

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2004-537902  
(P2004-537902A)

(43) 公表日 平成16年12月16日(2004.12.16)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>H04N 1/403  
GO6T 5/00

F 1

H04N 1/40  
GO6T 5/00

テーマコード(参考)

5B057  
5C077

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 59 頁)

(21) 出願番号 特願2003-517840 (P2003-517840)  
 (86) (22) 出願日 平成14年6月21日 (2002.6.21)  
 (85) 翻訳文提出日 平成16年1月26日 (2004.1.26)  
 (86) 國際出願番号 PCT/US2002/019689  
 (87) 國際公開番号 WO2003/012742  
 (87) 國際公開日 平成15年2月13日 (2003.2.13)  
 (31) 優先権主張番号 09/917,545  
 (32) 優先日 平成13年7月27日 (2001.7.27)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

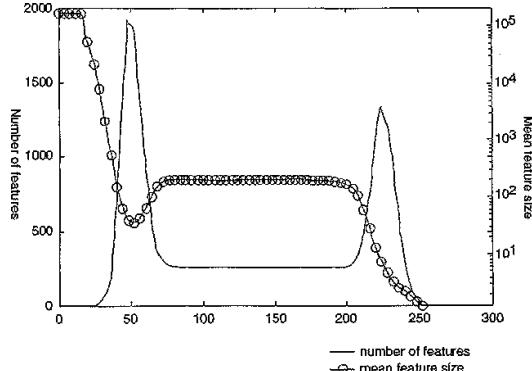
(71) 出願人 599056437  
 スリーエム イノベイティブ プロパティ  
 ズ カンパニー  
 アメリカ合衆国、ミネソタ 55144-  
 1000, セント ポール、スリーエム  
 センター  
 (74) 代理人 100086405  
 弁理士 河宮 治  
 (74) 代理人 100098280  
 弁理士 石野 正弘  
 (72) 発明者 マシュー・アール・アトキンソン  
 アメリカ合衆国 55133-3427 ミネ  
 ソタ州セント・ポール、ポスト・オフィス  
 ・ボックス33427

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】雑音を含む画像の自動閾値処理

## (57) 【要約】

本発明は、画像に対する最適閾値( $t_*$ )を選択する方法であって、画像を取得するステップと、上記画像のテストセグメントを選択するステップと、複数の閾値( $t$ )のそれれにおいてテストセグメントに現れる特徴の平均特徴サイズ( $S$ )を決定し、平均特徴サイズデータ( $S(t)$ )を生成するステップと、平均特徴サイズデータ( $S(t)$ )の関連部分集合を選択するステップと、平均特徴サイズデータの上記の部分集合の関数として最適閾値( $t_*$ )を決定するステップと、を含む方法から構成される画像処理方法を提供する。本発明は、本発明の方法によって決定される最適閾値( $t_*$ )の利用によって、二値画像を生成するための画像の閾値処理方法をさらに提供する。



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

画像に対する最適閾値 ( $t_*$ ) を決定するための方法であつて、

a) 画像を取得するステップと、

b) 前記画像のテストセグメントを選択するステップと、

c) 複数の閾値 ( $t$ ) のそれぞれにおいて前記画像の前記テストセグメントに現れる特徴の平均特徴サイズ ( $S$ ) を決定し、平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) を生成するステップと、

d) ステップ c) で収集された平均特徴サイズデータの部分集合を選択するステップと、

e) 平均特徴サイズデータの前記部分集合の関数として最適閾値 ( $t_*$ ) を決定するステップと、からなる方法。10

**【請求項 2】**

ステップ e) において、平均特徴サイズデータの前記部分集合の前記関数が、平均特徴サイズデータの前記部分集合の中間点に等しいか、または近い最適閾値 ( $t_*$ ) を生じる、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 3】**

ステップ e) において、平均特徴サイズ ( $S(t)$ ) に基づいて重み付けされた平均特徴サイズデータの前記部分集合に現れる加重平均閾値 ( $t$ ) を前記最適閾値 ( $t_*$ ) とする、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 4】**

ステップ d) において、平均特徴サイズデータの前記部分集合が、平均特徴サイズデータのすべてより少ないデータを含む、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 5】**

ステップ d) において、平均特徴サイズデータの前記部分集合は、 $S(t)$  が平均特徴サイズデータにおいて観察される  $S$  の最大値 ( $S_{max}$ ) の 1 % より大きい場合の値を除く平均特徴サイズデータのすべてを含む、請求項 1 に記載の方法。20

**【請求項 6】**

さらに、

f) 複数の閾値 ( $t$ ) のそれぞれにおいて前記画像の前記テストセグメントに現れる特徴の数 ( $N$ ) を計数して、計数データ ( $N(t)$ ) を生成するステップと、30

g) 前記計数データ ( $N(t)$ ) の関数として平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) の部分集合を選択するステップと、を含む、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 7】**

さらに、

f) 複数の閾値 ( $t$ ) のそれぞれにおいて前記画像の前記テストセグメントに現れる特徴の数 ( $N$ ) を計数して、計数データ ( $N(t)$ ) を生成するステップと、

h) 前記計数データ ( $N(t)$ ) の関数としてカットオフ閾値 ( $t_c$ ) を決定するステップと、

i) カットオフ閾値 ( $t_c$ ) の関数として平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) の部分集合を選択するステップと、を含む、請求項 1 に記載の方法。40

**【請求項 8】**

平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) の前記部分集合は、 $t < t_c$  の場合のすべての値を包含することによって選択される、請求項 7 に記載の方法。

**【請求項 9】**

平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) の前記部分集合は、 $t > t_c$  の場合のすべての値を包含することによって選択される請求項 7 に記載の方法。

**【請求項 10】**

前記カットオフ閾値 ( $t_c$ ) が前記計数データ ( $N(t)$ ) の関数として決定され、前記関数が、前記計数データ ( $N(t)$ ) の初期雑音ピークと次の低傾斜領域との間の移行範囲にあるカットオフ閾値 ( $t_c$ ) を選択する請求項 7 に記載の方法。50

**【請求項 1 1】**

前記カットオフ閾値 ( $t_c$ ) が関数  $t_c = t_{p\%}$  によって決定され、 $t_{p\%}$  は、 $N(t)$  が前記計数データで観測される  $N$  の最大値 ( $N_{max}$ ) の  $P\%$  を超えない場合の  $t$  の最大値であり、 $P\%$  が  $1\% \sim 100\%$  の間の数から選択される、請求項 7 に記載の方法。

**【請求項 1 2】**

$P\%$  が  $50\% \sim 95\%$  の間の数から選択される、請求項 1 1 に記載の方法。

**【請求項 1 3】**

前記カットオフ閾値 ( $t_c$ ) が関数  $t_c = 2t_{p\%} - t_{q\%}$  によって決定され、 $t_{p\%}$  は、 $N(t)$  が前記計数データで観測される  $N$  の最大値 ( $N_{max}$ ) の  $P\%$  を超えない場合の  $t$  の最小値であり、 $t_{q\%}$  は、 $N(t)$  が前記計数データで観測される  $N$  の最大値 ( $N_{max}$ ) の  $Q\%$  を超えない場合の  $t$  の最小値であり、 $P\% = Q\%$  であり、 $P\%$  および  $Q\%$  は  $1\% \sim 100\%$  の間の数から独立に選択される、請求項 7 に記載の方法。10

**【請求項 1 4】**

$P\%$  は  $50\% \sim 95\%$  の間の数から選択され、 $Q\%$  は  $5\% \sim 95\%$  の間の数から選択される、請求項 1 1 に記載の方法。

**【請求項 1 5】**

$P\% = 95\%$  および  $Q\% = 50\%$  である、請求項 1 1 に記載の方法。

**【請求項 1 6】**

平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) の前記部分集合は、 $t < t_c$  の場合のすべての値を包含することによって選択される、請求項 1 3 に記載の方法。20

**【請求項 1 7】**

平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) の前記部分集合は、 $t > t_c$  の場合のすべての値を包含することによって選択される、請求項 1 3 に記載の方法。

**【請求項 1 8】**

ステップ e )において、平均特徴サイズデータの前記部分集合の前記関数が、平均特徴サイズデータの前記部分集合の中間点に等しいか、または近い結果を生じる、請求項 7 に記載の方法。

**【請求項 1 9】**

ステップ e )において、平均特徴サイズ ( $S(t)$ ) に基づいて重み付けされた平均特徴サイズデータの前記部分集合に現れる加重平均閾値 ( $t$ ) を前記最適閾値 ( $t_*$ ) とする、請求項 7 に記載の方法。30

**【請求項 2 0】**

ステップ e )において、平均特徴サイズデータの前記部分集合の前記関数が、平均特徴サイズデータの前記部分集合の中間点に等しいか、または近い結果を生じる、請求項 9 に記載の方法。

**【請求項 2 1】**

ステップ e )において、平均特徴サイズ ( $S(t)$ ) に基づいて重み付けされた平均特徴サイズデータの前記部分集合に現れる加重平均閾値 ( $t$ ) を前記最適閾値 ( $t_*$ ) とする、請求項 9 に記載の方法。

**【請求項 2 2】**

ステップ e )において、平均特徴サイズデータの前記部分集合の前記関数が、平均特徴サイズデータの前記部分集合の中間点に等しいか、または近い結果を生じる、請求項 1 3 に記載の方法。40

**【請求項 2 3】**

ステップ e )において、平均特徴サイズ ( $S(t)$ ) に基づいて重み付けされた平均特徴サイズデータの前記部分集合に現れる加重平均閾値 ( $t$ ) を前記最適閾値 ( $t_*$ ) とする、請求項 1 3 に記載の方法。

**【請求項 2 4】**

ステップ e )において、平均特徴サイズデータの前記部分集合の前記関数が、平均特徴サイズデータの前記部分集合の中間点に等しいか、または近い結果を生じる、請求項 1 7 に50

記載の方法。

**【請求項 25】**

ステップe)において、平均特徴サイズ( $S(t)$ )に基づいて重み付けされた平均特徴サイズデータの前記部分集合に現れる加重平均閾値( $t$ )を前記最適閾値( $t_0$ )とする、請求項17に記載の方法。

**【請求項 26】**

さらに、

j) 前記最適閾値( $t_0$ )を用いた前記画像の閾値処理によって二値画像を取得するステップを含む、請求項1に記載の方法を含む画像の閾値処理方法。

**【請求項 27】**

さらに、

j) 前記最適閾値( $t_0$ )を用いた前記画像の閾値処理によって二値画像を取得するステップを含む、請求項7に記載の方法を含む画像の閾値処理方法。

**【請求項 28】**

さらに、

j) 前記最適閾値( $t_0$ )を用いた前記画像の閾値処理によって二値画像を取得するステップを含む、請求項9に記載の方法を含む画像の閾値処理方法。

**【請求項 29】**

さらに、

j) 前記最適閾値( $t_0$ )を用いた前記画像の閾値処理によって二値画像を取得するステップを含む、請求項13に記載の方法を含む画像の閾値処理方法。

**【請求項 30】**

さらに、

j) 前記最適閾値( $t_0$ )を用いた前記画像の閾値処理によって二値画像を取得するステップを含む、請求項17に記載の方法を含む画像の閾値処理方法。

**【請求項 31】**

さらに、

j) 前記最適閾値( $t_0$ )を用いた前記画像の閾値処理によって二値画像を取得するステップを含む、請求項21に記載の方法を含む画像の閾値処理方法。

**【請求項 32】**

さらに、

j) 前記最適閾値( $t_0$ )を用いた前記画像の閾値処理によって二値画像を取得するステップを含む、請求項25に記載の方法を含む画像の閾値処理方法。

**【請求項 33】**

画像に対する最適閾値( $t_0$ )を決定するためのシステムであって、

i) ディジタル化画像を提供するための画像素子と、

ii) データ記憶装置と、

iii) 前記画像素子からディジタル化画像を受信し、前記データ記憶装置に書き込みしたり前記データ記憶装置から読み出したりすることができる中央処理装置と、

を具備し、前記中央処理装置が、

a) 画像を取得し、

b) 前記画像のテストセグメントを選択し、

c) 複数の閾値( $t$ )のそれぞれにおいて前記画像の前記テストセグメントに現れる特徴の平均特徴サイズ( $S$ )を決定して、平均特徴サイズデータ( $S(t)$ )を生成し、

d) ステップc)で収集された平均特徴サイズデータの部分集合を選択し、

e) 平均特徴サイズデータの前記部分集合の関数として最適閾値( $t_0$ )を決定するようプログラムされている、システム。

**【請求項 34】**

ステップe)において、平均特徴サイズデータの前記部分集合の前記関数が、平均特徴サイズデータの前記部分集合の中間点に等しいか、または近い結果を生じる、請求項33に

10

20

30

40

50

記載のシステム。

**【請求項 3 5】**

ステップ e )において、平均特徴サイズ ( $S(t)$ ) に基づいて重み付けされた平均特徴サイズデータの前記部分集合に現れる加重平均閾値 ( $t$ ) を前記最適閾値 ( $t_*$ ) とする、請求項 3 3 に記載のシステム。

**【請求項 3 6】**

ステップ d )において、平均特徴サイズデータの前記部分集合が、平均特徴サイズデータのすべてより少ないデータを含む、請求項 3 3 に記載のシステム。

**【請求項 3 7】**

ステップ d )において、平均特徴サイズデータの前記部分集合は、 $S(t)$  が平均特徴サイズデータにおいて観察される  $S$  の最大値 ( $S_{max}$ ) の 1 % より大きい場合の値を除く平均特徴サイズデータのすべてを含む、請求項 3 3 に記載のシステム。 10

**【請求項 3 8】**

前記中央処理装置は、さらに、

f ) 複数の閾値 ( $t$ ) のそれぞれにおいて前記画像の前記テストセグメントに現れる特徴の数 ( $N$ ) を計数して、計数データ ( $N(t)$ ) を生成し、

g ) 前記計数データ ( $N(t)$ ) の関数として平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) の部分集合を選択するようにプログラムされている、請求項 3 3 に記載のシステム。 20

**【請求項 3 9】**

前記中央処理装置は、さらに、

f ) 複数の閾値 ( $t$ ) のそれぞれにおいて前記画像の前記テストセグメントに現れる特徴の数 ( $N$ ) を計数して、計数データ ( $N(t)$ ) を生成し、

h ) 前記計数データ ( $N(t)$ ) の関数としてカットオフ閾値 ( $t_c$ ) を決定し、

i ) カットオフ閾値 ( $t_c$ ) の関数として平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) の部分集合を選択するようにプログラムされている、請求項 3 3 に記載のシステム。 30

**【請求項 4 0】**

平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) の前記部分集合は、 $t < t_c$  の場合のすべての値を包含することによって選択される、請求項 3 9 に記載のシステム。

**【請求項 4 1】**

平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) の前記部分集合は、 $t > t_c$  の場合のすべての値を包含することによって選択される、請求項 3 9 に記載のシステム。 30

**【請求項 4 2】**

前記カットオフ閾値 ( $t_c$ ) が前記計数データ ( $N(t)$ ) の関数として決定され、前記関数が前記計数データ ( $N(t)$ ) の初期雑音ピークと次の低傾斜領域との間の移行範囲にあるカットオフ閾値 ( $t_c$ ) を選択する、請求項 3 9 に記載のシステム。

**【請求項 4 3】**

前記カットオフ閾値 ( $t_c$ ) が関数  $t_c = t_p\%$  によって決定され、 $t_p\%$  は、 $N(t)$  が前記計数データで観測される  $N$  の最大値 ( $N_{max}$ ) の  $P\%$  を超えない場合の  $t$  の最高値であり、 $P\%$  が 1 % ~ 100 % の間の数から選択される、請求項 3 9 に記載のシステム。 40

**【請求項 4 4】**

$P\%$  が 50 % ~ 95 % の間の数から選択される、請求項 4 3 に記載のシステム。

**【請求項 4 5】**

前記カットオフ閾値 ( $t_c$ ) が関数  $t_c = 2t_p\% - t_q\%$  によって決定され、 $t_p\%$  は、 $N(t)$  が前記計数データで観測される  $N$  の最大値 ( $N_{max}$ ) の  $P\%$  を超えない場合の  $t$  の最小値であり、 $t_q\%$  は、 $N(t)$  が前記計数データで観測される  $N$  の最大値 ( $N_{max}$ ) の  $Q\%$  を超えない場合の  $t$  の最小値であり、 $P\% < Q\%$  であり、 $P\%$  および  $Q\%$  は 1 % ~ 100 % の間の数から独立に選択される、請求項 3 9 に記載のシステム。 50

**【請求項 4 6】**

$P\%$  は 50 % ~ 95 % の間の数から選択され、 $Q\%$  は 5 % ~ 95 % の間の数から選択される、請求項 4 3 に記載のシステム。

**【請求項 4 7】**

P % = 9 5 % および Q % = 5 0 % である、請求項 4 3 に記載のシステム。

**【請求項 4 8】**

平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) の前記部分集合は、 $t < t_c$  の場合のすべての値を包含することによって選択される、請求項 4 5 に記載のシステム。

**【請求項 4 9】**

平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) の前記部分集合は、 $t > t_c$  の場合のすべての値を包含することによって選択される、請求項 4 5 に記載のシステム。

**【請求項 5 0】**

ステップ e )において、平均特徴サイズデータの前記部分集合の前記関数が、平均特徴サ 10 イズデータの前記部分集合の中間点に等しいか、または近い結果を生じる、請求項 3 9 に記載のシステム。

**【請求項 5 1】**

ステップ e )において、平均特徴サイズ ( $S(t)$ ) に基づいて重み付けされた平均特徴サ 10 イズデータの前記部分集合に現れる加重平均閾値 ( $t$ ) を前記最適閾値 ( $t_o$ ) とする、請求項 3 9 に記載のシステム。

**【請求項 5 2】**

ステップ e )において、平均特徴サイズデータの前記部分集合の前記関数が、平均特徴サ 20 イズデータの前記部分集合の中間点に等しいか、または近い結果を生じる、請求項 4 1 に記載のシステム。

**【請求項 5 3】**

ステップ e )において、平均特徴サイズ ( $S(t)$ ) に基づいて重み付けされた平均特徴サ 20 イズデータの前記部分集合に現れる加重平均閾値 ( $t$ ) を前記最適閾値 ( $t_o$ ) とする、請求項 4 1 に記載のシステム。

**【請求項 5 4】**

ステップ e )において、平均特徴サイズデータの前記部分集合の前記関数が、平均特徴サ 30 イズデータの前記部分集合の中間点に等しいか、または近い結果を生じる、請求項 4 5 に記載のシステム。

**【請求項 5 5】**

ステップ e )において、平均特徴サイズ ( $S(t)$ ) に基づいて重み付けされた平均特徴サ 30 イズデータの前記部分集合に現れる加重平均閾値 ( $t$ ) を前記最適閾値 ( $t_o$ ) とする、請求項 4 5 に記載のシステム。

**【請求項 5 6】**

ステップ e )において、平均特徴サイズデータの前記部分集合の前記関数が、平均特徴サ 30 イズデータの前記部分集合の中間点に等しいか、または近い結果を生じる、請求項 4 9 に記載のシステム。

**【請求項 5 7】**

ステップ e )において、平均特徴サイズ ( $S(t)$ ) に基づいて重み付けされた平均特徴サ 40 イズデータの前記部分集合に現れる加重平均閾値 ( $t$ ) を前記最適閾値 ( $t_o$ ) とする、請求項 4 9 に記載のシステム。

**【請求項 5 8】**

前記中央処理装置は、

j ) 前記最適閾値 ( $t_o$ ) を用いた前記画像の閾値処理によって二値画像を取得するよう 40 にさらにプログラムされる、請求項 3 3 に記載の方法を含む画像の閾値処理システム。

**【請求項 5 9】**

前記中央処理装置は、さらに、

j ) 前記最適閾値 ( $t_o$ ) を用いた前記画像の閾値処理によって二値画像を取得するよう 40 にさらにプログラムされる、請求項 3 9 に記載の方法を含む画像の閾値処理システム。

**【請求項 6 0】**

前記中央処理装置は、さらに、

10

20

30

40

50

j ) 前記最適閾値 ( $t_0$ ) を用いた前記画像の閾値処理によって二値画像を取得するようにプログラムされる、請求項 4 1 に記載の方法を含む画像の閾値処理システム。

**【請求項 6 1】**

前記中央処理装置は、さらに、

j ) 前記最適閾値 ( $t_0$ ) を用いた前記画像の閾値処理によって二値画像を取得するようにプログラムされる、請求項 4 5 に記載の方法を含む画像の閾値処理システム。

**【請求項 6 2】**

前記中央処理装置は、さらに、

j ) 前記最適閾値 ( $t_0$ ) を用いた前記画像の閾値処理によって二値画像を取得するようにプログラムされる、請求項 4 9 に記載の方法を含む画像の閾値処理システム。 10

**【請求項 6 3】**

前記中央処理装置は、さらに、

j ) 前記最適閾値 ( $t_0$ ) を用いた前記画像の閾値処理によって二値画像を取得するようにプログラムされる、請求項 5 3 に記載の方法を含む画像の閾値処理システム。

**【請求項 6 4】**

前記中央処理装置は、さらに、

j ) 前記最適閾値 ( $t_0$ ) を用いた前記画像の閾値処理によって二値画像を取得するようにプログラムされる、請求項 5 7 に記載の方法を含む画像の閾値処理システム。 20

**【請求項 6 5】**

コンピュータへのソフトウェアの導入およびそのソフトウェアの実行によって、画像に対する最適閾値 ( $t_0$ ) を決定する方法をコンピュータに実行させるソフトウェアを記録したデータ記憶媒体であって、前記方法が、

a ) 画像を取得するステップと、

b ) 前記画像のテストセグメントを選択するステップと、

c ) 複数の閾値 ( $t$ ) のそれぞれにおいて前記画像の前記テストセグメントに現れる特徴の平均特徴サイズ ( $S$ ) を決定し、平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) を生成するステップと、

d ) ステップ c ) で収集された平均特徴サイズデータの部分集合を選択するステップと、

e ) 平均特徴サイズデータの前記部分集合の関数として最適閾値 ( $t_0$ ) を決定するステップと、を含む、データ記憶媒体。 30

**【請求項 6 6】**

ステップ e ) において、平均特徴サイズデータの前記部分集合の前記関数が、平均特徴サイズデータの前記部分集合の中間点に等しいか、または近い最適閾値 ( $t_0$ ) を生じる、請求項 6 5 に記載のデータ記憶媒体。

**【請求項 6 7】**

ステップ e ) において、平均特徴サイズ ( $S(t)$ ) に基づいて重み付けされた平均特徴サイズデータの前記部分集合に現れる加重平均閾値 ( $t$ ) を前記最適閾値 ( $t_0$ ) とする、請求項 6 5 に記載のデータ記憶媒体。

**【請求項 6 8】**

ステップ d ) において、平均特徴サイズデータの前記部分集合が、平均特徴サイズデータのすべてより少ないデータを含む、請求項 6 5 に記載のデータ記憶媒体。 40

**【請求項 6 9】**

ステップ d ) において、平均特徴サイズデータの前記部分集合は、 $S(t)$  が平均特徴サイズデータにおいて観察される  $S$  の最大値 ( $S_{max}$ ) の 1 % より大きい場合の値を除く平均特徴サイズデータのすべてを含む、請求項 6 5 に記載のデータ記憶媒体。

**【請求項 7 0】**

前記方法は、さらに、

f ) 複数の閾値 ( $t$ ) のそれぞれにおいて前記画像の前記テストセグメントに現れる特徴の数 ( $N$ ) を計数して、計数データ ( $N(t)$ ) を生成するステップと、

g ) 前記計数データ ( $N(t)$ ) の関数として平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) の部分集合を 50

選択するステップを含む、請求項 6 5 に記載のデータ記憶媒体。

**【請求項 7 1】**

前記方法は、さらに、

f ) 複数の閾値 ( $t$ ) のそれぞれにおいて前記画像の前記テストセグメントに現れる特徴の数 ( $N$ ) を計数して、計数データ ( $N(t)$ ) を生成するステップと、

h ) 前記計数データ ( $N(t)$ ) の関数としてカットオフ閾値 ( $t_c$ ) を決定するステップと、

i ) カットオフ閾値 ( $t_c$ ) の関数として平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) の部分集合を選択するステップと、を含む、請求項 6 5 に記載のデータ記憶媒体。

**【請求項 7 2】**

平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) の前記部分集合は、 $t < t_c$  の場合のすべての値を包含することによって選択される、請求項 7 1 に記載のデータ記憶媒体。

**【請求項 7 3】**

平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) の前記部分集合は、 $t > t_c$  の場合のすべての値を包含することによって選択される、請求項 7 1 に記載のデータ記憶媒体。

**【請求項 7 4】**

前記カットオフ閾値 ( $t_c$ ) が前記計数データ ( $N(t)$ ) の関数として決定され、前記関数が前記計数データ ( $N(t)$ ) の初期雑音ピークと次の低傾斜領域との間の移行範囲にあるカットオフ閾値 ( $t_c$ ) を選択する、請求項 7 1 に記載のデータ記憶媒体。

**【請求項 7 5】**

前記カットオフ閾値 ( $t_c$ ) が関数  $t_c = t_p \%$  によって決定され、 $t_p \%$  は、 $N(t)$  が前記計数データで観測される  $N$  の最大値 ( $N_{max}$ ) の  $P\%$  を超えない場合の  $t$  の最高値であり、 $P\%$  が  $1\% \sim 100\%$  の間の数から選択される、請求項 7 1 に記載のデータ記憶媒体。

**【請求項 7 6】**

$P\%$  が  $50\% \sim 95\%$  の間の数から選択される、請求項 7 5 に記載のデータ記憶媒体。

**【請求項 7 7】**

前記カットオフ閾値 ( $t_c$ ) が関数  $t_c = 2t_p\% - t_q\%$  によって決定され、 $t_p\%$  は、 $N(t)$  が前記計数データで観測される  $N$  の最大値 ( $N_{max}$ ) の  $P\%$  を超えない場合の  $t$  の最小値であり、 $t_q\%$  は、 $N(t)$  が前記計数データで観測される  $N$  の最大値 ( $N_{max}$ ) の  $Q\%$  を超えない場合の  $t$  の最小値であり、 $P\% < Q\%$  であり、 $P\%$  および  $Q\%$  は  $1\% \sim 100\%$  の間の数から独立に選択される、請求項 7 1 に記載のデータ記憶媒体。

**【請求項 7 8】**

$P\%$  は  $50\% \sim 95\%$  の間の数から選択され、 $Q\%$  は  $5\% \sim 95\%$  の間の数から選択される、請求項 7 5 に記載のデータ記憶媒体。

**【請求項 7 9】**

$P\% = 95\%$  および  $Q\% = 50\%$  である、請求項 7 5 に記載のデータ記憶媒体。

**【請求項 8 0】**

平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) の前記部分集合は、 $t < t_c$  の場合のすべての値を包含することによって選択される、請求項 7 7 に記載のデータ記憶媒体。

**【請求項 8 1】**

平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) の前記部分集合は、 $t > t_c$  の場合のすべての値を包含することによって選択される、請求項 7 7 に記載のデータ記憶媒体。

**【請求項 8 2】**

ステップ e ) において、平均特徴サイズデータの前記部分集合の前記関数が、平均特徴サイズデータの前記部分集合の中間点に等しいか、または近い結果を生じる、請求項 7 1 に記載のデータ記憶媒体。

**【請求項 8 3】**

ステップ e ) において、平均特徴サイズ ( $S(t)$ ) に基づいて重み付けされた平均特徴サイズデータの前記部分集合に現れる加重平均閾値 ( $t$ ) を前記最適閾値 ( $t_0$ ) とする、

10

20

30

40

50

請求項 7 1 に記載のデータ記憶媒体。

【請求項 8 4】

ステップ e )において、平均特徴サイズデータの前記部分集合の前記関数が、平均特徴サイズデータの前記部分集合の中間点に等しいか、または近い結果を生じる、請求項 7 3 に記載のデータ記憶媒体。

【請求項 8 5】

ステップ e )において、平均特徴サイズ ( $S(t)$ ) に基づいて重み付けされた平均特徴サイズデータの前記部分集合に現れる加重平均閾値 ( $t$ ) を前記最適閾値 ( $t_*$ ) とする、請求項 7 3 に記載のデータ記憶媒体。

【請求項 8 6】

ステップ e )において、平均特徴サイズデータの前記部分集合の前記関数が、平均特徴サイズデータの前記部分集合の中間点に等しいか、または近い結果を生じる、請求項 7 7 に記載のデータ記憶媒体。

【請求項 8 7】

ステップ e )において、平均特徴サイズ ( $S(t)$ ) に基づいて重み付けされた平均特徴サイズデータの前記部分集合に現れる加重平均閾値 ( $t$ ) を前記最適閾値 ( $t_*$ ) とする、請求項 7 7 に記載のデータ記憶媒体。

【請求項 8 8】

ステップ e )において、平均特徴サイズデータの前記部分集合の前記関数が、平均特徴サイズデータの前記部分集合の中間点に等しいか、または近い結果を生じる、請求項 8 1 に記載のデータ記憶媒体。

【請求項 8 9】

ステップ e )において、平均特徴サイズ ( $S(t)$ ) に基づいて重み付けされた平均特徴サイズデータの前記部分集合に現れる加重平均閾値 ( $t$ ) を前記最適閾値 ( $t_*$ ) とする、請求項 8 1 に記載のデータ記憶媒体。

【請求項 9 0】

前記方法は、

j ) 前記最適閾値 ( $t_*$ ) を用いた前記画像の閾値処理によって二値画像を取得するステップをさらに含む、請求項 6 5 に記載のデータ記憶媒体。

【請求項 9 1】

前記方法は、

j ) 前記最適閾値 ( $t_*$ ) を用いた前記画像の閾値処理によって二値画像を取得するステップをさらに含む、請求項 7 1 に記載のデータ記憶媒体。

【請求項 9 2】

前記方法は、

j ) 前記最適閾値 ( $t_*$ ) を用いた前記画像の閾値処理によって二値画像を取得するステップをさらに含む、請求項 7 3 に記載のデータ記憶媒体。

【請求項 9 3】

前記方法は、

j ) 前記最適閾値 ( $t_*$ ) を用いた前記画像の閾値処理によって二値画像を取得するステップをさらに含む、請求項 7 7 に記載のデータ記憶媒体。

【請求項 9 4】

前記方法は、

j ) 前記最適閾値 ( $t_*$ ) を用いた前記画像の閾値処理によって二値画像を取得するステップをさらに含む、請求項 8 1 に記載のデータ記憶媒体。

【請求項 9 5】

前記方法は、

j ) 前記最適閾値 ( $t_*$ ) を用いた前記画像の閾値処理によって二値画像を取得するステップをさらに含む、請求項 8 5 に記載のデータ記憶媒体。

【請求項 9 6】

10

20

30

40

50

前記方法は、

j) 前記最適閾値( $t_0$ )を用いた前記画像の閾値処理によって二値画像を取得するステップをさらに含む、請求項8・9に記載のデータ記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

(発明の技術分野)

本発明は、画像に対する最適閾値( $t_0$ )を選択するための方法を含む画像処理の自動化可能な方法に関するものであり、最適閾値( $t_0$ )は複数の閾値( $t$ )のそれぞれにおいて画像中で検出された特徴の平均特徴サイズ( $S$ )を表している平均特徴サイズデータ( $S(t)$ )の関数として選択される。このようにして決定された最適閾値( $t_0$ )は、画像の閾値処理を行って低雑音二値画像を生成するために使用できる。10

【0002】

(背景技術)

一般に、「閾値処理」によって、多色画像から二値(二色)画像を導出することが公知である。閾値処理において、ピクセルすなわち画素の初期の色調(たとえば灰色の陰影)が選択された閾値(たとえば、輝度の選択レベル)の上または下のいずれかの決定に基づいて、画像のピクセルすなわち画素が2つの色調のうちの一方に(たとえば、黒色または白色)に割り当てられる。

【0003】

同時係属中の出願で、1999年10月21日に出願された米国特許出願第09/422,584号明細書および1999年10月21日に出願された米国特許出願第09/422,535号明細書は、閾値処理によって画像内部の所定の特徴を識別することができる<sup>20</sup>ことを開示している。

【0004】

特許文献1は、ビデオ信号の閾値処理をして二値セグメント化ビデオ信号を生成する方法に関する。

【0005】

特許文献2は、目の波面収差を自動的に測定する方法に関する。

【0006】

非特許文献1の394~96頁および416~18頁は、デジタル化画像における特徴<sup>30</sup>検出について述べている。

【特許文献1】

米国特許第5,832,111号明細書

【特許文献2】

米国特許第6,199,986号明細書

【非特許文献1】

ジョン・C・ラス(John C, Russ)著「The Image Processing Handbook(画像処理ハンドブック)」、第2版、(CRC Press 1995)

【0007】

(発明の概要)

簡単に言えば、本発明は、画像に対する最適閾値( $t_0$ )を選択するための自動化可能な方法であって、画像を取得するステップと、画像のテストセグメントを選択するステップと、複数の閾値( $t$ )のそれぞれにおいてテストセグメントに現れる特徴の平均特徴サイズ( $S$ )を決定し、平均特徴サイズデータ( $S(t)$ )を生成するステップと、平均特徴サイズデータ( $S(t)$ )の関連部分集合を選択するステップと、平均特徴サイズデータの関連部分集合の関数として最適閾値( $t_0$ )を決定するステップと、を含む方法を提供する。一般的に、最適閾値( $t_0$ )は、平均特徴サイズデータの関連部分集合の中間点に等しいか、または近い閾値であると決定される。さらに一般的に、最適閾値( $t_0$ )は、平均特徴サイズ( $S(t)$ )に基づいて重み付けされた平均特徴サイズデータの関連部分集合に<sup>40</sup>

現れている加重平均閾値 ( $t$ ) と見なされる。一般的に、関連部分集合は、平均特徴サイズデータの低い閾値飽和水平域を排除するために決定される。 $S(t)$ が 1 % ~ 100 % であり、一般的に 1 % である平均特徴サイズデータにおいて観察される  $S$  の最大値 ( $S_{max}$ ) の所与の百分率より大きい値を排除することによって、これを実現することができる。別法およびより一般的に、計数データ ( $N(t)$ ) は、複数の閾値 ( $t$ ) のそれぞれにおいて画像のテストセグメントに現れる特徴の数 ( $N$ ) を計数することによって生成され、平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) の関連部分集合は、計数データ ( $N(t)$ ) の関数として選択される。一般的に、カットオフ閾値 ( $t_c$ ) は、計数データ ( $N(t)$ ) から決定され、平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) の関連部分集合を決定するために用いられる。平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) の関連部分集合は、 $t > t_c$  の場合のすべての値または  $t = t_c$  の場合のすべての値を包含することによって選択される。一般的に、カットオフ閾値 ( $t_c$ ) は、計数データ ( $N(t)$ ) の関数として決定され、この関数は、計数データ ( $N(t)$ ) の初期雑音ピークと次の低傾斜領域との間の移行範囲になるカットオフ閾値 ( $t_c$ ) を提供する。一般的に、カットオフ閾値 ( $t_c$ ) は、関数  $t_c = 2t_p\% - t_q\%$  によって決定される。式中、 $t_p\%$  は、 $N(t)$  が計数データで観測される  $N$  の最大値 ( $N_{max}$ ) の  $P\%$  を超えない場合の  $t$  の最小値であり、 $t_q\%$  は、 $N(t)$  が計数データで観測される  $N$  の最大値 ( $N_{max}$ ) の  $Q\%$  を超えない場合の  $t$  の最小値であり、 $P\% \leq Q\%$  であり、 $P\%$  および  $Q\%$  は 1 % ~ 100 % の間の数から独立に選択される。より一般的に、 $P\%$  は 50 % ~ 95 % の間の数から選択され、 $Q\%$  は 5 % ~ 95 % の間の数から選択される。

10

20

30

## 【0008】

別の態様において、本発明は、画像に対する最適閾値 ( $t_0$ ) を選択するために、本願明細書に開示された任意の方法を含む画像を閾値処理するための自動化可能な方法を提供する。

40

## 【0009】

別の態様において、本発明は、画像に対する最適閾値 ( $t_0$ ) を決定するためのシステムであって、a) ディジタル化画像を提供するための画像素子と、b) データ記憶装置と、c) 画像素子からディジタル化画像を受信し、データ記憶装置に書き込みしたりデータ記憶装置から読み出したりすることができる中央処理装置と、を具備し、中央処理装置が、画像に対する最適閾値 ( $t_0$ ) を選択するために、本願明細書に開示された方法を実行するようにプログラムされているシステムを提供する。

30

40

## 【0010】

別の態様において、本発明は、画像を閾値処理するためのシステムであって、a) ディジタル化画像を形成するための画像素子と、b) データ記憶装置と、c) 画像素子からディジタル化画像を受信し、データ記憶装置に書き込みしたりデータ記憶装置から読み出したりすることができる中央処理装置と、を具備し、中央処理装置が、画像を閾値処理するために、本願明細書に開示された方法を実行するようにプログラムされているシステムを提供する。

## 【0011】

別の態様において、本発明は、コンピュータへの導入およびソフトウェアの実行によって、コンピュータに画像に対する最適閾値 ( $t_0$ ) を選択するための本願明細書に開示された方法を実行させるソフトウェアを記録したデータ記録媒体を提供する。

40

50

## 【0012】

別の態様において、本発明は、コンピュータへの導入およびソフトウェアの実行によって、コンピュータに画像を閾値処理するための本願明細書に開示された方法を実行させるソフトウェアを記録したデータ記録媒体を提供する。

50

## 【0013】

当業界で説明されておらず、本発明に提供されることは、平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) の関数として  $t_0$  を選択することによって、ノイズアーティファクトを最小限に抑える画像に対する最適閾値 ( $t_0$ ) を選択するための自動化可能な方法である。

50

## 【0014】

本出願において、

「二値画像」なる語は、たとえば、灰色の陰影などの本質的に任意の中間値を含まない黒色および白色などの2色すなわち2値の画像を意味する。デジタル画像の場合にはすべての中間値は一般的に排除されるのに対し、光化学画像では中間値の完全な排除は可能ではないと思われる。

【0015】

「特徴」なる語は、類似の値を有する隣接するピクセルすなわち画素の群を意味する。隣接するピクセルすなわち画素は、任意の適切な様式で定義されてもよい。隣接するピクセルすなわち画素は、エッジ（4近傍則）を共有するピクセルすなわち画素のみを含んでもよく、さらに一般的には、エッジまたはコーナ（8近傍則）を共有するピクセルすなわち画素のみを含んでもよい。あるいは、隣接するピクセルすなわち画素は、任意の第3のピクセルすなわち画素を通過することなく直線セグメントによって接続できるピクセルすなわち画素として定義されてもよい。二値画像の場合には、類似の値を有するピクセルすなわち画素は、本質的に同値を有するピクセルすなわち画素である。一般的に、一値は、背景値を表し、その値の「特徴」は排除される。

【0016】

「テストセグメント」なる語は、画像に関して、テストされるものとして選択される画像の一部を意味し、画像の100%まで含むことができる。

【0017】

「平均特徴サイズ」なる語は、一般的にエリアサイズ、ピクセルすなわち画素の数、または類似の測定値として表される一連の特徴の平均サイズを意味している。

【0018】

本発明の効果は、自動化することができ、雑音を排除し、正確な特徴検出を行う画像の閾値処理方法を提供することである。

【0019】

（好ましい実施の形態の詳細な説明）

本発明は、画像に対する最適閾値( $t_*$ )を選択する方法であって、画像を取得するステップと、上記画像のテストセグメントを選択するステップと、複数の閾値( $t$ )のそれについてテストセグメントに現れる特徴の平均特徴サイズ( $S$ )を決定し、平均特徴サインデータ( $S(t)$ )を生成するステップと、平均特徴サインデータ( $S(t)$ )の関連部分集合を選択するステップと、平均特徴サインデータの上記の部分集合の関数として最適閾値( $t_*$ )を決定するステップと、を含む方法から構成される画像処理方法を提供する。

【0020】

画像を取得するステップは、任意の適切な方法によって実現することができる。ビデオカメラ、デジタルカメラ、光化学カメラ、顕微鏡、視覚走査システム、探針走査システムまたは二次元アレイにおけるデータ点を生成する他の検知装置の利用によって、画像を収集することができる。一般的に、目標画像は、本質的に、明確な特徴を含むが、さらに雑音を含む可能性もある二値画像であると予測される。画像が、画像撮影装置または画像撮影装置によってデジタル形式で最初に生成されない場合には、画像は一般的に、ピクセルにデジタル化される。一般的に、本願明細書に記載された方法は、中央処理装置またはコンピュータの利用によって実現される。

【0021】

図1は、本発明が用いることができる走査システムを示している。図1のシステムにおいて、光の集光ビームが物体を通過し、システムは結果として生じる反射光または蛍光光を検出する。このために、光源10からの光は、光源光学素子12を通じて集光され、ミラー14によってここではサンプル用 $3 \times 4$ 検出プレート16として示される物体の方に偏向される。光源10からの光は、モータ24を用いてミラー14の位置を変更することによって、サンプル上の異なる位置に指向することができる。サンプル16から発せられた蛍光またはサンプル16からの反射光は、一般に半鏡銀鏡であるミラー15を介して検出光学素子18に戻される。あるいは、光源を中央に用いることができ、米国特許第5,

10

20

30

40

50

900, 949号明細書に示されているように、システムの側面から放射光または蛍光光を検出することができるか、または光源がシステムの側面から用いることができ、中央で放射光または蛍光光を検出することができるか、または任意の他の類似の変形である。検出光学素子18を通過する光は、テレビカメラ、CCD、レーザ反射システム、光電子増倍管、アバランシェフォトダイオード、フォトダイオードまたは単光子計数モジュールなどの任意の適切な画像撮影システム20を用いて検出され、その出力は、解析のためまたはシステム全体を制御するようにプログラムされたコンピュータ22に供給される。コンピュータ22は、一般的に、プログラムを実行するための中央処理装置と、RAM、ハードディスクドライブまたはデータ記憶のための類似の装置などのシステムと、を具備している。この説明は、例示のために過ぎないことを理解されたい。本発明は、光に基づく画像だけでなく、磁気センサまたは触覚センサなどから生成された「シミュレート」画像にも、また、サンプル16だけでなく、検査対象の任意の物体を用いて生成された画像にも等しく同様に使用できる。  
10

#### 【0022】

画像のテストセグメントを選択するステップにおいて、一般的に、テストセグメントは、画像全体を代表するものを追及する。テストセグメントは新しい画像のそれぞれに関して選択されてもよく、一定のテストセグメントエリアが多数の画像のそれぞれに関して用いられてもよい。自動システムにおいて、テストセグメントは一般的に予め決定され同一のセグメント領域が処理されるすべての画像に関して用いられる。テストセグメントは、画像の100%まで含むことができる。計算を簡単にするために、テストセグメントは画像のすべてより少い部分を含むことができる。テスト画像が特定の特徴を含んでいると予想される場合には、テストセグメントは少なくとも1つの所期の特徴と含むことが一般的であり、4つ以上の特徴を含めばさらに一般的である。  
20

#### 【0023】

平均特徴サイズデータ( $S(t)$ )を生成するために、テストセグメントに現れる特徴の平均特徴サイズ( $S$ )が、複数の閾値( $t$ )のそれぞれにおいて決定される。上述したように、「特徴」は、さまざまな方法で定義されることができる。一般的に、8近傍則が用いられる。同一の定義が一般的に、プロセス全体に用いられる。テストセグメントの境界に接している特徴は、含めてもよく排除してもよい。含められるテストセグメントの境界に接している特徴は、全体サイズに含まれてもよく、テストセグメントに含まれる一部にのみ含まれてよい。境界に接している特徴に関する同規則は一般的に、プロセス全体に用いられる。一般的に、テストセグメントの境界に接している特徴は、テストセグメントであるがテストセグメントに含まれる一部にのみに含まれる。平均特徴サイズデータ( $S(t)$ )は、 $t$ の利用可能な値のすべてに関して算出されることがある。 $t$ の利用可能な値は、ディジタル画像において256の値であってもよい。より少ない値を用いる場合には、最良の最適閾値( $t_*$ )を決定する際に、精度を犠牲にして計算時間を短縮することができる。一般的に、256の可能な値を有するディジタル画像において、 $t$ のすべての4つの値に関して、平均特徴サイズデータ( $S(t)$ )が算出される。  
30

#### 【0024】

図3には、図2のシミュレートによる雑音を含む画像に関して得られた検出された平均特徴サイズ( $S(t)$ )対検出レベル閾値( $t$ )(右の目盛り)を示すグラフが挙げられている。選択された閾値レベルのデータは、表Iに示されている。  
40

#### 【0025】

#### 【表1】

図	閾値 レベル	平均特徴 サイズ (ピクセル)	特徴の数
4	35	697.5	176
5	50	35.1	1987
6	75	187.3	270
7	140	192.9	256
8	205	131.2	284
9	225	6.4	1341

10

## 【0026】

本説明および本図のために、特徴は黒い背景に白い画像として表され、明るめの陰影は  $t$  のより高い値を表すことを留意されたい。しかし、たとえば、「より大きい」および「より小さい」を逆にするなど、必要に応じて、用語を調整することによって、逆の決まりを用いてもよい。

## 【0027】

図3および表Iはまた、複数の閾値 ( $t$ ) のそれぞれにおいて画像に表れる特徴の数 ( $N$ ) の数を計数することによって得られた検出された特徴の数 ( $N(t)$ ) 対検出レベル閾値 ( $t$ ) (図3の左の目盛り) として作図された計数データのグラフも含む。図3に反映された計算の場合には、テストセグメントは全体画像であり、「特徴」は8近傍則を用いて定義され、計算は  $t$  のすべての第4の値に関して行われた。

## 【0028】

図4～9は、表Iに示されたように、以下の閾値レベル35、50、75、140、205および225における図2の雑音を含む画像を閾値処理して得られた二値画像である。図7は、本発明によって決定された最適閾値 ( $t_*$ ) における雑音を含む画像をして得られ、本発明による閾値処理方法の二値画像生成物を示している。

## 【0029】

図4～9の検討から、図7が最適に定義され、最も雑音の少ない二値画像であることがわかる。表Iの検討から、図7に関連する閾値は、 $N(t)$  (特徴の数) の浅い極小値および  $S(t)$  (特徴サイズ) の浅い極大値に現れていることがわかる。このような所見は、背景および特徴エリアの両方に置いて観察される最小の雑音を含むピクセルと一致する。対照的に、図6は、背景エリアに雑音を含むピクセルを示し、図8は特徴エリアに雑音を含むピクセルを示している。

## 【0030】

本発明による方法において、最適閾値 ( $t_*$ ) は、図3の  $t = 75$  と  $t = 205$ との間に生じる平均特徴サイズデータの中間点に等しいか、または近い閾値であると決定される。一般的に、平均特徴サイズデータの関連部分集合を得るために、最適閾値 ( $t_*$ ) は、平均特徴サイズデータの低い閾値飽和水平域を排除した後に、平均特徴サイズ ( $S(t)$ ) に基づいて重み付けされた平均特徴サイズデータに現れている加重平均閾値 ( $t$ ) と見なされる。低い閾値飽和水平域は、図3では  $t = 0$  とおよそ  $t = 50$ との間に見られる。図3および4は、画像がこのような低い閾値で「色褪め」し、特徴が1つまたは少数の連続特徴を形成するために効果的に結合され、その結果、きわめて高い平均特徴サイズを生じることを示している。 $S(t)$ が1%～100%であり、一般的に1%である平均特徴サイズデータにおいて観察される  $S$  の最大値 ( $S_{max}$ ) の所与の百分率より大きい値を排除することによって、関連部分集合を得ることができる。一般的に、 $S$  の最大値のサイズは画像のテストセグメント全体に近づくと予想されるため、百分率は、画像のテストセグメント全体のサイズに対する画像のテストセグメントで予想される特徴のサイズの比より幾分大きいように選択される。あるいは、低い閾値飽和水平域におけるデータを削除するために、 $S(t)$ の一定値が、カットオフ値として選択されてもよい。

## 【0031】

20

30

40

50

より一般的には、カットオフ閾値 ( $t_c$ ) は、計数データ ( $N(t)$ ) から決定され、平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) の関連部分集合を決定するために用いられる。平均特徴サイズデータ ( $S(t)$ ) の関連部分集合は、 $t > t_c$  の場合のすべての値または $t = t_c$  の場合のすべての値を含むことによって選択される。一般的に、カットオフ閾値 ( $t_c$ ) は、計数データ ( $N(t)$ ) の関数として決定され、この関数は、計数データ ( $N(t)$ ) の初期雑音ピークと次の水平領域との間の移行範囲になるカットオフ閾値 ( $t_c$ ) を決定する。一般的に、カットオフ閾値 ( $t_c$ ) は、関数  $t_c = 2t_p\% - t_q\%$  によって決定される。式中、 $t_p\%$  は、 $N(t)$  が計数データで観測される  $N$  の最大値 ( $N_{max}$ ) の  $P\%$  を超えない場合の  $t$  の最小値であり、 $t_q\%$  は、 $N(t)$  が計数データで観測される  $N$  の最大値 ( $N_{max}$ ) の  $Q\%$  を超えない場合の  $t$  の最小値であり、 $P\% \leq Q\%$  であり、 $P\%$  および  $Q\%$  は  $1\% \sim 100\%$  の間の数から独立に選択される。より一般的に、 $P\%$  は  $50\% \sim 95\%$  の間の数から選択され、 $Q\%$  は  $5\% \sim 95\%$  の間の数から選択される。 $P\% = 95\%$  および  $Q\% = 50\%$  であれば、最も一般的である。

10

### 【0032】

画像に対する最適閾値 ( $t_o$ ) が決定された後、( $t_o$ ) における閾値処理に対応する画像が、データとして出力されてもよく、視覚ディスプレイまたは印刷プロセスなどの任意の適切な態様で画像として出力されてもよく、元画像入力のさらなる解析用のマスクとしての出力画像の利用などさらなるデータ変換プロセスを含んでもよい。

20

### 【0033】

一般的に、本発明は、コンピュータ技術を用いて、画像に対する最適閾値 ( $t_o$ ) を選択するため、または画像を閾値処理するためのシステムを提供することによって自動化される。システムは、a) デジタル化画像を提供するための画像素子と、b) データ記憶装置と、c) 画像素子からデジタル化画像を受信し、データ記憶装置に書き込みしたりデータ記憶装置から読み出したりすることができる中央処理装置と、を具備することができる。本発明はまた、画像に対する最適閾値 ( $t_o$ ) を選択するため、または画像を閾値処理するために、コンピュータへの導入およびソフトウェアの実行によって、コンピュータに本願明細書に開示された方法を実行させるソフトウェアを記録したデータ記録媒体も含んでいる。

20

### 【0034】

本発明は、3次元に拡張してもよい。3次元の場合には、平均特徴サイズは面積ではなく体積を表すと理解されたい。さらに、本発明による方法の利用によって、より高次の画像およびデータ編集物も解析することができる。多次元データ空間における雑音の低減、決定またはパターン識別のために、本発明による方法に基づく閾値処理を用いることが可能であることは明白である。

30

### 【0035】

本発明は、光学情報の自動読み取り、特にDNAの検出または分類などの自動解析プロセスに含まれる可能性があるトレー、スライドなどにおけるサンプル点のマトリックスの自動読み取りに有用である。

40

### 【0036】

これらの具体的な実施形態は決して本発明の範囲を限定することはないことを理解されたい。閾値処理におけるステップは、必ずしも、個々に記載した順序を厳格に実行する必要はない。同様の目的を実現する任意の順序で行ってもよい。本発明の他の改変も前述の説明を照らせば、当業者には明白であろう。これらの説明は本発明を明確に開示する実施形態の具体的な実例を提供するために過ぎない。したがって、本発明は、説明された実施形態または本願明細書に含まれる特定の素子、寸法、材料または構成の使用に限定されるわけではない。添付の特許請求の範囲の精神および範囲を逸脱しない本発明の他の改変および変形も網羅される。

40

### 【図面の簡単な説明】

### 【0037】

【図1】本発明が用いることができる原型的な走査システムの概略図である。

50

【図2】図1の走査システムによって撮影することができる類の256の灰色陰影におけるシミュレーションによる雑音を含む画像である。

【図3】本発明の方法による図2の雑音を含む画像に関して得られた検出された特徴の数( $N(t)$ )対検出レベル閾値( $t$ )(左の目盛り)および平均特徴サイズ( $S(t)$ )対検出レベル閾値( $t$ )(右の目盛り)を示すグラフである。

【図4】閾値レベル35で図2の雑音を含む画像を閾値処理によって得られた二値画像である。

【図5】閾値レベル50で図2の雑音を含む画像を閾値処理によって得られた二値画像である。

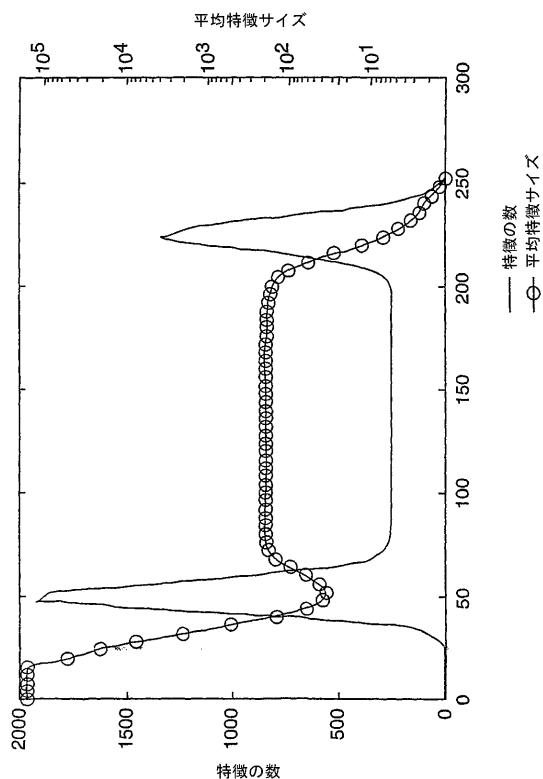
【図6】閾値レベル75で図2の雑音を含む画像を閾値処理によって得られた二値画像である。 10

【図7】閾値レベル140で図2の雑音を含む画像を閾値処理によって得られた二値画像である。本発明による閾値処理方法の生成物を示している。

【図8】閾値レベル205で図2の雑音を含む画像を閾値処理によって得られた二値画像である。

【図9】閾値レベル225で図2の雑音を含む画像を閾値処理によって得られた二値画像である。

【図3】



## 【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization  
International Bureau(43) International Publication Date  
13 February 2003 (13.02.2003)

PCT

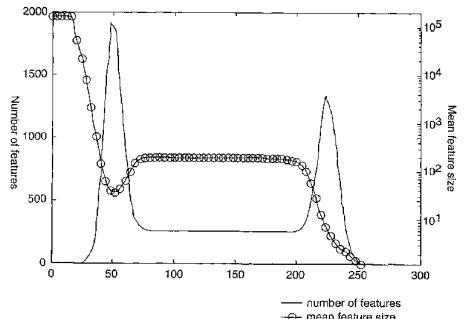
(10) International Publication Number  
WO 03/012742 A2

- (51) International Patent Classification<sup>1</sup>: G06T 5/00 (81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT (utility model), AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ (utility model), CZ, DB (utility model), DE, DK (utility model), DK, DM, DZ, EC, EB (utility model), EE, ES, FI (utility model), FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MR, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK (utility model), SK, SI, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (21) International Application Number: PCT/US02/19689 (84) Designated States (regional): ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AL, BE, CH, CY, DL, DK, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IT, LU, MC, NL, PL, SI, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- (22) International Filing Date: 21 June 2002 (21.06.2002)
- (25) Filing Language: English
- (26) Publication Language: English
- (30) Priority Data: 09/917,545 27 July 2001 (27.07.2001) US
- (71) Applicant: 3M INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY (US/US), 3M Center, Post Office Box 33427, Saint Paul, MN 55133-3427 (US).
- (72) Inventor: ATKINSON, Matthew R., Post Office Box 33427, Saint Paul, MN 55133-3427 (US).
- (74) Agents: DAHL, Phillip V., et al.; Office of Intellectual Property Counsel, Post Office Box 33427, Saint Paul, MN 55133-3427 (US).

**Declarations under Rule 4.17:**  
*— as to applicant's entitlement to apply for and be granted a patent (Rule 4.17(i)) for the following designations AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ (utility model), CZ, DB (utility model), DE, DK (utility model), DK, DM, DZ, EC, EB (utility model), EE, ES, FI (utility model), FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MR, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK (utility model), SK, SI, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.*

[Continued on next page]

(54) Title: AUTOTIRESHOLDING OF NOISY IMAGES



WO 03/012742 A2

(57) Abstract: The present invention provides to image processing methods that include a method of selecting an optimal threshold value (t0#191) for an image comprising the steps of: obtaining an image; selecting a test segment of the said image; determining the mean feature size (S) of features appearing in the test segment at each of a plurality of threshold values (t), so as to produce mean feature size data (S(t)); selecting a relevant subset of the mean feature size data (S(t)); and determining an optimal threshold value (t0#191) as a function of said subset of the mean feature size data. The present invention additionally provides methods of thresholding an image to produce a binary image by application of the optimal threshold value (t0#191) determined according to the methods of the present invention.

**WO 03/012742 A2**

CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW, ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SI, SZ, TZ, UG, ZA, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BE, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)

as to the applicant's entitlement to claim the priority of the earlier application (Rule 4.17(iii)) for all designations

**Published:**

without international search report and to be republished upon receipt of that report

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

**Autothresholding of Noisy Images**

5

**Field of the Invention**

This invention relates to automatizable methods of image processing which include a method of selecting an optimal threshold value ( $t_o$ ) for an image, where the optimal threshold value ( $t_o$ ) is selected as a function of mean feature size data ( $S(t)$ ) 10 representing the mean feature size ( $S$ ) of features detected in the image at each of a plurality of threshold values ( $t$ ). The optimal threshold value ( $t_o$ ) so determined may be used to threshold the image to produce a low-noise binary image.

**Background of the Invention**

15 In general, it is known to derive a binary (two-tone) image from a multi-tone image by a process of "thresholding." In thresholding, pixels or picture elements of the image are assigned one of two tones (e.g., black or white), based on a determination of whether the initial tone of the pixel or picture element (e.g., a shade of gray) is above or below a chosen threshold (e.g., a chosen level of brightness).

20 Co-pending applications USSN 09/422,584, filed October 21, 1999, and USSN 09/422,535, filed October 21, 1999, disclose that features of interest within an image may be identified by thresholding.

U.S. Pat. No. 5,832,111 concerns a method for thresholding a video signal to produce a binary segmented video signal.

25 U.S. Pat. No. 6,199,986 concerns an automated method for measuring the wavefront aberration of an eye.

John C. Russ, The Image Processing Handbook, 2d ed. (CRC Press 1995) at pages 394-96 and 416-18, describes feature detection in a digitized image.

WO 03/012742

PCT/US02/19689

Summary of the Invention

Briefly, the present invention provides an automatizable method of selecting an optimal threshold value ( $t_o$ ) for an image comprising the steps of: obtaining an image; selecting a test segment of the image; determining the mean feature size (S) of features appearing in the test segment at each of a plurality of threshold values (t), so as to produce mean feature size data (S(t)); selecting a relevant subset of the mean feature size data (S(t)); and determining an optimal threshold value ( $t_o$ ) as a function of the relevant subset of the mean feature size data. Typically, the optimal threshold value ( $t_o$ ) is determined to be a threshold value equal to or approximating a midpoint of the relevant subset of mean feature size data. More typically, the optimal threshold value ( $t_o$ ) is taken as the weighted average threshold value (t) appearing in the relevant subset of mean feature size data, weighted according to mean feature size (S(t)). Typically, the relevant subset is determined so as to exclude a low threshold saturation plateau in the mean feature size data. This may be accomplished by excluding values for which S(t) is greater than a given percentage of the maximum value of S observed in the mean feature size data ( $S_{max}$ ), which may be between 1% and 100% and is typically 1%. Alternately, and more typically, counting data (N(t)) is produced by counting the number of features (N) appearing in the test segment of the image at each of a plurality of threshold values (t) and the relevant subset of the mean feature size data (S(t)) is selected as a function of the counting data (N(t)). Typically, a cutoff threshold value ( $t_c$ ) is determined from the counting data (N(t)) and used to determine the relevant subset of the mean feature size data (S(t)). The relevant subset of the mean feature size data (S(t)) is selected by including all values for which  $t > t_c$  or all values for which  $t \geq t_c$ . Typically, the cutoff threshold value ( $t_c$ ) is determined as a function of the counting data (N(t)), which function provides a cutoff threshold value ( $t_c$ ) that falls in a transition range between an early noise peak of the counting data (N(t)) and a following low-slope region. Typically, the cutoff threshold value ( $t_c$ ) is determined by a function  $t_c = 2t_{p\%} - t_{Q\%}$ ; wherein  $t_{p\%}$  is the lowest value of t for which N(t) has not exceeded P% of the maximum value of N observed in the counting data ( $N_{max}$ ), wherein  $t_{Q\%}$  is the lowest value of t for which N(t) has not exceeded Q% of the maximum value of N observed in the counting data ( $N_{max}$ ), wherein P%  $\geq$  Q%, and wherein P% and Q% are

WO 03/012742

PCT/US02/19689

independently selected from numbers between 1% and 100%. More typically, P% is selected from numbers between 50% and 95% and Q% is selected from numbers between 5% and 95%.

In another aspect, the present invention provides an automatizable method of  
5 thresholding an image including any of the methods disclosed herein for choosing an optimal threshold value ( $t_o$ ) for the image.

In another aspect, the present invention provides a system for determining an optimal threshold value ( $t_o$ ) for an image, comprising: a) an image device for providing a digitized image; b) a data storage device; and c) a central processing unit for receiving  
10 the digitized image from the image device and which can write to and read from the data storage device, where the central processing unit is programmed to perform a method disclosed herein for selecting an optimal threshold value ( $t_o$ ) for the image.

In another aspect, the present invention provides a system for thresholding an image, comprising: a) an image device for providing a digitized image; b) a data storage  
15 device; and c) a central processing unit for receiving the digitized image from the image device and which can write to and read from the data storage device, where the central processing unit is programmed to perform a method disclosed herein for thresholding an image.

In another aspect, the present invention provides data storage media having recorded thereon software that upon installation in a computer and execution of the software will cause the computer to carry out a method disclosed herein for selecting an optimal threshold value ( $t_o$ ) for the image.  
20

In another aspect, the present invention provides data storage media having recorded thereon software that upon installation in a computer and execution of the software will cause the computer to carry out a method disclosed herein for thresholding an image.  
25

What has not been described in the art, and is provided by the present invention, is an automatizable method to select an optimal threshold value ( $t_o$ ) for an image which minimizes noise artifacts by choosing  $t_o$  as a function of mean feature size data ( $S(t)$ ).  
30

In this application:

WO 03/012742

PCT/US02/19689

"Binary image" means an image in two tones or values, e.g. black and white, essentially without any intermediate values, e.g. gray shades. In the case of a digital image, all intermediate values are typically excluded, whereas total exclusion of intermediate values may not be possible in a photochemical image.

5 "Feature" means a group of contiguous pixels or picture elements having similar values. Contiguous pixels or picture elements may be defined in any suitable manner. Contiguous pixels or picture elements may include only those sharing an edge (four-connected rule) or may more typically include those sharing an edge or a corner (eight-connected rule). Alternately, contiguous pixels or picture elements may be defined as  
10 those which can be connected by a straight line segment that does not pass through any third pixel or picture element. For a binary image, pixels or picture elements having similar values are pixels or picture elements having essentially the same value.  
Typically, one value is designated a background value and "features" of that value are excluded.

15 "Test segment" means, with regard to an image, a portion of the image chosen to be tested, which may include up to 100% of the image.

"Mean feature size" means the average size of a collection of features, typically expressed as area size, number of pixels or picture elements, or similar measures.

It is an advantage of the present invention to provide a method of thresholding  
20 an image which may be automated, which excludes noise, and which provides accurate feature detection.

#### Brief Description of the Drawing

Fig. 1 is a schematic illustration of a prototypical scanning system with which  
25 the present invention might be used.

Fig. 2 is a simulated noisy image in 256 shades of gray, of the sort that might be captured by the scanning system of Fig. 1.

Fig. 3 is a graph showing number of detected features ( $N(t)$ ) vs. detection level threshold ( $t$ ) (left scale) and mean feature size ( $S(t)$ ) vs. detection level threshold ( $t$ )  
30 (right scale) obtained for the noisy image of Fig. 2 according to the method of the present invention.

WO 03/012742

PCT/US02/19689

Figs. 4-9 are binary images obtained by thresholding the noisy image of Fig. 2 at the following threshold levels: 35, 50, 75, 140, 205 and 225. Fig. 7 represents the product of the thresholding method according to the present invention.

5      **Detailed Description of Preferred Embodiments**

The present invention provides image processing methods that include a method of selecting an optimal threshold value ( $t_o$ ) for an image comprising the steps of: obtaining an image; selecting a test segment of the said image; determining the mean feature size (S) of features appearing in the test segment at each of a plurality of 10 threshold values (t), so as to produce mean feature size data (S(t)); selecting a relevant subset of the mean feature size data (S(t)); and determining an optimal threshold value ( $t_o$ ) as a function of said subset of the mean feature size data.

The step of obtaining an image may be accomplished by any suitable method. The image may be collected by use of a video camera, digital camera, photochemical 15 camera, microscope, visual scanning system, probe scanning system, or other sensing apparatus which produces data points in a two-dimensional array. Typically, the target image is expected to be essentially a binary image containing distinct features, which, however, may additionally contain noise. If the image is not initially created in digital form by the image capturing or creating equipment, the image is typically digitized into 20 pixels. Typically, the methods described herein are accomplished with use of a central processing unit or computer.

Fig. 1 illustrates a scanning system with which the present invention might be used. In the system of Fig. 1, a focused beam of light moves across an object and the system detects the resultant reflected or fluorescent light. To do this, light from a light 25 source 10 is focused through source optics 12 and deflected by mirror 14 onto the object, shown here as a sample 3x4 assay plate 16. The light from the light source 10 can be directed to different locations on the sample by changing the position of the mirror 14 using motor 24. Light that fluoresces or is reflected from sample 16 returns to detection optics 18 via mirror 15, which typically is a half silvered mirror.

30    Alternatively, the light source can be applied centrally, and the emitted or fluoresced light can be detected from the side of the system, as shown in US 5,900,949, or the light

WO 03/012742

PCT/US02/19689

source can be applied from the side of the system and the emitted or fluoresced light can be detected centrally, or any other similar variation. Light passing through detection optics 18 is detected using any suitable image capture system 20, such as a television camera, CCD, laser reflective system, photomultiplier tube, avalanche 5 photodiode, photodiodes or single photon counting modules, the output from which is provided to a computer 22 programmed for analysis and to control the overall system. Computer 22 typically will include a central processing unit for executing programs and systems such as RAM, hard drives or the like for data storage. It will be understood that this description is for exemplary purposes only; the present invention can be used 10 equally well with "simulated" images generated from magnetic or tactile sensors, not just with light-based images, and with any object to be examined, not just sample 16.

In the step of selecting a test segment of the image, typically a test segment will be sought which is representative of the entire image. A test segment may be selected for each new image separately or a fixed test segment area may be used for each of a 15 number of images. In an automated system, the test segment is typically predetermined and the same segment area is used for all images processed. The test segment may contain up to 100% of the image. For ease of computation, the test segment may contain less than all of the image. If the test image is expected to contain particular features, the test segment typically contains at least one expected feature and more 20 typically four or more.

To produce mean feature size data ( $S(t)$ ), the mean feature size ( $S$ ) of features appearing in the test segment is determined at each of a plurality of threshold values ( $t$ ). As noted above, "features" may be defined in a number of ways. Typically the eight-connected rule is used. The same definition is typically used throughout the process. 25 Features touching the border of the test segment may be included or excluded. Features touching the border of the test segment that are included may be included in their entire size or only in the portion falling within the test segment. The same rule regarding features touching the border is typically used throughout the process. Typically, features touching the border of the test segment are included in the test segment but 30 only in the portion falling within the test segment. Mean feature size data ( $S(t)$ ) may be calculated for all of the available values of  $t$ ; which may be 256 values in a digital

WO 03/012742

PCT/US02/19689

image. If fewer values are used, calculation time may be improved at the expense of precision in determining the best optimal threshold value ( $t_o$ ). Typically, mean feature size data ( $S(t)$ ) is calculated for every forth value of  $t$  in a digital image having 256 possible values.

- 5 Fig. 3 includes a graph of mean feature size ( $S(t)$ ) vs. detection level threshold ( $t$ ) (right scale) obtained for the simulated noisy image of Fig. 2. Data for selected threshold levels appears in Table I.

Table I

Fig.	Threshold level	Mean feature size (pixels)	Number of features
4	35	697.5	176
5	50	35.1	1987
6	75	187.3	270
7	140	192.9	256
8	205	131.2	284
9	225	6.4	1341

- 10 Note that, for purposes of the present discussion and the present figures, features are represented as white images on a black background and lighter shades are represented by higher values of  $t$ . However, the opposite conventions may be employed by adjusting the terms as required, e.g., reversing "greater than" and "less than."

15 Fig. 3 and Table I also include a graph of counting data, plotted as number of detected features ( $N(t)$ ) vs. detection level threshold ( $t$ ) (left scale of Fig. 3), obtained by counting the number of features ( $N$ ) appearing in the image at each of a plurality of threshold values ( $t$ ). For the calculations reflected in Fig. 3, the test segment was the entire image, a "feature" was defined using the eight-connected rule, and calculations were made for every fourth value of  $t$ .

20 Figs. 4-9 are binary images obtained by thresholding the noisy image of Fig. 2 at the following threshold levels: 35, 50, 75, 140, 205 and 225, as indicated in Table I.

Fig. 7 was obtained by thresholding the noisy image at an optimal threshold value ( $t_o$ ) determined according to the present invention, and represents a binary image product of the thresholding method according to the present invention.

25 Inspection of Figures 4-9 indicates that Fig. 7 represents the best defined and most noise-free binary image. Inspection of Table I indicates that the threshold

WO 03/012742

PCT/US02/19689

associated with Fig. 7 appears at a shallow local minimum of  $N(t)$  (number of features) and at a shallow local maximum of  $S(t)$  (size of features). These observations are consistent with the minimal noise pixels observed in both the background and the feature areas. In contrast, Fig. 6 demonstrates noise pixels in the background areas and

5 Fig. 8 demonstrates noise pixels in the feature areas.

In the method according to the present invention, the optimal threshold value ( $t_c$ ) is determined to be a threshold value equal to or approximating a midpoint of the plateau region of the mean feature size data, which occurs in Fig. 3 between  $t=75$  and  $t=205$ . Typically, the optimal threshold value ( $t_c$ ) is taken as the weighted average  
10 threshold value ( $t$ ) appearing in the mean feature size data, weighted according to mean feature size ( $S(t)$ ), after excluding the low threshold saturation plateau in the mean feature size data to obtain a relevant subset of the mean feature size data. The low threshold saturation plateau can be observed between  $t=0$  and about  $t=50$  in Fig. 3. Figs. 3 and 4 demonstrate that the image is "washed out" at these low threshold values  
15 and the features are effectively joined to form one or few contiguous features, resulting in a very high mean feature size. The relevant subset may be obtained by excluding mean feature size data values ( $S(t)$ ) for which  $S(t)$  is greater than a given percentage of the maximum value of  $S$  observed in the mean feature size data ( $S_{max}$ ), which may be between 1% and 100% and is typically 1%. Typically, a percentage is selected that is  
20 somewhat greater than the ratio of the size of features expected in the test segment of the image to the size of the entire test segment of the image, since the size of the maximum value of  $S$  is expected to approach the size of the entire test segment of the image. Alternately, a fixed value of  $S(t)$  may be selected as a cutoff value to eliminate data in the low threshold saturation plateau.

25 More typically, a cutoff threshold value ( $t_c$ ) is determined from the counting data ( $N(t)$ ) and used to determine the relevant subset of the mean feature size data ( $S(t)$ ). The relevant subset of the mean feature size data ( $S(t)$ ) is selected by including all values for which  $t > t_c$  or all values for which  $t \geq t_c$ . Typically, the cutoff threshold value ( $t_c$ ) is determined as a function of the counting data ( $N(t)$ ), which function  
30 determines a cutoff threshold value ( $t_c$ ) that falls in a transition range between the early noise peak and the plateau region. Typically, the cutoff threshold value ( $t_c$ ) is

WO 03/012742

PCT/US02/19689

determined by a function  $t_c = 2t_{P\%} - t_{Q\%}$ ; wherein  $t_{P\%}$  is the lowest value of  $t$  for which  $N(t)$  has not exceeded  $P\%$  of the maximum value of  $N$  observed in the counting data ( $N_{max}$ ), wherein  $t_{Q\%}$  is the lowest value of  $t$  for which  $N(t)$  has not exceeded  $Q\%$  of the maximum value of  $N$  observed in the counting data ( $N_{max}$ ), wherein  $P\% \geq Q\%$ , and  
5 wherein  $P\%$  and  $Q\%$  are independently selected from numbers between 1% and 100%. More typically,  $P\%$  is selected from numbers between 50% and 95% and  $Q\%$  is selected from numbers between 5% and 95%. Most typically,  $P\% = 95\%$  and  $Q\% = 50\%$ .

After an optimal threshold value ( $t_o$ ) for the image is determined, the image  
10 corresponding to thresholding at ( $t_o$ ) may be output as data or as an image in any suitable manner, including visible displays or printing processes and also including further data transforming processes, such as use of the output image as a mask for further analysis of the original image input.

Typically, the present method is automated by use of computer technology to  
15 provide a system for choosing an optimal threshold value ( $t_o$ ) for the image or for thresholding an image. The system may comprise: a) an image device for providing a digitized image; b) a data storage device; and c) a central processing unit for receiving the digitized image from the image device and which can write to and read from the data storage device. The present invention also encompasses data storage media having  
20 recorded thereon software that upon installation in a computer and execution of the software will cause the computer to carry out a method disclosed herein for choosing an optimal threshold value ( $t_o$ ) for the image or for thresholding an image.

The present method may be extended to three dimensions. In the three-dimensional case, it will be understood that mean feature size refers to volume rather  
25 than area. Furthermore, higher dimensional images and data compilations might also be analyzed by use of the methods according to the present invention. As will be apparent, thresholding according to the method of the present invention might be used for noise elimination, decision making or pattern identification in multi-dimensional data space.

30 This invention is useful in the automated reading of optical information, particularly in the automated reading of a matrix of sample points on a tray, slide, or

WO 03/012742

PCT/US02/19689

suchlike, which may be comprised in automated analytical processes like DNA detection or typing.

It will be understood that these exemplary embodiments in no way limit the scope of the invention. Steps in the thresholding process do not necessarily need to be 5 performed strictly in the order described here; any order that accomplishes the same goals would work. Other modifications of the invention will be apparent to those skilled in the art in view of the foregoing description. These descriptions are intended to merely to provide specific examples of embodiments which clearly disclose the present invention. Accordingly, the invention is not limited to the described 10 embodiments or to the use of specific elements, dimensions, materials or configurations contained therein. All alternative modifications and variations of the present invention which fall within the spirit and scope of the appended claims are covered.

WO 03/012742

PCT/US02/19689

We claim:

1. A method of determining an optimal threshold value ( $t_0$ ) for an image, said method comprising the steps of:

- a) obtaining an image;
- 5 b) selecting a test segment of said image;
- c) determining the mean feature size (S) of features appearing in said test segment of said image at each of a plurality of threshold values (t), so as to produce mean feature size data (S(t));
- d) selecting a subset of the mean feature size data gathered in step c); and
- 10 e) determining an optimal threshold value ( $t_0$ ) as a function of said subset of mean feature size data.

2. The method according to claim 1, wherein, in step e), said function of said subset of mean feature size data results in an optimal threshold value ( $t_0$ ) equal to or 15 approximating a midpoint of said subset of mean feature size data.

3. The method according to claim 1, wherein, in step e), said optimal threshold value ( $t_0$ ) is taken as the weighted average threshold value (t) appearing in said subset of mean feature size data, weighted according to mean feature size (S(t)).

20 4. The method according to claim 1, wherein, in step d), said subset of the mean feature size data contains less than all of the mean feature size data.

25 5. The method according to claim 1, wherein, in step d), said subset of the mean feature size data contains all of the mean feature size data except values for which S(t) is greater than 1% of the maximum value of S observed in the mean feature size data ( $S_{\max}$ ).

WO 03/012742

PCT/US02/19689

6. The method according to claim 1, additionally comprising the steps of:  
f) counting the number of features (N) appearing in said test segment of  
said image at each of a plurality of threshold values (t), so as to produce counting data  
(N(t));  
5 g) selecting a subset of the mean feature size data (S(t)) as a function of  
said counting data (N(t)).

7. The method according to claim 1, additionally comprising the steps of:  
f) counting the number of features (N) appearing in said test segment of  
10 said image at each of a plurality of threshold values (t), so as to produce counting data  
(N(t));  
h) determining a cutoff threshold value ( $t_c$ ) as a function of said counting  
data (N(t)); and  
15 i) selecting a subset of the mean feature size data (S(t)) as a function of the  
cutoff threshold value ( $t_c$ ).

8. The method according to claim 7, wherein said subset of the mean feature size  
data (S(t)) is selected by including all values for which  $t \geq t_c$ .

20 9. The method according to claim 7, wherein said subset of the mean feature size  
data (S(t)) is selected by including all values for which  $t > t_c$ .

10. The method according to claim 7 wherein said cutoff threshold value ( $t_c$ ) is  
determined as a function of said counting data (N(t)), wherein said function chooses a  
25 cutoff threshold value ( $t_c$ ) that falls in a transition range between an early noise peak of  
said counting data (N(t)) and a following low-slope region.

11. The method according to claim 7 wherein said cutoff threshold value ( $t_c$ ) is  
determined by a function  $t_c = t_{p\%}$  wherein  $t_{p\%}$  is the highest value of t for which N(t) has  
30 not exceeded P% of the maximum value of N observed in the counting data (N<sub>max</sub>),  
wherein P% is selected from numbers between 1% and 100%.

12. The method according to claim 11 wherein P% is selected from numbers between 50% and 95%.

5 13. The method according to claim 7 wherein said cutoff threshold value ( $t_c$ ) is determined by a function  $t_c = 2t_{P\%} - t_{Q\%}$ ; wherein  $t_{P\%}$  is the lowest value of  $t$  for which  $N(t)$  has not exceeded P% of the maximum value of N observed in the counting data ( $N_{max}$ ), wherein  $t_{Q\%}$  is the lowest value of  $t$  for which  $N(t)$  has not exceeded Q% of the maximum value of N observed in the counting data ( $N_{max}$ ), wherein  $P\% \geq Q\%$ , wherein  
10 P% and Q% are independently selected from numbers between 1% and 100%.

14. The method according to claim 11 wherein P% is selected from numbers between 50% and 95% and wherein Q% is selected from numbers between 5% and 95%.

15. The method according to claim 11 wherein  $P\% = 95\%$  and  $Q\% = 50\%$ .

16. The method according to claim 13, wherein said subset of the mean feature size data ( $S(t)$ ) is selected by including all values for which  $t \geq t_c$ .

20 17. The method according to claim 13, wherein said subset of the mean feature size data ( $S(t)$ ) is selected by including all values for which  $t > t_c$ .

18. The method according to claim 7, wherein, in step e), said function of said  
25 subset of mean feature size data yields a result equal to or approximating a midpoint of said subset of mean feature size data.

19. The method according to claim 7, wherein, in step e), said optimal threshold value ( $t_o$ ) is taken as the weighted average threshold value ( $t$ ) appearing in said subset  
30 of mean feature size data, weighted according to mean feature size ( $S(t)$ ).

WO 03/012742

PCT/US02/19689

20. The method according to claim 9, wherein, in step e), said function of said subset of mean feature size data yields a result equal to or approximating a midpoint of said subset of mean feature size data.

5 21. The method according to claim 9, wherein, in step e), said optimal threshold value ( $t_0$ ) is taken as the weighted average threshold value (t) appearing in said subset of mean feature size data, weighted according to mean feature size (S(t)).

10 22. The method according to claim 13, wherein, in step e), said function of said subset of mean feature size data yields a result equal to or approximating a midpoint of said subset of mean feature size data.

15 23. The method according to claim 13, wherein, in step e), said optimal threshold value ( $t_0$ ) is taken as the weighted average threshold value (t) appearing in said subset of mean feature size data, weighted according to mean feature size (S(t)).

24. The method according to claim 17, wherein, in step e), said function of said subset of mean feature size data yields a result equal to or approximating a midpoint of said subset of mean feature size data.

20 25. The method according to claim 17, wherein, in step e), said optimal threshold value ( $t_0$ ) is taken as the weighted average threshold value (t) appearing in said subset of mean feature size data, weighted according to mean feature size (S(t)).

25 26. A method of thresholding an image comprising the method of claim 1, additionally comprising the step of:  
j) obtaining a binary image by thresholding said image by use of said optimal threshold value ( $t_0$ ).

30 27. A method of thresholding an image comprising the method of claim 7, additionally comprising the step of:

WO 03/012742

PCT/US02/19689

j) obtaining a binary image by thresholding said image by use of said optimal threshold value ( $t_o$ ).

28. A method of thresholding an image comprising the method of claim 9,  
5 additionally comprising the step of:  
j) obtaining a binary image by thresholding said image by use of said optimal threshold value ( $t_o$ ).

29. A method of thresholding an image comprising the method of claim 13,  
10 additionally comprising the step of:  
j) obtaining a binary image by thresholding said image by use of said optimal threshold value ( $t_o$ ).

30. A method of thresholding an image comprising the method of claim 17,  
15 additionally comprising the step of:  
j) obtaining a binary image by thresholding said image by use of said optimal threshold value ( $t_o$ ).

31. A method of thresholding an image comprising the method of claim 21,  
20 additionally comprising the step of:  
j) obtaining a binary image by thresholding said image by use of said optimal threshold value ( $t_o$ ).

32. A method of thresholding an image comprising the method of claim 25,  
25 additionally comprising the step of:  
j) obtaining a binary image by thresholding said image by use of said optimal threshold value ( $t_o$ ).

33. A system for determining an optimal threshold value ( $t_o$ ) for an image  
30 comprising:  
i) an image device for providing a digitized image;

WO 03/012742

PCT/US02/19689

ii) a data storage device; and  
iii) a central processing unit for receiving the digitized image from the image device and which can write to and read from the data storage device, the central processing unit being programmed to:

- 5        a) obtain an image;  
            b) select a test segment of said image;  
            c) determine the mean feature size ( $S$ ) of features appearing in said test segment of said image at each of a plurality of threshold values ( $t$ ), so as to produce mean feature size data ( $S(t)$ );  
10        d) select a subset of the mean feature size data gathered in step c);  
and  
            e) determine an optimal threshold value ( $t_0$ ) as a function of said subset of mean feature size data.

15 34. The system according to claim 33, wherein, in step e), said function of said subset of mean feature size data yields a result equal to or approximating a midpoint of said subset of mean feature size data.

20 35. The system according to claim 33, wherein, in step e), said optimal threshold value ( $t_0$ ) is taken as the weighted average threshold value ( $t$ ) appearing in said subset of mean feature size data, weighted according to mean feature size ( $S(t)$ ).

36. The system according to claim 33, wherein, in step d), said subset of the mean feature size data contains less than all of the mean feature size data.

25 37. The system according to claim 33, wherein, in step d), said subset of the mean feature size data contains all of the mean feature size data except values for which  $S(t)$  is greater than 1% of the maximum value of  $S$  observed in the mean feature size data ( $S_{max}$ ).  
30

WO 03/012742

PCT/US02/19689

38. The system according to claim 33, wherein said central processing unit is additionally programmed to:

f) count the number of features (N) appearing in said test segment of said image at each of a plurality of threshold values (t), so as to produce counting data (N(t));

5 g) select a subset of the mean feature size data (S(t)) as a function of said counting data (N(t)).

39. The system according to claim 33, wherein said central processing unit is additionally programmed to:

f) count the number of features (N) appearing in said test segment of said image at each of a plurality of threshold values (t), so as to produce counting data (N(t));

10 h) determine a cutoff threshold value ( $t_c$ ) as a function of said counting data (N(t)); and

i) select a subset of the mean feature size data (S(t)) as a function of the cutoff threshold value ( $t_c$ ).

40. The system according to claim 39, wherein said subset of the mean feature size data (S(t)) is selected by including all values for which  $t \geq t_c$ .

41. The system according to claim 39, wherein said subset of the mean feature size data (S(t)) is selected by including all values for which  $t > t_c$ .

25 42. The system according to claim 39 wherein said cutoff threshold value ( $t_c$ ) is determined as a function of said counting data (N(t)), wherein said function chooses a cutoff threshold value ( $t_c$ ) that falls in a transition range between an early noise peak of said counting data (N(t)) and a following low-slope region.

30 43. The system according to claim 39 wherein said cutoff threshold value ( $t_c$ ) is determined by a function  $t_c = t_{p\%}$  wherein  $t_{p\%}$  is the highest value of t for which N(t) has

WO 03/012742

PCT/US02/19689

not exceeded P% of the maximum value of N observed in the counting data ( $N_{max}$ ), wherein P% is selected from numbers between 1% and 100%.

44. The system according to claim 43 wherein P% is selected from numbers  
5 between 50% and 95%.

45. The system according to claim 39 wherein said cutoff threshold value ( $t_c$ ) is determined by a function  $t_c = 2t_{P\%} - t_{Q\%}$ ; wherein  $t_{P\%}$  is the lowest value of t for which N(t) has not exceeded P% of the maximum value of N observed in the counting data 10 ( $N_{max}$ ), wherein  $t_{Q\%}$  is the lowest value of t for which N(t) has not exceeded Q% of the maximum value of N observed in the counting data ( $N_{max}$ ), wherein  $P\% \geq Q\%$ , wherein P% and Q% are independently selected from numbers between 1% and 100%.

46. The system according to claim 43 wherein P% is selected from numbers  
15 between 50% and 95% and wherein Q% is selected from numbers between 5% and 95%.

47. The system according to claim 43 wherein P% = 95% and Q% = 50%.

20 48. The system according to claim 45, wherein said subset of the mean feature size data (S(t)) is selected by including all values for which  $t \geq t_c$ .

49. The system according to claim 45, wherein said subset of the mean feature size data (S(t)) is selected by including all values for which  $t > t_c$ .

25 50. The system according to claim 39, wherein, in step e), said function of said subset of mean feature size data yields a result equal to or approximating a midpoint of said subset of mean feature size data.

WO 03/012742

PCT/US02/19689

51. The system according to claim 39, wherein, in step e), said optimal threshold value ( $t_o$ ) is taken as the weighted average threshold value (t) appearing in said subset of mean feature size data, weighted according to mean feature size (S(t)).

5 52. The system according to claim 41, wherein, in step e), said function of said subset of mean feature size data yields a result equal to or approximating a midpoint of said subset of mean feature size data.

10 53. The system according to claim 41, wherein, in step e), said optimal threshold value ( $t_o$ ) is taken as the weighted average threshold value (t) appearing in said subset of mean feature size data, weighted according to mean feature size (S(t)).

15 54. The system according to claim 45, wherein, in step e), said function of said subset of mean feature size data yields a result equal to or approximating a midpoint of said subset of mean feature size data.

20 55. The system according to claim 45, wherein, in step e), said optimal threshold value ( $t_o$ ) is taken as the weighted average threshold value (t) appearing in said subset of mean feature size data, weighted according to mean feature size (S(t)).

56. The system according to claim 49, wherein, in step e), said function of said subset of mean feature size data yields a result equal to or approximating a midpoint of said subset of mean feature size data.

25 57. The system according to claim 49, wherein, in step e), said optimal threshold value ( $t_o$ ) is taken as the weighted average threshold value (t) appearing in said subset of mean feature size data, weighted according to mean feature size (S(t)).

58. A system of thresholding an image comprising the method of claim 33, wherein  
30 said central processing unit is additionally programmed to:

WO 03/012742

PCT/US02/19689

j) obtain a binary image by thresholding said image by use of said optimal threshold value ( $t_o$ ).

59. A system of thresholding an image comprising the method of claim 39, wherein  
5 said central processing unit is additionally programmed to:

j) obtain a binary image by thresholding said image by use of said optimal threshold value ( $t_o$ ).

60. A system of thresholding an image comprising the method of claim 41, wherein  
10 said central processing unit is additionally programmed to:  
j) obtain a binary image by thresholding said image by use of said optimal threshold value ( $t_o$ ).

61. A system of thresholding an image comprising the method of claim 45, wherein  
15 said central processing unit is additionally programmed to:  
j) obtain a binary image by thresholding said image by use of said optimal threshold value ( $t_o$ ).

62. A system of thresholding an image comprising the method of claim 49, wherein  
20 said central processing unit is additionally programmed to:  
j) obtain a binary image by thresholding said image by use of said optimal threshold value ( $t_o$ ).

63. A system of thresholding an image comprising the method of claim 53, wherein  
25 said central processing unit is additionally programmed to:  
j) obtain a binary image by thresholding said image by use of said optimal threshold value ( $t_o$ ).

64. A method of thresholding an image comprising the method of claim 57, wherein  
30 said central processing unit is additionally programmed to:

WO 03/012742

PCT/US02/19689

j) obtain a binary image by thresholding said image by use of said optimal threshold value ( $t_o$ ).

65. Data storage media having recorded thereon software that upon installation in a computer and execution of the software will cause the computer to carry out a method of determining an optimal threshold value ( $t_o$ ) for an image, said method comprising the steps of:

- a) obtaining an image;
- b) selecting a test segment of said image;
- c) determining the mean feature size ( $S$ ) of features appearing in said test segment of said image at each of a plurality of threshold values ( $t$ ), so as to produce mean feature size data ( $S(t)$ );
- d) selecting a subset of the mean feature size data gathered in step c); and
- e) determining an optimal threshold value ( $t_o$ ) as a function of said subset of mean feature size data.

66. The data storage media of claim 65, wherein, in step e), said function of said subset of mean feature size data results in an optimal threshold value ( $t_o$ ) equal to or approximating a midpoint of said subset of mean feature size data.

67. The data storage media of claim 65, wherein, in step e), said optimal threshold value ( $t_o$ ) is taken as the weighted average threshold value ( $t$ ) appearing in said subset of mean feature size data, weighted according to mean feature size ( $S(t)$ ).

68. The data storage media of claim 65, wherein, in step d), said subset of the mean feature size data contains less than all of the mean feature size data.

69. The data storage media of claim 65, wherein, in step d), said subset of the mean feature size data contains all of the mean feature size data except values for which  $S(t)$  is greater than 1% of the maximum value of  $S$  observed in the mean feature size data ( $S_{max}$ ).

WO 03/012742

PCT/US02/19689

70. The data storage media of claim 65, wherein said method additionally comprises the steps of:

- f) counting the number of features (N) appearing in said test segment of said image at each of a plurality of threshold values (t), so as to produce counting data (N(t));
- g) selecting a subset of the mean feature size data (S(t)) as a function of said counting data (N(t)).

10 71. The data storage media of claim 65, wherein said method additionally comprises the steps of:

- f) counting the number of features (N) appearing in said test segment of said image at each of a plurality of threshold values (t), so as to produce counting data (N(t));
- 15 h) determining a cutoff threshold value ( $t_c$ ) as a function of said counting data (N(t)); and
- i) selecting a subset of the mean feature size data (S(t)) as a function of the cutoff threshold value ( $t_c$ ).

20 72. The data storage media of claim 71, wherein said subset of the mean feature size data (S(t)) is selected by including all values for which  $t \geq t_c$ .

73. The data storage media of claim 71, wherein said subset of the mean feature size data (S(t)) is selected by including all values for which  $t > t_c$ .

25 74. The data storage media of claim 71 wherein said cutoff threshold value ( $t_c$ ) is determined as a function of said counting data (N(t)), wherein said function chooses a cutoff threshold value ( $t_c$ ) that falls in a transition range between an early noise peak of said counting data (N(t)) and a following low-slope region.

30

WO 03/012742

PCT/US02/19689

75. The data storage media of claim 71 wherein said cutoff threshold value ( $t_c$ ) is determined by a function  $t_c = t_{P\%}$  wherein  $t_{P\%}$  is the highest value of  $t$  for which  $N(t)$  has not exceeded P% of the maximum value of N observed in the counting data ( $N_{max}$ ), wherein P% is selected from numbers between 1% and 100%.

5

76. The data storage media of claim 75 wherein P% is selected from numbers between 50% and 95%.

77. The data storage media of claim 71 wherein said cutoff threshold value ( $t_c$ ) is determined by a function  $t_c = 2t_{P\%} - t_{Q\%}$ ; wherein  $t_{P\%}$  is the lowest value of  $t$  for which  $N(t)$  has not exceeded P% of the maximum value of N observed in the counting data ( $N_{max}$ ), wherein  $t_{Q\%}$  is the lowest value of  $t$  for which  $N(t)$  has not exceeded Q% of the maximum value of N observed in the counting data ( $N_{max}$ ), wherein  $P\% \geq Q\%$ , wherein P% and Q% are independently selected from numbers between 1% and 100%.

15

78. The data storage media of claim 75 wherein P% is selected from numbers between 50% and 95% and wherein Q% is selected from numbers between 5% and 95%.

20

79. The data storage media of claim 75 wherein P% = 95% and Q% = 50%.

80. The data storage media of claim 77, wherein said subset of the mean feature size data ( $S(t)$ ) is selected by including all values for which  $t \geq t_c$ .

25

81. The data storage media of claim 77, wherein said subset of the mean feature size data ( $S(t)$ ) is selected by including all values for which  $t > t_c$ .

30

82. The data storage media of claim 71, wherein, in step e), said function of said subset of mean feature size data yields a result equal to or approximating a midpoint of said subset of mean feature size data.

WO 03/012742

PCT/US02/19689

83. The data storage media of claim 71, wherein, in step e), said optimal threshold value ( $t_o$ ) is taken as the weighted average threshold value (t) appearing in said subset of mean feature size data, weighted according to mean feature size ( $S(t)$ ).

5 84. The data storage media of claim 73, wherein, in step e), said function of said subset of mean feature size data yields a result equal to or approximating a midpoint of said subset of mean feature size data.

10 85. The data storage media of claim 73, wherein, in step e), said optimal threshold value ( $t_o$ ) is taken as the weighted average threshold value (t) appearing in said subset of mean feature size data, weighted according to mean feature size ( $S(t)$ ).

15 86. The data storage media of claim 77, wherein, in step e), said function of said subset of mean feature size data yields a result equal to or approximating a midpoint of said subset of mean feature size data.

87. The data storage media of claim 77, wherein, in step e), said optimal threshold value ( $t_o$ ) is taken as the weighted average threshold value (t) appearing in said subset of mean feature size data, weighted according to mean feature size ( $S(t)$ ).

20 88. The data storage media of claim 81, wherein, in step e), said function of said subset of mean feature size data yields a result equal to or approximating a midpoint of said subset of mean feature size data.

25 89. The data storage media of claim 81, wherein, in step e), said optimal threshold value ( $t_o$ ) is taken as the weighted average threshold value (t) appearing in said subset of mean feature size data, weighted according to mean feature size ( $S(t)$ ).

90. The data storage media of claim 65, wherein said method additionally comprises  
30 the step of:

WO 03/012742

PCT/US02/19689

j) obtaining a binary image by thresholding said image by use of said optimal threshold value ( $t_o$ ).

91. The data storage media of claim 71, wherein said method additionally comprises  
5 the step of:

j) obtaining a binary image by thresholding said image by use of said optimal threshold value ( $t_o$ ).

92. The data storage media of claim 73, wherein said method additionally comprises  
10 the step of:

j) obtaining a binary image by thresholding said image by use of said optimal threshold value ( $t_o$ ).

93. The data storage media of claim 77, wherein said method additionally comprises  
15 the step of:

j) obtaining a binary image by thresholding said image by use of said optimal threshold value ( $t_o$ ).

94. The data storage media of claim 81, wherein said method additionally comprises  
20 the step of:

j) obtaining a binary image by thresholding said image by use of said optimal threshold value ( $t_o$ ).

95. The data storage media of claim 85, wherein said method additionally comprises  
25 the step of:

j) obtaining a binary image by thresholding said image by use of said optimal threshold value ( $t_o$ ).

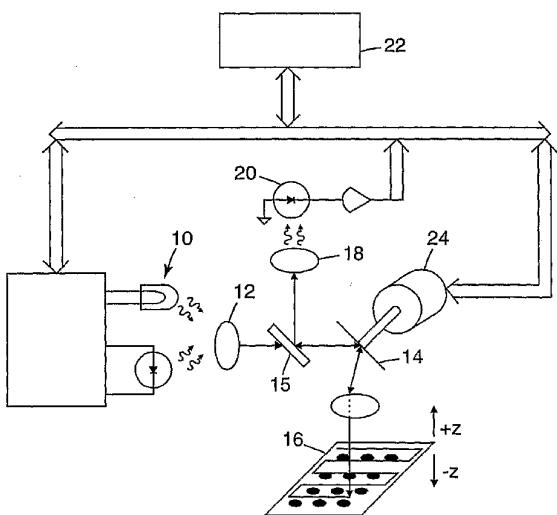
96. The data storage media of claim 89, wherein said method additionally comprises  
30 the step of:

WO 03/012742

PCT/US02/19689

- j) obtaining a binary image by thresholding said image by use of said optimal threshold value ( $t_0$ ).

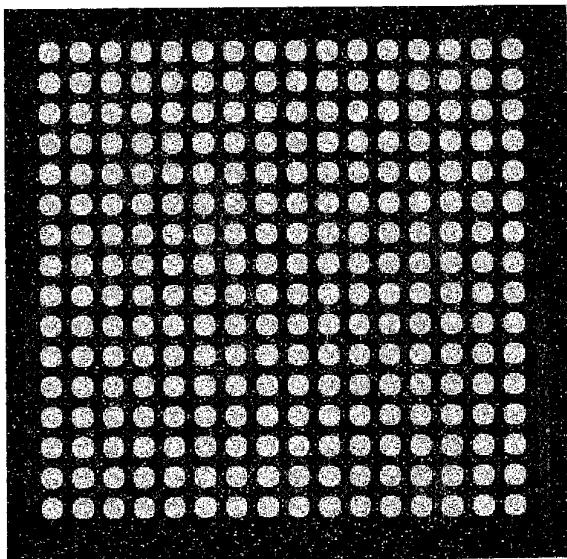
1/9

**FIG. 1**

WO 03/012742

PCT/US02/19689

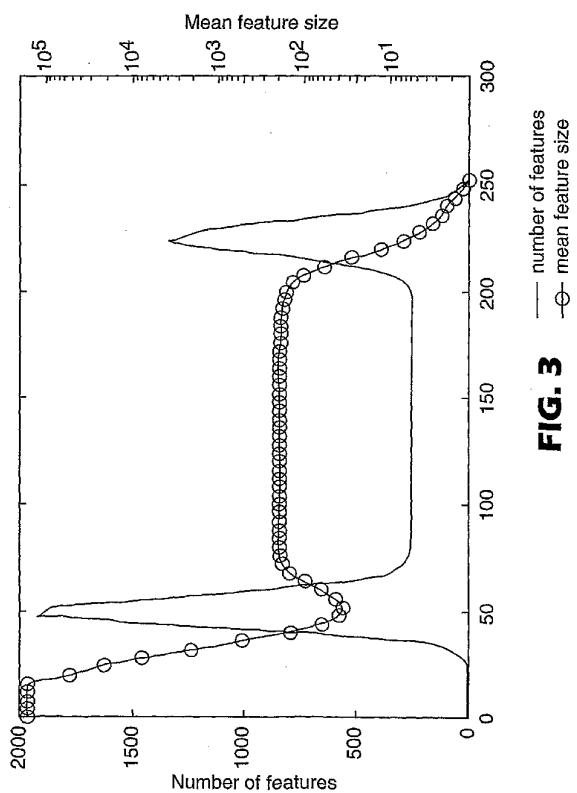
2/9

**FIG. 2**

WO 03/012742

PCT/US02/19689

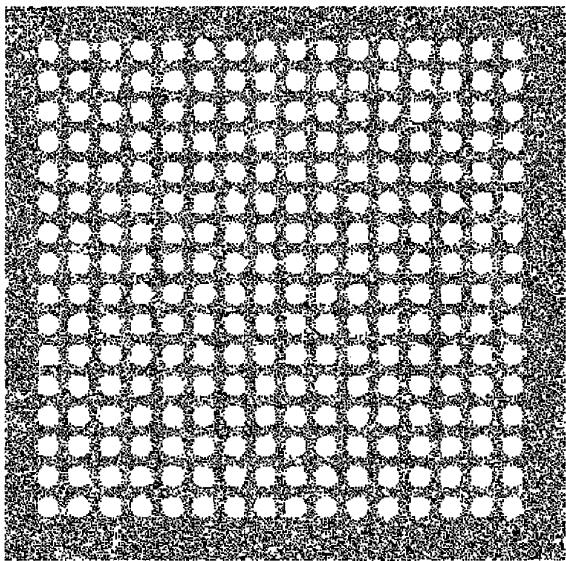
3/9



WO 03/012742

PCT/US02/19689

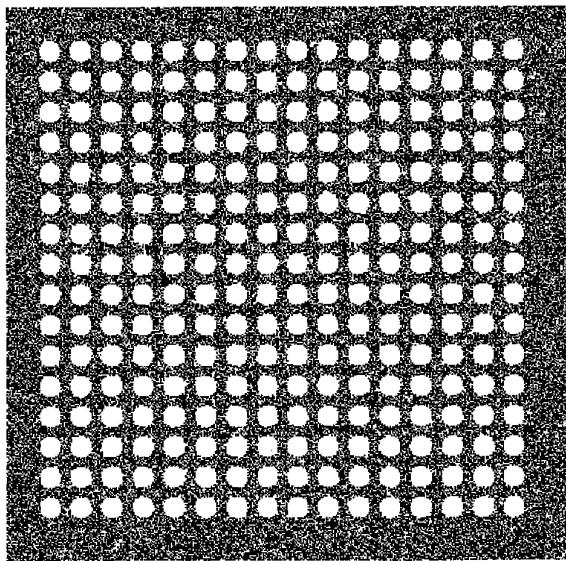
4/9

**FIG. 4**

WO 03/012742

PCT/US02/19689

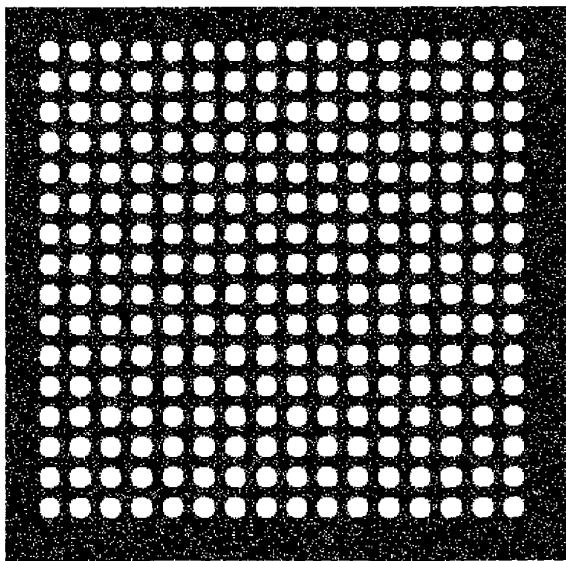
5/9

**FIG. 5**

WO 03/012742

PCT/US02/19689

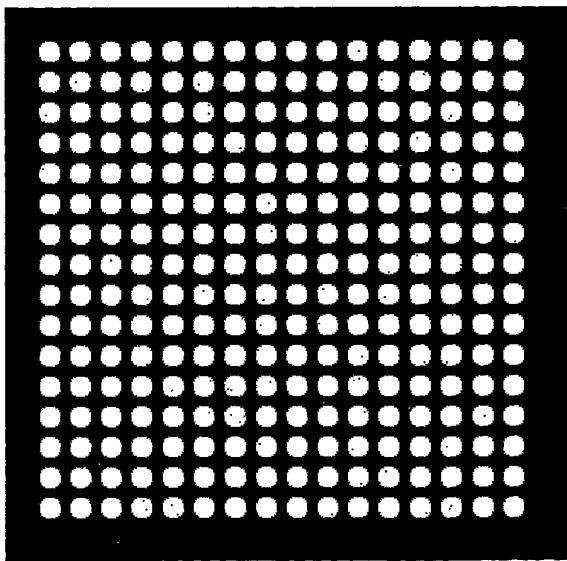
6/9

**FIG. 6**

WO 03/012742

PCT/US02/19689

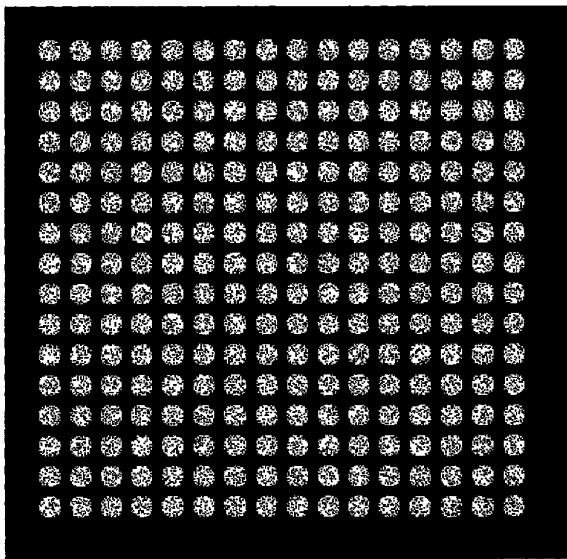
7/9

**FIG. 7**

WO 03/012742

PCT/US02/19689

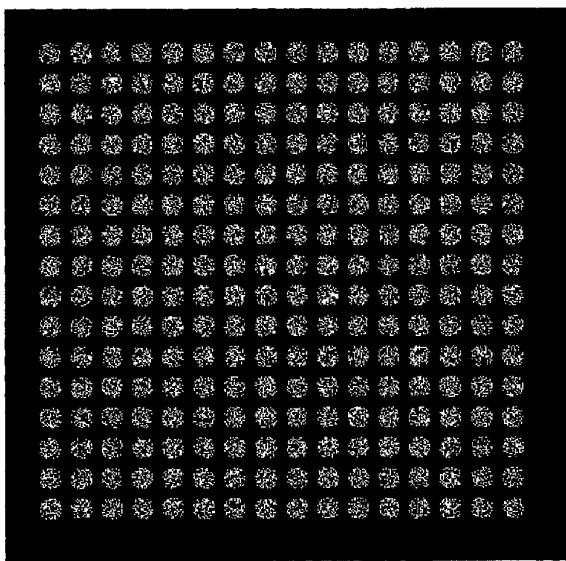
8/9

**FIG. 8**

WO 03/012742

PCT/US02/19689

9/9

**FIG. 9**

## 【国際公開パンフレット（コレクトバージョン）】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization International Bureau

(43) International Publication Date  
13 February 2003 (13.02.2003)

PCT

(10) International Publication Number  
WO 2003/012742 A3(51) International Patent Classification<sup>7</sup>: G06T 5/00, 7/60(21) International Application Number:  
PCT/US2002/019689

(22) International Filing Date: 21 June 2002 (21.06.2002)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:  
09/917,545 27 July 2001 (27.07.2001) US

(71) Applicant: 3M INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY [US/US]; 3M Center, Post Office Box 33427, Saint Paul, MN 55133-3427 (US).

(72) Inventor: ATKINSON, Matthew R., Post Office Box 33427, Saint Paul, MN 55133-3427 (US).

(74) Agents: DAHL, Phillip Y., et al.; Office of Intellectual Property Counsel, Post Office Box 33427, Saint Paul, MN 55133-3427 (US).

(81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT (utility model), AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ (utility model), CZ, DE (utility model), DE, DK (utility model), DK, DN, DZ, EC, EE (utility model), EE, ES, FI (utility model), FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK (utility model), SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

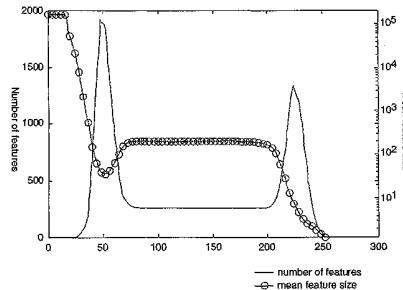
(84) Designated States (regional): ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), European patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BI, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Declarations under Rule 4.17:

— as to applicant's entitlement to apply for and be granted a patent (Rule 4.17(g)) for the following designations AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

{Continued on next page}

(54) Title: AUTOTHRESHOLDING OF NOISY IMAGES



WO 2003/012742 A3

(57) Abstract: The present invention provides to image processing methods that include a method of selecting an optimal threshold value (#0191) for an image comprising the steps of: obtaining an image; selecting a test segment of the said image; determining the mean feature size (S) of features appearing in the test segment at each of a plurality of threshold values (t), so as to produce mean feature size data (S(t)); selecting a relevant subset of the mean feature size data (S(t)); and determining an optimal threshold value (#0191) as a function of said subset of the mean feature size data. The present invention additionally provides methods of thresholding an image to produce a binary image by application of the optimal threshold value (#0191) determined according to the methods of the present invention.

## WO 2003/012742 A3



KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG,  
MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU,  
SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,  
UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW, ARIPO patent (GH, GM, KE, LS,  
MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian patent  
(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent  
(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GR, IE, IT, LU,  
MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI,  
CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)  
as to the applicant's entitlement to claim the priority of the  
earlier application (Rule 4.17(iii)) for all designations

Published:  
— with international search report

(88) Date of publication of the international search report:  
19 February 2004

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

## 【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		Int'l Application No PCT/US 02/19689
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 G06T5/00 G06T7/60		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 G06T		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, INSPEC, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category <sup>a</sup>	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 943 448 A (TATSUTA SEIJI) 24 August 1999 (1999-08-24) column 19 -column 20 figures 5,9A,22,25 ---	1-96
A	WO 00 04497 A (PERKIN ELMER CORP PE BIOSYSTEM) 27 January 2000 (2000-01-27) abstract figures 2,3 page 5, line 10 - line 18 ---	1-96 -/-
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.		<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.
<p><sup>b</sup> Special categories of cited documents:</p> <p>*A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>*E* earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>*L* document which may throw doubts on priority (claims) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>*O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or sale made prior to the international filing date</p> <p>*P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>*T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but which helps to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>*X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or新颖 to the person skilled in the art if it is combined with the document in question alone</p> <p>*Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents in a way which is obvious to the person skilled in the art</p> <p>*Z* document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the International search report	
3 September 2003	22/09/2003	
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5016 Patentien 2 NL - 2200 HV Rijswijk, Tel. (+31-70) 340-3040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer dos Santos, L	

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

page 1 of 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No PCT/US 02/19689
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	YIBING YANG ET AL: "An adaptive logical method for binarization of degraded document images". PATTERN RECOGNITION, MAY 2000, ELSEVIER, UK, vol. 33, no. 5, pages 787-807, XP002253012 ISSN: 0031-3203 abstract Sections 3.2, 4.2	1-96
A	DI RUBERTO C ET AL: "Morphological image processing for evaluating malaria disease" VISUAL FORM 2001. 4TH INTERNATIONAL WORKSHOP ON VISUAL FORM IWF4. PROCEEDINGS (LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE VOL.2059), VISUAL FORM 2001. 4TH INTERNATIONAL WORKSHOP, CAPRI, ITALY, 28-30 MAY 2001, pages 739-748, XP002253013 2001, Berlin, Germany, Springer-Verlag, Germany ISBN: 3-540-42120-3 Section 2.1 Section 2.3, Page 744	1-96
A	OTSU N: "A THRESHOLD SELECTION METHOD FROM GRAY-LEVEL HISTOGRAMS" IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS, IEEE, NEW YORK, NY, US, vol. 9, no. 1, 1979, pages 62-66, XP000617438 ISSN: 0018-9472 abstract page 63, right-hand column	1-96

Form PCT/ISA210 (continuation of second sheet) (July 1992)

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int'l Application No  
PCT/US 02/19689

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5943448	A	24-08-1999	JP 9179930 A US 6219460 B1	11-07-1997 17-04-2001
WO 0004497	A	27-01-2000	AT 217995 T AU 754884 B2 AU 4989899 A CA 2336885 A1 DE 69901565 D1 DE 69901565 T2 EP 1095357 A1 JP 2002520746 T WO 0004497 A1	15-06-2002 28-11-2002 07-02-2000 27-01-2000 27-06-2002 05-09-2002 02-05-2001 09-07-2002 27-01-2000

Form PCTISA/210 (patent family annex) (July 1982)

**フロントページの続き**

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT, BE,CH,CY,DE,DK,ES,FI,FR,GB,GR,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN, TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,ES,FI,GB,GD,GE, GH,GM,HR,HU, ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NO,NZ,OM,PH,P L,PT,RO,RU,SD,SE,SG,SI,SK,SL,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,UZ,VN,YU,ZA,ZM,ZW

F ターム(参考) 5B057 BA02 BA30 CA02 CA08 CA12 CA16 CB02 CB06 CB12 CB16  
CE12  
5C077 LL17 LL18 LL19 PP43 PP68 PQ08 PQ18 PQ20 RR02 RR15  
SS01