

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5996092号
(P5996092)

(45) 発行日 平成28年9月21日(2016.9.21)

(24) 登録日 平成28年9月2日(2016.9.2)

(51) Int.Cl.

F 1

G06T	7/60	(2006.01)	GO 6 T	7/60	1 50 B
G06T	7/00	(2006.01)	GO 6 T	7/00	300 E
A61B	6/03	(2006.01)	GO 6 T	7/00	C
			A 61 B	6/03	333 A

請求項の数 18 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2015-506304 (P2015-506304)
 (86) (22) 出願日 平成25年4月17日 (2013.4.17)
 (65) 公表番号 特表2015-515068 (P2015-515068A)
 (43) 公表日 平成27年5月21日 (2015.5.21)
 (86) 國際出願番号 PCT/GB2013/050976
 (87) 國際公開番号 WO2013/156775
 (87) 國際公開日 平成25年10月24日 (2013.10.24)
 審査請求日 平成28年2月22日 (2016.2.22)
 (31) 優先権主張番号 1206915.9
 (32) 優先日 平成24年4月19日 (2012.4.19)
 (33) 優先権主張国 英国(GB)

(73) 特許権者 511180259
 ビジョン アールティ リミテッド
 イギリス国, ロンドン エヌ3 2ジェイ
 ュー, アーケイディア アベニュー, ダヴ
 ハウス (番地なし)
 (74) 代理人 100107766
 弁理士 伊東 忠重
 (74) 代理人 100070150
 弁理士 伊東 忠彦
 (74) 代理人 100091214
 弁理士 大貫 進介

早期審査対象出願

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】患者のモニタリングおよび方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

患者の位置とターゲットオブジェクトをマッチングするための厳密な変換を決定するようにコンピュータで実施される方法であって、前記ターゲットオブジェクトは、三角形状の3次元ワイヤーメッシュに係る一式の頂点の3次元位置と頂点間の接続を示す接続性とを特定するデータを含んでいるターゲットモデルによって表されており、前記方法は：

患者の立体画像を取得するステップと；

画像化された患者の表面上の複数のポイントに係る3次元位置を特定するために、コンピュータを利用して前記立体画像を処理するステップと；

3次元空間におけるポイントの標準グリッドについて、グリッドポイントに最も近いターゲットモデルの頂点を特定する最も近い頂点アレイを；

a) 前記ターゲットモデルにおけるそれぞれの頂点に対して、前記頂点の場所を含む立方体の角に対応する標準3次元グリッドのグリッド部分を特定するために、前記ターゲットモデルの頂点に関連付けられた前記3次元座標を使用すること；前記頂点と前記特定されたグリッドポイントに対応する位置との間の距離を決定すること；および、前記特定されたグリッドポイントが、前記ターゲットモデルにおける別の頂点により近いことを示すデータに関連付けられてか否かを判断すること、かつ、該当しない場合は、前記グリッドポイントを前記頂点および前記頂点と前記グリッドポイントとの間の距離を特定するデータと関連付けること；および、

b) 前記標準3次元グリッドの軸に対応しているそれぞれの方向において、前記標準3

10

20

次元グリッドを横切ることによって、前記グリッドの至る所で頂点および距離データをプロパゲーションすること；現在のグリッドポイントに対して、前記グリッドを横切るときに、横切る方向におけるグリッド上の近隣のグリッドポイントと関連付けされた頂点が、現在のグリッドポイントに関連付けされた位置に対して、以前に前記現在のグリッドポイントに関連付けされた何れの頂点よりも近いか否かを判断すること、かつ、該当する場合は、前記現在のグリッドポイントを前記近隣のグリッドポイントと関連付けされた頂点を特定しているデータと関連付けること；

によって生成するステップと；

画像化された患者の表面上のそれぞれのポイントに対して、画像化された患者の前記表面上のポイントに最も近い前記標準3次元グリッドのグリッドポイントを8個まで特定するステップと；

画像化された患者の前記表面上の前記それぞれのポイントに最も近い前記ターゲットモデル表面における三角形を特定するために、前記最も近い頂点アレイを使用することによって前記特定されたグリッドポイントに関連付けされた前記頂点を利用するステップと；

前記画像化された患者の前記表面上でポイントとして特定された一式の3次元位置を選択するために前記コンピュータを利用するステップであり、前記ポイントは、前記特定された3次元位置と前記位置に最も近いものとして特定された前記ターゲットモデルの頂点との間の決定された距離に基づいて、患者の前記位置をターゲットオブジェクトの前記位置にマッチングするための厳密な変換を決定するために利用されるべきポイントである、ステップと；

前記特定された3次元位置と前記ポイントに最も近いものとして特定された前記ターゲットモデル表面の三角形を含んでいる平面との間のポイントから平面への距離を最小化する厳密な変換を算出するために前記コンピュータを利用するステップと、

を含む、コンピュータで実施される方法。

【請求項2】

前記画像化された患者の表面上で特定された一式の3次元位置を選択すること、および、前記特定された一式の3次元位置と前記ポイントに最も近いものとして特定された前記ターゲットモデル表面の三角形を含んでいる前記平面との間のポイントから平面への距離を最小化する厳密な変換を算出することは、多くの反復を含んでおり：

現在の反復に対して利用されるべき閾値を決定するステップと；

前記特定された3次元位置と前記閾値を用いて前記位置に最も近いものとして特定された前記ターゲットモデルの頂点との間の距離の比較に基づいて、前記患者の前記位置を前記ターゲットオブジェクトの前記位置にマッチングするための厳密な変換を決定するために利用されるべきポイントとして、前記画像化された患者の前記表面上の特定された一式の3次元位置を選択するステップと；

前記特定された3次元位置と前記ポイントに最も近いものとして特定された前記ターゲットモデル表面の三角形を含んでいる平面との間のポイントから平面への距離を最小化する厳密な変換を算出するステップと、が反復され、

患者の前記位置をターゲットオブジェクトの前記位置にマッチングするための前記厳密な変換は、それぞれの反復において決定された前記変換の合計を含んでいる、

請求項1に記載のコンピュータで実施される方法。

【請求項3】

現在の反復に対して利用されるべき閾値を決定するステップは：

最初の反復に対する最初の閾値を設定する段階と；

前記特定された3次元位置と前記位置に最も近いものとして特定された前記ターゲットモデルの頂点との間の平均距離に基づいて、後続の反復において使用するための閾値を決定する段階と、

を含む、請求項2に記載のコンピュータで実施される方法。

【請求項4】

前記患者の前記位置を前記ターゲットオブジェクトの前記位置にマッチングするための

10

20

30

40

50

厳密な変換を決定するために利用されるべきポイントとして、画像化された患者の前記表面上の特定された一式の3次元位置を選択することは、さらに：

ポイントにおける前記患者の相対的な方向とポイントに最も近いものであるとして特定された前記ターゲットモデル表面における三角形の方法とに基づいて、厳密な変換を算出するために利用されるべき前記画像化された患者の前記表面上の選択された一式の特定された3次元位置をフィルタリングすること、を含み、

前記ポイントにおける前記患者の前記方向は、前記患者のモデルを生成すること、および、前記ポイントを含む前記生成されたモデルにおける三角形の平均法線ベクトルを計算すること、によって決定される、

請求項2に記載のコンピュータで実施される方法。

10

【請求項5】

患者の前記位置をターゲットオブジェクトの前記位置にマッチングするための厳密な変換を決定するために利用されるべきポイントとして、画像化された患者の前記表面上の特定された一式の3次元位置を選択することは、さらに：

厳密な変換を算出する以前に同一の場所の投射するように判断されたあらゆるポイントを除去するために、厳密な変換を算出するために利用されるべき前記画像化された患者の前記表面上の前記選択され特定された3次元位置をフィルタリングすること、を含み、

厳密な変換は、フィルタリングされた前記特定された一式の3次元位置と、前記ポイントに最も近いものとして特定された前記ターゲットモデル表面の前記三角形を含んでいる平面との間の、ポイントから平面への距離を最小化する、

20

請求項4に記載のコンピュータで実施される方法。

【請求項6】

前記画像化された患者の前記表面上の前記特定されたポイントと、前記ポイントに最も近いものとして特定された前記ターゲットモデル表面の前記三角形を含んでいる平面との間の、ポイントから平面への距離を最小化する厳密な変換を算出することは：

前記ポイントのそれぞれに対して、前記ポイントに最も近いものとして特定された前記ターゲットモデル表面の前記三角形を含んでいる前記平面への前記ポイントの投射を決定すること；

患者の前記表面上の場所であるものとして特定されたポイントの重心を、前記ポイントに最も近いものとして特定された前記ターゲットモデル表面の前記三角形を含んでいる特定された平面への前記ポイントの投射の重心と揃える移動を決定すること；

30

前記移動が適用された後で、前記画像化された患者の前記表面上の前記特定されたポイントと、前記ポイントに最も近いものとして特定された前記ターゲットモデル表面の前記三角形を含んでいる前記平面との間の、ポイントから平面への距離を最小化する回転を決定すること、

を含む、請求項1に記載のコンピュータで実施される方法。

【請求項7】

前記画像化された患者の前記表面上のそれぞれのポイントに最も近い前記ターゲットモデル表面における三角形を特定するために、前記最も近い頂点アレイを使用することによって3次元グリッドの前記特定されたグリッドポイントに関連付けされた前記頂点を利用することは：

40

現在処理されている患者の前記表面上の前記ポイントに最も近い前記モデル表面の頂点であり、前記3次元グリッドの前記特定されたグリッドポイントに関連付けされた頂点を決定すること；

前記決定された最も近い頂点に直接的に接続された何れかの頂点が、現在処理されている前記画像化された患者の前記表面上の前記ポイントの前記3次元座標に、より近いかを判断すること、

前記直接的に接続された何れかの頂点が、現在処理されている前記画像化された患者の前記表面上の前記ポイントの前記3次元座標に、より近いと判断された場合、前記頂点に接続された何れかの頂点が、現在処理されている前記画像化された患者の前記表面上の前

50

記ポインツの前記 3 次元座標に、より近いか否かを特定すること；

前記直接的に接続された頂点の何れも、現在処理されている前記画像化された患者の前記表面上の前記ポインツの前記 3 次元座標に、より近いと判断されない場合に、現在処理されている患者の前記表面上の前記ポインツに最も近い前記ターゲット表面における三角形を特定するために、最も近い前記頂点を含んでいる前記ターゲットモデルにおけるそれぞの三角形に対して、前記三角形を含んでいる平面と前記画像化された患者の前記表面上のポインツの前記 3 次元位置との間の距離を決定すること、

を含む、請求項 1 に記載のコンピュータで実施される方法。

【請求項 8】

患者モニタリングシステムであつて：

10

画像化された患者の表面上の複数のポインツの 3 次元位置を特定するために、患者の立体画像を処理するように動作可能である、3 次元位置決定モジュールと；

三角形状の 3 次元ワイヤーメッシュモデルに係る一式の頂点の 3 次元位置と頂点間の接続を示す接続性とを特定するデータを含むターゲットモデルを保管するように動作可能である、ターゲットモデルストアと；

前記ターゲットモデルストアの中に保管されたターゲットモデル表面において、前記 3 次元位置決定モジュールによって特定されたポインツに最も近い三角形を特定するようになかつ、選択された一式の特定されたポインツと、前記ポインツに最も近いものとして特定されたターゲットモデル表面に係る三角計を含んでいる平面との間の、ポインツから平面への距離を最小化する厳密な変換を算出するように動作可能である、マッチングモジュールであり、前記厳密な変換を決定するために利用される選択された一式のポインツは、前記特定された 3 次元位置と、前記位置に最も近いものとして特定されたターゲットモデルの頂点との間の決定された距離に基づいて選択される、マッチングモジュールと；

20

標準グリッド上のポインツについて、前記グリッドポインツに最も近い、前記ターゲットモデルストアに保管されたターゲットモデルの前記頂点を特定するデータを保管するように動作可能である、最も近い頂点アレイと、を含み、

前記マッチングモジュールは、3 次元空間におけるポインツの標準グリッドについて、前記グリッドポインツに最も近いターゲットモデルの頂点を特定するデータを：

a) 前記ターゲットモデルにおけるそれぞれの頂点に対して、前記頂点の場所を含む立方体の角に対応する標準 3 次元グリッドのグリッド部分を特定するために、前記ターゲットモデルの頂点に関連付けされた前記 3 次元座標を使用すること；前記頂点と前記特定されたグリッドポインツに対応する位置との間の距離を決定すること；および、前記特定されたグリッドポインツが、前記ターゲットモデルにおける別の頂点により近いことを示すデータに関連付けされてるか否かを判断すること、かつ、該当しない場合は、前記グリッドポインツを前記頂点および前記頂点と前記グリッドポインツとの間の距離を特定するデータと関連付けること；および、

30

b) 前記標準 3 次元グリッドの軸に対応しているそれぞれの方向において、前記標準 3 次元グリッドを横切ることによって、前記グリッドの至る所で頂点および距離データをプロパゲーションすること；現在のグリッドポインツに対して、前記グリッドを横切るときに、横切る方向におけるグリッド上の近隣のグリッドポインツと関連付けされた頂点が、現在のグリッドポインツに関連付けされた位置に対して、以前に前記現在のグリッドポインツに関連付けされた何れの頂点よりも近いか否かを判断すること、かつ、該当する場合は、前記現在のグリッドポインツを前記近隣のグリッドポインツと関連付けられた頂点を特定しているデータと関連付けること；

40

によって生成し、

前記マッチングモジュールは、前記 3 次元位置決定モジュールによって特定されたポインツに最も近い、前記ターゲットモデルストアに保管されたターゲットモデル表面における前記三角形を：

画像化された患者の表面上のそれぞれのポインツに対して、画像化された患者の前記表面上のポインツに最も近い前記標準 3 次元グリッドのグリッドポインツを 8 個まで特定

50

すること；および

画像化された患者の前記表面上の前記それぞれのポイントに最も近い前記ターゲットモデル表面における三角形を特定するために、前記最も近い頂点アレイを使用することによって前記特定されたグリッドポイントに関連付けされた前記頂点を利用すること；

によって特定するように、動作可能である、

患者モニタリングシステム。

【請求項 9】

前記マッチングモジュールは、厳密な変換を算出するために利用されるべき前記画像化された患者の前記表面上の特定された3次元位置を、

ポイントと、前記ポイントに最も近いものとして特定された前記ターゲットモデルの頂点との間の距離を決定すること、かつ、

厳密な変換を算出するために利用されるべきポイントとして、閾値より小さい距離と関連付けされたポイントを選択すること、

によって選択するように動作可能である、

請求項8に記載の患者モニタリングシステム。

【請求項 10】

前記閾値は、前記特定された3次元位置と、前記ターゲットモデルにおいて特定された最も近い頂点との決定された距離の平均に基づいて、決定された閾値を含んでいる、

請求項9に記載の患者モニタリングシステム。

【請求項 11】

前記マッチングモジュールは、厳密な変換を算出するために利用されるべき前記画像化された患者の前記表面上の選択された一式の特定された3次元位置をフィルタリングするように動作可能であり、

厳密な変換は、ポイントにおける患者の相対的な方向と、前記ポイントに最も近いものとして特定された前記ターゲットモデルにおける三角形の方向に基づいて、ポイントから平面への距離を最小化し、

前記ポイントにおける前記患者の前記方向は、前記患者のモデルを生成すること、および、前記ポイントを含む前記生成されたモデルにおける三角形の平均法線ベクトルを計算すること、によって決定される、

請求項9に記載の患者モニタリングシステム。

【請求項 12】

前記マッチングモジュールは、ポイントから平面への距離を最小化する厳密な変換を算出するために利用されるべき前記画像化された患者の前記表面上の前記選択され特定された3次元位置をフィルタリングするように動作可能であり、

前記フィルタリングされ特定された一式の3次元位置と、前記ポイントに最も近いものとして特定されたターゲットモデル表面に係る三角計を含んでいる平面との間の、ポイントから平面への距離を最小化する厳密な変換を算出する以前に、同一の場所の投射するよう判断されたあらゆるポイントを除去する、

請求項11に記載の患者モニタリングシステム。

【請求項 13】

前記マッチングモジュールは、ポイントから平面への距離を最小化する厳密な変換を、

ポイントに対して、前記ポイントに最も近いものとして特定された前記ターゲットモデル表面の前記三角形を含んでいる前記平面への前記ポイントの投射を決定すること；

患者の前記表面上の場所であるものとして特定されたポイントの重心を、前記ポイントに最も近いものとして特定された前記ターゲットモデル表面の前記三角形を含んでいる特定された平面への前記ポイントの投射の重心と揃える移動を決定すること；かつ、

前記移動が適用された後で、前記画像化された患者の前記表面上の前記特定されたポイントと、前記ポイントに最も近いものとして特定された前記ターゲットモデル表面の前記三角形を含んでいる前記平面との間の、ポイントから平面への距離を最小化する回転を決定すること、

10

20

30

40

50

によって算出するように動作可能である、
請求項 8 に記載の患者モニタリングシステム。

【請求項 14】

前記マッチングモジュールは、前記画像化された患者の前記表面上のそれぞれのポイントに最も近い前記ターゲットモデル表面における三角形を特定するために、

現在処理されている患者の前記表面上の前記ポイントに最も近い前記モデル表面の頂点であり、前記最も近い頂点アレイにおけるデータによって前記 3 次元グリッドの前記特定されたグリッドポイントに関連付けされた頂点を決定すること；

前記決定された最も近い頂点に直接的に接続された何れかの頂点が、現在処理されている前記画像化された患者の前記表面上の前記ポイントの前記 3 次元座標に、より近いかを判断すること。10

前記直接的に接続された何れかの頂点が、現在処理されている前記画像化された患者の前記表面上の前記ポイントの前記 3 次元座標に、より近いと判断された場合、前記頂点に接続された何れかの頂点が、現在処理されている画像化された患者の前記表面上の前記ポイントの前記 3 次元座標に、より近いか否かを特定すること；

前記直接的に接続された頂点の何れも、現在処理されている前記画像化された患者の前記表面上の前記ポイントの前記 3 次元座標に、より近いと判断されない場合に、現在処理されている前記患者の前記表面上の前記ポイントに最も近い前記ターゲットモデル表面における三角形を特定するために、最も近い前記頂点を含んでいる前記ターゲットモデルにおけるそれぞれの三角形に対して、前記三角形を含んでいる平面と前記画像化された患者の前記表面上のポイントの前記 3 次元位置との間の距離を決定すること。20

によって、前記最も近い頂点アレイを使用することによって 3 次元グリッドの前記特定されたグリッドポイントに関連付けされた前記頂点を利用するように動作可能である、

請求項 8 に記載の患者モニタリングシステム。

【請求項 15】

前記患者モニタリングシステムは、さらに：

患者の立体画像を取得するように動作可能である立体視カメラ、を含み、

前記 3 次元位置決定モジュールは、前記立体視カメラによって取得された立体画像を処理するように構成されている、

請求項 8 に記載の患者モニタリングシステム。30

【請求項 16】

前記患者モニタリングシステムは、さらに：

メカニカル寝いす、を含み、

前記立体視カメラは前記寝いす上の患者の立体画像を取得するように動作可能であり、

前記マッチングモジュールは、画像化された患者の表面上の前記特定されたポイントと前記ポイントに最も近いものとして特定されたターゲットモデル表面に係る三角計を含んでいる平面との間のポイントから平面への距離を最小化する、算出された厳密な変換に基づいて、前記寝いすに画像化された患者を揃えさせるためにインストラクションを生成するように動作可能である、

請求項 15 に記載の患者モニタリングシステム。40

【請求項 17】

前記患者モニタリングシステムは、さらに：

治療装置、を含み、

前記治療装置は、画像化された患者の表面上の前記特定されたポイントと前記ポイントに最も近いものとして特定されたターゲットモデル表面の三角形を含んでいる前記平面との間のポイントから平面への距離を最小化する、算出された厳密な変換が、患者の位置が閾値量以上に外れた位置に居ることを示していると、前記マッチングモジュールが判断する場合に、動作を停止するように構成されている、

請求項 8 に記載の患者モニタリングシステム。

【請求項 18】

10

20

30

40

50

コンピュータで実施可能なインストラクションを保管しているコンピュータで読み取り可能な媒体であって、プログラム可能なコンピュータによって実施されると、前記コンピュータに、患者の位置とターゲットオブジェクトをマッチングするための厳密な変換を決定させ、前記ターゲットオブジェクトは、三角形状の3次元ワイヤーメッシュに係る一式の頂点の3次元位置と頂点間の接続を示す接続性とを特定するデータを含んでいるターゲットモデルによって表されており、前記インストラクションは：

患者の立体画像を取得するステップと；

画像化された患者の表面上の複数のポイントに係る3次元位置を特定するために、コンピュータを利用して前記立体画像を処理するステップと；

3次元空間におけるポイントの標準グリッドについて、グリッドポイントに最も近いターゲットモデルの頂点を特定する最も近い頂点アレイを； 10

a) 前記ターゲットモデルにおけるそれぞれの頂点に対して、前記頂点の場所を含む立方体の角に対応する標準3次元グリッドのグリッド部分を特定するために、前記ターゲットモデルの頂点に関連付けされた前記3次元座標を使用すること；前記頂点と前記特定されたグリッドポイントに対応する位置との間の距離を決定すること；および、前記特定されたグリッドポイントが、前記ターゲットモデルにおける別の頂点により近いことを示すデータに関連付けされてるか否かを判断すること、かつ、該当しない場合は、前記グリッドポイントを前記頂点および前記頂点と前記グリッドポイントとの間の距離を特定するデータと関連付けること；および、

b) 前記標準3次元グリッドの軸に対応しているそれぞれの方向において、前記標準3次元グリッドを横切ることによって、前記グリッドの至る所で頂点および距離データをプロパゲーションすること；現在のグリッドポイントに対して、前記グリッドを横切るときに、横切る方向におけるグリッド上の近隣のグリッドポイントと関連付けされた頂点が、現在のグリッドポイントに関連付けされた位置に対して、以前に前記現在のグリッドポイントに関連付けされた何れの頂点よりも近いか否かを判断すること、かつ、該当する場合は、前記現在のグリッドポイントを前記近隣のグリッドポイントと関連付けられた頂点を特定しているデータと関連付けること； 20

によって生成するステップと；

画像化された患者の表面上のそれぞれのポイントに対して、画像化された患者の前記表面上のポイントに最も近い前記標準3次元グリッドのグリッドポイントを8個まで特定するステップと； 30

画像化された患者の前記表面上の前記それぞれのポイントに最も近い前記ターゲットモデル表面における三角形を特定するために、前記最も近い頂点アレイを使用することによって前記特定されたグリッドポイントに関連付けされた前記頂点を利用するステップと；

前記画像化された患者の前記表面上でポイントとして特定された一式の3次元位置を選択するステップであり、前記ポイントは、前記特定された3次元位置と前記位置に最も近いものとして特定された前記ターゲットモデルの頂点との間の決定された距離に基づいて、患者の前記位置をターゲットオブジェクトの前記位置にマッチングするための厳密な変換を決定するために利用されるべきポイントである、ステップと；

前記特定された3次元位置と前記ポイントに最も近いものとして特定された前記ターゲットモデル表面の三角形を含んでいる平面との間のポイントから平面への距離を最小化する厳密な変換を算出するステップと、 40

を含む、コンピュータで読み取り可能な媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、患者のモニタリングに関する。より特定的には、本発明の実施例は、患者の配置のモニタリング、および、患者の移動を検出できるようにすることに関する。本発明 50

は、治療が成功するためには患者の移動の正確な位置決めと検出が重要である、放射線治療装置、コンピュータトモグラフィ（CT）等の使用に対して特に適している。

【背景技術】

【0002】

放射線治療は、患者の身体の既定の領域上に放射線ビームを投射することから構成され、そこに存在している腫瘍を破壊または除去する。こうした治療は、たいてい定期的および連続的に実施される。それぞれの医療行為においては、可能な限り最大の正確性をもって選択された領域に放射線を照射するように、放射線源を患者に関して配置する必要がある。放射線ビームが傷つけてしまうであろう隣接する組織への照射を回避するためである。10

【0003】

放射線を患者に適用する場合には、治療装置のゲートティング（gating）が呼吸サイクルと一致するべきである。放射線が腫瘍の位置にフォーカスされ、かつ、他の組織への付随的な損傷を最小化するようにである。患者の移動が検出された場合には、腫瘍位置以外の患者の領域への放射線照射を回避するために、治療は停止されるべきである。

【0004】

この理由のために、従って、放射線治療の最中に患者の位置決めを援助するための数多くのモニタリングシステムが提案されてきた。Vision RT社の米国特許出願第7348974号、米国特許出願第7889906号、および、米国特許出願公開2009-018711号に説明されているようなものである。これらは、ここにおいて、参照として包含されている。20

【0005】

Vision RT社の特許および特許出願において説明されたシステムにおいては、患者の立体画像が取得され、処理される。画像化された患者の表面上のポイントに対応する数多くのポイントの3次元位置（3D position）を特定するデータを生成するためである。こうしたデータは、以前の機会に生成されたデータと比較することができ、そして、患者をいつもと同じ方法で位置決めするため、または、患者が位置を外れて移動した場合に警告を提供するために使用される。典型的に、こうした比較は、プロクラステス解析（Procrustes analysis）を行うことを含んでおり、ライブ画像に基づいて生成されたデータによって特定される患者の表面上のポイントと以前の機会に生成されたデータによって特定される患者の表面上のポイントとの間の位置における差異を最小化する変換を決定する。30

【0006】

現在の患者位置と以前の治療における患者の位置との間の正確な一致を判断することは難しい。

【0007】

一つの特定的な問題は、2つの異なる機会において、厳密に同一な患者の部分が画像化されるという保証が無いことである。このことは、取得されたデータが患者の表面上のポイントに係る3次元座標を特定し得るのに対して、1つのモデルにおいて特定されたポイントが以前に生成されたモデルにおけるデータによって表されるポイントに対応するといったものではないことを意味している。従って、異なる機会に取得されたデータにおけるポイント間の平均距離を最小化するように変換を決定するための試みは、患者の位置がどのように変化したかを正確には反映しないことがある。40

【0008】

さらに、治療装置の使用していない部分が立体視カメラの視野を覆い隠して、患者の表面の一部分だけしか生成されないことがある。このことは、画像化された表面とターゲットデータを生成するために使用された表面との間で、限定されたオーバーラップ領域しか存在しないことを意味し得る。

【0009】

2つの表面間での正確なマッチングを特定するための試みに加えて、こうしたマッチン50

グを素早く判断することも、また望ましい。典型的なモデル表面における数多くのデータポイントが与えられると、最初の一致を計算するために、ポイントのサブセットが、ときどき選択され、使用される。典型的に、こうしたポイントは、モデル表面のいたる所に広がっているように選択される。しかしながら、2つの表面間の一致を判断するために一つのポイントのサブセットだけが使用される場合、現在のモデルとターゲットモデルとの間のオーバーラップ領域に対応する一致を判断するために比較的に少ない数のポイントしか使用されないとすれば、マッチングの正確性は乏しいものである。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

10

【特許文献1】米国特許出願第7348974号明細書

【特許文献2】米国特許出願第7889906号明細書

【特許文献3】米国特許出願公開2009-018711号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

素早く、かつ、正確に、一致を特定することができる代替的なシステムが望ましい。

【課題を解決するための手段】

【0012】

20

本発明の一つの態様に従って、コンピュータで実施される方法が提供される。本方法は、患者の位置とターゲットオブジェクトをマッチングするための厳密な変換を決定するようコンピュータで実施される方法であって、前記ターゲットオブジェクトは、三角形状の3次元ワイヤーメッシュに係る一式の頂点の3次元位置と頂点間の接続を示す接続性とを特定するデータを含んでいるターゲットモデルによって表されてる。本方法は：患者の立体画像を取得するステップと；画像化された患者の表面上の複数のポイントに係る3次元位置を特定するために、コンピュータを利用して前記立体画像を処理するステップと；画像化された患者の表面上でポイントとして特定された一式の3次元位置を選択するために前記コンピュータを利用するステップであり、前記ポイントは、前記特定された3次元位置と前記位置に最も近いものとして特定された前記ターゲットモデルの頂点との間の決定された距離に基づいて、患者の前記位置をターゲットオブジェクトの前記位置にマッチングするための厳密な変換を決定するために利用されるべきポイントである、ステップと；前記特定された3次元位置と前記ポイントに最も近いものとして特定された前記ターゲットモデル表面の三角形を含んでいる平面との間のポイントから平面への距離を最小化する厳密な変換を算出するためにコンピュータを利用するステップと、を含む。

30

【0013】

いくつかの実施例において、画像化された患者の表面上で特定された一式の3次元位置を選択すること、および、前記特定された一式の3次元位置と前記ポイントに最も近いものとして特定された前記ターゲットモデル表面の三角形を含んでいる前記平面との間のポイントから平面への距離を最小化する厳密な変換を算出することは、多くの反復を含んでおり：現在の反復に対して利用されるべき閾値を決定するステップと；前記特定された3次元位置と前記閾値を用いて前記位置に最も近いものとして特定された前記ターゲットモデルの頂点との間の距離の比較に基づいて、患者の前記位置をターゲットオブジェクトの前記位置にマッチングするための厳密な変換を決定するために利用されるべきポイントとして、画像化された患者の前記表面上の特定された一式の3次元位置を選択するステップと；前記特定された3次元位置と前記ポイントに最も近いものとして特定された前記ターゲットモデル表面の三角形を含んでいる平面との間のポイントから平面への距離を最小化する厳密な変換を算出するステップと、が反復される。患者の前記位置をターゲットオブジェクトの前記位置にマッチングするための前記厳密な変換は、それぞれの反復において決定された前記変換の合計を含んでいる。

40

【0014】

50

そうした実施例においては、最初の反復に対する閾値が設定され、後に続く反復に対する閾値は、特定された3次元位置と前記位置に最も近いものとして特定されたターゲットモデルの頂点との間の平均距離に基づいて決定され得る。

【0015】

患者の位置をターゲットオブジェクトの位置にマッチングするための厳密な変換を決定するために利用されるべき、画像化された患者の前記表面上の特定された一式の3次元位置は、ポイントにおける前記患者の相対的な方向とポイントに最も近いものであるとして特定された前記ターゲットモデル表面における三角形の方法に基づいて選択され得る。

【0016】

さらに、選択された一式の3次元位置は、厳密な変換を算出する以前に同一の場所の投射するように判断されたあらゆるポイントを除去するためにフィルタリングされ得る。厳密な変換は、フィルタリングされた前記特定された一式の3次元位置と、前記ポイントに最も近いものとして特定された前記ターゲットモデル表面の前記三角形を含んでいる平面との間の、ポイントから平面への距離を最小化するものである。

10

【0017】

いくつかの実施例において、画像化された患者の表面上の前記特定されたポイントと、前記ポイントに最も近いものとして特定された前記ターゲットモデル表面の前記三角形を含んでいる平面との間の、ポイントから平面への距離を最小化する厳密な変換を算出することは：前記ポイントのそれぞれに対して、前記ポイントに最も近いものとして特定された前記ターゲットモデル表面の前記三角形を含んでいる前記平面への前記ポイントの投射を決定すること；患者の前記表面上の場所であるものとして特定されたポイントの重心を、前記ポイントに最も近いものとして特定された前記ターゲットモデル表面の前記三角形を含んでいる特定された平面への前記ポイントの投射と揃える移動を決定すること；前記移動が適用された後で、画像化された患者の表面上の前記特定されたポイントと、前記ポイントに最も近いものとして特定された前記ターゲットモデル表面の前記三角形を含んでいる前記平面との間の、ポイントから平面への距離を最小化する回転を決定すること、を含む。

20

【0018】

画像化された患者の表面上の前記ポイントの特定された3次元位置に対して、前記ポイントに最も近い前記ターゲットモデル表面における三角形を特定することは：3次元空間におけるポイントの標準グリッドに対して、前記ポイントに最も近い前記ターゲットモデルの頂点を特定するアレイを生成すること；画像化された患者の表面上のポイントに最も近い標準3次元グリッドの部分を特定すること；および、前記ポイントに最も近い前記ターゲットモデル表面における三角形を特定するために、前記アレイによって3次元グリッドの前記特定された部分に関連付けされた前記頂点を利用すること、を含む。

30

【0019】

そうした実施例において、ポイントに最も近い前記ターゲットモデル表面における三角形を特定するために、前記アレイによって3次元グリッドの前記特定された部分に関連付けされた前記頂点を利用することは：現在処理されている患者の前記表面上の前記ポイントに最も近い前記モデル表面の頂点であり、前記3次元グリッドの前記特定された部分に関連付けされた頂点を決定すること；前記決定された最も近い頂点に直接的に接続された何れかの頂点が、現在処理されている画像化された患者の前記表面上の前記ポイントの前記3次元座標に、より近いかを判断すること；前記直接的に接続された何れかの頂点が、現在処理されている画像化された患者の前記表面上の前記ポイントの前記3次元座標に、より近いと判断された場合、前記頂点に接続された何れかの頂点が、現在処理されている画像化された患者の前記表面上の前記ポイントの前記3次元座標に、より近いか否かを特定すること；そして、前記直接的に接続された頂点の何れも、現在処理されている画像化された患者の前記表面上の前記ポイントの前記3次元座標に、より近いと判断されない場合に、現在処理されている患者の前記表面上の前記ポイントに最も近い前記ターゲット表面における三角形を特定するために、最も近い前記頂点を含んでいる前記ターゲットモ

40

50

ルにおけるそれぞれの三角形に対して、前記三角形を含んでいる平面と画像化された患者の前記表面上のポイントの前記3次元位置との間の距離を決定すること、を含む。

【0020】

好適なアレイは、ターゲットモデルにおけるそれぞれの頂点に対して：前記頂点の場所に最も近い標準3次元グリッドの部分を特定するために、ターゲットモデルの頂点に関連付けされた前記3次元座標を使用すること；前記頂点と標準3次元グリッドの前記特定された部分において対応するポイントの位置との間の距離を決定すること；および、前記特定されたポイントが、前記ターゲットモデルにおける別の頂点により近いことを示すデータに関連付けされてるか否かを判断し、該当しない場合は、前記ポイントを前記頂点と、前記頂点と前記ポイントとの間の距離を特定するデータと関連付けすること、を含む。関連付けされていない標準グリッドの部分は、標準3次元グリッドの軸に対応しているそれぞれの方向において、前記標準3次元グリッドを横切ることによって頂点を特定しているデータと関連付けられ、前記グリッドを横切るときに、横切る方向におけるグリッド上の近隣のポイントと関連付けされた頂点が、現在のグリッドポイントに関連付けされた位置に対して、以前に前記グリッドポイントに関連付けされた何れの頂点よりも近いか否かを判断すること、該当する場合に、前記グリッドポイントを前記近隣のグリッドポイントと関連付けされた頂点を特定しているデータと関連付けすること、を含む。10

【0021】

さらなる態様において、患者モニタリングシステムが提供される。本患者モニタリングシステムは：画像化された患者の表面上の複数のポイントの3次元位置を特定するために、患者の立体画像を処理するように動作可能である、3次元位置決定モジュールと；三角形状の3次元ワイヤーメッシュモデルに係る一式の頂点の3次元位置と頂点間の接続を示す接続性とを特定するデータを含むターゲットモデルを保管するように動作可能である、ターゲットモデルストアと；前記ターゲットモデルストアの中に保管されたターゲットモデル表面において、前記3次元位置決定モジュールによって特定されたポイントに最も近い三角形を特定するように、かつ、選択された一式の特定されたポイントと、前記ポイントに最も近いものとして特定されたターゲットモデル表面に係る三角計を含んでいる平面との間の、ポイントから平面への距離を最小化する厳密な変換を算出するように動作可能である、マッチングモジュールと、を含む。前記厳密な変換を決定するために利用される選択された一式のポイントは、前記特定された3次元位置と、前記位置に最も近いものとして特定されたターゲットモデルの頂点との間の決定された距離に基づいて選択される。20

【0022】

こうした患者モニタリングシステムは、加えて、患者の立体画像を取得するように動作可能である立体視カメラ、を含み得る。前記3次元位置決定モジュールは、前記立体視カメラによって取得された立体画像を処理するように構成されている。

【0023】

本システムは、また、メカニカル寝いすを含み得る。前記立体視カメラは前記寝いす上の患者の立体画像を取得するように動作可能であり、前記マッチングモジュールは、画像化された患者の表面上の前記特定されたポイントと前記ポイントに最も近いものとして特定されたターゲットモデル表面に係る三角計を含んでいる平面との間のポイントから平面への距離を最小化する、算出された厳密な変換に基づいて、前記寝いすに画像化された患者を揃えさせるためにインストラクションを生成するように動作可能である。30

【0024】

さらに、本システムは、また、治療装置を含み得る。前記治療装置は、画像化された患者の表面上の前記特定されたポイントと前記ポイントに最も近いものとして特定されたターゲットモデル表面の三角形を含んでいる前記平面との間のポイントから平面への距離を最小化する、算出された厳密な変換が、患者の位置が閾値量以上に外れた位置に居ることを示していると、前記マッチングモジュールが判断する場合に、動作を停止するように構成されている。

【図面の簡単な説明】

50

【0025】

本発明の実施例が、添付の図面に関してこれから説明される。

【図1】図1は、本発明の一つの実施例に従った、患者モニタリングの模式的なダイヤグラムである。

【図2】図2は、図1の患者モニタリングに係る工程のフローチャートであり、マッチング変換を判断して2つのモデル表面をマッチングするために回転させるものである。

【図3】図3は、図1のモニタリングに係る工程のフローチャートであり、最も近くの頂点を特定するアレイを収集するものである。

【図4A】図4Aは、アレイの一部分に対する図3の工程を模式的に示している。

【図4B】図4Bは、アレイの一部分に対する図3の工程を模式的に示している。

10

【図4C】図4Cは、アレイの一部分に対する図3の工程を模式的に示している。

【図5】図5は、図1のモニタリングに係る工程のフローチャートであり、別の表面上のポイントに対して最も近い三角平面を特定するものである。

【発明を実施するための形態】

【0026】

図1は、本発明の一つの実施例に従った、患者モニタリングの模式的なダイヤグラムである。この実施例に従って、コンピュータ14に配線12で接続された立体視カメラのセットが備えられる。コンピュータ14は、また、治療装置16にも接続されている。放射線治療を適用するための直線加速器、または、放射線治療を計画するためのX線シミュレータ、といったものである。治療装置の一部としてメカニカル寝いす18が備えられており、治療の最中に患者20はその上に横たわっている。治療装置16とメカニカル寝いす18は、コンピュータ14のコントロール下で、メカニカル寝いす18と治療装置16の相対的な位置が、横方向、垂直方向、長手方向、および、回転方向に変化するように構成されている。

20

【0027】

使用中に、立体視カメラ10は、メカニカル寝いす18の上に横たわっている患者20のビデオ画像を取得する。これらのビデオ画像は、配線12を介してコンピュータ14に渡される。そして、コンピュータ14は、患者20の画像を処理して、患者の表面のモデルを生成する。このモデルは、以前の治療セッションの最中に生成された患者のモデルと比較される。患者を位置決めするときに、現在のモデル表面と以前のセッションから取得されたターゲットモデル表面との間の差異が特定され、表面を揃えるのに必要な位置決めインストラクションを決定して、メカニカル寝いす18に送付する。続いて、治療の最中には、初期のセットアップからのあらゆる逸脱を特定することができる。逸脱が閾値より大きい場合、コンピュータ14は、治療装置16に対してインストラクションを送付して、患者20が再度位置決めされるまで治療を停止させる。

30

【0028】

立体視カメラ10から受け取った画像をコンピュータ14が処理するために、コンピュータ14は、ディスク20上に備えられたソフトウェア、または、数多くの機能モジュール26-36の中に通信ネットワークを介して受信される電気信号24、のいずれかによって構成されている。図1に示されている機能モジュール26-36は、特許請求される発明の動作の理解を援助するための単なる概念的なものであり、所定の実施例において、ソフトウェアのソースコードにおけるコードブロックに直接的に対応するものではないことが、正しく理解されるであろう。他の実施例においては、図示された機能モジュール26-36によって実行される機能が、異なるモジュール間で分割されてよく、または、異なる機能に対して同一のモジュールを再使用することにより実行されてよい。

40

【0029】

この実施例において、機能モジュール26-36は、以下のものを含んでいる。立体視カメラ10から受け取った画像を処理するための3次元位置決定モジュール26、3次元位置決定モジュール26によって生成されたデータを処理してデータを画像化されたコンピュータ表面の3次元メッシュモデルに転換するためのモデル生成モジュール28、画像

50

化された表面において、3次元メッシュモデルを保管するための生成モデルストア30、以前に生成された3次元メッシュモデルを保管するためのターゲットモデルストア30、生成されたモデルをターゲットモデルに一致させるために必要な回転と移動を決定するためのマッチングモジュール34、および、最も近い頂点アレイ36、である。

【0030】

使用中に、立体視カメラ10によって画像が取得されると、これらの画像は、3次元位置決定モジュール26によって処理される。この処理によって、3次元位置決定モジュールは、画像のペアにおいて対応するポイントの3次元位置を特定することができる。3次元位置決定モジュール26によって生成された位置データは、次に、モデル生成モジュール28に渡され、位置データを処理して、立体視カメラ10によって画像化された患者20の表面の3次元ワイヤーメッシュモデルを生成する。10

【0031】

この実施例において、3次元モデルは、三角形分割されたワイヤーメッシュモデルを含んでおり、モデルの頂点が、3次元位置決定モジュール26によって決定された3次元位置に対応している。こうしたモデルが決定されると、モデルは、生成モデルストア30の中に保管される。

【0032】

患者20の表面のワイヤーメッシュモデルが保管されると、次に、マッチングモジュール34は、立体視カメラ10によって取得されている現在の画像と、ターゲットモデルストア32に保管された患者の表面の以前に生成されたモデルとの間を一致させる移動と回転を決定するように実施する。説明されるように、マッチングモジュール34は、最も近い頂点アレイ36を利用して、こうした一致を決定する。一致が素早く決定され、かつ、高度に正確な一致が決定できるようなやり方においてである。20

【0033】

そして、決定された移動と回転は、インストラクションとしてメカニカル寝いす18に送付され、寝いすは、以前に治療されたときそうであったように、患者20を治療装置に関して同一の場所に位置決めする。続いて、立体視カメラ10は、患者20のモニタリングを継続することができ、あらゆる位置の変化は、さらなるモデル表面を生成して、生成された表面をターゲットモデルストア32に保管されたターゲットモデルと比較することによって、特定することができる。患者が範囲外に移動したと判断された場合、治療装置16を停止して、患者20を再度位置決めすることができ、それにより、患者20の違う部分を放射線照射してしまうことを回避する。30

【0034】

これから、マッチングモジュール34によって実施されるプロセスが、図2から図5に関して、詳細に説明される。

【0035】

最初に、図2に移ると、図2は、マッチングモジュール34によって実施されるプロセスのフローチャートである。マッチングモジュール34が最初に起動されると、初めに(s2 - 1)マッチングモジュール34は、ターゲットモデルストア32に保管されたデータを利用して、最も近い頂点アレイ36を収集する。マッチングモジュール34が、効率的なやり方で空間における他のポイントに対して、保管されたモデルの3次元空間において最も近い頂点を特定することができるようになるためである。40

【0036】

生成されたモデル表面をターゲットモデル表面と一致させるように、一致変換を決定しようと試みている場合には、現在の画像の処理に基づいて生成されたデータによって特定される位置に対して、ターゲットモデルにおける最も近い頂点または三角形を特定できるようにすることが、頻繁に必要となる。こうした決定は、しばしば、生成されたモデル表面におけるそれぞれのポイントに対して複数回行われることが必要であり、その間に反復して変換が計算される。従来、最も近い頂点を特定することは、現在のポイントとモデルの中に表現される全ての頂点との間の距離を決定することを含んでいる。現在の生成さ50

れたモデルとターゲットモデルの両方がN個の頂点を有する場合、このことは、それぞれの反復において決定されるべき N^2 個の計算を含んでいる。

【0037】

対照的に、本アプリケーションに従って、位置のグリッド(`grid`)に対してターゲットモデルにおいて最も近い頂点を特定するために処理が実施され、このデータは、最も近い頂点アレイ36の中に保管される。続いて、最も近い頂点アレイが利用して、空間における所定のポイントに対して最も近い頂点であり得る、ターゲットモデルにおける少ない数の頂点が特定される。そして、このことは、N個のポイントを伴う処理モデルのボリュームを N^2 のオーダーからNのオーダーまで削減する。

【0038】

これから、最も近い頂点アレイを収集するためにマッチングモジュール34によって実施されるプロセスが、図3から図4A-Cに関して、説明される。

【0039】

図3に移ると、図3は、マッチングモジュール34によって実施されるプロセスのフローチャートである。最初にマッチングモジュール34は、ターゲットモデルストア32に保管されたターゲットデータから最初の頂点を選択する(s3-1)。

【0040】

マッチングモジュール34は、次に、現在選択されている頂点の3次元空間における位置を特定するジオメトリデータ(`geometry data`)を利用するように進み(s3-2)、領域に対応している最も近くの頂点アレイの部分を特定し、かつ、選択された頂点の位置と、その位置を含んでいる3次元グリッドにおける立方体(`cube`)の角に対応している位置との間の距離を特定する距離値を決定する。

【0041】

より特定的には、この実施例において、最も近い頂点アレイ36は、アレイにおけるそれぞれのエントリーが空間における標準3次元グリッド上のポイントに関連付けされている3次元アレイに関するデータを保管するためのデータストアを含んでいる。保管されたモデルにおける頂点を処理するときには、頂点のジオメトリデータが使用され、アレイの中で頂点に最も近いポイントに対応している頂点アレイ36における8個のエントリーを特定する。

【0042】

例えばこのように、頂点が座標($x + x, y + y, z + z$)を伴う位置を特定している位置データに関連付けられていると仮定して、マッチングモジュール34は、グリッド上の最も近いポイントを特定する。ポイント(x, y, z)、($x + 1, y, z$)、($x, y + 1, z$)、($x + 1, y + 1, z$)、($x, y, z + 1$)、($x + 1, y, z + 1$)、($x, y + 1, z + 1$)、および($x + 1, y + 1, z + 1$)と関連付けされたポイントであるとして、最も近い頂点アレイ36によって表わされるものである。

【0043】

そして、マッチングモジュール34は、処理されている頂点のジオメトリデータによって特定される位置とこれらの位置との間のユークリッド距離(`E u c l i d i a n distance`)を決定するように進み、次に、最も近い頂点アレイ36において特定されたこれらのポイントが、頂点距離がこれらの決定された距離よりも大きいことを特定するデータと関連付けされるか否かを判断する(s3-3)。

【0044】

マッチングモジュール34が、頂点アレイにおけるエントリーに関連付けされた現在の距離データが、アレイにおけるエントリーによって表される位置と処理されている頂点との間のユークリッド距離より大きいと判断する場合、または、マッチングモジュール34が、頂点アレイ36の特定された領域に関連付けされているデータが無いと判断する場合に、マッチングモジュールは、次に、最も近い頂点アレイ36の領域の中に、現在の頂点を特定しているデータ、および、頂点とアレイの中のエントリーに関連付けされた位置との間の距離を保管するように進む。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 5 】

このように例えば、頂点 A が座標 ($x + x, y + y, z + z$) と関連付けされた場合は、位置 (x, y, z) に対して最も近い頂点アレイ 3 6 の中に保管されるべきデータを決定するとき、最初に、頂点と位置 (x, y, z) との間のユークリッド距離が決定される。この実施例においては、 $(x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$ である。この距離が、位置 (x, y, z) に関連付けされた現在の距離よりも小さいか、または、このポイントにデータが関連付けされていなかった場合は、頂点 A を特定するデータと計算された距離が保管される。

【 0 0 4 6 】

マッチングモジュール 3 4 が、処理されている頂点に最も近い 8 個の頂点に関連付けされた最も近い頂点アレイ 3 6 における 8 個全てのエントリーをチェックして、それらのポイントに関するデータを必要に応じて更新したときに、マッチングモジュール 3 4 は、次に、ターゲットモデルの全ての頂点が処理されたか否かを判断する (s 3 - 5)。該当しない場合は、ターゲットモデルの中で次の頂点が選択され (s 3 - 6)、次に、マッチングモジュール 3 4 が、再度、ターゲットモデルの全ての頂点が処理されたか否かを判断する以前に、最も近い頂点アレイ 3 6 におけるデータが更新される (s 3 - 2 から s 3 - 4)。

10

【 0 0 4 7 】

図 4 は、最も近い頂点アレイ 3 6 の部分に対してマッチングモジュール 3 4 によって実施されるプロセスを模式的に示している。

20

【 0 0 4 8 】

図 4 A の実施例においては、典型的な頂点であるポイント A - D が、グリッドに関連した位置に示されている。グリッドラインの交点は、最も近い頂点アレイ 3 6 の中のデータと関連付けされた位置に対応している。図 4 の例示においては、2 次元のアレイしか示されていないが、一方、実際の実施例において、データは、3 次元アレイの中に保管される。

【 0 0 4 9 】

頂点 A を処理するとき、頂点 A に対する座標データによって、A を含んでいる正方形を特定することができ、そして、正方形の角は、頂点 A、および、角と頂点 A の実際の位置との間の距離、を特定するデータと関連付けされる。同様に、頂点 B を処理するとき、頂点 B を含んでいる正方形が特定され、頂点 B を特定するために、その正方形の角と関連付けされたアレイの位置が更新される。頂点 C を処理するとき、同一の正方形の中に B と C の両方が在るものとして、アレイにおける同一の位置が特定される。そして、頂点 B よりも頂点 C に対してより近くにある正方形に対応しているアレイの角が、頂点 B よりむしろ頂点 C に関連付けされることになるように更新される。

30

【 0 0 5 0 】

頂点 A、B、C、および D が処理されたときのアレイの状態が、図 4 B に示されている。この段階では、文字と関連付けされた交点のそれぞれは、頂点（図では文字列 A から D として示されているもの）を特定するデータ、および、アレイのエントリーによって表される位置と文字によって特定される頂点の位置との間の距離を特定する距離データ、に関連付けされる。

40

【 0 0 5 1 】

図 3 に戻ると、ターゲットモデルの中の全ての頂点を処理して、図 4 B に示されるような低密度に集められたアレイを生成してから、次に、マッチングモジュール 3 4 は、グリッドの全体にわたり頂点と距離をプロパゲーション (propagate) するように進む (s 3 - 7)。

【 0 0 5 2 】

より特定的には、アレイの左下の角から開始して、アレイの中のそれぞれのエントリーが順番に考慮される。最初のパスにおいて、エントリーは、左から右へ処理される。アレイは、頂点と距離データに関連付けされた最初のエントリーが特定されるまでスキャンさ

50

れる。アレイの中で後続する位置それぞれに対しては、アレイの中の位置に関連付けされたデータが無い場合に、最も最近特定された最も近い頂点を特定しているデータ、および、頂点と現在特定されたポイントとの間の距離を特定している距離データ、が保管される。アレイの中のポイントが既に頂点データと関連付けされている場合は、処理されているアレイの部分に関連付けされた頂点がポイントに最も近いか否か、または、最も最近に特定された頂点が最も近いか否か、について判断がなされ、アレイの中のそのポイントが、最も近い頂点と頂点への距離を特定しているデータに関連付けされる。

【0053】

このように例えば、図4Bに示されたアレイに場合には、アレイの左下から開始して、左から右へ移動して、アレイの下端において出会うべきアレイの最初のエントリーが、アレイの下端において頂点Bに関連付けされたエントリーである。さらに、右に移動すると、次のエントリーは頂点Cと関連付けされる。この場合においては、頂点Bまたは頂点Cが、グリッドにおけるエントリーによって特定される位置に最も近いか否かがチェックされる。頂点Cが最も近いと判断すると、右に向かって移動しているアレイにおける後続のエントリーは、より近いエントリーが特定されるまで、頂点Cと関連付けされるように更新される。

【0054】

左から右に移動してアレイを更新すると、次に、同一の処理が右から左、上端から下端、前面から背面、そして、背面から前面に移動して繰り返される。

【0055】

図4Cは、最も近い頂点データがアレイ全体にわたってプロパゲーションされた後の、図4Bのアレイの部分を模式的に示している。図4Cでわかるように、処理の後で、最も近いアレイ36における全てのポイントが、最も近い頂点を特定しているデータと関連付けされている。頂点アレイを集めるやり方は、頂点データが、空間において頂点と関連付けされたポイントに最も近いターゲットモデルの頂点を特定する、といったものである。頂点アレイにおいて特定されたポイントは標準グリッド上のポイントなので、空間においてあらゆる位置に最も近いアレイの中のポイントを、座標データから素早く決定することができる。

【0056】

図2に戻ると、最も近い頂点アレイ36を集めてから、次に、アレイは、ターゲットモデルストア32におけるターゲットモデルの部分に対応している生成されたモデルの部分を特定することを援助するために利用される。

【0057】

この実施例において、生成されたモデルストア30に保管されている生成されたモデルの中の全ての頂点は、最初に、ターゲットモデルの部分と一致するために好適なものであるとして考慮される。

【0058】

一致のために現在考慮されている生成されたモデルの中のそれぞれの頂点に対するターゲットモデルにおける最も近い三角形が、次に、決定される(s2-2)。これは、生成されたモデルの中のそれぞれの頂点に対して、順番に決定される。

【0059】

図5に移ると、図5は、マッチングモジュール34の工程のフローチャートであり、生成されたモデルにおける頂点に対するターゲットモデルにおける最も近い三角形を特定するものである。最初に、処理されている頂点の座標に基づいて、最も近い頂点アレイ36をルックアップテーブルとして使用することによって、現在の頂点の位置に最も近いターゲットモデルの部分を特定するためのシード(seed)が特定される。

【0060】

このように例えば、座標データ($x + x, y + y, z + z$)に関する生成されたモデルにおける頂点を処理するときに、マッチングモジュール34は、最も近い頂点アレイ36における頂点データを使用して、最も近い頂点アレイ36における位置($x, y,$

10

20

30

40

50

(x, y, z) 、 $(x + 1, y, z)$ 、 $(x, y + 1, z)$ 、 $(x + 1, y + 1, z)$ 、 $(x, y, z + 1)$ 、 $(x + 1, y, z + 1)$ 、 $(x, y + 1, z + 1)$ 、および $(x + 1, y + 1, z + 1)$ と関連付けされた頂点を特定する。

【0061】

マッチングモジュール34は、次に、最も近い頂点アレイ36アクセスの部分における頂点データによって特定される頂点のうちどれが、現在処理されている頂点の位置に最も近いかを判断することにより、ターゲットモデルの中の最も近い三角形を特定するための一つのシードポイントを特定する(s5-2)。このように、最も近い頂点アレイ36をアセスすることによってシードポイントの候補として8個までの頂点を特定してから、現在処理されている頂点の位置と候補の頂点との間の距離が決定され、そして、処理されている頂点の位置に対して空間において最も近いと判断されたターゲットモデルの中の頂点が特定される。10

【0062】

マッチングモジュール34は、次に、ターゲットモデルストア32に保管されたモデルの接続性データを利用して、特定された最も近いシード頂点に接続されているターゲットモデルにおける頂点を特定し、頂点のそれぞれに対して、ターゲットモデルにおける特定された頂点の位置と、現在処理されている現在生成されたモデルの頂点に関連付けられた位置との間のユークリッド距離を計算する(s5-3)。

【0063】

マッチングモジュール34が、現在のシード頂点に接続された頂点の何れかが、処理されている現在生成されたモデルにおける頂点の位置に対して、空間において、より近いと判断する場合に(s5-4)、現在処理されている生成されたモデルにおける頂点の位置に最も近いものとして特定された頂点がシード頂点として設定される。そして、次に、新たなシード頂点に接続された頂点が、ターゲットモデルに対する接続性データを使用して特定される(s5-5)。これらの接続された頂点に対する距離値が決定される以前にである(s5-3)。そして、マッチングモジュール34は、再度、接続された頂点の何れかが、現在処理されている生成されたモデルにおける頂点に対して、空間において、現在のシード頂点よりも近いか否かを判断する(s5-4)。20

【0064】

このようにして、マッチングモジュール34は、ターゲットモデルの表面上の移動を実施する。最も近い頂点アレイ36を使用して選択された位置から開始して、それぞれの反復において、現在処理されている生成された表面における頂点の位置にさらにより近いターゲットモデルにおける頂点に向かって移動しているものである。30

【0065】

最終的に、接続された頂点を処理するとき、マッチングモジュール36は、現在のシード頂点に接続されている頂点の何れもが、空間において、シード頂点それ自身よりも、処理されている生成されたモデルにおける頂点の位置に対して、近くないと判断する(s5-4)。そのポイントにおいて、マッチングモジュール34は、シード頂点を含んでいる三角形状平面のどれが、処理されている生成されたモデルにおける頂点に対して最も近いかを特定する。40

【0066】

より特定的には、ターゲットモデルの中で最も近い頂点を特定して、マッチングモジュール34は、ターゲットモデル表面に対して接続性データを使用して、その頂点を含んでいるターゲットモデルの中の全ての三角形を特定する。次に、現在処理されている生成されたモデルにおける頂点の位置と特定された三角形のそれぞれを含んでいる平面それぞれとの間の距離として、ポイントから平面への距離が計算される。そして、データが保管されて、最も近いポイントから平面への距離と、距離に関連付けされた平面に含まれたターゲットモデルにおける三角形とを特定している。

【0067】

このように、この段階で、マッチングモジュール34は、処理されている頂点に最も近50

いターゲットモデルにおける三角形を含んでいる平面を特定する。現在のモデルとターゲットモデルが同一の表面に対応する場合、問題の頂点が、三角形の中のどこかのポイント、または、表面上で近くのどこかのポイントにおそらく対応している。

【0068】

図2に戻ると、一致のために現在利用されている生成されたモデルにおけるそれぞれの頂点の位置に対して最も近いターゲットモデルにおける三角形を決定して、次に、マッチングモジュールは、マッチング変換を決定するために利用されるべき頂点を選択するための一式の閾値を決定するように進む(s2-3)。

【0069】

この実施例において、マッチングモジュール34は、フィルタリングのために3つのクライテリアを利用する。10

【0070】

最初に、頂点はフィルタリングされて、ポイントから平面への距離が閾値を超えるあらゆる一致が取り除かれる。初期的に、この閾値は、1メートルに対応する距離といったような大きな値に設定される。異常値および間違ったデータポイントだけを除去するためである。後に続く反復において、閾値は、以前の反復からのポイントから平面への平均距離に基づいて設定される。適応性とデータセットを管理可能なサイズまでに削減する必要性とのバランスを取るために、距離の閾値を、決定されたポイントから平面への平均距離の1.5倍に設定することが、受け入れられることがわかった。こうしたフィルタリングにより、異常値データを除去することができ、従って、こうした異常値が、現在の表面とモデル表面との間のマッチングに影響することを妨げている。20

【0071】

ポイントから平面への距離に基づくフィルタリングに加えて、頂点も、また、方向尺度を使用してフィルタリングされる。現在生成されたモデルにおける頂点に対する方向ベクトルは、頂点を含んでいる現在生成されたモデルにおける三角形の法線ベクトルの平均を計算することによって決定することができる。そして、2つのモデルの相対的な方向は、ターゲットモデルにおいて最も近いと特定された三角形を含んでいる平面に対する法線ベクトルと処理されている頂点に対して計算された平均法線ベクトルとのクロス積(cross product)を計算することによって決定することができる。こうしたドット積(dot product)は、-1から1の範囲にあり、ここで、-1は、最も近いポイントでの2つの表面が反対の方向に向けられていることを示しており、値の1は、方向が完全に一致していることを示している。距離尺度として、決定されたドット積が、閾値と比較され得る。閾値は、最初は、あらゆる頂点を除去しないように設定されてよく、方向においてより大きな類似性を要するように次第に増加される。この進行的なアプローチは、マッチングされたモデルの部分が、お互いに対応している確立を最大化する。ポイントが一致すれば、表面での方向も一致することが期待されるからである。30

【0072】

最後に、距離尺度と方向尺度に基づいて、考慮する頂点を除去することに加えて、この実施例において、マッチングモジュール34は、また、あらゆる2つの頂点に対して、特定された三角形状平面上への頂点の投射が同一の場所を特定しているかがわかるようにチェックする。そうである場合、こうした頂点は、さらなる考慮から取り除かれる。こうした重複を除去することは、ポイントから平面への距離を最小化するための唯一の変換が決定されることを保証している。40

【0073】

現在の反復のために利用されるべき拒否と方向の閾値を決定してから、マッチングモジュール34は、次に、現在のマッチング閾値を満足する一式の頂点を特定するように進む(s2-4)。つまり、マッチングモジュール34は、現在の距離閾値より小さいポイントから平面への距離に関連付けされ、かつ、現在の方向閾値より大きい方向尺度に関連付けされた一式の頂点を特定して、保管されたモデルにおいて最も近い頂点を特定する。

【0074】

10

20

30

40

50

距離、方向、および、それぞれの頂点が三角形状平面に対する唯一の投射に関連付けされていることの保証に基づいて、頂点をフィルタしてから、マッチングモジュール34は、次に、現在モデルの移動と回転を決定するように進み(s2-5)、現在モデルにおける頂点と、ターゲットモデルにおいて特定された最も近い三角形状平面との間のポイントから平面への距離を最小化する。

【0075】

好適な移動は、表面を一致させるために現在使用されている現在モデルにおける頂点の重心を、それらのポイントに対して決定された最も近い三角形状平面のそれぞれに対するそれらのポイントの投射に対応している一式のポイントの重心とを揃えるために必要な移動を考慮することによって、決定することができる。好適な移動を決定してから、次に、2つの表面をマッチングするための回転を決定することができる。一致の良好さの尺度として、マッチングされている頂点に関連付けされたポイントから平面への距離の尺度の二乗和を最少化しようとする手段を使用しているプロクラステス解析を適用することによるものである。10

【0076】

移動と回転を決定してから、マッチングモジュール34は、次に、要求された反復回数が実行されたか否かを判断する(s2-6)。該当しない場合は、マッチングモジュール34は、決定された移動と回転を、マッチングされている現在生成されたモデルに対する頂点データに適用する(s2-7)。次に、現在モデルをターゲットモデルと一致させるために利用されている現在モデルにおける頂点のそれぞれに対して最も近いターゲットモデルにおける三角形状平面が、フィルタリングされる(s2-3からs2-4)以前に決定されて(s2-2)、改善されたマッチングのための移動と回転が決定される(s2-5)。20

【0077】

マッチングモジュール34が、最後の反復に達したものと判断する場合(s2-6)、次に、マッチングモジュール34は、計算された最終的な移動として、生成された表面をモデル表面に対して一致させるために決定された移動と回転の合計を出力する(s2-8)。決定された変換は、次に、メカニカル寝いす18によって患者を再び方向付けするために使用され、または、代替的に、警告を発するか、もしくは、患者が許容可能量以上に外れた位置にいるものとして検出された場合には治療を停止させるために使用されるかのいずれかである。30

【0078】

説明されたやり方でマッチング変換を決定することは、モデルのペアの中の頂点に対する最少二乗距離を最小化する試みに基づいて、現在モデルをターゲットモデルに一致させるためのプロクラステス解析を実施するように単に試みることよりも、より正確な一致を生成することができるものと判断されてきている。異なる時間において取得された立体画像から患者の表面モデルを生成するときは、モデルにおける頂点だけが表面上のポイントに対応し、患者の表面上の同一のポイントに必ずしも対応しない。モデルにおける頂点間の一一致を決定するための試みより、むしろ、説明されたシステムは、三角形によって表される全ての表面を含むターゲットモデル上にあると判断されたあらゆる位置に対して、頂点の一一致を促進するマッチングを決定する。40

【0079】

説明されたアプローチによって、こうしたマッチングを、また、素早く決定することができる。最も近い頂点アレイ36を事前に収集することによって、一致を判断するための最初のシードポイントを、非常に迅速に決定することができる。ターゲットモデルにおける近くの頂点が、実際に、最初に決定されたシードポイントより近いか否かをチェックするためにモデルの表面上での移動を実施することは、初期シードポイントを選択する際に使用されるあらゆる近似のせいで生じ得る誤差を取り除く。マッチングの速度は、それぞれの反復において頂点のサブセットだけを考慮することによって、さらに早められ得る。説明したように、2つのモデル間のオーバーラップ領域に最も対応しそうな頂点を保持し50

ている好適なサブセットは、マッチングされているポイントにおける相対的な方向と平面からポイントへの距離の尺度を考慮することによって決定することができる。頂点の継続的な使用のために閾値を徐々に増加させることによって、マッチングに最も好適であると判断されたこれらのポイントだけが保持される。

【0080】

さらなる代替案と実施例

図面に関して説明された本発明の実施例は、コンピュータ装置、および、コンピュータ装置において実行されるプロセスを含んでいるが、本発明は、また、コンピュータプログラム、特には、本発明を実施するように適合され、キャリア上または中に在るコンピュータプログラムまで広がっている。プログラムは、ソース、または、オブジェクトコードの形式、もしくは、本発明に従ったプロセスの実施における使用に好適な他の形式であってよい。キャリアは、プログラムを運搬することができるあらゆるエンティティまたはデバイスであってよい。

【0081】

例えば、キャリアは、ROMといった、ストレージ媒体を含んでよい。例えば、CD-ROM、半導体ROM、または、磁気記録媒体であり、例えば、フロッピーディスク（登録商標）、または、ハードディスクである。さらに、キャリアは、電気信号または光信号といった通信可能なキャリアであってよく、電線または光ケーブルを介して、または、ラジオ、もしくは、他の手段によって伝搬される。

【0082】

ケーブルまたは他のデバイスもしくは手段によって直接的に伝達され得る信号において、プログラムが実施される際に、キャリアは、そうしたケーブルまたは他のデバイスもしくは手段によって構成されてよい。

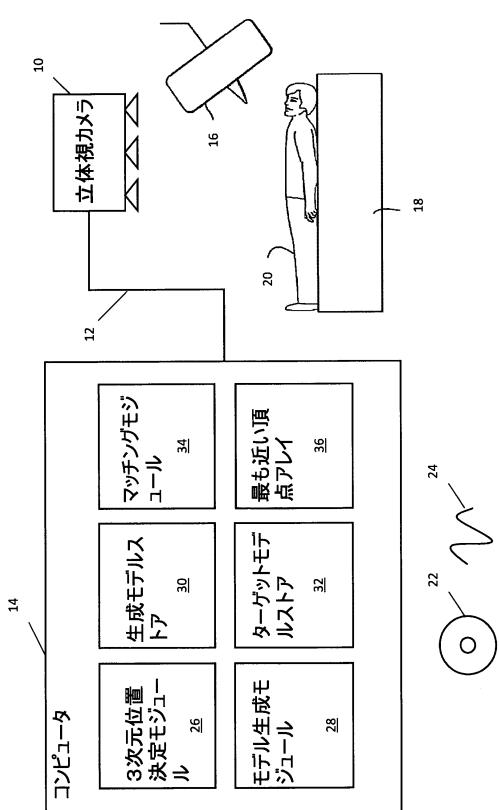
【0083】

代替的に、キャリアは、プログラムがエンベッドされた集積回路であってよい。集積回路は、関連するプロセスを実施するため、または、実施における使用のために適合されている。

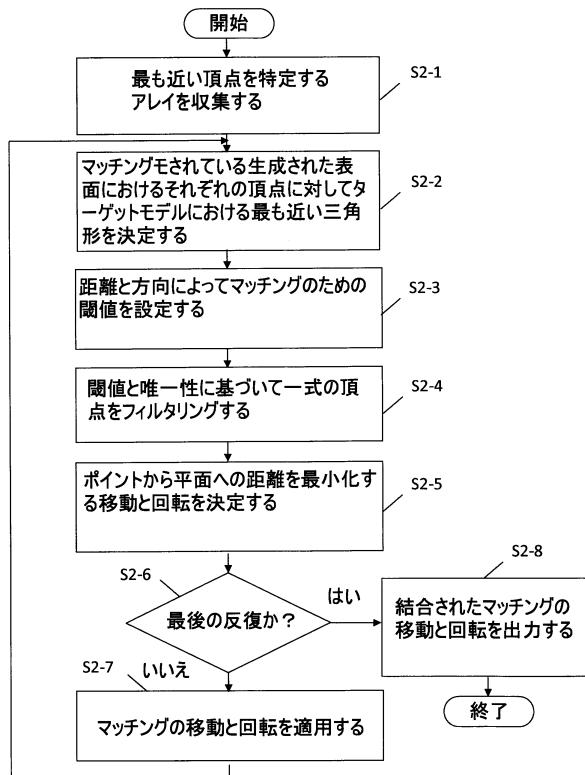
10

20

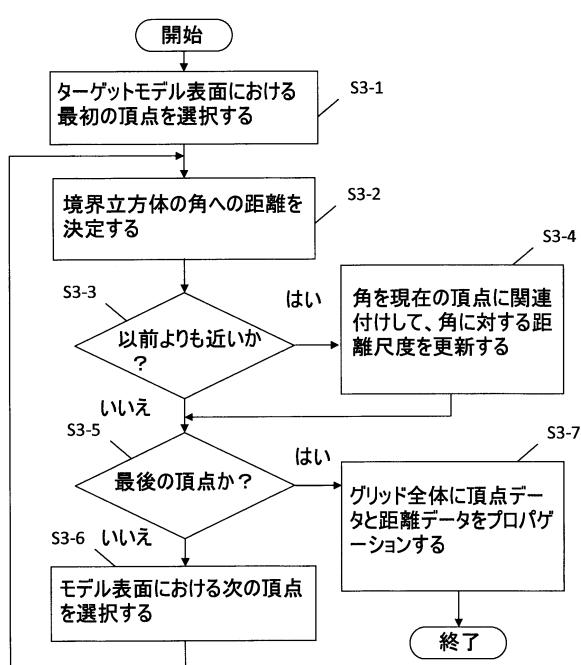
【図1】



【図2】



【図3】



【図4A】

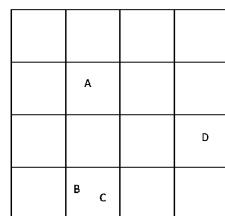


Fig. 4A

【図4B】

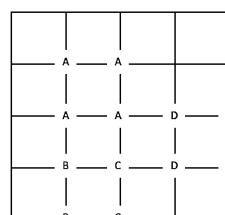


Fig. 4B

【図4C】

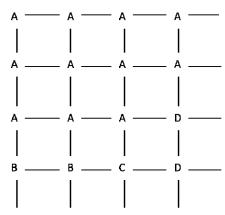
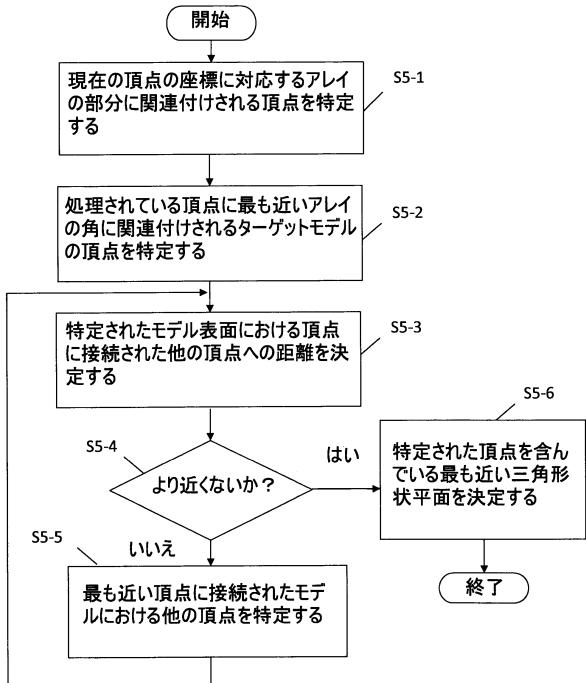


Fig. 4C

【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 メイアー , イヴァン

イギリス国 , エヌ3 2ジェイユー グレーター ロンドン , ロンドン , アーケイディア アベニ
ュー , ダヴ ハウス (番地なし)

審査官 板垣 有紀

(56)参考文献 米国特許第7889906 (U S , B 2)

米国特許出願公開第2005 / 096515 (U S , A 1)

FRANK B. TER HAAR , AUTOMATIC MULTIVIEW QUADRUPLE ALIGNMENT OF UNORDERED RANGE SCANS , I
EEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SHAPE MODELING AND APPLICATIONS , 2007 , IEEE , 2007
年 6月 1日 , P137-146

YONGHUAI LIU , PENALIZING CLOSEST POINT SHARING FOR AUTOMATIC FREE FORM SHAPE REGISTRAT
ION , TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE , 米国 , IEEE , 2011年
5月 1日 , V33 N5 , P1058-1064

FRANCOIS POMERLEAU , RELATIVE MOTION THRESHOLD FOR REJECTION IN ICP REGISTRATION , FIELD
AND SERVICE ROBOTICS - SPRINGER TRACTS IN ADVANCED ROBOTICS , 2010年 3月 1日 ,
V62 , P229-238

ANDREI SHARF , CONTEXT-BASED SURFACE COMPLETION , ACM TRANSACTIONS ON GRAPHICS , 2004
年 8月 1日 , V23 N3 , P878-887

深井 寛修 , 全探索を用いたロバストかつ高速な3次元物体認識と追跡 , 情報処理学会 シンポ
ジウム 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU) 2011 [online] , 日本 , 情
報処理学会 , 2011年 7月 20日 , P1303-1310

(58)調査した分野(Int.CI. , D B 名)

G 06 T 7 / 6 0

A 61 B 6 / 0 3

G 06 T 7 / 0 0

G 01 B 11 / 0 0