

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3935078号

(P3935078)

(45) 発行日 平成19年6月20日(2007.6.20)

(24) 登録日 平成19年3月30日(2007.3.30)

(51) Int. Cl.

H04N 1/387 (2006.01)

F I

H04N 1/387

請求項の数 11 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2002-586705 (P2002-586705)	(73) 特許権者	390023249 国際航業株式会社 東京都千代田区六番町2番地
(86) (22) 出願日	平成13年12月12日(2001.12.12)	(74) 代理人	100083024 弁理士 高橋 昌久
(86) 国際出願番号	PCT/JP2001/010904	(74) 代理人	100103986 弁理士 花田 久丸
(87) 国際公開番号	W02003/051034	(72) 発明者	金井 理 北海道札幌市中央区南7条西24丁目3番 -15-501号
(87) 国際公開日	平成15年6月19日(2003.6.19)	(72) 発明者	中根 達英 東京都千代田区六番町2番地 国際航業株 式会社内
審査請求日	平成16年11月26日(2004.11.26)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 航空電子地図情報作成方法及び航空電子地図情報作成装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

レーザスキャナのスキャンミラーの回転方向が航空機の飛行方向に直交する軸であり、且つ飛行方向がスキャンミラーの走査軸となるようにしたレーザスキャナ、GPS電波に
 応じて基準点測量が行われるGPS受信機、及び前記レーザスキャナの1ビームパルス毎
 にレーザ照射角度を求めるジャイロスコープが搭載されている航空機をオリジナルラン
 ダム点群データを収集すべき地域上を飛行させて、

前記レーザスキャナから地上(地表面)に向けてパルスレーザビームを照射して、地表面
 の3次元データを計測するとともに、前記基準点測量とジャイロスコープによって得ら
 れた航空機空間データに基づいて前記地表面の3次元データ(スキャンポイントデータ)
 を測地座標データへ変換して(x, y, z)の三座標データからなる点群状の測地座標デ
 ータを得、

該点群状の測地座標データに所定の地図電子情報を電子透かしデータとして埋め込む航空
 電子地図情報作成方法であって、

前記点群状の測地座標データについて離散フーリエ変換を行って一次元複素数フーリエ係
 数列を求める第1のステップと、前記電子透かしデータに応じて前記フーリエ係数列を変
 更して透かし入りフーリエ係数列とする第2のステップと、前記透かし入りフーリエ係
 数列を逆離散フーリエ変換して該逆離散フーリエ変換に応じて透かし入り点群状の地図
 電子データを得る第3のステップとを有することを特徴とする航空電子地図情報作成方法。

【請求項2】

10

20

前記第1のステップは、前記オリジナルランダム点群データが規定された $x - y$ 面領域を予め規定された小領域に分割して該小領域毎に含まれる点群を生成する第4のステップと、前記点群毎にその x, y 座標値を前記点群の重心が原点となるようにオフセットしてオフセット点群に変換する第5のステップと、前記オフセット点群毎に前記離散フーリエ変換を行ってフーリエ係数列を求める第6のステップとを有することを特徴とする請求項1に記載の航空電子地図情報作成方法。

【請求項3】

前記第3のステップは、前記透かし入りフーリエ係数列を逆離散フーリエ変換して透かし入り複素数列を生成する第7のステップと、該透かし入り複素数列について埋め込みに起因する座標値誤差のトレランスを満たす最適透かし埋め込み強度を求める第8のステップと、前記最適埋め込み強度に基づいて前記フーリエ係数列を再度変更して透かし入りフーリエ係数列とする第9のステップと、該透かし入りフーリエ係数列を逆オフセットして前記透かし入り点群データとする第10のステップとを有することを特徴とする請求項2に記載の航空電子地図情報作成方法。

10

【請求項4】

請求項1に記載された電子埋め込み方法で得られた透かし入り点群データから前記電子透かしデータを抽出する抽出方法であって、前記オリジナルランダム点群データと前記透かし入り点群データとを対応付けてそれぞれ離散型フーリエ変換を行って第1及び第2のフーリエ係数列を求める第11のステップと、前記第1及び前記第2のフーリエ係数列を比較して前記電子透かしデータを抽出する第12のステップとを有することを特徴とする航空電子地図情報作成方法。

20

【請求項5】

前記第11のステップは、前記オリジナルランダム点群データが規定された $x - y$ 面領域を予め規定された小領域に分割して該小領域毎に含まれる小領域点群を生成する第13のステップと、前記小領域点群毎に該小領域点群の頂点と最短距離にある頂点を最短距離頂点として前記透かし入り点群データから探索して前記オリジナルランダム点群データと前記透かし入り点群データとの対応付けを行う第14のステップとを有することを特徴とする請求項4に記載の航空電子地図情報作成方法。

【請求項6】

前記第14のステップは、前記透かし入り点群データに対する2-d木を生成する第15のステップと、前記小領域点群の頂点位置と埋め込みトレランスとによって規定される問い合わせ領域を設定して前記2-d木内から前記問い合わせ領域に含まれる前記透かし入り点群データを探索して前記オリジナルランダム点群データと前記透かし入り点群データとの対応付けを行う第16のステップとを有することを特徴とする請求項5に記載の航空電子地図情報作成方法。

30

【請求項7】

前記レーザスキャナより得られた地表面の3次元データ(スキャンポイントデータ)を (x, y, z) の三座標データからなる点群状の測地座標データに変換するとともに該測地座標データに所定の地図電子情報を電子透かしデータとして埋め込む地図電子情報埋め込み装置であって、

40

レーザスキャナのスキャンミラーの回転方向が航空機の飛行方向に直交する軸であり、且つ飛行方向がスキャンミラーの走査軸となるように航空機に搭載したレーザスキャナ、GPS電波に応じて基準点測量が行われるGPS受信機、及び前記レーザスキャナの1ビームパルス毎にレーザ照射角度を求めるジャイロスコープが搭載されている航空機と、

前記レーザスキャナから地上(地表面)に向けてパルスレーザビームを照射して、地表面の3次元データを計測するとともに、前記基準点測量とジャイロスコープによって得られた航空機空間データに基づいて前記地表面の3次元データ(スキャンポイントデータ)を測地座標データへ変換して (x, y, z) の三座標データからなる点群状の測地座標データを取得する測地座標変換手段と、

前記点群状の測地座標データについて離散フーリエ変換を行って一次元複素数フーリエ係

50

数列を求めるとともに、前記所定の地図電子情報に対応する電子透かしデータに応じて前記フーリエ係数列を変更して透かし入りフーリエ係数列とし、該透かし入りフーリエ係数列を逆離散フーリエ変換して該逆離散フーリエ変換に応じて透かし入り点群状の地図電子データを取得する電子透かし埋め込み手段と、及び前記電子透かしが埋め込まれた透かし入り点群状の地図電子データを出力する出力部からなることを特徴とする航空電子地図情報作成装置。

【請求項 8】

前記透かし入り点群データ生成手段は、前記透かし入りフーリエ係数列を逆離散フーリエ変換して透かし入り複素数列を生成する複素数列生成手段と、該透かし入り複素数列について埋め込みに起因する座標値誤差のトレランスを満たす最適透かし埋め込み強度を求める透かし埋め込み強度算出手段と、前記最適埋め込み強度に基づいて前記フーリエ係数列を再度変更して透かし入りフーリエ係数列とする再変更手段と、該透かし入りフーリエ係数列を逆オフセットして前記透かし入り点群データとする逆オフセット手段とを有することを特徴とする請求項 7 に記載の航空電子地図情報作成装置。

10

【請求項 9】

請求項 7 に記載された電子埋め込み装置で得られた透かし入り点群データから前記電子透かしデータを抽出する抽出装置であって、前記オリジナルランダム点群データと前記透かし入り点群データとを対応付けてそれぞれ離散型フーリエ変換を行って第 1 及び第 2 のフーリエ係数列を求めるフーリエ係数生成手段と、前記第 1 及び前記第 2 のフーリエ係数列を比較して前記電子透かしデータを抽出する抽出手段とを有することを特徴とする航空電子地図情報作成装置。

20

【請求項 10】

前記フーリエ係数生成手段は、前記オリジナルランダム点群データが規定された $x - y$ 面領域を予め規定された小領域に分割して該小領域毎に含まれる小領域点群を生成する分割手段と、前記小領域点群毎に該小領域点群の頂点と最短距離にある頂点を最短距離頂点として前記透かし入り点群データから探索して前記オリジナルランダム点群データと前記透かし入り点群データとの対応付けを行う対応付け手段とを有することを特徴とする請求項 9 に記載の航空電子地図情報作成装置。

【請求項 11】

前記対応付け手段は、前記透かし入り点群データに対する 2 - d 木を生成する 2 - d 木生成手段と、前記小領域点群の頂点位置と埋め込みトレランスとによって規定される問い合わせ領域を設定して前記 2 - d 木内から前記問い合わせ領域に含まれる前記透かし入り点群データを探索して前記オリジナルランダム点群データと前記透かし入り点群データとの対応付けを行う頂点間対応付け手段とを有することを特徴とする請求項 10 に記載の航空電子地図情報作成装置。

30

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、3次元計測に基づいて得られたオリジナルランダム点データ群（3次元点群データ）を情報管理するための航空電子地図情報作成方法及びその装置に関し、特に、レーザ3次元計測によって地球表面を計測して得られた3次元点群データの不正使用を防止するために、電子情報を電子透かしデータとして埋め込む際に用いられる航空電子地図情報作成方法及びその装置に関する。

40

【0002】

【従来の技術】

一般に、偽造又は不正使用を防止するため、印刷物上に多数の微細要素からなるパターンを埋め込んで、そのパターンで形成される情報を利用して、不正使用の検出を行うことが行われている。さらに、ベクトル形式（ベクター型）で記述された地図データに対する不正使用を防止するため、地図データに不正利用防止用の情報（埋め込み情報）を埋め込むことが行われており、ベクター型で記述された2次元又は3次元の地図データにおいては

50

、面を構成するポリゴンに対して埋め込み情報を埋め込んでいる。例えば、地図データを三角形ポリゴンの集合で構成して、これら三角形ポリゴンをさらに4つの三角形に分割し、その間に構成される三角形(どの三角形ポリゴンの頂点も含まない三角形)に電子透かしデータを埋め込みデータとして埋め込む方法が知られている。そして、この方法を用いると、ベクター型で記述された地図データに影響を与えることなく、電子透かしデータを取り除くことが困難となる。

【0003】

一方、特開2001-160897公報には、ベクター型で記述された地図データに不正利用防止用の埋め込み情報を埋め込むことが記載されている。ここでは、オブジェクトの構成点の座標列を示す地図図形情報及びオブジェクトの種別を管理するレイヤ情報に、埋め込み基準レイヤと埋め込み参照レイヤを設定したものを入力して、同一の意味のある領域に存在するオブジェクトペアであって、それらが構成する領域内に他のオブジェクトが無いものを埋め込み基準オブジェクトペアとして選別する。そして、埋め込み基準オブジェクトペアに対して、埋め込み箇所を発見されにくいものを選択して、その存在位置及び/又は形状特徴に基づいて新たに埋め込むオブジェクト情報を算出し、このオブジェクト情報に合わせて埋め込み密度に応じて新たなオブジェクトを埋め込んでいる。

ところで、近年、所謂レーザ3次元計測によって地球表面(地表面)を計測して、地表面のデータをオリジナルランダム点データ群として得て、これらオリジナルランダム点群データから地図データを得ることが行われている。例えば、航空機から地上に向けてパルスレーザビームを照射して、地表面の空間座標を得る。この際、航空機の空間位置は、地上に設けられたGPS基準局と航空機に搭載されたGPS受信機によって求め、航空機の姿勢は三軸ジャイロスコープによって求める。

なお、1パルス毎の地表座標は、前述のようにして求めた航空機の空間位置及び姿勢に応じて、レーザミラー射角度及びその斜距離によってレーザビーム反射点の x 、 y 、及び z 座標として求められることになる。

【0004】

上述のようにして得られた地表座標は単に地表面のランダム点群データであるので、このランダム点群データを処理して地図データを生成するようにしている。

上述のようなオリジナル点群データは、単に空間的に離散している点群データであるので、相互に関係を持っておらず、しかも属性も備えていない。つまり、オリジナル点群データは単に x 、 y 、及び z の座標値を示しているだけである。従って、上述のようなベクター型地図データに対して電子透かしデータを埋め込む手法を用いることができず、不正にオリジナルランダム点群データを用いて地図データを生成されてしまうことになる。

しかも、精度誤差の範囲で、オリジナルランダム点群データに対して乱数に応じて電子透かしデータを埋め込んだ場合には、オリジナルランダム点群データを再現することが困難となってしまう。また、オリジナルランダム点群データを部分的に間引いて、電子透かしデータを埋め込んだ場合には、不正使用を防止することが難しいという課題がある。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の目的は、オリジナルランダム点群データの不正使用を防止することのできる電情報埋め込み方法、電子情報の埋め込みに用いられる装置、及びプログラムを提供することにある。

本発明の他の目的は、電子情報が埋め込まれたオリジナルランダム点群データから電子情報を抽出するための電子情報抽出方法、電子情報の抽出に用いられる装置、及びプログラムを提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】

本発明によれば、レーザスキャナのスキャンミラーの回転方向が航空機の飛行方向に直交する軸であり、且つ飛行方向がスキャンミラーの走査軸となるようにしたレーザスキャナ、GPS電波に応じて基準点測量が行われるGPS受信機、及び前記レーザスキャナの1

10

20

30

40

50

ビームパルス毎にレーザ照射角度を求めるジャイロスコープが搭載されている航空機をオリジナルランダム点群データを収集すべき地域上を飛行させて、

前記レーザスキャナから地上（地表面）に向けてパルスレーザビームを照射して、地表面の3次元データを計測するとともに、前記基準点測量とジャイロスコープによって得られた航空機空間データに基づいて前記地表面の3次元データ（スキャンポイントデータ）を測地座標データへ変換して（ x, y, z ）の三座標データからなる点群状の測地座標データを得、

該点群状の測地座標データに所定の地図電子情報を電子透かしデータとして埋め込む航空電子地図情報作成方法であって、

前記点群状の測地座標データについて離散フーリエ変換を行って一次元複素数フーリエ係数列を求める第1のステップと、前記電子透かしデータに応じて前記フーリエ係数列を変更して透かし入りフーリエ係数列とする第2のステップと、前記透かし入りフーリエ係数列を逆離散フーリエ変換して該逆離散フーリエ変換に応じて透かし入り点群状の地図電子データを得る第3のステップとを有することを特徴とする航空電子地図情報作成方法が得られる。

10

【0007】

ここでは、前記第1のステップは、前記オリジナルランダム点群データが規定された $x - y$ 面領域を予め規定された小領域に分割して該小領域毎に含まれる点群を生成する第4のステップと、前記点群毎にその x, y 座標値を前記点群の重心が原点となるようにオフセットしてオフセット点群に変換する第5のステップと、前記オフセット点群毎に前記離散フーリエ変換を行ってフーリエ係数列を求める第6のステップとを有している。

20

また、前記第3のステップは、前記透かし入りフーリエ係数列を逆離散フーリエ変換して透かし入り複素数列を生成する第7のステップと、該透かし入り複素数列について埋め込みに起因する座標値誤差のトレランスを満たす最適透かし埋め込み強度を求める第8のステップと、前記最適埋め込み強度に基づいて前記フーリエ係数列を再度変更して透かし入りフーリエ係数列とする第9のステップと、該透かし入りフーリエ係数列を逆オフセットして前記透かし入り点群データとする第10のステップとを有している。

さらに、本発明では、前述のようにして得られた透かし入り点群データから前記電子透かしデータを抽出する際、前記オリジナルランダム点群データと前記透かし入り点群データとを対応付けてそれぞれ離散型フーリエ変換を行って第1及び第2のフーリエ係数列を求める第11のステップと、前記第1及び前記第2のフーリエ係数列を比較して前記電子透かしデータを抽出する第12のステップとを有することを特徴とする電子情報抽出方法が得られる。

30

【0008】

ここでは、前記第11のステップは、前記オリジナルランダム点群データが規定された $x - y$ 面領域を予め規定された小領域に分割して該小領域毎に含まれる小領域点群を生成する第13のステップと、前記小領域点群毎に該小領域点群の頂点と最短距離にある頂点を最短距離頂点として前記透かし入り点群データから探索して前記オリジナルランダム点群データと前記透かし入り点群データとの対応付けを行う第14のステップとを有している。

40

例えば、前記第14のステップは、前記透かし入り点群データに対する2-d木を生成する第15のステップと、前記小領域点群の頂点位置と埋め込みトレランスとによって規定される問い合わせ領域を設定して前記2-d木内から前記問い合わせ領域に含まれる前記透かし入り点群データを探索して前記オリジナルランダム点群データと前記透かし入り点群データとの対応付けを行う第16のステップとを有している。

【0009】

また、本発明によれば、前記レーザスキャナより得られた地表面の3次元データ（スキャンポイントデータ）を（ x, y, z ）の三座標データからなる点群状の測地座標データに変換するとともに該測地座標データに所定の地図電子情報を電子透かしデータとして埋め込む地図電子情報埋め込み装置であって、

50

レーザスキャナのスキャンミラーの回転方向が航空機の飛行方向に直交する軸であり、且つ飛行方向がスキャンミラーの走査軸となるように航空機に搭載したレーザスキャナ、GPS電波に応じて基準点測量が行われるGPS受信機、及び前記レーザスキャナの1ビームパルス毎にレーザ照射角度を求めるジャイロ스코ープが搭載されている航空機と、前記レーザスキャナから地上（地表面）に向けてパルスレーザビームを照射して、地表面の3次元データを計測するとともに、前記基準点測量とジャイロ스코ープによって得られた航空機空間データに基づいて前記地表面の3次元データ（スキャンポイントデータ）を測地座標データへ変換して（ x, y, z ）の三座標データからなる点群状の測地座標データを得る測地座標変換手段と、

前記点群状の測地座標データについて離散フーリエ変換を行って一次元複素数フーリエ係数列を求めるとともに、前記所定の地図電子情報に対応する電子透かしデータに応じて前記フーリエ係数列を変更して透かし入りフーリエ係数列とし、該透かし入りフーリエ係数列を逆離散フーリエ変換して該逆離散フーリエ変換に応じて透かし入り点群状の地図電子データを得る電子透かし埋め込み手段と、及び前記電子透かしが埋め込まれた透かし入り点群状の地図電子データを出力する出力部からなることを特徴とする航空電子地図情報作成装置が得られる。

10

ここでは、前記離散フーリエ変換手段は、前記オリジナルランダム点群データが規定された $x - y$ 面領域を予め規定された小領域に分割して該小領域毎に含まれる点群を生成する分割手段と、前記点群毎にその x, y 座標値を前記点群の重心が原点となるようにオフセットしてオフセット点群に変換するオフセット手段と、前記オフセット点群毎に前記離散

20

フーリエ変換を行ってフーリエ係数列を求めるフーリエ係数生成手段とを有している。さらに、前記透かし入り点群データ生成手段は、前記透かし入りフーリエ係数列を逆離散フーリエ変換して透かし入り複素数列を生成する複素数列生成手段と、該透かし入り複素数列について埋め込みに起因する座標値誤差のトレランスを満たす最適透かし埋め込み強度を求める透かし埋め込み強度算出手段と、前記最適埋め込み強度に基づいて前記フーリエ係数列を再度変更して透かし入りフーリエ係数列とする再変更手段と、該透かし入りフーリエ係数列を逆オフセットして前記透かし入り点群データとする逆オフセット手段とを有している。

さらに、本発明によれば、上述のようにして得られた透かし入り点群データから前記電子透かしデータを抽出する際、前記オリジナルランダム点群データと前記透かし入り点群データとを対応付けてそれぞれ離散型フーリエ変換を行って第1及び第2のフーリエ係数列を求めるフーリエ係数生成手段と、前記第1及び前記第2のフーリエ係数列を比較して前記電子透かしデータを抽出する抽出手段とを有することを特徴とする電子情報抽出装置が得られる。

30

ここでは、前記フーリエ係数生成手段は、前記オリジナルランダム点群データが規定された $x - y$ 面領域を予め規定された小領域に分割して該小領域毎に含まれる小領域点群を生成する分割手段と、前記小領域点群毎に該小領域点群の頂点と最短距離にある頂点を最短距離頂点として前記透かし入り点群データから探索して前記オリジナルランダム点群データと前記透かし入り点群データとの対応付けを行う対応付け手段とを有している。

例えば、前記対応付け手段は、前記透かし入り点群データに対する2-d木を生成する2-d木生成手段と、前記小領域点群の頂点位置と埋め込みトレランスとによって規定される問い合わせ領域を設定して前記2-d木内から前記問い合わせ領域に含まれる前記透かし入り点群データを探索して前記オリジナルランダム点群データと前記透かし入り点群データとの対応付けを行う頂点間対応付け手段とを有している。

40

【0010】

加えて、本発明によれば、レーザ3次元計測に応じて得られたオリジナルランダム点群データに電子情報を電子透かしデータとして埋め込む際に電子計算機で用いられる電子情報埋め込みプログラムであって、前記オリジナルランダム点群データについて離散フーリエ変換を行ってフーリエ係数列を求める第1の手続きと、前記電子透かしデータに応じて前記フーリエ係数列を変更して透かし入りフーリエ係数列とする第2の手続きと、前記透か

50

し入りフーリエ係数列を逆離散フーリエ変換して該逆離散フーリエ変換に応じて透かし入り点群データを得る第3の手続きとを有することを特徴とする電子情報埋め込みプログラムが得られる。

ここでは、前記第1の手続きは、前記オリジナルランダム点群データが規定された $x - y$ 面領域を予め規定された小領域に分割して該小領域毎に含まれる点群を生成する第4の手続きと、前記点群毎にその x, y 座標値を前記点群の重心が原点となるようにオフセットしてオフセット点群に変換する第5の手続きと、前記オフセット点群毎に前記離散フーリエ変換を行ってフーリエ係数列を求める第6の手続きとを有している。

また、前記第3の手続きは、前記透かし入りフーリエ係数列を逆離散フーリエ変換して透かし入り複素数列を生成する第7の手続きと、該透かし入り複素数列について埋め込みに起因する座標値誤差のトレランスを満たす最適透かし埋め込み強度を求める第8の手続きと、前記最適埋め込み強度に基づいて前記フーリエ係数列を再度変更して透かし入りフーリエ係数列とする第9の手続きと、該透かし入りフーリエ係数列を逆オフセットして前記透かし入り点群データとする第10の手続きとを有している。

さらに、本発明によれば、前述のようにして得られた透かし入り点群データから前記電子透かしデータを抽出する際、前記オリジナルランダム点群データと前記透かし入り点群データとを対応付けてそれぞれ離散型フーリエ変換を行って第1及び第2のフーリエ係数列を求める第11の手続きと、前記第1及び前記第2のフーリエ係数列を比較して前記電子透かしデータを抽出する第12の手続きとを有することを特徴とする電子情報抽出プログラムが得られる。

ここでは、前記第11の手続きは、前記オリジナルランダム点群データが規定された $x - y$ 面領域を予め規定された小領域に分割して該小領域毎に含まれる小領域点群を生成する第13の手続きと、前記小領域点群毎に該小領域点群の頂点と最短距離にある頂点を最短距離頂点として前記透かし入り点群データから探索して前記オリジナルランダム点群データと前記透かし入り点群データとの対応付けを行う第14の手続きとを有している。

例えば、前記第14の手続きは、前記透かし入り点群データに対する2-d木を生成する第15の手続きと、前記小領域点群の頂点位置と埋め込みトレランスとによって規定される問い合わせ領域を設定して前記2-d木内から前記問い合わせ領域に含まれる前記透かし入り点群データを探索して前記オリジナルランダム点群データと前記透かし入り点群データとの対応付けを行う第16の手続きとを有している。

【0011】

【発明の実施の形態】

以下本発明について図面を参照して説明する。

図1を参照して、地球表面（例えば、地表面）に関するオリジナルランダム点群データを得る際には、まず、地球表面の3次元計測が行われる。地球表面の3次元計測に当たっては、例えば、レーザ3次元計測が用いられる。3次元レーザ計測を行う際には、航空機11をオリジナルランダム点群データを収集すべき地域（地区）上を飛行させる。航空機11にはレーザスキャナ（航空機搭載型レーザスキャナ：図示せず）、GPS受信機（図示せず）、及びジャイロスコープ（IMU：図示せず）が搭載されている。

図2も参照して、レーザ3次元計測（ステップS1）では、航空機搭載型レーザスキャナから地上（地表面）12に向けてパルスレーザビームを照射して、地表面12からの反射パルスをパルスリターンとして受け、パルスレーザビームの照射時刻とパルスリターンを受けた時刻との時間差に応じて地表面12までの距離（ z ）を計測して距離データを得る。このパルスレーザビームの照射は予め規定された時間間隔で行われる結果、地表面は離散的な点として規定されることになる。この際、レーザスキャナのスキャンミラーの回転は1軸（航空機11の飛行方向に直交する）であり、飛行方向がもう一つの走査軸となつて、面的にデータが取得されることになる。そして、IMUは1パルス毎にレーザ照射角度をミラー回転角及びその傾き角度に基づいて求める。

さらに、別に地上において、レーザスキャナ（地上据え置き型レーザスキャナ）を用いて地表面のデータを取得する。このレーザスキャナではスキャンミラーの回転軸は2軸で放

10

20

30

40

50

射状にしかも面的にデータが得られることになる。

一方、GPS電波に応じて基準点測量が行われる（ステップS2）。つまり、航空機11の空間位置は、地上に設けられたGPS基準局13、GPS受信機、及びIMUによって計測される。その後、レーザ3次元計測によって得られたデータ（スキャンポイントデータ）と基準点測量とによって得られたデータとに基づいてスキャンポイントデータを測地座標データへ変換してオリジナルランダム点群データを得る（ステップS3）。つまり、1パルス毎に地表面12におけるレーザビーム反射点の x, y, z （高さ： H ）座標を求めて、オリジナルランダム点群データとする。

そして、上述のオリジナルランダム点群データに電子透かしデータを埋め込み（ステップS4）、透かし情報（データ）埋め込み済み3次元空間座標点群として出力する（ステップS5）。なお、ステップS3～S5はコンピュータ（図示せず）によって行われる。つまり、コンピュータはステップS3を行う測地座標変換部、ステップS4を行う電子透かし埋め込み部、及びステップS5を行う透かし入り点群出力部を少なくとも有しており、測地座標変換部では、スキャンポイントデータと基準点測量データとを読み込んでオリジナルランダム点群データを生成する。

【0012】

ここで、図3を参照して、電子透かし埋め込み部の動作について説明する。

図示の例では、電子透かし埋め込み部は、小領域分割部、座標値オフセット部、離散フーリエ変換部、フーリエ係数列変更部、逆離散フーリエ変換部、埋め込み強度自動調整部、及び逆オフセット部を有している。

電子透かしデータ埋め込み処理の際には、前述の測地座標変換部からオリジナルランダム点群データ（以下単にオリジナル点群と呼ぶ） V が小領域分割部に与えられるとともに別に入力装置（図示せず）等から小領域 x, y 方向サイズ D_x, D_y が小領域分割部に与えられる。

ここでは、オリジナル点群 V は

$$\bullet \quad V = \left\{ v_i = (x_i, y_i, z_i) \in R^3 \mid 0 \leq i \leq N-1 \right\}$$

で表されるものとする。

v_i : 頂点3次元座標, N : 全頂点数 .

D_x, D_y : 分割小領域の x, y 方向サイズ (標準値 $D_x=100[m], D_y=100[m]$)

小領域分割部では、まず、オリジナル点群の小領域への分割を行う（ステップA1）。図4に示すように、オリジナル点群 V が定義されている $x-y$ 面内の矩形領域を、 D_x, D_y のサイズ（寸法）を有する小領域 A_a に均等に分割して（等分割）、小領域 A_a 毎に含まれる点群 V_a を生成する。そして、この点群 V_a は座標オフセット部に与えられる。

$$V = \bigcup_{1 \leq a \leq L_A} V_a \quad (1)$$

L_A : 全小領域数

なお、図4において、その下辺及び右辺のように、 x 方向及び y 方向へ分割した際、その最終端では、 D_x, D_y よりも小さいサイズの小領域（この領域に含まれる点群を V_{L_a} とする）が形成されることもある。

座標オフセット部では、小領域内の点群の x, y 座標値のオフセットを行う（ステップA2）。ここでは、各小領域の点群 V_a の x, y 座標値を、 V_a の重心が原点となるようにオフセットした点群

$$\bar{V}_a$$

へ変換する。つまり、オフセット点群

$$\bar{V}_a$$

は、

$$\bar{V}_a = \{ \bar{v}_i \mid \bar{v}_i = v_i - [\mu_{ax}, \mu_{ay}, 0], v_i \in V_a, 0 \leq i \leq |V_a| - 1 \} \quad (2)$$

μ_{ax} , μ_{ay} : 点群 V_a の重心点 x , y 座標値

$$\mu_{ax} = \frac{1}{|V_a|} \sum_{v_i=(x_i, y_i, z_i) \in V_a} x_i, \quad \mu_{ay} = \frac{1}{|V_a|} \sum_{v_i=(x_i, y_i, z_i) \in V_a} y_i \quad (3)$$

上述のオフセット処理によって、オリジナル点群 V の x , y 座標値の絶対値が大きい場合に、埋め込み処理で用いられる浮動小数点演算における丸め誤差の影響を減少させることができる。

このオフセット点群

$$\bar{V}_a$$

は離散フーリエ変換部及び埋め込み強度自動調整部に与えられ、一方、小領域重心点 μ_{ax} , μ_{ay} は逆オフセット部に与えられる。

離散フーリエ変換部は、オフセット点群

$$\bar{V}_a$$

に対して離散フーリエ変換 (DFT) を行う (ステップ A3)。ここでは、まず、オフセット点群

$$\bar{V}_a$$

に含まれる点の x , y 座標値から、式 (4) で示す複素数列 $\{c_k\}$ を生成する。

$$c_k = \bar{x}_k + i \bar{y}_k, \quad (\bar{x}_k, \bar{y}_k, z_k) \in \bar{V}_a, \quad 0 \leq k \leq |V_a| - 1 \quad (4)$$

i : 虚数単位

次に、複素数列 $\{c_k\}$ を式 (5) に基づいて、離散フーリエ変換部は、離散フーリエ変換して、フーリエ係数列 $\{C_l\}$ を求める。

$$C_l = \sum_{k=0}^{|V_a|-1} c_k \left(e^{-2\pi i / |V_a|} \right)^{kl}, \quad l = 0, 1, \dots, |V_a| - 1 \quad (5)$$

10

20

30

40

50

そして、このフーリエ係数列 $\{C_l\}$ はフーリエ係数列変更部に与えられる。フーリエ係数列変更部には電子透かしデータビット列 B 及び埋め込み強度初期値 P_{init} が与えられており、フーリエ係数列変更部では、電子透かしデータビット列 B 及び埋め込み強度初期値 P_{init} に応じてフーリエ係数列 $\{C_l\}$ を変更する (ステップ A 4)。

ここで、電子透かしデータビット列 B は

$$B = \{b_m \in \{0, 1\} \mid 1 < m < N_b\}$$

N_b : 透かしデータビット長

p_{init} : 透かし埋め込み強度初期値 (標準値 $p_{init} = 5000$)

つまり、電子透かしデータビット列 $B = \{b_m \in \{0, 1\} \mid 1 < m < N_b\}$ 及び埋め込み強度初期値 p_{init} を用いて、フーリエ係数列変更部は、式 (6) に従ってフーリエ係数列 $\{C_l\}$ を変更して、変更後フーリエ係数列 $\{C'_l\}$ を生成する。

10

$$|C'_l| = \begin{cases} |C_l| + p & (b_l = 0 \text{ の時}) \\ |C_l| - p & (b_l = 1 \text{ の時}) \end{cases} \quad (6)$$

なお、直流成分を表す係数 C_0 は透かしデータによって変更しない。従って、この小領域 A_a 内に埋め込み可能な透かしビット長さは、 $|V_a| - 1$ (ビット) となる。また、埋め込み強度 p の値は、1 回目の埋め込みの際には、 $p = p_{init}$ と定め、2 回目の埋め込みの際には、 $p = p_{opt}$ と定める。

この際、透かしビット長 N_b と小領域への埋め込み可能ビット長 $|V_a| - 1$ との関係に基づいて次の規則を適用される。

20

【0013】

i) $N_b < |V_a| - 1$ の場合

透かしビットを反復して埋め込み、 $C_1, C_2, \dots, C_{|V_a| - 1}$ のフーリエ係数全ての値を前述の式 (6) で変更する。

ii) $N_b > |V_a| - 1$ の場合

透かしビットの先頭から $|V_a| - 1$ ビット分のみを埋め込み、それ以降のビットについては埋め込みを行わない。

上述の変更後フーリエ係数列 $\{C'_l\}$ 、つまり、透かし入りフーリエ係数列 $\{C'_l\}$ は逆離散フーリエ変換部に与えられ、逆離散フーリエ変換部では、変更後フーリエ係数列 $\{C'_l\}$ に対して逆離散フーリエ変換 (IDFT) を行う (ステップ A 5)。つまり、逆離散フーリエ変換部では、透かし入りフーリエ係数列 $\{C'_l\}$ に対して、式 (7) の逆フーリエ変換を行って、電子透かしによって変更された複素数列 $\{c'_k\}$ を生成する。

30

$$c_k = \frac{1}{|V_a|} \sum_{l=0}^{|V_a|-1} C'_l \left(e^{2\pi i l / |V_a|} \right)^{kl}, \quad k = 0, 1, \dots, |V_a| - 1 \quad (7)$$

この複素数列 $\{c'_k\}$ は、埋め込み強度自動調整部に与えられる。埋め込み強度自動調整部には、前述のオフセット点群

40

$$\overline{V_a}$$

及び埋め込みトレランス σ が与えられており、埋め込み強度自動調整部では、埋め込みトレランス σ を考慮して、埋め込み強度を自動調整する (ステップ A 6)。

σ : x, y 方向の埋め込みトレランス (標準値 $\sigma = 0.3$ [m])

【0014】

つまり、埋め込み強度自動調整部では、変更後複素数列 $\{c'_k\}$ に基づいて透かし入り点群データ

50

$$\bar{V}_a'$$

の座標値を知り、透かし埋め込み前の点群

$$\bar{V}_a$$

の頂点

$$\bar{v}_k = (\bar{x}_k, \bar{y}_k, \bar{z}_k) \quad (\in \bar{V}_a)$$

と埋め込み後の点群

$$\bar{V}_a'$$

の頂点

$$\bar{v}'_k = (\bar{x}'_k, \bar{y}'_k, \bar{z}_k) \quad (\in \bar{V}_a')$$

との間において、x方向とy方向のうちの最大誤差を

$$E_{\hat{k}}$$

とし、その最大誤差を与える頂点番号

$$\hat{k}$$

を求める。即ち、

$$E_{\hat{k}} = \max \left(\max_{k \in [0, |\bar{V}_a| - 1]} (|\bar{x}'_k - \bar{x}_k|), \max_{k \in [0, |\bar{V}_a| - 1]} (|\bar{y}'_k - \bar{y}_k|) \right) \quad (8)$$

となる。

ここで、埋め込みによって生ずるx, y方向の頂点座標値誤差のトレランス(許容値)を τ とし、このトレランスを満たす最適な埋め込み強度を p_{opt} とすると、式(9)に示す比例関係が成り立つ。

$$\frac{E_{\hat{k}}}{\tau} = \frac{p_{init}}{p_{opt}} \quad (9)$$

10

20

30

40

50

従って、式(9)から、埋め込み誤差のトレランスを満たす最適な透かし埋め込み強度 p_{opt} は、

$$p_{opt} = \frac{\tau}{E_k} p_{init} \quad (10)$$

となる。そして、この最適な透かし埋め込み強度 p_{opt} は、フーリエ係数列変更部にフィードバックされる。

フーリエ係数列変更部では、最適埋め込み強度 p_{opt} を用いてフーリエ係数を変更し、逆フーリエ変換部ではその変更結果に応じて逆フーリエ変換を再度実行する。つまり、前述のようにして求めた最適埋め込み強度 p_{opt} を用いて、前述のステップA4及びA5を再度実行して、電子透かし入りオフセット点群

$$\bar{V}'_a$$

を生成する。

電子透かし入りオフセット点群

$$\bar{V}'_a$$

は逆オフセット部に与えられる。前述のように、逆オフセット部には、小領域重心点 μ_{ax} 、 μ_{ay} が与えられており、逆オフセット部は、 x 、 y 座標値の逆オフセットを行って透かし入り点群データ V'_a を生成する(ステップA7)。ここでは、前述の式(2)の逆操作を行って、つまり、逆オフセットを式(11)に基づいて行って、透かし入り点群

$$\bar{V}'_a$$

から透かし入り点群 V'_a を求める。

$$V'_a = \left\{ v'_i \mid v'_i = \bar{v}_i + [\mu_{ax}, \mu_{ay}, 0], \bar{v}_i \in \bar{V}'_a, 0 \leq i \leq |V'_a| - 1 \right\} \quad (11)$$

上述のようにして、電子透かし埋め込み部では、各小領域毎に処理を行い、最終的に透かし入り点群 V' を生成する。この透かし入り点群は、透かし入り点群出力部によって透かし情報埋め込み済み空間3次元座標点群としてファイルに出力される。

図5を参照して、透かし入り点群データ V' から透かしデータを抽出する場合について説明する。ここでは、コンピュータは透かしデータ抽出部を有しており、透かしデータ抽出部には点群小領域分割部、頂点間対応付け部、離散フーリエ変換部、及び透かしビット列抽出部が備えられている。

いま、オリジナル点群 V を、

$$\bullet \quad V = \left\{ v_i = (x_i, y_i, z_i) \in R^3 \mid 0 \leq i \leq N-1 \right\}$$

とし、透かし入り点群 V' を、

$$\bullet \quad V' = \left\{ v'_i = (x'_i, y'_i, z'_i) \in R^3 \mid 0 \leq i \leq N-1 \right\}$$

10

とする。

この際、前述の D_x 、 D_y （分割小領域の x 、 y 方向サイズ）及び（ x 、 y 方向の埋め込みトレランス）は電子透かしデータ埋め込みの際と同一の値を用いる。

【0015】

まず、オリジナル点群 V 及び小領域 x 、 y 方向サイズ D_x 、 D_y が点群小領域分割部に与えられ、点群小領域分割部はオリジナル点群 V を小領域に分割する（ステップ A 8）。前述の透かし埋め込み時に指定した分割小領域の x 、 y 方向サイズ D_x 、 D_y の値を用いて、埋め込み時と同様にしてオリジナル点群 V を小領域に分割して、領域毎に点群 V_a を求める。

20

なお、透かし入り点群 V' は分割を行うことなく、そのまま保存される。

小領域内点群 V は頂点間対応付け部に与えられる。この頂点間対応付け部には、前述の埋め込みトレランス 及び透かし入り点群 V' が与えられており、頂点間対応付け部では、小領域内点群 V と透かし入り点群 V' との頂点間の対応づけを行って小領域内透かし入り点群 V'_a を出力する（ステップ A 9）。

例えば、頂点間対応付け部では、各小領域群 V_a 毎に点群 V_a 内の頂点 v_i （ V_a ）と最短距離にある頂点を透かし入り点群 V' から探索して、この探索の結果得られた頂点を、頂点 v_i に対応付けられた透かし入り頂点 v'_i （ V' ）として採用する。

上述の対応付けにおいて、点群 V' は極めて多数の頂点を含む関係上、総当たりで最短頂点を探索すると、点数の二乗のオーダーで探索時間が必要となる。このため、図示のように、2-d 木生成部を備えて、前処理として透かし入り点群 V' に対する 2-d 木を生成するようにしてもよい（ステップ A 10）。そして、透かし入り点群 V' の代わりに、透かし入り点群の 2-d 木を頂点間対応付け部に与えるようにしてもよい。

30

そして、オリジナル点群内の頂点 v_i （ V_a ）の位置と埋め込みトレランス とによって定まる微小な問い合わせ領域を設定して、2-d 木内から問い合わせ領域に含まれる透かし入り頂点群を高速に探索して、これらの中だけで総当たりによって最短頂点を探索する。これによって、オリジナル点群 v_i （ V_a ）と透かし入り頂点 v'_i （ V' ）との対応付け処理を効率化することができる。

このようにして、小領域に含まれるオリジナル点群 V_a に透かし入り点群 V'_a を対応付けた後、離散フーリエ変換部では、オリジナル点群 V_a 及び透かし入り点群 V'_a に対して DFT を実行する（ステップ A 11）。オリジナル点群及びこれに対応づけられた透かし入り点群に、埋め込み時と同様にして、式（4）及び（5）で示す DFT を行って、それぞれフーリエ係数列 $\{C_1\}$ 及び $\{C'_1\}$ を求める。

40

そして、透かしビット列抽出部では、フーリエ係数列 $\{C_1\}$ 及び透かし入りフーリエ係数列 $\{C'_1\}$ に応じて電子透かしデータの抽出を行う（ステップ A 12）。つまり、上述のようにして得られたフーリエ係数列 $\{C_1\}$ 及び $\{C'_1\}$ を比較して、埋め込まれた透かしデータのビット列

$$\tilde{B} = \{ \tilde{b}_m \in \{0, 1\} \mid 1 \leq m \leq N_b \}$$

を式(12)に基づいて抽出する。

$$\tilde{b}_l = \begin{cases} 0 & (|C'_l| - |C_l| \geq 0) \\ 1 & (|C'_l| - |C_l| < 0) \end{cases} \quad (12)$$

10

このようにして、埋め込まれた透かしビット列

$$\tilde{B} = \{ \tilde{b}_m \in \{0, 1\} \mid 1 \leq m \leq N_b \}$$

を式(12)に基づいて抽出して、別に管理していたオリジナルの透かしビット列と比較する。この比較結果に基づいて透かし入り点群データがオリジナル点群データから生成されたものであるかを判定する。

20

【0016】

【発明の効果】

このようにして、本発明では、オリジナルランダム点群データに電子透かしデータを埋め込んで、オリジナルランダム点群データの不正使用を防止することができる。さらに、上述のようにして、電子透かしデータを、透かし入り点群データから抽出して、別に管理しているオリジナルの電子透かしデータと比較するようにしたから、その結果に応じて透かし入り点群データがオリジナル点群データから生成されたものであるかを判定することができる。つまり、オリジナルランダム点群データの同一性を判定することもできる。

30

【図面の簡単な説明】

【図1】 3次元レーザ計測による地表面の計測を説明するための図である。

【図2】 3次元レーザ計測によって得られたデータから透かし入り点群を得る際の手法を説明するためのフローチャートである。

【図3】 電子透かし埋め込みについて説明するためのフローチャートである。

【図4】 オリジナルランダム点群データの一例を示す図である。

【図5】 透かしデータの抽出を説明するためのフローチャートである。

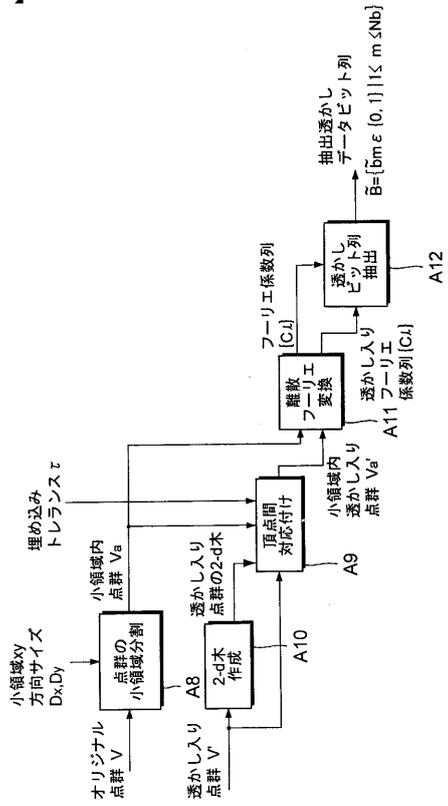
【符号の説明】

- 11 航空機
- 12 地表面
- 13 GPS基準局

40

【 図 5 】

FIG. 5



フロントページの続き

- (72)発明者 栗崎 直子
東京都千代田区六番町2番地 国際航業株式会社内
- (72)発明者 北村 伊久裕
北海道札幌市北区北20条西7丁目20 偕楽園11号

審査官 日下 善之

- (56)参考文献 特開2003-158627(JP,A)
特開2003-099805(JP,A)
特開2001-160897(JP,A)
特開2000-209428(JP,A)
特開平08-123942(JP,A)
大淵竜太郎他, スペクトル分解を用いた3次元メッシュへの電子透かしの埋め込み, 情報処理学会研究報告, 日本, 2000年 9月, CG100-2, pp.7-12

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H04N 1/387