に対応する画素であり、周辺部４９を新しいグレーレベルに保持する。

このようにして、確率的しきい値アレー生成装置２１は前に生成した最適化パターンを用いて新しい最適化パターンおよび関連するしきい値を生成し、確率的しきい値アレーを互いにタイル張りしたときに境界人工物が減る。

第１最適化パターンにおいて複合誤差写像発生器５２が行う二次元円形フィルタリング法（ステップ１０３ｂと１０３ｄ）は、一般に次の最適化パターンを生成するときのパターンのフィルタリング（ステップ１０５ｄと１０５ｅ）と同じであり、像処理サブシステム２３（第２図）が用いるときに自身でタイル張りすると、第１最適化パターンに応じて生成される確率的しきい値アレーは望ましくない境界人工物の生成を最小にする。

像再現システム２０は多くの利点を持つ。第１に、上述のように生成した確率的しきい値

アレーをランダムに選択して用いることにより、システム２０は、単一の確率的しきい値アレーを用いる再現装置で普通生成される望ましくないタイル張り人工物の生成を減少させる。最初はランダムに生成するが共に最適化するシードパターンから最適化した確率的しきい値アレーを用いることにより、パターンに応じて生成する確率的しきい値アレーは一般にエッジ効果の少ないタイル張りをする。さらに、特定の値の画素の大きなクラスタを制限する誤差値を生成する像再現モデルフィルタ／像観察機能フィルタと、特定の値の個々の画素または画素の小さなクラスタを制限する誤差値を生成する近接フィルタを用いて確率的しきい値アレーを生成することにより、またオペレータが制御できる重みパラメータ（すなわち上に説明した「λ」）を用いることにより、オペレータは、確率的しきい値アレーを生成しこれに応じて離散トーン像を再現するときに重みパラメータを適当に選択して、粒子（特定の値の画素の大きなクラスタ）と斑点（特定の値の個々の画素または画素の小さなクラスタ）の可能性の度合いを効果的に制御することができる。さらに、上に述べたように、近接フィルタが二次元ガウス関数を近接フィルタ機能として用いる像再現システムにおいて、オペレータは第２パラメータ、すなわち上に述べた「σ」を適当に選択することにより、斑点の可能性を制御することもできる。

黒画素と白画素を持つパターンに関して像再現システム２０を説明したが、これに応じて生成されるしきい値アレーは離散トーンのカラー像にも離散トーンの白黒（すなわち単一色）像にも用いてよい。離散トーンのカラー像を再現するとき、像データプロセッサ２６（第２図）は第２図に関連して上に説明したしきい値マトリクスを用いて色毎に入力像データを処理してよい。しかし色が異なると、任意のまたはすべての像再現モデルフィルタ６０と像観察機能フィルタ６１と近接フィルタ６２のフィルタ機能が異なる場合は、異なる色について一般に別個の確率的しきい値アレーが生成される。

さらに、パターン最適化部４１は他の最適化法を用いて動作してよい。たとえば、模擬アーリング、直接２分探索、モデルを用いた誤差拡散、その他のよく知られた方法を用いても、上に説明した利点の一部またはすべてを達成することができる。

上の説明はこの発明の特定の実施態様に限定したが、この発明に種々の変更や修正を行っても、この発明の利点の一部またはすべてを達成できることは明らかである。請求の範囲は、この発明の真の精神と範囲内にある変更や修正をすべてカバーするものである。

【図１】

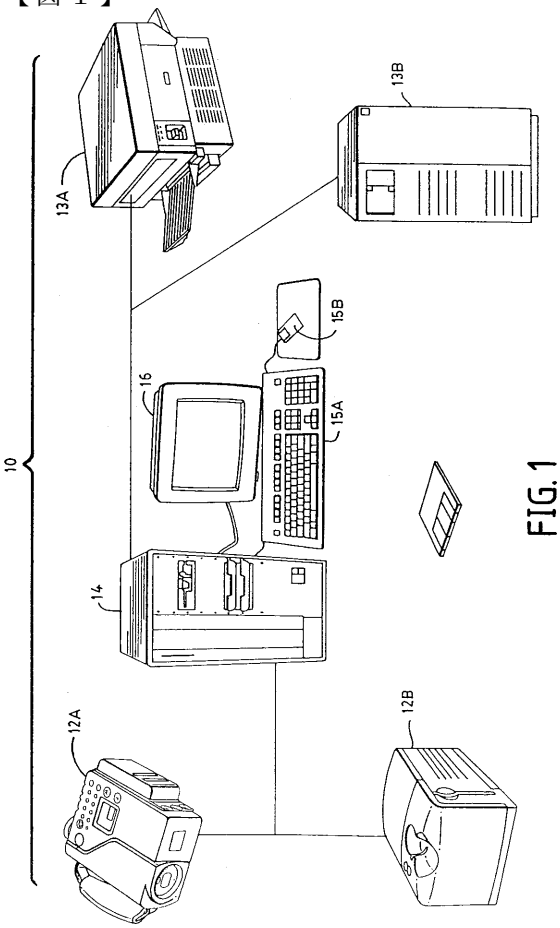


FIG. 1

【図２】

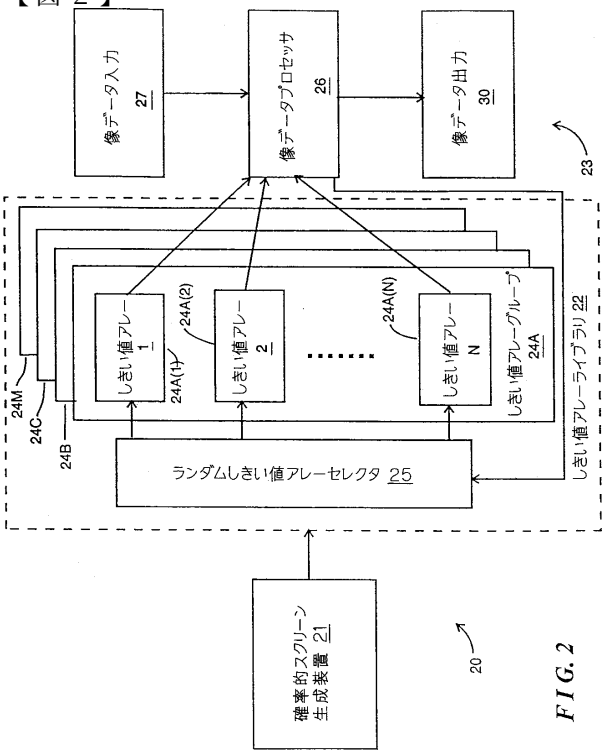


FIG. 2

【図３】

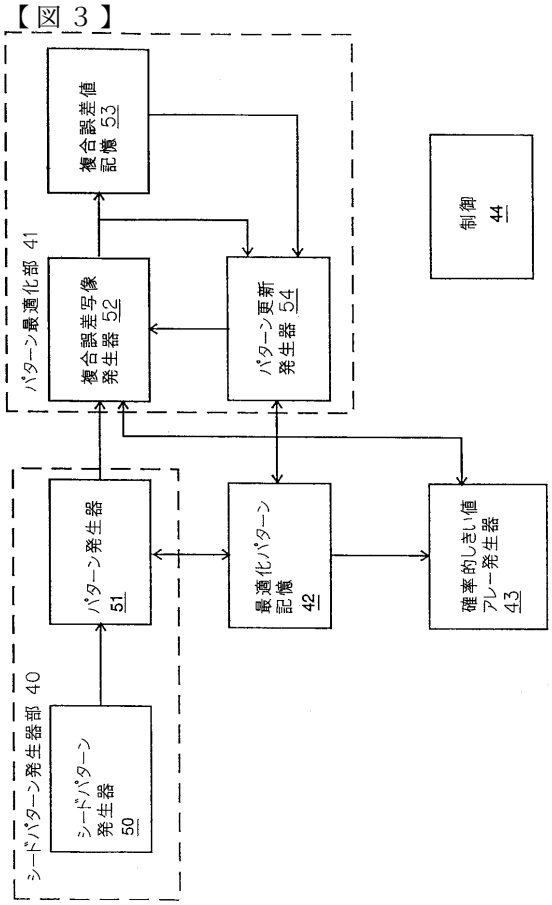
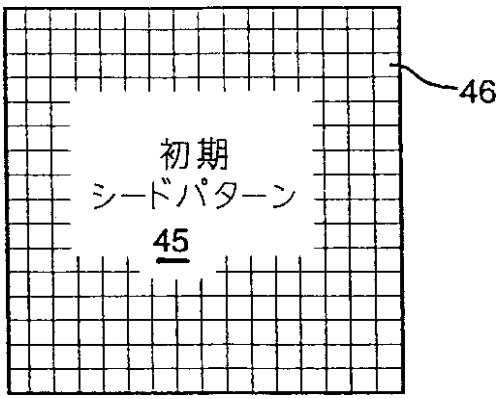


FIG. 3

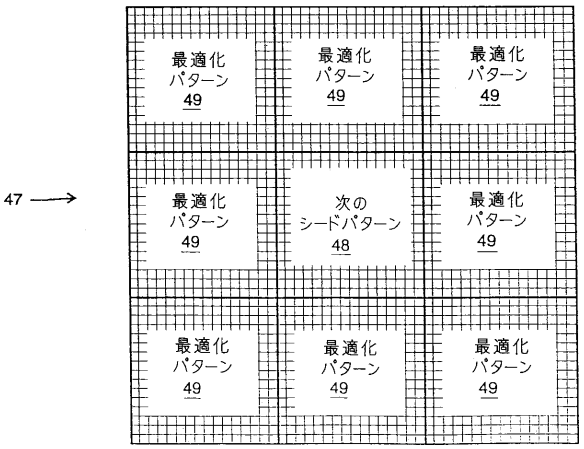
【図４】

FIG. 4



【図５】

FIG. 5



【図６】

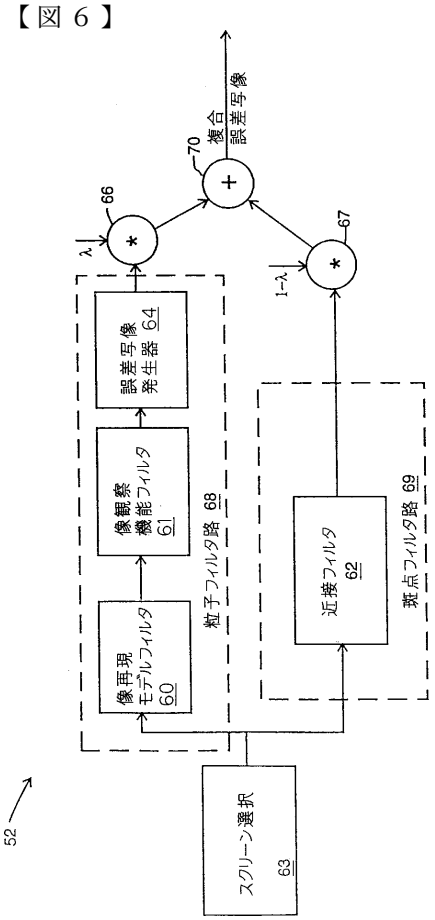
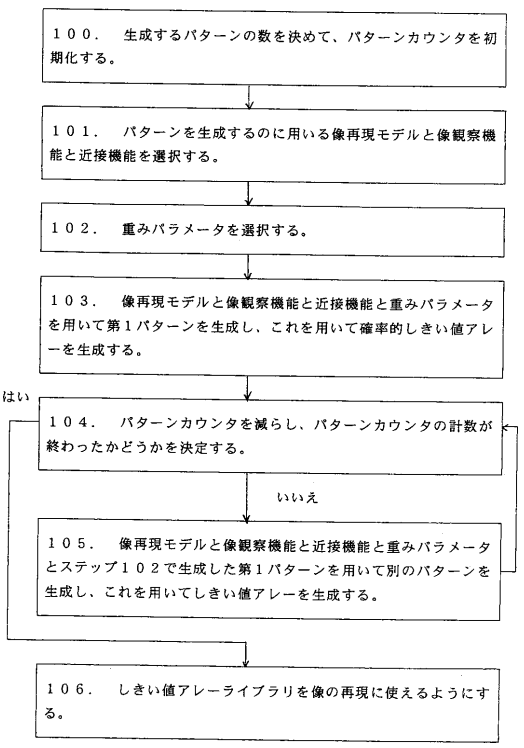


FIG. 6

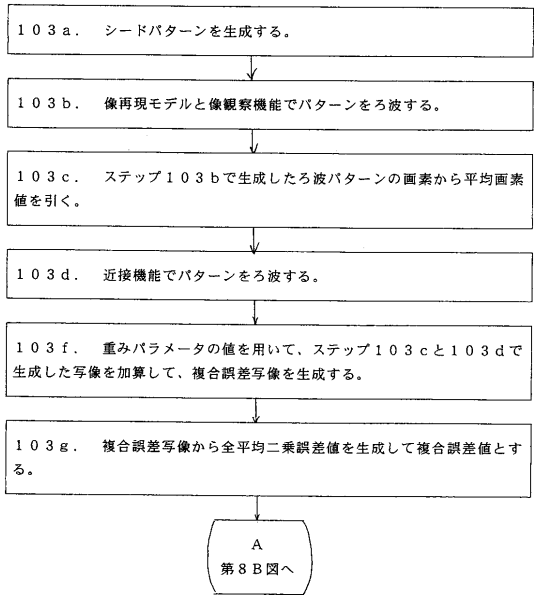
【図７】

Fig. 7

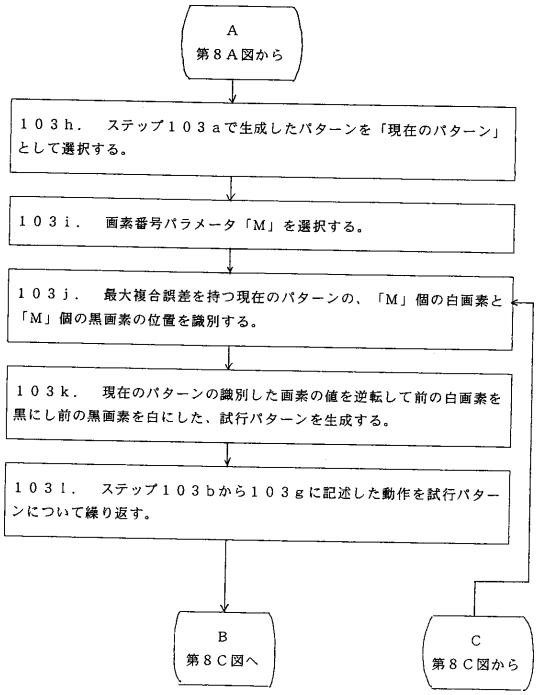


【図８Ａ】

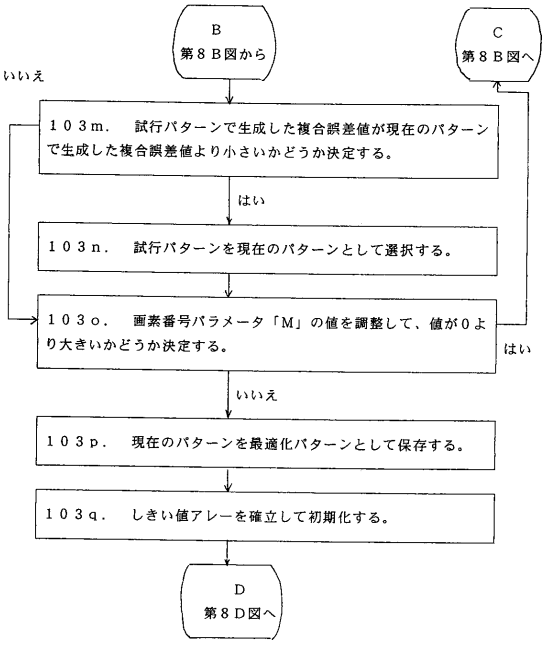
Fig. 8A



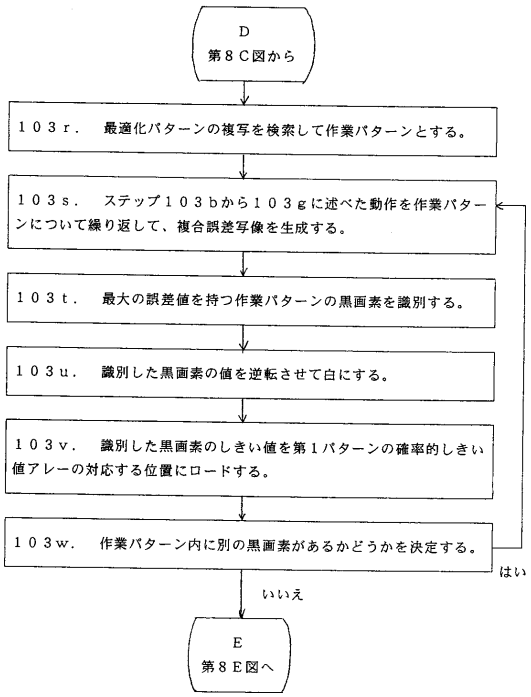
【図８Ｂ】
Ｆｉｇ．８Ｂ



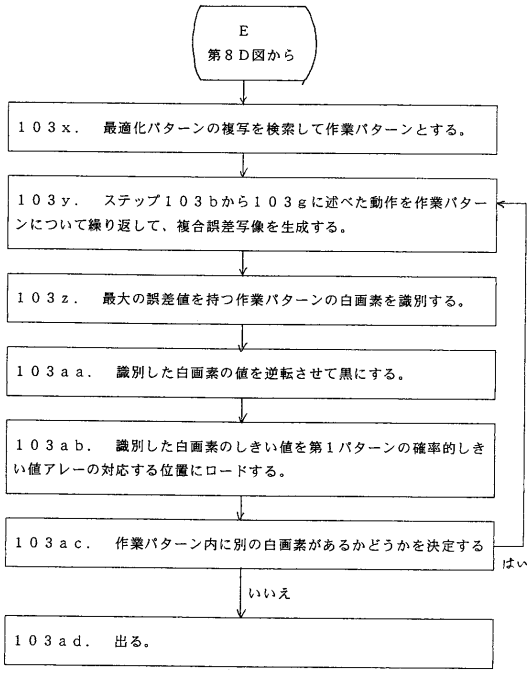
【図８Ｃ】
Ｆｉｇ．８Ｃ



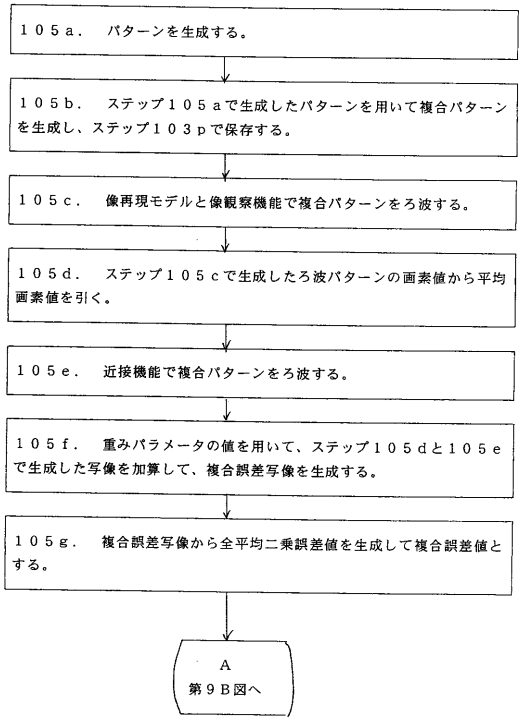
【図８Ｄ】
Ｆｉｇ．８Ｄ



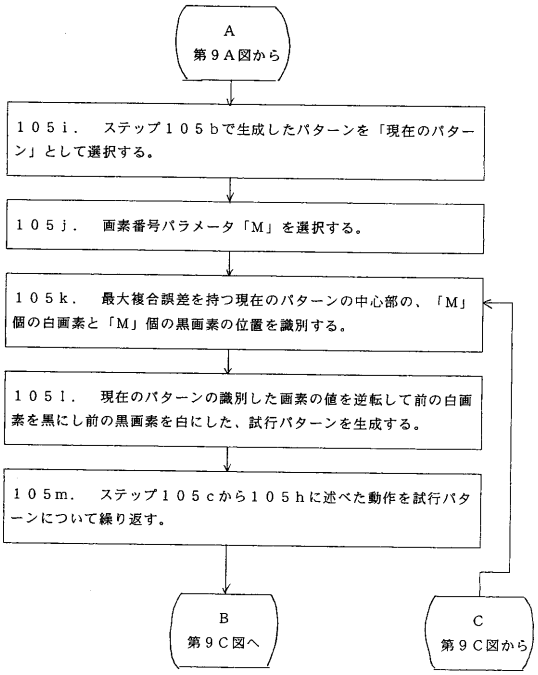
【図８Ｅ】
Ｆｉｇ．８Ｅ



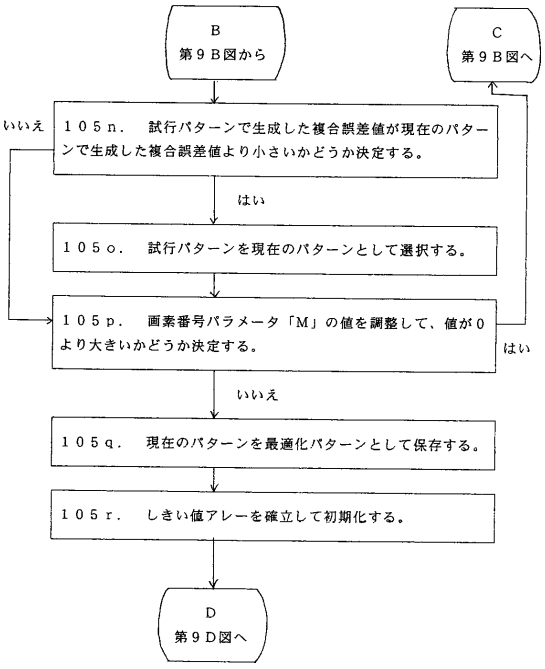
【図９Ａ】
Ｆｉｇ．９Ａ



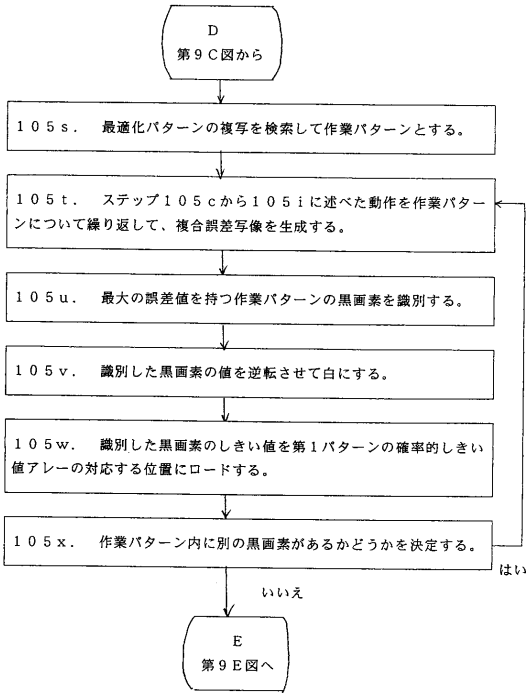
【図９Ｂ】
Ｆｉｇ．９Ｂ



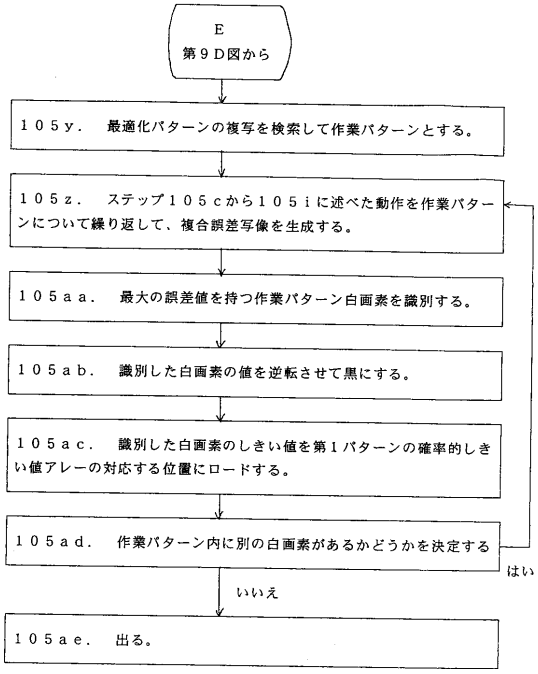
【図９Ｃ】
Ｆｉｇ．９Ｃ



【図９Ｄ】
Ｆｉｇ．９Ｄ



【図９Ｅ】
Ｆｉｇ．９Ｅ


Ｅ
第９Ｄ図から
１０５ｙ．　最適化パターンの複写を検索して作業パターンとする。
１０５ｚ．　ステップ１０５ｃから１０５ｉに述べた動作を作業パターンについて繰り返して、複合誤差写像を生成する。
１０５ａａ．　最大の誤差値を持つ作業パターン白画素を識別する。
１０５ａｂ．　識別した白画素の値を逆転させて黒にする。
１０５ａｃ．　識別した白画素のしきい値を第１パターンの確率的しきい値アレーの対応する位置にロードする。
１０５ａｄ．　作業パターン内に別の白画素があるかどうかを決定する
はい
いいえ
１０５ａｅ．　出る。

フロントページの続き

(72)発明者 コルパトジク，ベルンド ダブリュ.
アメリカ合衆国 ０２１７２ マサチューセッツ州ウォータータウン，ヒルトップ ロード ４エー
(72)発明者 ソーントン，ジェイ イー.
アメリカ合衆国 ０２１７２ マサチューセッツ州ウォータータウン，リンカーン ストリート５６

審査官 松永 稔

(56)参考文献 特開平５－１８３７５２（ＪＰ，Ａ）
特開平４－２３４２９７（ＪＰ，Ａ）
特表平５－５０４０３５（ＪＰ，Ａ）
特開昭６３－１１８９８７（ＪＰ，Ａ）
特開昭６２－２１１７８０（ＪＰ，Ａ）
特開平７－１９２１２８（ＪＰ，Ａ）
特開平６－２５３１６２（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
H04N 1/405
B41J 2/52
G06T 5/00
H04N 1/401