

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4552024号
(P4552024)

(45) 発行日 平成22年9月29日 (2010.9.29)

(24) 登録日 平成22年7月23日 (2010.7.23)

(51) Int.Cl. F I
G06T 7/20 (2006.01) G06T 7/20 B

請求項の数 6 (全 20 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2004-255195 (P2004-255195) (22) 出願日 平成16年9月2日 (2004.9.2) (65) 公開番号 特開2006-72691 (P2006-72691A) (43) 公開日 平成18年3月16日 (2006.3.16) 審査請求日 平成19年7月18日 (2007.7.18)</p> <p>(出願人による申告) 平成16年度独立行政法人情報通信研究機構、研究テーマ「人間情報コミュニケーションの研究開発」に関する委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受ける特許出願</p>	<p>(73) 特許権者 393031586 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 (74) 代理人 100067828 弁理士 小谷 悦司 (74) 代理人 100096150 弁理士 伊藤 孝夫 (74) 代理人 100099955 弁理士 樋口 次郎 (74) 代理人 100109438 弁理士 大月 伸介 (72) 発明者 木下 敬介 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
--	--

(54) 【発明の名称】 画像解析装置、画像解析プログラム及び画像解析方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

処理対象となる画像データを取得する取得手段と、

スピンの状態を多値に拡張した磁性体のスピンモデルを用いて前記取得手段により取得された画像データの各画素を粒子として取扱い、粒子が超常磁性となる状態における画像の動きを統計的手法によりクラスタリングするクラスタリング手段と、

前記クラスタリング手段によるクラスタリング結果を基に画像における動きのクラスタを抽出する抽出手段とを備え、

前記クラスタリング手段は、画像の輝度を $I(x, y, t)$ 、 $I(x, y, t)$ の偏微分を $b f = (f_x, f_y, f_t)$ 、画素 i が属しているクラスタの動きベクトルを $B U_i = (U_i, V_i)$ としたとき、下記式(1)に示す画素 i と画素 j との動きの類似度 d_{ij} を用いて、下記式(2)に示す粒子 i と粒子 j との相互作用 J_{ij} (ここで、 K は近傍の画素数の平均、 a は d_{ij} の平均) を算出し、算出した相互作用 J_{ij} を用いて画像の動きをクラスタリングすることを特徴とする画像解析装置。

【数 1】

$$d_{ij} = \sqrt{d_i^2 + d_j^2} \quad (1)$$

$$d_i = \frac{|f_{xi}U_i + f_{yi}V_i + f_{ti}|}{\sqrt{f_{xi}^2 + f_{yi}^2}}$$

$$d_j = \frac{|f_{xj}U_j + f_{yj}V_j + f_{tj}|}{\sqrt{f_{xj}^2 + f_{yj}^2}}$$

10

$$J_{ij} = J_{ji} = \frac{1}{K} \exp\left(-\frac{d_{ij}^2}{2a^2}\right) \quad (2)$$

【請求項 2】

20

前記クラスタリング手段は、モンテカルロ法を用いて画像の動きをクラスタリングすることを特徴とする請求項 1 記載の画像解析装置。

【請求項 3】

前記クラスタリング手段は、Swendsen-Wang アルゴリズムを用いて、各画素にランダムにスピン値を割り当て、注目画素と近傍画素とのリンクを下記式 (3)、(4) で示す確率に従って切断又は結合し、結合されたリンクを有する画素群をクラスタとし、各クラスタにおける動きベクトル $B U_i$ を算出し、同じクラスタに属する画素に同一スピン値が割り当てられるように各画素にランダムにスピン値を割り当てる処理を所定回数だけ反復処理することにより画像の動きをクラスタリングすることを特徴とする請求項 2 記載の画像解析装置。

30

【数 2】

$$P_{ij_delete} = \exp\left(-\frac{J_{ij}}{T}\right) \quad (3)$$

$$P_{ij_bond} = 1 - P_{ij_delete} \quad (4)$$

【請求項 4】

40

前記クラスタリング手段は、温度をスweepさせたときに、画素間の相互作用を用いて算出された磁化率が所定範囲内の値をとる温度を粒子が超常磁性となる状態の温度として決定し、決定した温度における画像の動きをクラスタリングすることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の画像解析装置。

【請求項 5】

処理対象となる画像データを取得する取得手段と、
スピンの状態を多値に拡張した磁性体のスピンモデルを用いて前記取得手段により取得された画像データの各画素を粒子として取扱い、粒子が超常磁性となる状態における画像の動きを統計的手法によりクラスタリングするクラスタリング手段と、

前記クラスタリング手段によるクラスタリング結果を基に画像における動きのクラスタ

50

を抽出する抽出手段としてコンピュータを機能させ、

前記クラスタリング手段は、画像の輝度を $I(x, y, t)$ 、 $I(x, y, t)$ の偏微分を $bf = (f_x, f_y, f_t)$ 、画素 i が属しているクラスタの動きベクトルを $BU_i = (U_i, V_i)$ としたとき、下記式 (1) に示す画素 i と画素 j との動きの類似度 d_{ij} を用いて、下記式 (2) に示す粒子 i と粒子 j との相互作用 J_{ij} (ここで、 K は近傍の画素数の平均、 a は d_{ij} の平均) を算出し、算出した相互作用 J_{ij} を用いて画像の動きをクラスタリングすることを特徴とする画像解析プログラム。

【数 3】

$$d_{ij} = \sqrt{d_i^2 + d_j^2} \quad (1) \quad 10$$

$$d_i = \frac{|f_{xi}U_i + f_{yi}V_i + f_{ti}|}{\sqrt{f_{xi}^2 + f_{yi}^2}}$$

$$d_j = \frac{|f_{xj}U_j + f_{yj}V_j + f_{tj}|}{\sqrt{f_{xj}^2 + f_{yj}^2}} \quad 20$$

$$J_{ij} = J_{ji} = \frac{1}{K} \exp\left(-\frac{d_{ij}^2}{2a^2}\right) \quad (2)$$

【請求項 6】

取得手段、クラスタリング手段及び抽出手段として機能するコンピュータを用いて画像の動きを解析する画像解析方法であって、

前記取得手段が、処理対象となる画像データを取得する第 1 のステップと、

前記クラスタリング手段が、スピンの状態を多値に拡張した磁性体のスピンモデルを用いて前記取得手段により取得された画像データの各画素を粒子として取扱い、粒子が超常磁性となる状態における画像の動きを統計的手法によりクラスタリングする第 2 のステップと、

前記抽出手段が、前記クラスタリング手段によるクラスタリング結果を基に画像における動きのクラスタを抽出する第 3 のステップとを含み、

前記第 2 のステップは、画像の輝度を $I(x, y, t)$ 、 $I(x, y, t)$ の偏微分を $bf = (f_x, f_y, f_t)$ 、画素 i が属しているクラスタの動きベクトルを $BU_i = (U_i, V_i)$ としたとき、下記式 (1) に示す画素 i と画素 j との動きの類似度 d_{ij} を用いて、下記式 (2) に示す粒子 i と粒子 j との相互作用 J_{ij} (ここで、 K は近傍の画素数の平均、 a は d_{ij} の平均) を算出し、算出した相互作用 J_{ij} を用いて画像の動きをクラスタリングするステップを含むことを特徴とする画像解析方法。

【数4】

$$d_{ij} = \sqrt{d_i^2 + d_j^2} \quad (1)$$

$$d_i = \frac{|f_{xi}U_i + f_{yi}V_i + f_{ti}|}{\sqrt{f_{xi}^2 + f_{yi}^2}}$$

$$d_j = \frac{|f_{xj}U_j + f_{yj}V_j + f_{tj}|}{\sqrt{f_{xj}^2 + f_{yj}^2}}$$

10

$$J_{ij} = J_{ji} = \frac{1}{K} \exp\left(-\frac{d_{ij}^2}{2a^2}\right) \quad (2)$$

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0001】

本発明は、画像の動きを解析する画像解析装置、画像解析プログラム及び画像解析方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

映像中の画像の動きを抽出して分類することは、画像認識技術の中核であり、応用範囲も広く、交通監視、侵入者の検出、人物の認識、テレビ映像の切り出しの前処理に必須である。また、画像の動きから対象物体の3次元形状を推定するStructure from Motionと呼ばれる手法にも深くかかわっている。

【0003】

30

このような画像の動きを解析する研究の歴史は長く、1980年代からオプティカルフロー解析として知られ、例えば、非特許文献1には、各画素の明るさ情報からBCC(Brightness Constant Constraint)と呼ばれる拘束条件を導き出し、動きの推定を行うことが開示されている。

【0004】

また、非特許文献2には、Pottsモデルを利用した画像解析の研究として、画像中にちりばめられた点群を磁性体の粒子に見立て、点間の局所的な相互作用の集積により、大局的なクラスタを生成することが開示されている。このPottsモデルは、Isingモデルを多値に拡張したものであり、Pottsモデルでは、温度と局所的な相互作用を変化させることによりクラスタの結果が異なってくる。この非特許文献2では、温度を連続的に変化させ、システムが強磁性から超常磁性そして常磁性の状態に変化していくことを、システムの磁化率を監視しながら検出し、超常磁性の状態が、最もよいクラスタが得られると結論付けている。

40

【0005】

上記のようにPottsモデルを画像における動きのクラスタリングに利用するためには、局所的な相互作用を定義する必要があるが、BCCだけでは動きを一意に決定することはできず、非特許文献2に使用された相互作用の定義をそのまま流用することはできない。このため、本願発明者らは、画像の輝度を $I(x, y, t)$ 、 $I(x, y, t)$ の偏微分を $bf = (f_x, f_y, f_t)$ 、その画素の動きベクトルを $bu = (u, v)$ としたとき、画素 i の近傍にある画素 j のそれぞれの動きベクトル bu_i と bu_j とが同じである

50

なら、対応する拘束直線は同じであるという仮定に基づき、画素 i と画素 j との動きの類似度を $d_{ij} = \mathbf{b}f_i \times \mathbf{b}f_j / \|\mathbf{b}f_i\| \|\mathbf{b}f_j\|$ と規定し、この類似度を用いて画素間の相互作用を算出して画像の動きをクラスタリングする方法を提案した（非特許文献 3 参照）。

【非特許文献 1】ピー ホーン (B. Horn) 他、「オブティカルフローの決定」(Determining optical flow)、アーティフィシャル・インテリジェンス (Artificial Intelligence)、1981年、17:185-203

【非特許文献 2】エム ブラット (M. Blatt) 他、「Potts モデルアナロジーを用いたデータクラスタリング」(Clustering data through an analogy to the potts model)、ニューラル・インフォメーション・プロセッシング・システム (Neural Information Processing Systems)、1995年、NIPS, Vol. 8、p. 416 - p. 422

【非特許文献 3】木下 敬介 他、「Potts モデルによる動画のクラスタリング」、情報処理学会研究報告、2003年、2003-CVIM-138、p. 193 - p. 200

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、非特許文献 3 に開示される画素 i と画素 j との動きの類似度を用いたのでは、超常磁性の状態が明確に現れないため、画像の動きを高精度に抽出することができない。また、従来の画像の動き解析方法としては、動きのモデルを予め与えてこれに適合する動きを推定するという手法が主であり、この場合、剛体運動や動きの滑らかさ拘束といった動きのモデルが必要になり、事前知識が膨大となる。

【0007】

本発明の目的は、事前知識を少なくすることができるとともに、画像の動きを高精度に抽出することができる画像解析装置、画像解析方法及び画像解析プログラムを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明に係る画像解析装置は、処理対象となる画像データを取得する取得手段と、スピンの状態を多値に拡張した磁性体のスピンモデルを用いて取得手段により取得された画像データの各画素を粒子として取扱い、粒子が超常磁性となる状態における画像の動きを統計的手法によりクラスタリングするクラスタリング手段と、クラスタリング手段によるクラスタリング結果を基に画像における動きのクラスタを抽出する抽出手段とを備え、クラスタリング手段は、画像の輝度を $I(x, y, t)$ 、 $I(x, y, t)$ の偏微分を $\mathbf{b}f = (f_x, f_y, f_t)$ 、画素 i が属しているクラスタの動きベクトルを $\mathbf{B}U_i = (U_i, V_i)$ としたとき、下記式 (1) に示す画素 i と画素 j との動きの類似度 d_{ij} を用いて、下記式 (2) に示す粒子 i と粒子 j との相互作用 J_{ij} (ここで、 K は近傍の画素数の平均、 a は d_{ij} の平均) を算出し、算出した相互作用 J_{ij} を用いて画像の動きをクラスタリングするものである。

【0011】

【数1】

$$d_{ij} = \sqrt{d_i^2 + d_j^2} \quad (1)$$

$$d_i = \frac{|f_{xi}U_i + f_{yi}V_i + f_{ti}|}{\sqrt{f_{xi}^2 + f_{yi}^2}}$$

$$d_j = \frac{|f_{xj}U_j + f_{yj}V_j + f_{tj}|}{\sqrt{f_{xj}^2 + f_{yj}^2}}$$

10

$$J_{ij} = J_{ji} = \frac{1}{K} \exp\left(-\frac{d_{ij}^2}{2a^2}\right) \quad (2)$$

【0012】

本発明に係る画像解析装置では、処理対象となる画像データを取得し、スピンの状態を多値に拡張した磁性体のスピンモデルを用いて、画像データの各画素を粒子として取扱い、粒子が超常磁性となる状態における画像の動きを統計的手法によりクラスタリングし、クラスタリング結果を基に画像における動きのクラスタを抽出し、このクラスタリング処理において、画像の輝度を $I(x, y, t)$ 、 $I(x, y, t)$ の偏微分を $bf = (f_x, f_y, f_t)$ 、画素 i が属しているクラスタの動きベクトルを $BU_i = (U_i, V_i)$ としたとき、下記式(1)に示す画素 i と画素 j との動きの類似度 d_{ij} を用いて、下記式(2)に示す粒子 i と粒子 j との相互作用 J_{ij} (ここで、 K は近傍の画素数の平均、 a は d_{ij} の平均) を算出し、算出した相互作用 J_{ij} を用いて、画像の動きをクラスタリングしているため、超常磁性の状態が明確に現われ、超常磁性となる状態における画像の動きをクラスタリングして画像の動きを高精度に抽出することができる。また、局所的な相互作用を定義するだけで大局的な動きをクラスタリングすることができるので、事前知識を少なくすることができる。この結果、事前知識を少なくするとともに、画像の動きを高精度に抽出することができる。また、超常磁性の状態がより明確に現われ、超常磁性となる状態における画像の動きをクラスタリングして画像の動きをより高精度に抽出することができる。

20

30

クラスタリング手段は、モンテカルロ法を用いて画像の動きをクラスタリングすることが好ましい。この場合、クラスタリング処理を高速に行うことができる。

【0013】

クラスタリング手段は、Swendsen-Wang アルゴリズムを用いて、各画素にランダムにスピン値を割り当て、注目画素と近傍画素とのリンクを下記式(3)、(4)で示す確率に従って切断又は結合し、結合されたリンクを有する画素群をクラスタとし、各クラスタにおける動きベクトル BU_i を算出し、同じクラスタに属する画素に同一スピン値が割り当てられるように各画素にランダムにスピン値を割り当てる処理を所定回数だけ反復処理することにより画像の動きをクラスタリングすることが好ましい。この場合、各画素(粒子)別個にランダムにスピンの状態を割り当てるのではなく、クラスタに属する画素にまとめて同じスピンの状態を割り当てることができるので、クラスタリング処理をより高速に行うことができる。

40

【0014】

【数 2】

$$P_{ij_delete} = \exp\left(-\frac{J_{ij}}{T}\right) \quad (3)$$

$$P_{ij_bond} = 1 - P_{ij_delete} \quad (4)$$

【0015】

10

クラスタリング手段は、温度をスweepさせたときに、画素間の相互作用を用いて算出された磁化率が所定範囲内の値をとる温度を粒子が超常磁性となる状態の温度として決定し、決定した温度における画像の動きをクラスタリングすることが好ましい。この場合、超常磁性の状態となる温度を正確に決定することができるので、画像の動きをより高精度に抽出することができる。

【0016】

本発明に係る画像解析プログラムは、処理対象となる画像データを取得する取得手段と、スピンの状態を多値に拡張した磁性体のスピンモデルを用いて取得手段により取得された画像データの各画素を粒子として取扱い、粒子が超常磁性となる状態における画像の動きを統計的手法によりクラスタリングするクラスタリング手段と、クラスタリング手段によるクラスタリング結果を基に画像における動きのクラスタを抽出する抽出手段としてコンピュータを機能させ、クラスタリング手段は、画像の輝度を $I(x, y, t)$ 、 $I(x, y, t)$ の偏微分を $bf = (f_x, f_y, f_t)$ 、画素 i が属しているクラスタの動きベクトルを $BU_i = (U_i, V_i)$ としたとき、上記式 (1) に示す画素 i と画素 j との動きの類似度 d_{ij} を用いて、上記式 (2) に示す粒子 i と粒子 j との相互作用 J_{ij} (ここで、 K は近傍の画素数の平均、 a は d_{ij} の平均) を算出し、算出した相互作用 J_{ij} を用いて画像の動きをクラスタリングするものである。

20

【0017】

本発明に係る画像解析方法は、取得手段、クラスタリング手段及び抽出手段として機能するコンピュータを用いて画像の動きを解析する画像解析方法であって、取得手段が、処理対象となる画像データを取得する第1のステップと、クラスタリング手段が、スピンの状態を多値に拡張した磁性体のスピンモデルを用いて取得手段により取得された画像データの各画素を粒子として取扱い、粒子が超常磁性となる状態における画像の動きを統計的手法によりクラスタリングする第2のステップと、抽出手段が、クラスタリング手段によるクラスタリング結果を基に画像における動きのクラスタを抽出する第3のステップとを含み、第2のステップは、画像の輝度を $I(x, y, t)$ 、 $I(x, y, t)$ の偏微分を $bf = (f_x, f_y, f_t)$ 、画素 i が属しているクラスタの動きベクトルを $BU_i = (U_i, V_i)$ としたとき、上記式 (1) に示す画素 i と画素 j との動きの類似度 d_{ij} を用いて、上記式 (2) に示す粒子 i と粒子 j との相互作用 J_{ij} (ここで、 K は近傍の画素数の平均、 a は d_{ij} の平均) を算出し、算出した相互作用 J_{ij} を用いて画像の動きをクラスタリングするステップを含むものである。

30

40

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、超常磁性の状態が明確に現われ、超常磁性となる状態における画像の動きをクラスタリングして画像の動きを高精度に抽出することができるとともに、局所的な相互作用を定義するだけで大局的な動きをクラスタリングすることができるので、事前知識を少なくすることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

以下、本発明の一実施の形態による画像解析装置について図面を参照しながら説明する

50

。図 1 は、本発明の一実施の形態による画像解析装置の構成を示すブロック図である。

【 0 0 2 0 】

図 1 に示す画像解析装置は、パーソナルコンピュータ等のコンピュータ装置等から構成され、入力装置 1、ROM (リードオンリメモリ) 2、CPU (中央演算処理装置) 3、RAM (ランダムアクセスメモリ) 4、I/F (インターフェース) 部 5、外部記憶装置 6、表示装置 7 及び記録媒体駆動装置 8 を備える。各ブロックは内部のバスに接続され、このバスを介して種々のデータ等が各ブロック間で入出力され、CPU 3 の制御の下、種々の処理が実行される。

【 0 0 2 1 】

入力装置 1 は、キーボード、マウス等から構成され、ユーザが種々の操作指令を入力するために用いられる。ROM 2 には、システムプログラム等が予め記憶される。外部記憶装置 6 は、ハードディスクドライブ等から構成され、後述する画像解析プログラム等を記憶している。CPU 3 は、外部記憶装置 6 から画像解析プログラム等を読み出し、後述する画像解析処理等を実行して各ブロックの動作を制御する。RAM 4 は、CPU 3 の作業領域等として用いられる。表示装置 7 は、CRT (陰極線管) 又は液晶表示装置等から構成され、CPU 3 の制御の下、種々の画面を表示する。また、I/F 部 5 は、画像キャプチャボード等から構成され、画像出力装置 10 は、テレビジョン、ビデオカメラ、DVD レコーダ等の画像データを出力可能な機器から構成される。I/F 部 5 は、画像出力装置 10 と接続され、画像出力装置 10 から出力される画像データを CPU 3 等へ出力する。

【 0 0 2 2 】

なお、画像解析プログラムは、CD-ROM、DVD 等から構成されるコンピュータ読み取り可能な記録媒体 9 に記録するようにしてもよい。この場合、CD-ROM ドライブ、DVD ドライブ等から構成される記録媒体駆動装置 8 を用いて記録媒体 9 から読み出された画像解析プログラムが外部記憶装置 6 にインストール等される。また、画像解析装置が外部との通信を制御する通信装置を有し、ネットワークを介して接続されている他のコンピュータ等に画像解析プログラム等が記憶されている場合、当該コンピュータ等からネットワークを介して画像解析プログラム又は処理対象となる画像データ等をダウンロードするようにしてもよい。

【 0 0 2 3 】

次に、上記のように構成された画像解析装置の主要な機能について説明する。図 2 は、図 1 に示す画像解析装置の主要機能ブロック図である。

【 0 0 2 4 】

図 2 に示すように、画像解析装置は、CPU 3 等が画像解析プログラム等を実行することにより、画像取得部 11、前処理部 12、クラスタリング部 13、動き抽出部 14 及び画像処理部 15 として機能する。

【 0 0 2 5 】

画像取得部 11 は、入力装置 1 及び I/F 部 5 等から構成され、例えば、ユーザが画像データ取得指令を入力すると、画像出力装置 10 から処理対象となる画像データを取得する。前処理部 12 は、CPU 3 等から構成され、処理対象となる画像データにスムージング処理、解像度変換処理等の前処理を施し、画像データをクラスタリング処理に適した解像度等を有する画像データに変換する。

【 0 0 2 6 】

クラスタリング部 13 は、CPU 3 等から構成され、スピンの状態を多値に拡張した磁性体のスピンモデルである Potts モデルを用いて前処理部 12 から出力される画像データの各画素を粒子として取扱い、粒子が超常磁性となる状態における画像の動きを統計的手法によりクラスタリングする。このとき、クラスタリング部 13 は、クラスタの動きを陽に使用することにより規定された画素間の相互作用を用いて画像の動きをクラスタリングする。例えば、クラスタリング部 13 は、画像の輝度を $I(x, y, t)$ 、 $I(x, y, t)$ の偏微分を $b f = (f_x, f_y, f_t)$ 、画素 i が属しているクラスタの動きベクトルを $B U_i = (U_i, V_i)$ としたとき、下記式 (1) に示す画素 i と画素 j との動きの

10

20

30

40

50

類似度 d_{ij} を用いて、下記式 (2) に示す粒子 i と粒子 j との相互作用 J_{ij} (ここで、 K は近傍の画素数の平均、 a は d_{ij} の平均) を算出し、算出した相互作用 J_{ij} を用いて画像の動きをクラスタリングする。この場合、超常磁性の状態がより明確に現われ、超常磁性となる状態における画像の動きをクラスタリングして画像の動きをより高精度に抽出することができる。なお、近傍の画素数としては、種々の値を用いることができ、例えば、注目画素の上下、左右、斜めの直近に位置する 8 個の画素を用いることができる。

【 0 0 2 7 】

【数 3】

$$d_{ij} = \sqrt{d_i^2 + d_j^2} \quad (1) \quad 10$$

$$d_i = \frac{|f_{xi}U_i + f_{yi}V_i + f_{ti}|}{\sqrt{f_{xi}^2 + f_{yi}^2}}$$

$$d_j = \frac{|f_{xj}U_j + f_{yj}V_j + f_{tj}|}{\sqrt{f_{xj}^2 + f_{yj}^2}} \quad 20$$

$$J_{ij} = J_{ji} = \frac{1}{K} \exp\left(-\frac{d_{ij}^2}{2a^2}\right) \quad (2)$$

【 0 0 2 8 】

上記のクラスタリング処理において、クラスタリング部 13 は、モンテカルロ法を用いて画像の動きをクラスタリングする。具体的には、クラスタリング部 13 は、Swendsen-Wang アルゴリズム (R. Swendsen and J-S. Wang. Nonuniversal critical dynamics in monte carlo simulation. Physics Review Letters, 58(2):86.88, 1987. 等を参照) を用いて、各画素にランダムにスピン値を割り当て、注目画素と近傍画素とのリンクを下記式 (3)、(4) で示す確率に従って切断又は結合し、結合されたリンクを有する画素群をクラスタとし、各クラスタにおける動きベクトル BU_i を算出し、同じクラスタに属する画素に同一スピン値が割り当てられるように各画素にランダムにスピン値を割り当てる処理を所定回数だけ反復処理することにより画像の動きをクラスタリングする。この場合、各画素別個にランダムにスピンの状態を割り当てるのではなく、クラスタに属する画素にまとめて同じスピンの状態を割り当てることができるので、クラスタリング処理をより高速に行うことができる。

【 0 0 2 9 】

【数 4】

$$P_{ij_delete} = \exp\left(-\frac{J_{ij}}{T}\right) \quad (3)$$

$$P_{ij_bond} = 1 - P_{ij_delete} \quad (4)$$

【 0 0 3 0 】

なお、クラスタリング処理に用いられるモンテカルロ法は、上記の例に特に限定されず

、種々の変更が可能であり、例えば、Metropolis、Gibbs sampling等のマルコフ鎖モンテカルロ法を用いてもよい。

【0031】

また、上記のクラスタリング処理において、クラスタリング部13は、温度をスイープさせたときに、画素間の相互作用を用いて算出された磁化率が所定範囲内の値をとる温度を粒子が超常磁性となる状態の温度として決定し、決定した温度における画像の動きをクラスタリングする。この場合、超常磁性の状態となる温度を正確に決定することができるので、画像の動きをより高精度に抽出することができる。

【0032】

動き抽出部14は、CPU3等から構成され、クラスタリング部13のクラスタリング結果を基に画像における動きのクラスタを抽出する。画像処理部15は、CPU3等から構成され、抽出されたクラスタを基に種々の画像処理を画像データに対して施し、例えば、交通監視、侵入者の検出、人物の認識、テレビ映像の切り出し等の種々のアプリケーションに用いられる画像処理等を行う。なお、単に画像の動きを解析する場合は、画像処理部15を省略してもよい。

【0033】

本実施の形態では、画像取得部11が取得手段の一例に相当し、前処理部12及びクラスタリング部13がクラスタリング手段の一例に相当し、動き抽出部14が抽出手段の一例に相当する。

【0034】

次に、本実施の形態に用いられるPottsモデルについて詳細に説明する。図3は、Isingモデル及びPottsモデルの模式図であり、図中の矢印はスピンの方向を示している。図3の(b)に示すPottsモデルは、図3の(a)に示す磁性体のスピンモデルであるIsingモデルのスピンの状態を2値(+1, -1)から多値(1, ..., q)に拡張したものであり、磁性体のスピンモデルとして知られている(F.Y.Wu. The potts model. Review of Modern Physics, 54(1):235-268, 1984.等を参照)。各粒子には、q個の状態(1, ..., q)のうちの一つが割り当てられる。粒子iに割り当てられたスピンの状態を σ_i で表すと、システムのハミルトニアンは、下記式(5)で表される。

【0035】

【数5】

$$H = - \sum_{\langle i, j \rangle} J_{ij} \delta_{\sigma_i \sigma_j} \quad \sigma_i = 1, \dots, q \quad (5)$$

【0036】

ここで、 J_{ij} は、粒子iと粒子jとの間の相関であり、 J_{ij} は粒子iと粒子jとの相互作用であり、これらの積の総和は、近傍領域 $\langle i, j \rangle$ で定義される。いま、N個の粒子がある場合、 $\sigma = (\sigma_1, \dots, \sigma_N)$ は、このシステムの状態を表しており、ある状態 σ_h になる確率は、温度をTとして、下記式(6)で表される。ただし、zは正規化するための定数である。

【0037】

【数6】

$$P(\sigma_h) \propto \exp\left(-\frac{H(\sigma_h)}{zT}\right) \quad (6)$$

【0038】

図4は、強磁性、常磁性及び超常磁性の状態を説明するための模式図である。上記のシステムの温度Tを変化させると、相転移が起き、Tが小さい場合は図4の(a)に示す強

10

20

30

40

50

磁性 (ferromagnetism) を示し、 T が大きい場合は図 4 の (b) に示す常磁性 (paramagnetism) となる。強磁性ではスピンは一方向に収束し、常磁性ではスピンはバラバラになり、秩序を持たないが、これらの間に図 4 の (c) に示す超常磁性 (super-paramagnetism) が現れる場合がある。これは、磁区が小さくなり、磁化が熱的に揺らいでいる状態である。つまり、粒子がクラスタとなり、複数のクラスタが存在するようになる。このため、本実施の形態では、画素を粒子に見立てて、超常磁性となる温度を決定することにより画像の動きをクラスタリングする。

【 0 0 3 9 】

また、画像に動きがある場合、オプティカルフローが生じる。いま、画像の輝度を $I(x, y, t)$ とする。二枚の画像間で、ある画素の移動前後の輝度が変化しないという仮定を置く。 $I(x, y, t)$ を x, y, t で偏微分したものを $b f = (f_x, f_y, f_t)$ 、その画素の動きベクトルを $b u = (u, v)$ とすると、下記式 (7) に示す拘束式が得られる。

10

【 0 0 4 0 】

【 数 7 】

$$f_x u + f_y v + f_t = 0 \quad (7)$$

【 0 0 4 1 】

これは B C C (Brightness Constant Constraint) と呼ばれ、動きベクトルは、画像上で $b f$ で表される直線上に乗ることを示しているが、この拘束式だけから u, v を一意に求めることはできない。このため、本実施の形態では、クラスタの情報を陽に使用方法を用いている。いま、画素 i が属している仮のクラスタの動きを $B U_i = (U_i, V_i)$ とすると、画素 i がこのクラスタに属しているなら、 $B U_i$ は、上記の式 (7) の拘束を満たすはずである。そこで、画素 i と画素 j との動きの類似度の指標として、上記の式 (1) に示す画素 i と画素 j との動きの類似度 d_{ij} を導入する。なお、式 (1) の d_{ij} は、クラスタの動きベクトル $B U_i$ と、偏微分が表す拘束直線との距離を表している。

20

【 0 0 4 2 】

このように、P o t t s モデルでは、上記式 (2) で表される粒子間の相互作用 J_{ij} が重要な働きを行い、本実施の形態では、画素の B C C に対して、その画素が属しているクラスタの動きベクトルが合致することを要求して相互作用 J_{ij} を決定することにより、上記式 (1) で表される画素 i と画素 j との動きの類似度 d_{ij} に応じて相互作用 J_{ij} を定義している。

30

【 0 0 4 3 】

次に、上記のように構成された画像解析装置による画像解析処理について説明する。図 5 は、図 2 に示す画像解析装置による画像解析処理を説明するためのフローチャートである。

【 0 0 4 4 】

まず、ユーザが画像データ取得指令を入力すると、ステップ S 1 において、画像取得部 1 1 は、例えば、 480×640 画素からなる画像データを取得して前処理部 1 2 へ出力する。次に、ステップ S 2 において、前処理部 1 2 は、ガウシアンフィルタを用いて画像データ全体にスムージング処理を施し、解像度を $1/8$ に低下させてクラスタリング部 1 3 へ出力する。

40

【 0 0 4 5 】

次に、ステップ S 3 において、クラスタリング部 1 3 は、各画素の輝度の偏微分 $b f = (f_x, f_y, f_t)$ を算出する。次に、ステップ S 4 において、クラスタリング部 1 3 は、キュリー温度 T_c を算出し、算出した T_c を基準に温度のスweep範囲を設定する。次に、ステップ S 5 において、クラスタリング部 1 3 は、設定した温度のスweep範囲内で温度を設定する。

【 0 0 4 6 】

50

Pottsモデルにおいては、システムの挙動は温度 T と相互作用 J_{ij} とによって決まる。本実施の形態では、上記式(2)に示す J_{ij} を用い、温度 T に関しては、低い温度から高い温度まで T をスイープし、適切な温度を探る。一般に、強磁性から常磁性への相転移はキュリー温度 T_c で起こるとされ、キュリー温度 T_c は下記式(8)で近似できる。

【0047】

【数8】

$$T_c = \frac{e^{-1/2}}{4 \log(1 + \sqrt{q})} \quad (8)$$

10

【0048】

超常磁性もこの近辺で現れると考えられるので、本実施の形態では、温度 T を $0 < T < 4 T_c$ の範囲でスイープする。また、各温度での磁化率を、相転移がどのように変化したかの指標として用いる。

【0049】

次に、ステップS6において、クラスタリング部13は、Swendsen-Wang(SW)アルゴリズムによるクラスタリング処理を実行する。図6は、図5に示すステップS6のクラスタリング処理を説明するためのフローチャートである。

【0050】

まず、ステップS21において、クラスタリング部13は、画像中の各画素を粒子に見立て、 i ($i = 1, \dots, N$)にスピンの状態($1, \dots, q$)をランダムに割り当てる。次に、ステップS22において、クラスタリング部13は、各画素にクラスタを設定し、クラスタの動きベクトルにランダムな値を設定する。したがって、各画素が画素数1のクラスタとなり、クラスタの総数は N となる。

20

【0051】

次に、ステップS23において、クラスタリング部13は、全ての画素の直近8近傍領域において、上記の式(1)に示す画素 i と画素 j との動きの類似度 d_{ij} を用いて式(2)に示す粒子 i と粒子 j との相互作用 J_{ij} を算出する。次に、ステップS24において、クラスタリング部13は、上記の式(3)、(4)で示す確率に従って近傍の画素とのリンクを切断又は結合する。ただし、結合は $i = j$ の場合のみに限定する。

30

【0052】

次に、ステップS25において、クラスタリング部13は、結合されたリンクを有する画素の集合をクラスタとして設定する。次に、ステップS26において、クラスタリング部13は、クラスタに含まれる画素の拘束式(7)を連立させて各クラスタの動きベクトル B_U を計算する。なお、クラスタに含まれる画素数が少ない場合や拘束式(7)を連立させても解が不定になる場合は、 B_U にランダムな値を格納する。次に、ステップS27において、クラスタリング部13は、各画素にランダムにスピン値を割り当てる。ただし、同じクラスタに属する画素には同じスピン値を割り当てる。

【0053】

次に、ステップS28において、クラスタリング部13は、上記のステップS23~S27の処理を予めモンテカルロ法の反復回数だけ行ったか否かを判断し、反復回数に達していない場合はステップS23~S27の処理を繰り返し、反復回数に達した場合は反復処理を終了して図5に示すステップS7へ処理を移行する。

40

【0054】

再び、図5を参照して、ステップS7において、クラスタリング部13は、以下のようにして磁化率等を算出する。まず、クラスタリング部13は、画素 i と画素 j とが同一クラスタに属する場合は c_{ij} を1、その他の場合は c_{ij} を0とし、熱的平均として、モンテカルロ法のすべてのステップの平均 $\langle c_{ij} \rangle$ を計算する。次に、クラスタリング部13は、この $\langle c_{ij} \rangle$ を用いて画素 i と画素 j とが同一のクラスタに属する確率 $\langle c_{ij} \rangle = (q - 1$

50

) $\langle c_{ij} \rangle + 1$) / q を計算する。次に、クラスタリング部 13 は、 $\langle c_{ij} \rangle$ (ここで、 $\langle c_{ij} \rangle$ はクラスタを決定する際の閾値) である画素のリンクを結合し、結合を持つ画素の集合をクラスタとする。これがステップ S5 で設定した温度 T におけるクラスタリングの結果となる。最後に、クラスタリング部 13 は、磁化 m の分散を用いて、磁化率 $\chi = N(\langle m^2 \rangle - \langle m \rangle^2) / T$ を計算する。なお、磁化 m は、各モンテカルロ法のステップで、 $m = (q N_{\max} - N) / (N(q - 1))$ として計算する。ただし、 $N_{\max} = \max(N_1, \dots, N_q)$ であり、各スピン値をとる画素数の最大となるものである。

【0055】

次に、ステップ S8 において、クラスタリング部 13 は、上記のステップ S4 で設定したスイープ範囲に対してステップ S5 ~ S7 の処理を実行したか否かを判断し、全てのスイープ範囲に対する処理が終了していない場合はステップ S5 において温度 T を所定値だけ変化させてステップ S6 ~ S7 の処理を繰り返し、全てのスイープ範囲に対する処理が終了した場合はステップ S9 へ処理を移行する。

【0056】

上記のようにして、温度をスイープしながら処理を繰り返すと、磁化率 χ は、温度が低いとき、つまり強磁性の状態ではほぼ 0 であり、その後、キュリー温度 T_c 近辺で急激に上昇する。さらに温度を上昇させると、磁化率 χ は下落し、しばらく変化しない範囲が表れる。これが超常磁性の状態であり、この状態がクラスタリングに適した温度である。その後は、急激に 0 に低下し、常磁性の状態となる。

【0057】

したがって、ステップ S9 において、クラスタリング部 13 は、磁化率 χ が上記のように変化して所定範囲内の値をとる温度を、例えば、磁化率 χ の変化量が所定値以内になる温度のうち中間の温度を粒子が超常磁性となる状態の温度として決定する。次に、ステップ S10 において、クラスタリング部 13 は、決定した温度における画像の動きのクラスタリング結果を動き抽出部 14 へ出力する。

【0058】

次に、ステップ S11 において、動き抽出部 14 は、クラスタリング部 13 のクラスタリング結果を基に処理対象となった画像における動きのクラスタを抽出する。最後に、ステップ S12 において、画像処理部 15 は、抽出されたクラスタを基に所定の画像処理を実行して画像の動きを抽出したり、画像の動きを分類し、画像解析処理が終了する。

【0059】

図 7 は、動きの前後を表す画像の一例を示す図であり、図 8 は、図 7 に示す画像間の f_x 、 f_y 、 f_t を示す図である。図 7 に示す 2 枚の画像を用いて上記の画像の動きのクラスタリングする画像解析処理を行った結果、図 8 の (a) ~ (c) に示す画像間の f_x 、 f_y 、 f_t が得られた。ここで、処理条件としては、図 7 に示す元の画像は 480×640 画素であるが、 f_x 、 f_y 、 f_t を計算するに当たり、まずガウシアンフィルタで画像全体を事前にスムージング処理して解像度を $1/8$ にし、近傍領域として画素のまわり 8 近傍を用い、スピン値を $q = 11$ とした。また、モンテカルロ法の反復回数は 4000 回とし、クラスタを決定する際のパラメータ θ は 0.5 とした。

【0060】

図 9 は、図 7 に示す画像に対する画像解析処理により得られた磁化率 χ と温度 T との関係を示す図であり、図 10 は、温度 $T = 0.25$ のときのクラスタリング結果の一例を示す図である。図 9 に示すように、 $T = 0.25$ の近辺で磁化率 χ の変化が少なくなり、超常磁性の状態であることがわかった。このときのクラスタリングの結果が図 10 に示すものであり、頭と胴部がほぼ同じ動きをし、右腕はこれと異なる動きをしていることがわかり、画像の動きを高精度に抽出することができた。

【0061】

上記の処理により、本実施の形態では、Potts モデルを用いて画像データの各画素を粒子として取扱い、Swendsen-Wang アルゴリズムを用いた統計的手法により粒子が超常磁性となる状態における画像の動きをクラスタリングし、このクラスタリン

10

20

30

40

50

グ結果を基に画像における動きのクラスタを抽出し、このクラスタリング処理において、上記の式(1)に示す画素*i*と画素*j*との動きの類似度 d_{ij} を用いて規定される式(2)に示す粒子*i*と粒子*j*との相互作用 J_{ij} を用いて画像の動きをクラスタリングしているため、超常磁性の状態が明確に現われ、このときの画像の動きをクラスタリングして画像の動きを高精度に抽出することができる。また、上記のように局所的な相互作用を定義するだけで大局的な動きをクラスタリングすることができるので、事前知識を少なくすることができる。

【0062】

なお、上記の説明では、本発明による画像解析処理をソフトウェアを用いて行う例を説明したが、一部又は全てを専用のハードウェアを用いて構成してもよく、この場合、より高速に処理を実行することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0063】

【図1】本発明の一実施の形態による画像解析装置の構成を示すブロック図である。

【図2】図1に示す画像解析装置の主要機能ブロック図である。

【図3】Isingモデル及びPottsモデルの模式図である。

【図4】強磁性、常磁性及び超常磁性の状態を説明するための模式図である。

【図5】図2に示す画像解析装置による画像解析処理を説明するためのフローチャートである。

【図6】図5に示すステップS6のクラスタリング処理を説明するためのフローチャートである。

20

【図7】動きの前後を表す画像の一例を示す図である。

【図8】図7に示す画像間の f_x 、 f_y 、 f_t を示す図である。

【図9】図7に示す画像に対する画像解析処理により得られた磁化率と温度*T*との関係を示す図である。

【図10】温度*T* = 0.25のときのクラスタリング結果の一例を示す図である。

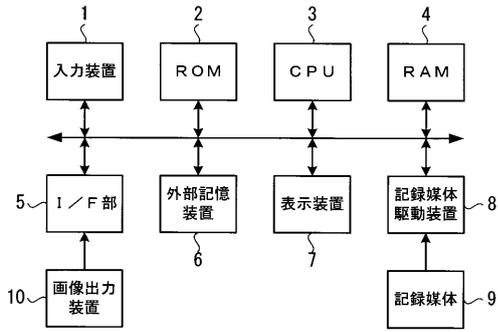
【符号の説明】

【0064】

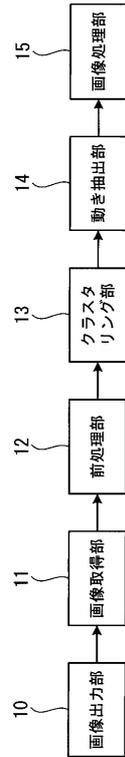
- 11 画像取得部
- 12 前処理部
- 13 クラスタリング部
- 14 動き抽出部
- 15 画像処理部

30

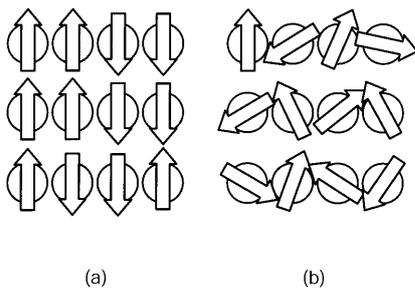
【図1】



【図2】



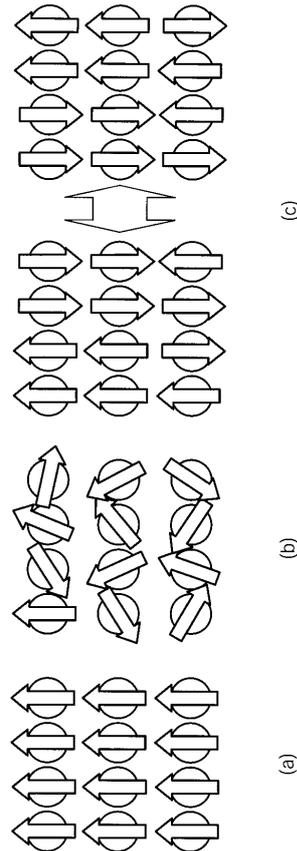
【図3】



(a)

(b)

【図4】

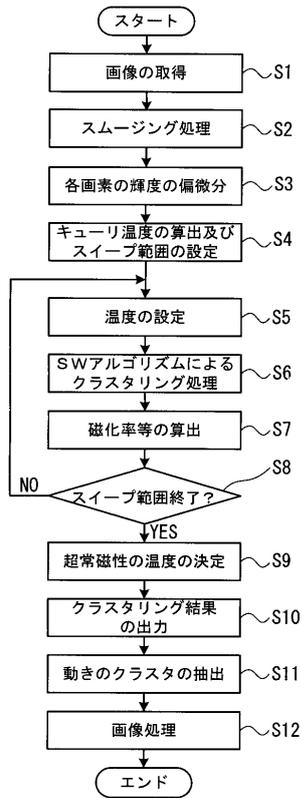


(a)

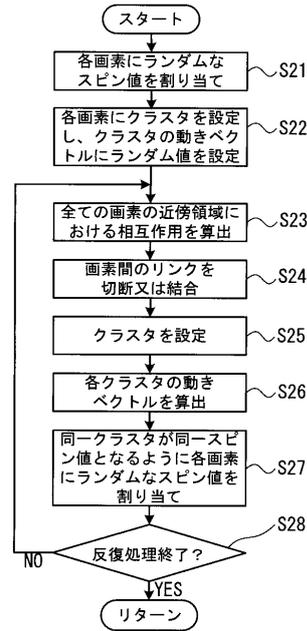
(b)

(c)

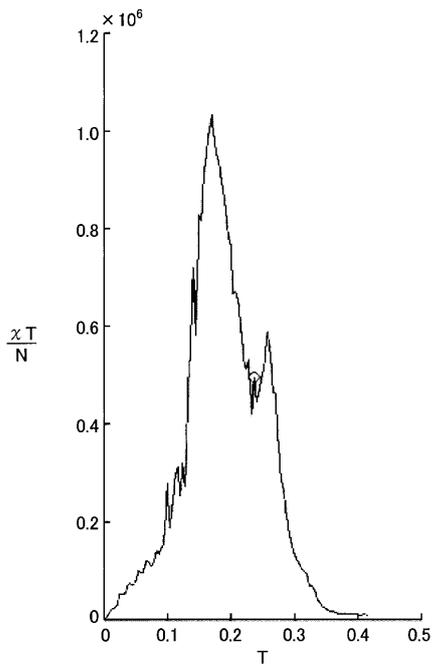
【図5】



【図6】

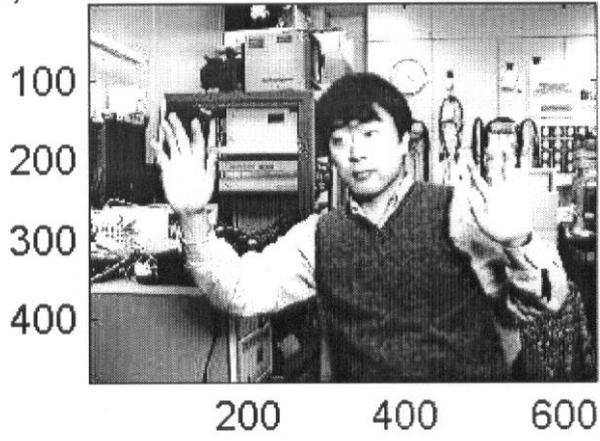


【図9】

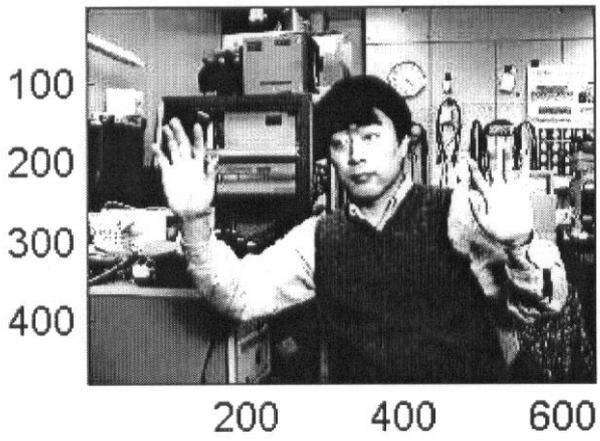


【 図 7 】

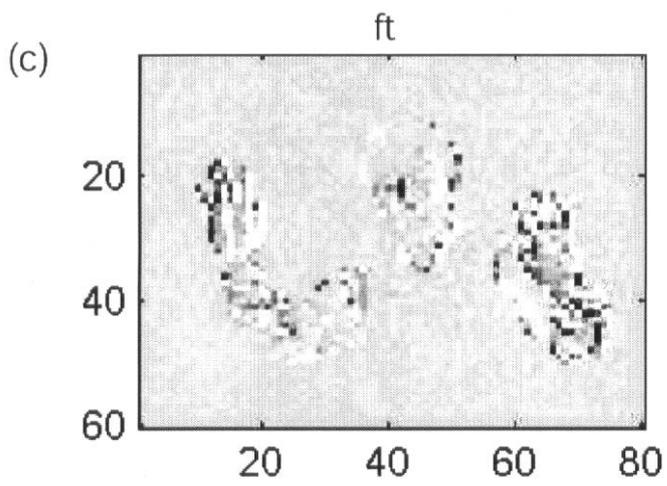
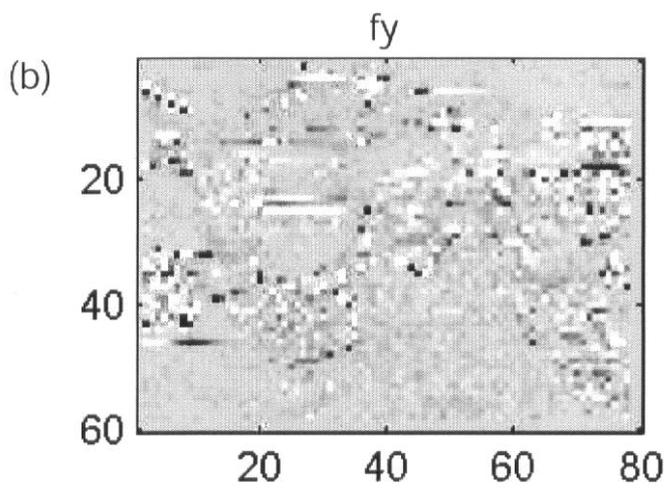
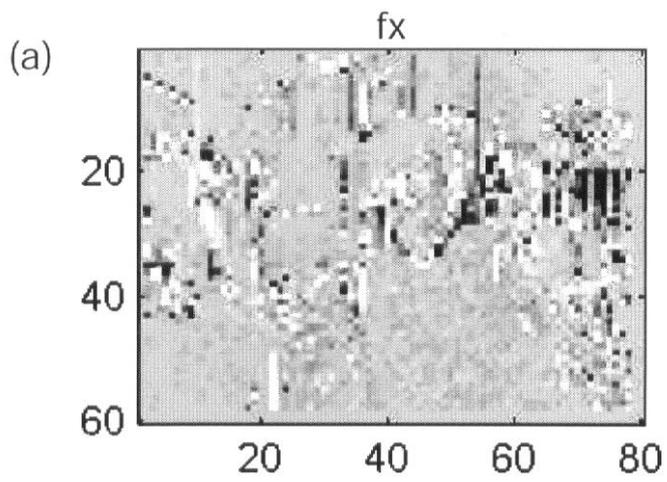
(a)



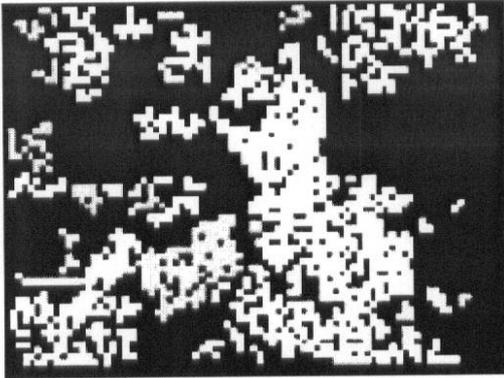
(b)



【 図 8 】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 イリス フェルミン

京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内

審査官 松永 稔

(56)参考文献 木下敬介、イリス・フェルミン、Clustering Image Sequence Based on Potts Model of the Motion Field, 情報処理学会研修報告 IPSJ SIG Technical Reports, 日本, 社団法人情報処理学会, 2003年 5月 8日, 2003-CVIM-138, pp193-200

田中 和之 Kazuyuki TANAKA, ベイズ統計・統計力学と情報処理 Bayesian Statistics, Statistical Mechanics, and Information Processing, 計測と制御 第42巻 第8号 JOURNAL OF THE SOCIETY OF INSTRUMENT AND CONTROL ENGINEERS, 日本, 社団法人計測自動制御学会 The Society of Instrument and Control Engineers, 第42巻

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 6 T 7 / 2 0