

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5522367号
(P5522367)

(45) 発行日 平成26年6月18日(2014.6.18)

(24) 登録日 平成26年4月18日(2014.4.18)

(51) Int.Cl. F I
G06T 15/00 (2011.01) G06T 15/00 I00A

請求項の数 14 (全 13 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2009-282331 (P2009-282331) (22) 出願日 平成21年12月13日(2009.12.13) (65) 公開番号 特開2011-123776 (P2011-123776A) (43) 公開日 平成23年6月23日(2011.6.23) 審査請求日 平成24年9月26日(2012.9.26)</p> <p>特許法第30条第1項適用 平成21年6月15日 Elsevier Inc. 発行の「Remote Sensing of Environment, Vol. 113」に発表</p>	<p>(73) 特許権者 304021831 国立大学法人 千葉大学 千葉県千葉市稲毛区弥生町1番33号 (74) 代理人 100121658 弁理士 高橋 昌義 (72) 発明者 加藤 顕 千葉県松戸市松戸648 国立大学法人 千葉大学 大学院 園芸学研究科内 審査官 千葉 久博</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 表面再現方法及び表面再現プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の点からなる点群を複数の層に分割する処理、
 前記複数の層における複数の点に対し内部の点を除去して輪郭を抽出する処理、
 前記輪郭を抽出する処理により抽出された前記複数の層における複数の点からなる点群を結合する処理、
 表面再現処理、を行う、コンピュータプログラムを実行することにより実現される表面再現方法。

【請求項2】

前記複数の点からなる点群を複数の層に分割する処理は、最も高い位置にある点を除外する処理を含む請求項1記載の表面再現方法。

10

【請求項3】

前記輪郭を抽出する処理は、Convex Hullを用いる請求項1記載の表面再現方法。

【請求項4】

前記複数の点からなる点群を複数の層に分割する処理の前に、
 前記複数の点からなる点群を、複数の面領域に分割する処理を行う、請求項1記載の表面再現方法。

【請求項5】

前記複数の面領域のそれぞれに対し行なわれた表面再現処理に基づき作成される再現表

20

面間の少なくともいずれか同士の距離を測定する処理を行う、請求項 3 記載の表面再現方法。

【請求項 6】

再現された表面は閉じた形状となっている請求項 1 記載の表面再現方法。

【請求項 7】

コンピュータを、

複数の点からなる点群を複数の層に分割し、

前記複数の層における複数の点に対し内部の点を除去して輪郭を抽出する処理を行い、

前記輪郭を抽出する処理により抽出された前記複数の層における複数の点からなる点群を結合し、

表面再現処理を行うよう機能させるための表面再現プログラム。

10

【請求項 8】

前記複数の点からなる点群を複数の層に分割する際に、最も高い位置にある点を除外する請求項 7 記載の表面再現プログラム。

【請求項 9】

前記輪郭を抽出する処理は、Convex Hullを用いる請求項 7 記載の表面再現プログラム。

【請求項 10】

前記複数の点からなる点群を複数の層に分割する前に、

前記複数の点からなる点群を、複数の面領域に分割する請求項 7 記載の表面再現プログラム。

20

【請求項 11】

前記複数の面領域のそれぞれに対し行なわれた表面再現処理に基づき作成される再現表面間の少なくともいずれか同士の距離を測定する請求項 9 記載の表面再現プログラム。

【請求項 12】

再現された表面は閉じた形状となっている請求項 7 記載の表面再現プログラム。

【請求項 13】

複数の点からなる点群に対し内部の点を除去して輪郭を抽出する処理を行い、

Radial Basis functionによる点群処理を行った後、Isosurfaceを用いて表面ラッピングによる表面再現処理を行う、コンピュータプログラムを実行することにより実現される表面再現方法。

30

【請求項 14】

コンピュータを、

複数の点からなる点群に対し内部の点を除去して輪郭を抽出する処理を行い、

Radial Basis functionによる点群処理を行った後、Isosurfaceを用いて表面ラッピングによる表面再現処理を行うよう機能させるための表面再現プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【0001】

本発明は、表面再現方法及び表面再現プログラムに関し、樹木や建物等の表面の再現により好適なものである。

【背景技術】

【0002】

従来、点群に対して表面再現を行なう際、Subdivision SurfaceやNon-Uniform Rational B-Spline (NURB) Surfaceといった手法が用いられてきた。これらの表面再現方法は、点群が規則的に並んでいる必要があるため、不規則に並んでいる点群に対しては、点を最適な規則的間隔に並べ直して用いなければならない、これには複雑な計算処理が必要で、メモリー容量等の物理的

50

課題及び計算処理のための時間的課題が発生する。

【0003】

これに対し、例えば下記非特許文献1に、Radial Basis Functionが提案されている。下記非特許文献1に記載の技術は、上記のように点を並び替える必要がなく、点群を正確にフィットすることができる表面再現方法である。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献1】Carr, J. C., Fright, W. R., & Beatson, R. K. (1997). Surface interpolation with radial basis function for medical imaging, IEEE Transactions on Medical Imaging, 16(1), 96-107.

10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、上記非特許文献1に記載の技術では、In situでスキャンされた小さい対象物の表面再現の方法であって、建物や樹木といった実際の地上の構造物を対象としたものではなく、そのまま用いたのでは、計算が複雑となり、更に、却って正確に表面を再現できなくなってしまうといった課題がある。

20

【0006】

そこで、本発明は、建物や樹木といった実際の地上の構造物を対象としても正確に表面を再現することのできる表面再現方法及び表面再生プログラムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明者は、上記課題について鋭意検討を行なったところ、実際の地上の構造物では、複数の点からなる点群を求めようとする場合、再現したい最外表面だけでなく、構造物内部まで侵入して求められた点が存在することに想到し、この点を除去することでより正確に表面再現処理が行える点を発見し、本発明を完成させるに至った。

30

【0008】

すなわち、本発明の一観点に係る表面再現方法は、複数の点からなる点群を複数の層に分割し、複数の層における複数の点に対し輪郭抽出処理を行い、輪郭抽出処理により抽出された前記複数の層における複数の点を結合し、表面再現処理を行うことを特徴の一つとする。

【0009】

また本発明の他の一観点に係る表面再現プログラムは、コンピュータに、複数の点からなる点群を複数の層に分割し、複数の層における複数の点に対し輪郭抽出処理を行い、輪郭抽出処理により抽出された複数の層における複数の点を結合し、表面再現処理を行わせることを特徴の一つとする。

40

【0010】

また、本発明の他の一観点にかかる表面再現方法は、複数の点からなる点群に対し輪郭抽出処理を行い、Radial Basis function及びIsosurfaceを用いて表面再現処理を行うことを特徴の一つとする。

【0011】

また、本発明の他の一観点にかかる表面再現プログラムは、コンピュータに、複数の点からなる点群に対し輪郭抽出処理を行い、Radial Basis function及びIsosurfaceを用いて表面再現処理を行わせることを特徴の一つとする。

【発明の効果】

【0012】

50

以上、本発明により、建物や樹木といった実際の地上の構造物を対象としても正確に表面を再現することのできる表面再現方法及び表面再生プログラムを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】実施形態に係る表面再現方法の処理のフローを示す図である。

【図2】LiDARによる点群のイメージ図である。

【図3】高さ補正処理を行う場合のイメージ図である。

【図4】点群に対し層分割を行なう場合のイメージ図である。

【図5】輪郭抽出処理におけるイメージ図である。

【図6】(A)実施例1に係る*Pseudotsuga menziesii*の写真図である。(B)*Pseudotsuga menziesii*の点群を示す図である。(C)実施例1により求められる樹木の再現表面を示す図である。

【図7】(A)実施例2に係る*Liriodendron tulipifera*の写真図である。(B)*Liriodendron tulipifera*の点群を示す図である。(C)実施例2により求められる樹木の再現表面を示す図である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

以下、本発明の実施形態について図面を参照しつつ説明する。ただし、本発明は多くの異なる態様で実施することが可能であり、以下に示す実施形態に限定されるものではない。

【0015】

(実施形態1)

図1は、本実施形態に係る表面再現方法の処理のフローを示す図である。本図で示すように、本実施形態に係る表面再現方法は、複数の点からなる点群を、複数の面領域に分割し(S1)、面領域における点群を複数の層に分割し(S2)、複数の層における複数の点に対し輪郭抽出処理を行い(S3)、輪郭抽出処理により抽出された複数の層の点群を結合し(S4)、表面再現処理を行う(S5)。

【0016】

まず、本実施形態に係る表面再現処理において、点群を構成する複数の点の各々は、少なくとも三次元的な位置情報(x、y、z)を含んでいることが必要である。三次元的な位置情報を含む点の集合を得る方法としては、限定されるわけではないが、レーザーセンサーでスキャンすることによりその位置情報を得る、いわゆるLiDAR(Light Detection and Ranging)(Lefsky, M. A., Cohen, W. B., Cohen, Parker, G., & Inkinen, M. (2001). Efficiencies of traditional and digital measurement technologies for forest operations. *Western Journal of Applied Forestry*, 20(2), 138-143 及び Patenaude, G., Hill, R. A., Milne, R., Gaveau, D. L. A., Briggs, B. B. J., & Dawson, T. P. (2004). Quantifying forest above ground carbon content using LIDAR remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 93, 368-380)を用いることができる。例えば図2に、実際の樹木をLiDARを用いて点群として表現した場合のイメージ図を示しておく。なお図中左側は測定対象となる構造物(樹木)の写真図を、右側はLiDARにより得られる点群を表す。

【0017】

また、本実施形態において、点群の三次元的な位置情報に関しては、限定されるわけではないが、構造物が設置される地表の高さがほぼ平坦であると考えられる場合は、この地表の高さの主要な値(例えば平均の値や最頻出の値等)を0(z=0)として地表面(x

10

20

30

40

50

、 y)を設定することができる。ただし、山林等では通常構造物を支持する地表自体が傾いており、この場合であっても樹木等の構造物は重力に対し垂直に伸びているものが多く、実際の地表と構造物との間には必ずしも垂直ではなく、これに起因する Slope Effect を除去するため各点において高さ補正処理を行うことが好ましい一例である。高さ補正処理についても限定されないが、例えば、地表を形成する面を抽出及び推定し、各点の座標における高さから同じ(x, y)の位置にある面の高さを差し引くことが好ましい。このようにすることで、純粹に構造物のみ処理対象とすることができる。この場合の補正のイメージを図3に示しておく。

【0018】

また、本実施形態に係る処理において、例えば樹木を測定対象とする場合、幹の部分は一度除外しておくことが好ましい。このようにすることで、樹木の枝や葉の表面をより正確に表現することができるようになる。

【0019】

また、本方法は、複数の点からなる点群を、複数の面領域で分割する(S1)。この処理を行うことにより、存在する複数の構造物各々を分離し、そのそれぞれの構造物に対して表面再現処理を行うことができるようになる。ここで「面領域」とは、所定の面積を持った二次元の領域を意味し、具体的には所定の x の範囲、 y の範囲によって区切られる領域という。この面領域に存在するものであれば、各点の高さは関係なく抽出される。

【0020】

この点群を複数の面領域に分割する方法としては、特に限定されるわけではないが、たとえば Watershed Segmentation (Chen, Q., Baldocchi, D., Gong, P., & Maggi, K. (2006). Isolating Individual trees in a savanna woodland using small footprint LIDAR data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 72(8), 923-932 及び Sollie, P. (2003) Morphological image analysis principles and applications (pp. 105-137). NY: Springer.) を好適に用いることができる。この方法を用いることで、点群に含まれる建築物や樹木を建物毎、固体毎に分けることが可能となり、正確な表面再現を行なうことができるようになるといった効果がある。なお層分割のイメージについて図4に示しておく。

【0021】

次に、本方法は、各面領域において、複数の点からなる点群を、複数の層に分割する(S2)。層に分割し、後述の輪郭抽出処理と組み合わせることで、実物の構造物により近い形で表面再現を行なうことができるようになる。ここで層とは、所定の高さ(z 方向)範囲にある複数の点の集合をいう。上記処理において複数の点が面領域に分割されている場合は、各面領域における点群各々において層に分割する処理が行われることが好ましい。層の数としては、複数の層に分割することができれば限定されないが、例えば各層において少なくとも3点以上、好ましくは5点以上点、更に好ましくは10点以上が存在していることが好ましい。3層より大きくすることで、輪郭抽出処理が可能となり、5点以上とすることで樹木等の構造物の複雑な形を十分に正確な表面を再現することができるようになるといった効果があり、10点以上とすることでこの効果がより顕著となる。なおこの場合、最も高い位置にある点を除外して複数の層に分割することが好ましい。最も高い位置は樹木の頂点で有ると考えることができ、後述の輪郭抽出処理により削除されるのを防止することができる。一方で、最も低い位置は樹木の枝等の下点であると考えられるため、上記最も高い位置にある点と同様に除外して複数の層に分割しておくことが好ましい。また、複数の層の分割の方法としては、特に限定されず、高い位置にある順で所定の数の点を順次層として分割していくことが好ましく、例えば高い点から順次10点ずつを選択し、層としていくことがこのましい。このようにすることで、点の密度にバラツキが生じていたとしても、同じ数の点を用いることで各層の制度を保つことができる。もちろん

10

20

30

40

50

、低い位置の点から順次選択するようにしても良い。またもちろん、最高点と最低点の間の高さを均等に分割して、各分割した各領域内にある点を層として把握することも可能である。

【0022】

また本方法は、複数の層における複数の点に対し輪郭抽出処理を行う(S3)。本方法では、この処理を行うことで、再現したい最外表面以外のノイズとなる構造物内部に侵入して得られた点を効率的に除去することができ、正確に表面再現処理が行えるようになる。

【0023】

本実施形態において輪郭抽出処理は、限定されるわけではないが、いわゆるConvex Hull (例えばFranco P. Preparata, S. J. Hong, Convex Hulls of Finite Sets of Points in Two and Three Dimensions, Commun. ACM, vol. 20, No. 2, pp. 87-93, 1977等参照)を用いることが好ましい。

10

【0024】

また、本実施形態において、表面輪郭処理は、各層における点の高さを同じにする、すなわち二次元に圧縮して把握して処理することが好ましい。このようにすることで、構造物内部に存在しノイズとして扱われるべき点まで輪郭として抽出してしまわないようにすることができる点においてより有利である。この場合のイメージ図を図5に示しておく。なおこの処理を行った場合、表面輪郭処理の後、各点の高さ情報を元に戻しておくことが好ましい。

20

【0025】

また本方法は、輪郭抽出処理により抽出された複数の層における複数の点を結合(S4)する。これにより再び点群となり処理することができるようになる。

【0026】

また本方法は、結合された複数の点に対し表面再現処理を行う(S5)。この表面再現処理は、上記の各ステップにより求められた複数の点を表面に存在する点をラッピングするステップであって、限定されるわけではないがRadial Basis Function (例えば上記非特許文献1参照)とIsoSurface (MathWork社製Matlab)を用いて行なうことが好ましい。具体的には、下記の手順で行うことが好ましい。

30

【0027】

まず、(1)で示される式を設定する。

【数1】

$$s(x) = \sum_{i=1}^N \lambda_i \Phi(x-x_i) \quad (1)$$

ここで $x \in \mathbb{R}^3$ であり、

N は点の数を、 λ_i は i 番目の係数を表す。

Φ は、radial basis functionであり、例えば下記で与えられる。

$$\Phi(r) = r \quad (\text{linear})$$

40

【0028】

次に、距離 -1、0、1の面を想定し、合計 $3N$ の点と下記式(2)を用いて $s(x) = 0$ となる x_i を求める。

【0029】

【数 2】

$$s(x_i) = \sum_{j=1}^{3N} \lambda \|x_i - x_j\| = d_j \quad (2)$$

ここで $d_j = 0, +1, -1$ のいずれか。

【0030】

そして、例えば `Matlab` の `Isosurface` を用いて表面をラッピングすることができる。

10

【0031】

なお、この処理後、先ほど行った樹木の幹などの除外したデータの付加を行い、高さ補正について改めて補正しなおし、元の高さに戻す処理があることが好ましい。

【0032】

また、本実施形態に係る表面再現方法では、複数の面領域のそれぞれに対し行なわれた表面再現処理に基づき作成される再現表面各々の表面積や体積、枝下高をもとめることができ、バイオマス資源の評価や、森林火災に関する評価など多種多様な評価が可能となる。また、これら再現された表面間の少なくともいずれか同士の距離を測定することができ、更に多様な評価が可能となる。

20

【0033】

以上、本実施形態に係る表面再現方法によると、建物や樹木といった実際の地上の構造物を対象としても正確に表面を再現することができる。特に本実施形態に係る表面再現方法を用いると、体積や表面積を正確に測定することが可能となり、詳細な表面の凹凸まで正確に測定することが可能となる。

【実施例】

【0034】

ここで、上記実施形態に係る表面再現方法の効果につき、実際に表面再現プログラムを作成し、その効果を確認した。

【0035】

(実施例 1)

まず、`Pseudotsuga menziesii` (オレゴンパイン) に対し行った `LIDAR` 結果により求められる三次元的情報を含む複数の点からなる点群を用いた。この樹木の写真図を図 6 (A) に、この点群の配置を示す図を図 6 (B) に示す。

30

【0036】

次に、この点群に対し、高さ補正及び幹部分に対応する点を除外し、一番高い位置及び一番低い位置にある点を除外し、上から 10% の数の点を 1 層とし、合計 10 層に分割した。そしてそのそれぞれに対し、`Convex Hull` を適用して輪郭を抽出し、その結果を再び合成し、抽出された輪郭を形成する点群を得た。

【0037】

そして、この抽出された点群に対し、`Radial Basis Function` 及び `Isosurface` を適用して表面を作成し、これに高さ補正を行い、表面を再現した。この結果を図 6 (C) に示す。

40

【0038】

この結果、図 6 (A) で示す写真図と、再現した表面の図 6 (C) とを比べても特に違和感無く表面を的確に表現できていることを確認した。

【0039】

(実施例 2)

実施例 1 の樹木を `Liriodendron tulipifera` に変えた以外は実施例 1 と同様の処理を行って再現表面を作成した。図 7 (A) に、`Liriodendron tulipifera` の写真図を、図 7 (B) に、図 7 (A) に係る `Liriod`

50

*endron tulipifera*の点群を示す図を、図7(C)に、本実施例により求められる樹木の再現表面図を示す。

【0040】

この結果によっても、上記実施例と同様、違和感無く表面を再現できていることを確認した。

【0041】

(比較例)

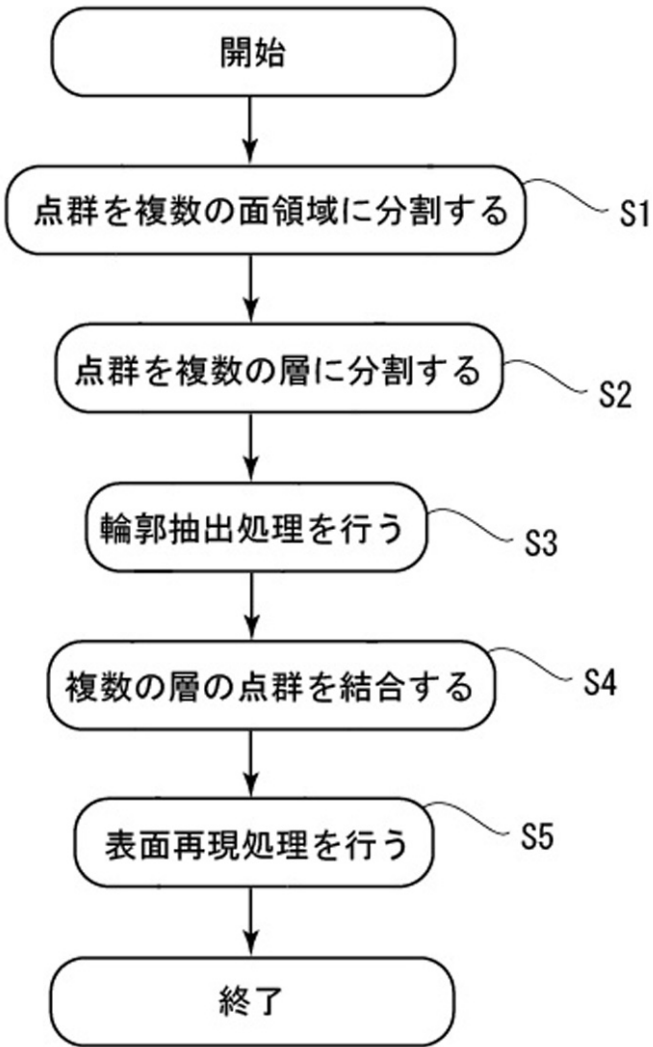
一方、上記層分離処理及びConvex hullを適用しなかった場合、樹木内部からの反射等によるノイズが多すぎ、表面を再現することはできなかった。この結果、本実施例に係る表面再現方法が特に優れていることを確認した。

【産業上の利用可能性】

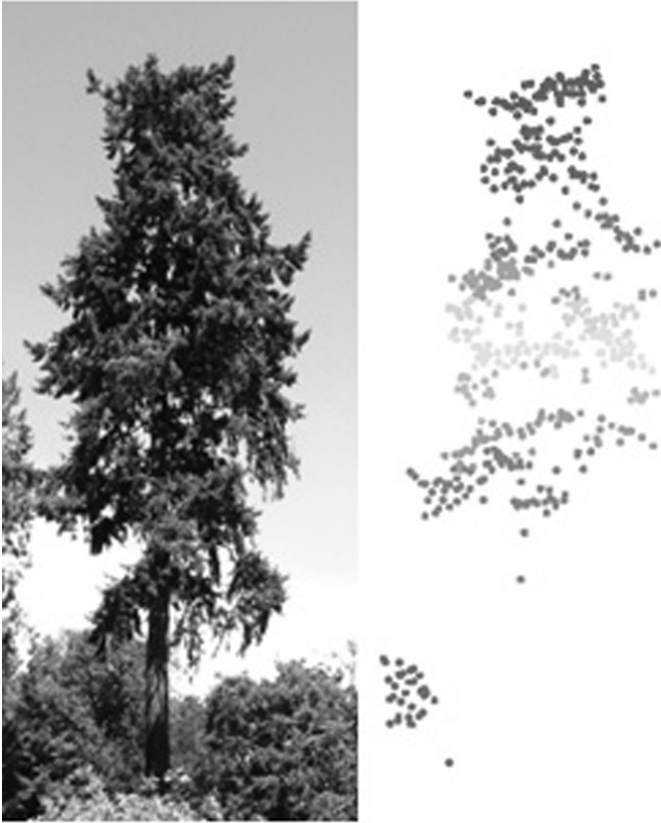
【0042】

本発明は、表面再現方法及び表面再現プログラムとして産業上の利用可能性がある。

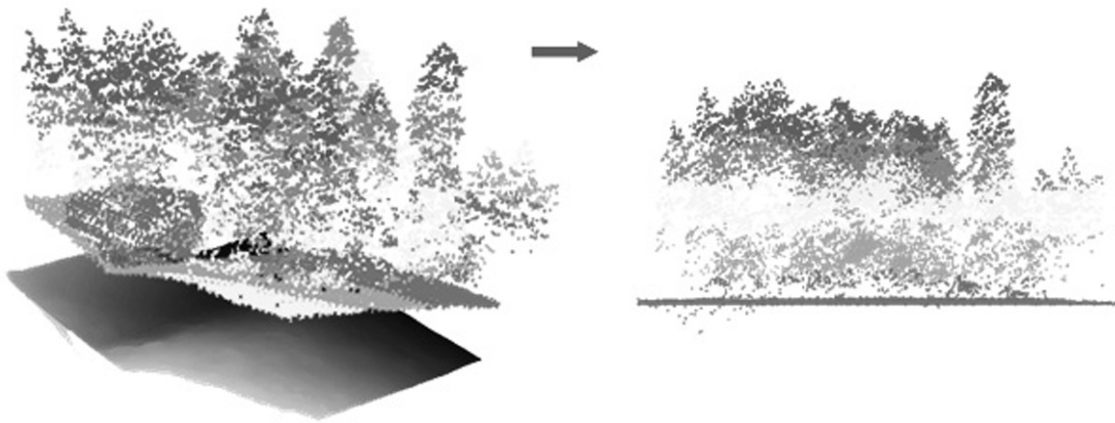
【図1】



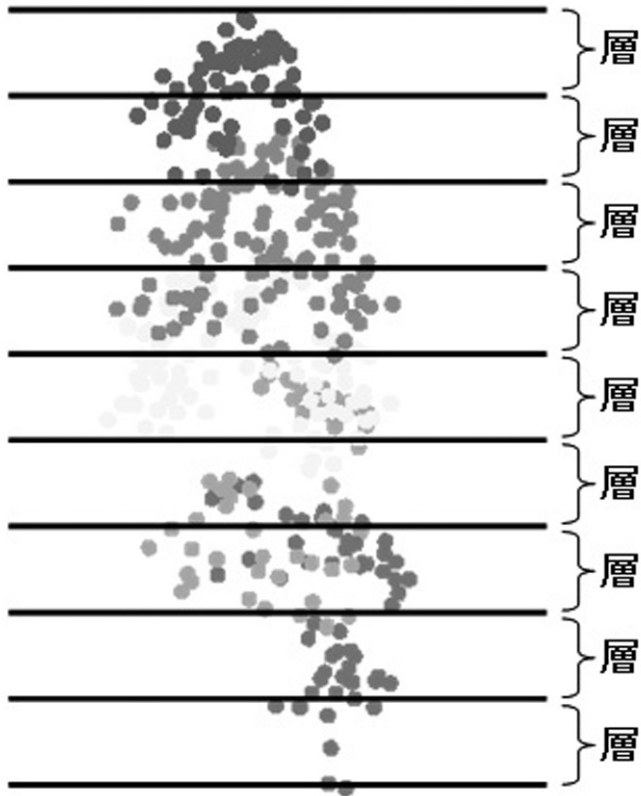
【 図 2 】



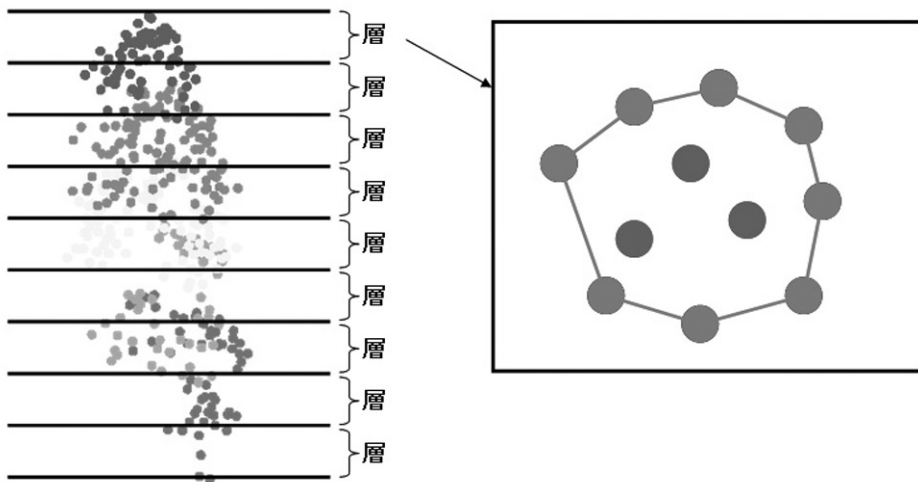
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



(A)



(B)



(C)

【 図 7 】



(A)



(B)



(C)

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2007-102394(JP,A)
特開2004-240599(JP,A)
特開2003-346182(JP,A)
特開2001-005992(JP,A)
Hamid LAGA, 外2名, "A Polygon-free based Approach for 3D Shape Transformation", 電子情報通信学会2003年総合大会講演論文集 情報・システム2, 2003年 3月 3日, p.249
Carr, J. C. ET AL, "Surface interpolation with radial basis functions for medical imaging", IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING, 1997年 2月, Vol.16, No.1, p.96-107

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06T 15/00 - 15/87, 17/00, 17/10 - 17/30

G06T 1/00, 19/00, 19/20