

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号

特表2023-511670

(P2023-511670A)

(43)公表日 令和5年3月22日(2023.3.22)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード (参考)
H 0 4 N 13/275 (2018.01)	H 0 4 N 13/275	4 C 0 9 3
H 0 4 N 13/344 (2018.01)	H 0 4 N 13/344	5 B 0 5 0
H 0 4 N 13/243 (2018.01)	H 0 4 N 13/243	5 C 0 6 1
A 6 1 B 6/03 (2006.01)	A 6 1 B 6/03 3 6 0 Q	5 L 0 9 6
G 0 6 T 19/00 (2011.01)	G 0 6 T 19/00 A	
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全22頁) 最終頁に続く		

(21)出願番号	特願2022-544669(P2022-544669)	(71)出願人	521002305
(86)(22)出願日	令和3年1月21日(2021.1.21)		プロプリオ インコーポレイテッド
(85)翻訳文提出日	令和4年9月20日(2022.9.20)		アメリカ合衆国 9 8 1 1 9 ワシントン
(86)国際出願番号	PCT/US2021/014397		州 シアトル ウェスト ジョン ストリート 1 1 1 スイート 3 0 8
(87)国際公開番号	WO2021/150741	(74)代理人	100094569
(87)国際公開日	令和3年7月29日(2021.7.29)		弁理士 田中 伸一郎
(31)優先権主張番号	62/963,717	(74)代理人	100103610
(32)優先日	令和2年1月21日(2020.1.21)		弁理士 ▲吉▼田 和彦
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)	(74)代理人	100109070
(81)指定国・地域	AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA, RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR, GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC, 最終頁に続く	(74)代理人	100067013
			弁理士 須田 洋之
		(74)代理人	100067013
			弁理士 大塚 文昭
		(74)代理人	100086771
			弁理士 西島 孝喜
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 多視点カメラシステムからのデータを用いるなどで深度センサからの深度データを増強する方法及びシステム

(57)【要約】

場面の深度を決定する方法及び関連のシステムを本明細書に開示する。一部の実施形態では、方法は、深度センサを用いて取り込まれた場面の深度データを場面の1又は2以上の画像からの深度データを用いて増強する段階を含むことができる。例えば、本方法は、複数のカメラを用いて場面の画像を取り込む段階を含むことができる。本方法は、深度センサからの深度データに基づいて場面を表す点群を発生させる段階と、深度センサの視点から隠蔽された領域のような点群の欠落領域を識別する段階とを更に含むことができる。本方法は、次に、画像データに基づいて欠落領域に対する深度データを発生させる段階を含むことができる。最後に、欠落領域に対する深度データは、深度センサからの深度データと融合されて場面を表す融合点群を発生させることができる。

【選択図】 図1

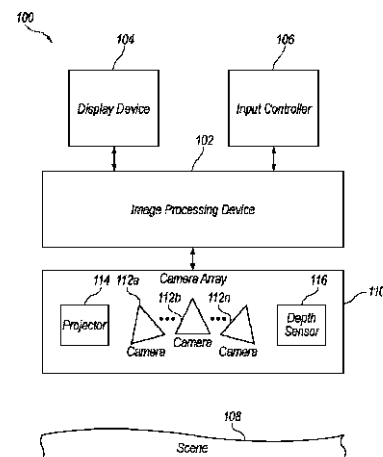


Fig. 1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

場面の深度を決定する方法であって、
深度センサを用いて前記場面の深度データを取り込む段階と、
複数のカメラを用いて前記場面の画像データを取り込む段階と、
前記深度データに基づいて前記場面を表す点群を発生させる段階と、
前記点群の領域を識別する段階と、
前記画像データに基づいて前記領域に対する深度データを発生させる段階と、
前記領域に対する前記深度データを前記深度センサからの該深度データと融合させて前記場面を表す融合点群を発生させる段階と、
を備えることを特徴とする方法。

10

【請求項 2】

前記点群の前記領域は、該点群がデータを含まないか又はまばらなデータを含む該点群の欠落領域であることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記点群の前記欠落領域を識別する段階は、該点群の該欠落領域が予め決められた閾値数よりも少ないデータ点を有すると決定する段階を含むことを特徴とする請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記点群の前記欠落領域を識別する段階は、ユーザ定義式閾値よりも大きい穴を該点群内で識別する段階を含むことを特徴とする請求項 2 に記載の方法。

20

【請求項 5】

前記欠落領域に対する前記深度データを発生させる段階は、該欠落領域を取り囲む前記深度センサによって取り込まれた該深度データの一部分に更に基づいていることを特徴とする請求項 2 に記載の方法。

【請求項 6】

前記領域に対する前記深度データは、前記深度センサを用いて取り込まれた該深度データよりも高い分解能を有することを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記融合点群に基づいて前記場面を表す 3 次元メッシュを発生させる段階を更に備えることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

30

【請求項 8】

前記場面は、手術場面であることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

前記複数のカメラの各々が、前記場面に対する異なる位置及び向きを有し、
前記画像データは、ライトフィールド画像データである、
ことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

前記画像データ及び前記融合点群を処理して仮想カメラ視野に対応する前記場面の出力画像を合成する段階と、

40

ユーザに表示するためにディスプレイに前記出力画像を伝送する段階と、
を更に備えることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】

前記ディスプレイは、前記ユーザによって着用されるヘッドマウント式ディスプレイであり、

前記場面の前記領域を識別する段階は、前記ヘッドマウント式ディスプレイの位置及び向きのうちの少なくとも一方に基づいている、
ことを特徴とする請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

場面を撮像するためのシステムであって、

50

前記場面に対して異なる位置及び向きに配置され、かつ該場面の画像データを取り込むように構成された複数のカメラと、

前記場面の深度に関する深度データを取り込むように構成された深度センサと、

前記カメラと前記深度センサとに通信的に結合したコンピュータデバイスであって、該コンピュータデバイスが、コンピュータ実行可能命令を含有するメモリと、該メモリに含有された該コンピュータ実行可能命令を実行するためのプロセッサとを有し、該コンピュータ実行可能命令が、

前記カメラから前記画像データを受信する段階、

前記深度センサから前記深度データを受信する段階、

前記深度データに基づいて前記場面を表す点群を発生させる段階、

前記点群の領域を識別する段階、

前記画像データに基づいて前記領域に対する深度データを発生させる段階、及び

前記領域に対する前記深度データを前記深度センサからの該深度データと融合させて前記場面を表す融合点群を発生させる段階、

のための命令を含む前記コンピュータデバイスと、

を備えることを特徴とするシステム。

【請求項 13】

前記点群の前記領域は、該点群がデータを含まないか又はまばらなデータを含む該点群の欠落領域であることを特徴とする請求項 12 に記載のシステム。

【請求項 14】

前記点群の前記領域は、ユーザ選択式であることを特徴とする請求項 12 に記載のシステム。

【請求項 15】

ディスプレイを更に備え、

前記コンピュータデバイスは、前記ディスプレイに通信的に結合され、

前記コンピュータ実行可能命令は、

前記画像データ及び前記融合点群を処理して仮想カメラ視野に対応する前記場面の出力画像を合成する段階、及び

ユーザに表示するために前記ディスプレイに前記出力画像を伝送する段階、

ための命令を更に含む、

ことを特徴とする請求項 12 に記載のシステム。

【請求項 16】

前記場面の前記領域を識別する段階は、前記ディスプレイの位置及び向きのうちの少なくとも一方に基づいていることを特徴とする請求項 15 に記載のシステム。

【請求項 17】

場面の深度を決定する方法であって、

深度センサを用いて前記場面の深度データを取り込む段階と、

前記深度データに基づいて前記場面を表す点群を発生させる段階と、

前記点群の領域を識別する段階と、

前記点群を 3 次元 (3D) 医療走査データと位置合わせする段階と、

前記 3D 医療走査データの少なくとも一部分を前記深度センサからの前記深度データと融合させて前記場面を表す融合点群を発生させる段階と、

を備えることを特徴とする方法。

【請求項 18】

前記点群の前記領域は、該点群がデータを含まないか又はまばらなデータを含む該点群の欠落領域であることを特徴とする請求項 17 に記載の方法。

【請求項 19】

前記場面は、患者の一部分を含む医療場面であり、

前記点群の前記欠落領域は、前記患者の前記部分に対応し、

前記 3D 医療走査データ部分の前記部分は、前記患者の同じ部分に対応する、

10

20

30

40

50

ことを特徴とする請求項 18 に記載の方法。

【請求項 20】

前記 3D 医療走査データは、コンピュータ断層撮影（CT）データであることを特徴とする請求項 17 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

〔関連出願への相互参照〕

この出願は、引用によって本明細書にその全体が組み込まれている 2020 年 1 月 21 日出願の「多視点カメラシステムからのデータを用いるなどで深度センサからの深度データを増強する方法及びシステム」という名称の米国仮特許出願第 62 / 963、717 号の利益を主張するものである。

【0002】

本発明の技術は、一般的に撮像システムに関連し、より具体的には、間接現実観察者に対する場面の仮想視野を発生させるための撮像システムに関する。

【背景技術】

【0003】

間接現実システムでは、画像処理システムは、環境を表す視覚情報を追加する、取り去る、及び／又は修正する。外科用途に対して、間接現実システムは、外科医が、手術タスクをより効率的かつ正確に行う際に外科医を支援する状況情報と共に望ましい視野からの手術部位を見ることを可能にすることができる。そのような間接現実システムは、環境の画像を再構成するために複数のカメラ角度からの画像データと環境に関する深度情報とに頼っている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】米国特許出願第 16 / 586、375 号明細書

【特許文献 2】米国特許出願第 16 / 457、780 号明細書

【特許文献 3】米国仮特許出願第 62 / 796、065 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

環境に関する深度情報は、典型的には構造化光深度センサのような専用深度センサを通じて得られる。しかし、構造化光深度センサを使用する複合 3 次元形状の取り込みは、エラーのない完全なデータを取得するために環境の全ての面が深度センサに対して露出されることを要求する。実際には、これは、深度センサから隠された形状及び／又は隠蔽面に起因して実行可能ではない。

【図面の簡単な説明】

【0006】

本発明の開示の多くの態様は、以下の図面を参照することによってより良く理解することができる。図面内の構成要素は、必ずしも縮尺通りではない。代わりに、重点は、本発明の開示の原理を明確に例示することに置かれている。

【0007】

【図 1】本発明の技術の実施形態により構成された撮像システムの概略図である。

【図 2】本発明の技術の実施形態により外科用途に対して図 1 の撮像システムを使用する手術環境の斜視図である。

【図 3】本発明の技術の実施形態により構成された深度センサと複数のカメラとを含む撮像システムの一部の等角投影図である。

【図 4】本発明の技術の実施形態により撮像システムによって発生された点群の概略図である。

10

20

30

40

50

【図 5】本発明の技術の実施形態によりカメラによって取り込まれた画像データを使用して深度センサを用いて取り込まれた深度データを増強するための処理又は方法の流れ図である。

【図 6】本発明の技術の実施形態により図 4 の点群の欠落領域に対して深度データが充填された融合点群の概略図である。

【図 7】本発明の技術の実施形態により構成された撮像システムの一部の等角投影図である。

【図 8】本発明の技術の実施形態により患者の医療走査からの深度データを用いて深度センサを用いて取り込まれた深度データを増強するための処理又は方法の流れ図である。

【図 9 A】本発明の技術の実施形態により撮像システムによって発生された点群の概略図である。

【図 9 B】本発明の技術の実施形態により図 9 A の点群に対応する C T 走査データの概略図である。

【図 9 C】本発明の技術の実施形態により図 9 B に示す C T 走査データが図 9 A に示す点群と融合された融合点群の概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

本発明の開示の態様は、一般的に、手術場面のような場面の深度を決定し、深度情報を使用して場面の仮想カメラ視野を再構成する方法に関する。以下に説明するいくつかの実施形態では、例えば、方法は、深度センサを用いて取り込まれた場面の深度データを場面の 1 又は 2 以上の画像からの深度データを用いて増強する段階を含む。例えば、本方法は、(i) 深度センサによる場面の深度データと (ii) 複数のカメラによる場面の画像とを取り込む段階を含むことができる。本方法は、深度センサからの深度データに基づいて場面を表す点群を発生させる段階と、深度センサの視点から隠蔽された領域のような点群の欠落領域を識別する段階とを更に含むことができる。本方法は、次に、カメラからの画像に基づいて欠落領域に対する深度データを発生させる段階を含むことができる。画像は、場面から発する光線の強度に関する情報と、同じく光線が空間を通過して進行している方向に関する情報とを含有するライトフィールド画像とすることができる。本方法は、(i) 画像から導出された欠落領域に対する深度データを (ii) 深度センサからの深度データと融合して場面を表す融合点群を発生させる段階を更に含むことができる。

【0009】

本発明の技術の一態様では、融合点群は、深度センサからの深度データだけから発生された点群よりも高い精度及び／又は分解能を有することができる。本発明の技術の別の態様では、深度情報は、深度センサを使用して場面の可能な限り多くの部分に対して迅速に決定され、ライトフィールド処理は、深度センサを使用して深度情報を決定することができる又は正確には決定することができない場面の比較的小さい領域（例えば、欠落領域）に対してのみ使用される。従って、本発明の技術は、リアルタイム又はほぼリアルタイムの深度及び画像処理を提供することができ、一方で精度の改善も提供する。すなわち、本発明の技術の複合型深度決定手法は、(i) ライトフィールド処理だけの場合と比べて改善されたレイテンシと、(ii) 深度センサ処理だけの場合と比べて改善された精度とを提供することができる。

【0010】

本発明の技術のいくつかの実施形態の具体的な詳細を本明細書で図 1 ～ 9 C を参照して説明する。しかし、本発明の技術は、これらの具体的な詳細の一部がなくても実施することができる。一部の事例では、カメラアレイ、ライトフィールドカメラ、画像再構成、及び深度センサなどに多くの場合に関連付けられる公知の構造及び技術は、本発明の技術を不明瞭にしないように詳細には示していない。以下に提示する説明に使用される用語は、それが本発明の開示のある一定の特定の実施形態の詳細説明に関連して使用されているとしても、その最も広義で合理的な方式で解釈されるように意図している。ある一定の用語は、以下で強調される可能性さえあるが、いずれかの限定された方式で解釈されるように

意図するいずれの用語も、この「発明を実施するための形態」節で明白にかつ具体的にそれ自体が定められることになる。

【0011】

添付の図は、本発明の技術の実施形態を描くものであり、その範囲が限定されるようには意図していない。様々な描かれた要素のサイズは、必ずしも縮尺通りに描かれておらず、これらの様々な要素は、任意に拡大して判読しやすさを改善することができる。構成要素の詳細は、構成要素の位置及びそのような構成要素間のある一定の正確な接続のような詳細をそのような詳細が本発明の技術を製造して使用する方法の完全な理解に不要である時に除外するために図では取り去ることができる。図に示す詳細、寸法、角度、及び他の特徴の多くは、本発明の開示の特定の実施形態の単なる例示である。従って、他の実施形態は、本発明の技術の精神又は範囲から逸脱することなく他の詳細、寸法、角度、及び特徴を有することができる。

10

【0012】

本明細書に与える見出しは単に便宜上のものであり、開示する主題を限定するものとして解釈すべきではない。

【0013】

I. 撮像システムの選択された実施形態

図1は、本発明の技術の実施形態により構成された撮像システム100（「システム100」）の概略図である。図示の実施形態では、システム100は、1又は2以上の表示デバイス104と、1又は2以上の入力コントローラ106と、カメラアレイ110とに作動可能／通信的に結合された画像処理デバイス102を含む。他の実施形態では、システム100は、追加の、より少ない、又は異なる構成要素を備えることができる。一部の実施形態では、システム100は、引用によってその全体が本明細書に組み込まれている「間接現実システムのためのカメラアレイ」という名称の米国特許出願第16／586、375号明細書に開示された間接現実撮像システムのものとほぼ類似又は同一である特徴を含むことができる。

20

【0014】

図示の実施形態では、カメラアレイ110は、各々が異なる視点から場面108の画像を取り込むように構成された複数のカメラ112（カメラ112a～112nとして個々に識別される）を含む。一部の実施形態では、カメラ112は、互いに対して固定された場所及び向きに位置決めされる。例えば、カメラ112は、予め定められた固定場所及び向きで装着構造（例えば、フレーム）によって／に対して構造的に固定することができる。一部の実施形態では、カメラ112は、隣接するカメラが場面108の重複する視点を共有するように位置決めすることができる。一部の実施形態では、カメラアレイ110内のカメラ112は、場面108の画像を実質的に同時に（例えば、閾値時間誤差内で）取り込むように同期される。一部の実施形態では、カメラ112の全て又は部分集合は、場面108から発しているライトフィールドに関する情報（例えば、場面108内の光線の強度に関する情報、及び同じく光線が空間を通過して進行している方向に関する情報）を取り込むように構成されたライトフィールド／プレノプティック／RGBカメラとすることができる。

30

40

【0015】

図示の実施形態では、カメラアレイ110は、(i)構造化光パターンを場面108の上に／の中に投影するように構成された1又は2以上の投影器114と、(ii)場面108内の面の深度を推定するように構成された1又は2以上の深度センサ116とを更に備える。一部の実施形態では、深度センサ116は、投影器114から放出された構造化光パターンに基づいて深度を推定することができる。

【0016】

画像処理デバイス102は、(i)カメラアレイ110によって取り込まれた画像（例えば、ライトフィールド画像、ライトフィールド画像データ）と深度センサ116からの深度情報とを受信し、(ii)画像及び深度情報を処理して仮想カメラ視野に対応する出

50

力画像を合成するように構成される。図示の実施形態では、出力画像は、仮想カメラ視野に対応する任意の位置及び向きに置かれたカメラを用いて取り込まれると考えられる場面108の画像の近似に対応する。より具体的には、深度情報は、カメラ112からの画像と組み合わせられ、仮想カメラ視野から見た時の場面108の3次元レンダリングとして出力画像を合成することができる。一部の実施形態では、画像処理デバイス102は、引用によってその全体が本明細書に組み込まれている「深度誤差感度に基づいて重み付けされた物理的撮像器アレイからのピクセルを使用する仮想視野からの画像の合成」という名称の米国特許出願第16／457、780号明細書に開示された方法のいずれかを使用して出力画像を合成することができる。

【0017】

画像処理デバイス102は、カメラアレイ110内のカメラ112の部分集合（例えば、2又は3以上）から出力画像を合成することができるが、必ずしもカメラ112の全ての画像を利用するわけではない。例えば、所与の仮想カメラ視野に対して、画像処理デバイス102は、仮想カメラ視野に最も緊密に適合するように位置決めされてかつ向けられたカメラ112のうちの2つからの画像の立体写真を選択することができる。一部の実施形態では、画像処理デバイス102（及び／又は深度センサ116）は、場面108の各面点に対する深度を推定し、場面108の面を表す点群及び／又は3次元（3D）メッシュを発生させるように構成される。例えば、一部の実施形態では、深度センサ116は、投影器114が場面108に投影した構造化光を検出し、場面108の深度情報を推定することができる。これに代えて又はこれに加えて、画像処理デバイス102は、深度センサ116から受信した深度情報に基づいて深度推定を実行することができる。以下で詳細に説明するように、一部の実施形態では、画像処理デバイス102は、投影器114又は深度センサ116が収集した情報を利用して又は利用せずに、カメラ112からの多視点画像データから深度を推定することができる。

【0018】

一部の実施形態では、画像処理デバイス102に帰する機能は、実際には2又は3以上の物理デバイスによって実施することができる。例えば、一部の実施形態では、同期コントローラ（図示せず）は、投影器114によって表示される画像を制御し、かつカメラ112に同期信号を送信し、カメラ112と投影器114の同期を保証して高速、マルチフレーム、マルチカメラ構造化光走査を可能にする。これに加えて、そのような同期コントローラは、カメラアレイ110のカメラ構成に固有の構造化光走査のパラメータ、カメラ設定値、及びカメラ校正データのようなハードウェア固有の構成を格納するパラメータサーバとして作動することができる。同期コントローラは、表示デバイス104を制御する表示コントローラとは別の物理デバイスに実施することができ、又はデバイスは、互いに統合することができる。

【0019】

画像処理デバイス102は、プロセッサと、プロセッサによって実行された時に本明細書に説明するような画像処理デバイス102に帰される機能を実行する命令を格納する非一時的コンピュータ可読ストレージ媒体とを備えることができる。必須ではないが、本発明の技術の態様及び実施形態は、汎用コンピュータ、例えば、サーバ又はパーソナルコンピュータによって実行されるルーチンのようなコンピュータ実行可能命令の一般的な状況で説明することができる。当業者は、本発明の技術をインターネット家電、携帯デバイス、ウェアラブルコンピュータ、セルラー又はモバイル電話、マルチプロセッサシステム、マイクロプロセッサベース又はプログラマブル消費者向け電子機器、セットトップボックス、ネットワークPC、ミニコンピュータ、及びメインフレームコンピュータなどを含む他のコンピュータシステム構成を用いて実施することができることを認めるであろう。本発明の技術は、以下で詳細に解説するコンピュータ実行可能命令の1又は2以上を実行するように具体的にプログラムされ、設定され、又は構成された専用コンピュータ又はデータプロセッサに具現化することができる。実際に、本明細書で一般的に使用する用語「コンピュータ」（及び類似の用語）は、上述のデバイスのいずれかを指し、並びにゲームデ

10

20

30

40

50

バイス、カメラ、又はプロセッサと他の構成要素、例えば、ネットワーク通信回路とを有する他の電子デバイスのような消費者向け電子商品を含むデータプロセッサ又はネットワークと通信可能なあらゆるデバイスを指す。

【0020】

本発明はまた、タスク又はモジュールが、ローカルエリアネットワーク（「LAN」）、ワイドエリアネットワーク（「WAN」）、又はインターネットのような通信ネットワークを通してリンクされているリモート処理デバイスによって実行される分散コンピュータ環境内で実施することができる。分散コンピュータ環境では、プログラムモジュール又はサブルーチンは、ローカル及びリモート両方のメモリストレージデバイスに位置付けることができる。以下に説明する本発明の態様は、チップ（例えば、EEPROM又はフラッシュメモリチップ）として格納される磁氣的及び光学的に可読かつ取り外し可能なコンピュータディスクを含むコンピュータ可読媒体上に格納する又は分散させることができる。これに代えて、本発明の態様は、インターネット上又は他のネットワーク（無線ネットワークを含む）上で電子的に分散させることができる。当業者は、本発明の技術の各部分はサーバコンピュータ上に常駐することができ、一方で対応する部分はクライアントコンピュータ上に常駐することを認識するであろう。。本発明の技術の態様に特定のデータ構造及びデータの伝送も、本発明の範囲内に包含される。

【0021】

仮想カメラ視野は、仮想カメラ視野の場所及び向きに対応する制御入力を提供する入力コントローラ106によって制御することができる。仮想カメラ視野に対応する出力画像は、表示デバイス104に出力される。表示デバイス104は、出力画像（例えば、場面108の合成3次元レンダリング）を受信して1又は2以上の観察者によって見るための出力画像を表示するように構成される。画像処理デバイス102は、入力コントローラ106から受信した入力を有益に処理し、かつカメラアレイ110からの取り込み画像を処理して表示デバイス104の観察者によって知覚される時に実質的にリアルタイムで（例えば、カメラアレイ110のフレームレートと少なくとも同じくらい速く）仮想視野に対応する出力画像を発生させることができる。

【0022】

表示デバイス104は、例えば、ヘッドマウント式表示デバイス、モニタ、コンピュータディスプレイ、及び／又は別の表示デバイスを備えることができる。一部の実施形態では、入力コントローラ106と表示デバイス104は、ヘッドマウント式表示デバイスに一体化され、入力コントローラ106は、ヘッドマウント式表示デバイスの位置及び向きを検出する運動センサを備える。仮想カメラ視野は、次に、仮想視野がヘッドマウント式表示デバイス104を着用した観察者によって見られると考えられる視野に対応するように、ヘッドマウント式表示デバイス104の位置及び向きに対応するように導出することができる。すなわち、そのような実施形態では、ヘッドマウント式表示デバイス104は、ヘッドマウント式表示デバイス104なしの観察者によって見られると考えられるので、場面108のリアルタイムレンダリングを提供することができる。これに代えて、入力コントローラ106は、表示デバイス104によって表示される仮想視野を観察者が手動によって制御することを可能にするユーザ制御式制御デバイス（例えば、マウス、ポインティングデバイス、携帯型コントローラ、動作認識コントローラ）を備えることができる。

【0023】

図2は、本発明の技術の実施形態により外科用途にシステム100を使用する手術環境の斜視図である。図示の実施形態では、カメラアレイ110は、場面108（例えば、手術部位）の上に位置決めされ、ワークステーション224と作動可能に結合された振りアーム222を通じて支持／位置決めされる。一部の実施形態では、振りアーム222は、手動で移動してカメラアレイ110を位置決めすることができ、一方で他の実施形態では、振りアーム222は、入力コントローラ106（図1）及び／又は別のコントローラに応答してロボット制御することができる。図示の実施形態では、表示デバイス104は、

ヘッドマウント式表示デバイス（例えば、仮想現実ヘッドセット、拡張現実ヘッドセット）として具現化される。ワークステーション 224 は、画像処理デバイス 102、表示デバイス 104、入力コントローラ 106、カメラアレイ 110、及び／又は図 1 に示すシステム 100 の他の構成要素の様々な機能を制御するためのコンピュータを含むことができる。従って、一部の実施形態では、画像処理デバイス 102 と入力コントローラ 106 は、それぞれワークステーション 224 に統合される。一部の実施形態では、ワークステーション 224 は、様々な構成機能を実行するためのユーザインタフェース、表示デバイス 104 上の表示の鏡像、及び／又は他の有用な視覚画像／表示を表示することができる 2 次的なディスプレイ 226 を含む。

【0024】

II. 深度センサからの深度データの増強の選択された実施形態

図 3 は、本発明の技術の実施形態によりカメラ 112 のうちの 4 つと深度センサ 116 とを示すシステム 100 の一部分の等角投影図である。システム 100 の他の構成要素（例えば、カメラアレイ 110 の他の部分、画像処理デバイス 102 など）は、明確にするために図 3 に示していない。図示の実施形態では、カメラ 112 の各々は、視野 330 を有し、かつ視野 330 が場面 108 の一部分と整列するように向けられる。同様に、深度センサ 116 は、場面 108 の一部分と整列した視野 332 を有することができる。一部の実施形態では、視野 330、332 の一部又は全ての一部分は重なることができる。

【0025】

図示の実施形態では、患者（例えば、人間の患者）の脊椎 309 の一部分は、場面 108 内に／場面 108 に位置付けられる。多くの場合に、脊椎 309（又は場面 108 内に位置付けられた他の面）は、その面深度を正確に決定することが困難であり、従って、点群、3D メッシュ、及び／又は他の数学的表現で正確にモデル化することが困難であるような複雑な 3D 形状を有することになる。例えば、場面 108 の面の一部分（例えば、脊椎 309 の一部分）が深度センサ 116 の視野 332 から隠蔽される場合に、深度センサ 116 は、隠蔽された領域の深度を決定することができないことになる。同様に、場面 108 の急峻な面に沿って深度を正確に決定することは困難である可能性がある。より具体的には、構造化光システムが所与の場所での深度を回収するためには、構造化光投影器（例えば、投影器 114）は、その場所を構造化照明のピクセル又はピクセルのブロックで照らす必要がある。同じく、投影を測定する撮像器（例えば、深度センサ 116）は、その照明を見るピクセル／ブロックを有するべきである。場所の測定を行うには、両方の条件を満足しなければならない。実際問題として、どのピクセルの深度も有効な値を有する 100% の充足率を達成することは、一般的に不可能である。なぜならば、現実の場面は、投影器、撮像器／センサ、又はその両方の遮蔽をもたらす複雑な形状が存在するからである。従って、システム 100 が深度センサ 116 だけを使用して深度を決定する場合に、システム 100 が発生した深度モデルは、深度情報が利用不能である場面 108 の各部分（例えば、各面）に対応する欠落領域（例えば、穴）を有する可能性がある。

【0026】

一部の実施形態では、システム 100 は、不十分な及び／又は不正確な深度情報を有する場面 108 のそのような部分に対して場面 108 の出力画像を十分に発生させることができない又は正確に発生させることができない。例えば、図 4 は、本発明の技術の実施形態により図 3 に示す脊椎 309 の面についてシステム 100 の深度センサ 116 によって発生された点群 440 の概略図である。図 1～4 を合わせて参照すると、点群 440 は、一般的に、センサ 116 に対する場面 108 内の脊椎 309 及び／又は他の特徴の面距離（例えば、脊椎面の深度）に対応する複数（例えば、数百、数千、数百万、又はそれを超える）のデータ点を備える。点群 440 は、従って、脊椎 309 の 3D 面をマッピング／表現し、かつ上記で詳細に解説しているようにカメラ 112 からの画像をあらゆる望ましい仮想視野からレンダリングされた場面 108 の出力画像に合成するために画像処理デバイス 102 によって使用することができる。図示の実施形態では、点群 440 は、深度情報が不十分である及び／又は信頼することができない場面 108 の各部分（例えば、各面

10

20

30

40

50

）（深度センサ１１６が隠蔽される領域など）に対応する１又は２以上の欠落領域４４２を含む。従って、システム１００は、場面１０８のそれらの部分について正確な出力画像をレンダリングすることができない場合がある。

【００２７】

一部の実施形態では、画像処理デバイス１０２は、カメラ１１２のうちの１又は２以上の画像データを処理し、深度センサ１１６からの深度情報が不十分である、信頼することができない、及び／又は不正確である場所のうちの１又は２以上の脊椎面の深度を決定することができる。すなわち、カメラ１１２からの画像データを使用して、点群４４０の欠落領域４４２を「充填する」ことができる。より具体的には、図５は、本発明の技術の実施形態によりカメラによって取り込まれた画像データを使用して深度センサを用いて取り込まれた深度データを増強するための処理又は方法５５０の流れ図である。方法５５０の一部の特徴を例示のために図１～４に示す実施形態の関連で説明するが、当業者は、本明細書に説明する他の適切なシステム及び／又はデバイスを使用して方法５５０を実施することができることを容易に理解するであろう。

10

【００２８】

ブロック５５１で、方法５５０は、（ａ）深度センサ１１６からの場面１０８（例えば、脊椎３０９）の深度データと、（ｂ）カメラ１１２のうちの１又は２以上の場面の画像データとを取り込む段階を含む。深度データは、例えば、場面１０８の上に／の中に投影される（例えば、投影器１１４から）構造化光パターンに関するデータを含むことができる。画像データは、場面１０８から発する光線の強度に関するデータと、同じく光線が進行している方向に関する情報とを含むライトフィールドデータとすることができる。一部の実施形態では、深度センサ１１６とカメラ１１２は、深度データと画像データを同時に又は実質的に同時に及び／又はリアルタイムで又はほぼリアルタイムで取り込むことができる。他の実施形態では、深度データは、画像データの前に取り込むことができる。

20

【００２９】

ブロック５５２で、方法５５０は、深度センサ１１６からの深度データに基づいて点群４４０のような場面１０８の点群を発生させる段階を含む。一部の実施形態では、画像処理デバイス１０２は、深度センサ１１６から深度データを受信し、深度データに基づいて点群を発生させることができる。一部の実施形態では、方法５５０は、点群の代わりに又はこれに加えて３Ｄメッシュを発生させる段階を更に含むことができる。他の実施形態では、ブロック５５２で、方法５５０は、場面１０８の物理的形狀に関する他の数学的表現を発生させる段階を含むことができる。

30

【００３０】

ブロック５５３で、方法５５０は、点群及び／又は点群に関連付けられた深度データを個々のカメラ１１２及び／又は画像処理デバイス１０２に投影して戻す段階を含む。点群をカメラ１１２に投影して戻すことにより、場面１０８の画像を再構成することができる。より具体的には、逆投影は、カメラ１１２からの画像での２Ｄピクセル場所を点群からの３Ｄ位置と相関させる。カメラ１１２からの画像の各々に点群を投影して戻すことにより、画像内の各ピクセルを３Ｄ点に関連付けることができ、又は上記で詳細に解説した理由で３Ｄ位置を決定することができない場合には関連付けることができない。更により簡単な分類器が、２Ｄ画像内の各ピクセルを有効な３Ｄ対応を有するか否かに関してラベル付けすることになっている。一部の実施形態では、この分類を使用して、どのピクセルが有効な３Ｄ点を有するかを示す２値マスクをカメラ１１２の各々について発生させることができる。

40

【００３１】

ブロック５５４で、方法５５０は、点群での欠落データの領域を識別する段階を含む。例えば、方法５５０は、深度データが欠落しているか又は不完全である点群４４０の欠落領域４４２を識別する段階を含むことができる。一部の実施形態では、欠落データを識別する段階は、点群データをフィルタリングし、例えば、逆オイラー手法を使用して予め決められた閾値（例えば、ユーザ指定の閾値）を超える穴を求める段階を含むことができる

50

。一部の実施形態では、欠落データを識別する段階は、点群を走査してまばらな点又は存在しない点を伴う領域を決定する段階を含むことができる。一部の実施形態では、点群に対してメッシュを発生させることができ（例えば、ブロック552で）、例えば、別の三角形によって共有されない少なくとも1つの稜線を有するメッシュ内の三角形を識別する方法を使用してメッシュ内で穴を識別することができる。更に他の実施形態では、有効な3D対応が存在しないカメラ112からの画像領域を求めることにより（例えば、各画像の2値マスクを調べることにより）、欠落領域442を識別することができる。一部の実施形態では、ブロック553と554は、同じアルゴリズムを使用して及び／又は同じコンピュータ処理の一部として実行することができる。

【0032】

一部の実施形態では、ブロック554で、方法550は、これに加えて又はこれに代えて、無効な深度データ及び信頼性の低い深度データの領域及び／又は他の潜在的に問題になる点群の領域を識別する段階を含むことができる。例えば、深度センサ116は、それが取り込む深度データに検証又は信頼レベルをタグ付けするように構成することができ、方法550は、予め決められた閾値（例えば、ユーザ指定の閾値）未満の検証又は信頼レベルを有する点群及び／又はメッシュの領域を識別する段階を含むことができる。そのような無効な又は信頼性の低い領域は、不連続性、まばらな深度データ、及び挙動の良くない通常値などを有する点群又はメッシュの領域とすることができる。一部の実施形態では、方法550は、単一欠落ピクセルを欠落領域又は無効領域として識別しない場合があり、及び／又はそれとは逆に一部の「有効」ピクセルが点在した欠落ピクセルを欠落領域／無効領域として識別する場合がある。

【0033】

一部の実施形態では、ブロック554で、方法550は、点群の欠落領域442を取り囲む領域の深度データを決定する段階を更に含むことができる。この周囲の深度データは、欠落領域442と周囲領域の間に大きい不連続性がないので、欠落した深度値が周囲の深度に近いと予想することができると仮定される場合に欠落領域442の深度を通知する／予想することを助けることができる。

【0034】

ブロック555で、方法550は、点群又はメッシュの欠落領域又は無効領域に対応する画像データを抽出／識別する段階を含む。例えば、画像処理デバイス102は、どのカメラ112がその視野330を欠落領域に対応する場面108の領域と整列しているかを決定することができる。一部の実施形態では、画像処理デバイス102は、(i)カメラの位置及び向き（従って、それらの視野330の広がり）、(ii)カメラ112への深度データの逆投影（ブロック553）、(iii)点群又はメッシュの処理、及び／又は(iv)他のデータに関する先験的情報に基づいてこの決定を行うことが可能である。更に、一部の実施形態では、システム100は、カメラ112のうちで欠落領域の十分な光学的カバレッジを有すると決定されたものだけからの画像データを識別し、かつ抽出することができる。一部の実施形態では、カメラ112の少なくとも一部は、少なくとも部分的に重なり合った視野330を有する可能性があり、そのためにカメラ112の少なくとも1つは、カメラ112の他のものが隠蔽される場合でも、欠落領域に対応する場面108の領域と整列した視野330を有する可能性が非常に高い。従って、本発明の技術の一態様では、システム100は、場面108に実質的な遮蔽が存在する場合でも、欠落領域に関する画像データをロバストに取り込むように構成される。一部の実施形態では、ブロック553～554は、同じアルゴリズムを使用して及び／又は同じコンピュータ処理の一部として実行することができる。

【0035】

ブロック556で、方法550は、抽出された画像データを処理して欠落領域又は無効領域に対する深度データを発生させる段階を含む。例えば、画像処理デバイス102は、その視野330内に欠落領域を有する（例えば、欠落領域に向いている）カメラ112からの視差を使用して欠落領域に対する深度データを発生させることができる。他の実施形

10

20

30

40

50

態では、ライトフィールドデータから深度を決定するための他の適切な画像処理技術（例えば、コンピュータアルゴリズム）を使用することができる。一部の実施形態では、カメラ112からの画像データを処理することによる深度の決定は、ライトフィールドデータからの深度情報を処理するコンピュータアルゴリズムの複雑な性質のために、深度センサ116を使用して深度を決定するよりもコンピュータ的に高価である（例えば、より遅い）可能性がある。その結果として、カメラ112の全てよりも少ないカメラからの画像データを使用して欠落領域又は無効領域に対する深度データを発生させることができる。一部の実施形態では、欠落領域又は無効領域を取り囲む領域（例えば、ブロック554を用いて取り込まれる）に関する深度情報を使用して、抽出された画像データの処理を加速することができる。具体的には、真の値を求めるために、多くの深度処理アルゴリズムが深度に関して繰り返される。従って、周囲領域の深度に基づいて深度範囲を制限することにより、より小さい範囲の深度、視差、及び平面等々などを求める必要がある。すなわち、探索は、この予想領域／範囲の外に存在する場合がある極小値を回避して処理を加速することができる。

10

20

30

40

50

【0036】

ブロック557で、方法550は、欠落領域又は無効領域の深度データを元の深度データ（例えば、ブロック551を用いて取り込まれた）と融合／結合させて融合点群を発生させる段階を含む。例えば、図6は、本発明の技術の実施形態により図4に示す点群440の欠落領域442が画像ベースの深度データ644で充填された融合点群640の概略図である。従って、融合点群640は、上記で詳細に解説しているように、あらゆる望ましい仮想視野からレンダリングされた場面108の出力画像のより良い再構成及び合成を容易にする場面108のより正確でロバストな深度マップを提供することができる。

【0037】

ブロック558で、方法550は、任意的に、融合点群に基づいて3次元メッシュを発生させる段階を含むことができる。3次元メッシュを使用して場面108の出力画像を再構成／合成することができる。一部の実施形態では、方法550は、ブロック551に戻り、場面108の深度情報を更新することができる。一部の実施形態では、方法550は、融合点群をカメラ112に投影して戻すために進行することができる（ブロック553）。

【0038】

上述のように、ライトフィールド画像データを処理することによる深度の決定は、深度センサを使用する深度の決定よりもコンピュータ的により高価である可能性がある。実際に、場面全体の深度情報がライトフィールド画像処理によって完全に決定されるとすると、非常に高速なシステムでも、かなりの量のデータを十分に速く測定して処理することができないので、リアルタイム又はほぼリアルタイムで出力画像をレンダリングすることは困難である／実行不可能であると考えられる。しかし、本発明の技術の一態様では、深度センサを使用して場面の可能な限り多くの部分に対する深度情報が迅速に決定され、深度センサからの不十分な及び／又は信頼することができない深度情報が存在する場面の比較的小さい領域に対してのみライトフィールド処理が使用される。従って、本発明の技術は、リアルタイム又はほぼリアルタイムの深度及び画像処理を提供すると同時に、精度を改善することができる。すなわち、本発明の技術の複合型深度決定手法は、（i）ライトフィールド処理だけの場合と比べて改善されたレイテンシと、（ii）深度センサ処理だけの場合と比べて改善された精度及び分解能を提供することができる。

【0039】

一部の実施形態では、精度の改善が望ましい点群の欠落領域又は無効領域に対してだけ深度情報を更新することにより、システム100のレイテンシを更に改善することができる。例えば、図7は、本発明の技術の実施形態によりカメラ112のうちの2つ、表示デバイス104、及び発生された点群440（図4）を示すシステム100の一部分の等角投影図である。システム100の他の構成要素（例えば、カメラアレイ110の他の部分、画像処理デバイス102など）は、明確にするために図7に示されていない。

【0040】

図示の実施形態では、表示デバイス104は、ユーザ（例えば、外科医）によって着用されるように構成され、場面108の一部分（例えば、図3に示す脊椎309の一部分）だけと整列した視野736を有するヘッドマウント式表示デバイス104（例えば、ヘッドセット）である。ヘッドマウント式表示デバイス104は、場面108のレンダリングされた出力画像をユーザに表示するように構成されたディスプレイ705を含むことができる。ディスプレイ705は、不透明又は部分的に透明であることができる。一部の実施形態では、ヘッドマウント式表示デバイス104の視野736は、ユーザの目が知覚することができる比較的狭い視野を表す中心窩領域に対応する。

【0041】

システム100（例えば、画像処理デバイス102）は、場面108に対する視野736の位置及び向きを追跡することができ、方法550（図5）を使用して視野736内の点群440の欠落領域442だけを更新することができ、視野736外の領域は更新しない。一部の実施形態では、システム100は、視野736内の場面108の当該部分について最良の光学的カバレッジを有するカメラ112を識別することができる。ユーザがヘッドマウント式表示デバイス104の位置及び／又は向き及び従って視野736を変えると、システム100は、リアルタイム又はほぼリアルタイムで視野736内の欠落領域442を継ぎ目なく更新する（例えば、充填する）ことが可能である。本発明の技術の一態様では、ユーザの中心窩領域の外側の欠落領域442が更新されないので、ヘッドマウント式表示デバイス104を通じてユーザに提示されている画像のレイテンシが減少する。

【0042】

再び図1を参照すると、一部の実施形態では、深度センサ116からよりもカメラ112から場面108に関するより多くの深度詳細を抽出することができるように、カメラ112は、深度センサ116よりも高い分解能を有することができる。従って、深度センサ116からの深度情報が存在し、場面108の一般的な深度を決定するのに少なくとも十分な場合でも深度分解能を高め、かつ相応に表示デバイス104を通してユーザに出力される画像の分解能を高めるためにカメラ112からの画像データも含めることが有利である可能性がある。従って、一部の実施形態では、システム100は、場面108の特定の局所領域に対する画像データを処理し、それらの局所領域に対して深度センサ116によって取り込まれた深度データを補完又は置換することができる。一部の実施形態では、画像処理デバイス102上によって実行される背景処理は、例えば、深度センサ116からの深度データがそれらの領域で低品質である場合に場面108の局所領域を自動的に更新することができる。他の実施形態では、ユーザは、分解能を改善する特定の領域を選択することができる。更に他の実施形態では、システム100は、図7に示すようなユーザの中心窩領域736の全て又は一部分に対応するライトフィールドデータを処理することによって分解能を改善することができる。

【0043】

他の実施形態では、深度センサ116によって取り込まれた深度データは、カメラ112からの画像データを処理する以外の手段から得られた深度情報で補完又は置換することができる。例えば、図8は、本発明の技術の実施形態により深度センサ116を用いて取り込まれた深度データを患者の1又は2以上の医療走査からの深度データを用いて増強するための処理又は方法800の流れ図である。方法860の一部の特徴を例示のために図1に示すシステム100の関連で説明するが、当業者は、本明細書に説明する他の適切なシステム及び／又はデバイスを使用して方法860を実施することができることを容易に理解するであろう。これに加えて、患者の医療走査で患者の解剖学的構造の深度データを増強するという関連で方法860を説明するが、方法860を実施して他の場面について及び／又は他の撮像／走査技術からの他のデータに基づいて深度データを更新／増強することができる。

【0044】

ブロック861で、方法860は、場面108の上に／の中に投影された構造化光パタ

10

20

30

40

50

ーンに関するデータのような深度センサ 116 からの場面 108 の深度データ（例えば、ライブデータ）を取り込む段階を含む。場面 108 は、例えば、手術を受けている患者の一部分を含むことができる。一例として患者の当該部分は、脊椎手術中に露出させた患者の脊椎の一部分とすることができる。方法 860 のブロック 862 は、図 5 の方法 550 のブロック 552 とほぼ同様に又は同一に進行して例えば場面 108 の深度の点群表現を発生させることができる。

【0045】

ブロック 863 で、方法 860 は、点群を医療走査データ（例えば、患者データ）と位置合わせする段階を含む。一部の実施形態では、医療走査は、場面 108 の少なくとも一部分に対する完全な 3D データセットを提供する患者の脊椎のコンピュータ断層撮影（CT）走査とすることができる。位置合わせ処理は、点群内の点を医療走査内の対応する 3D 点に適合させる。システム 100 は、両方のデータセット内で可視である基準マーカ及び／又は特徴点の位置を検出することにより、点群を医療走査データと位置合わせすることができる。例えば、容積測定データが CT データを備える場合に、CT データから計算された骨面の剛体を点群の対応する点／面に位置合わせすることができる。他の実施形態では、システム 100 は、形状対応性の他の方法に基づく他の位置合わせ処理、及び／又は基準マーカに依存しない位置合わせ処理（例えば、マーカレス位置合わせ処理）を使用することができる。一部の実施形態では、位置合わせ／整列化処理は、その全体が引用によって本明細書に組み込まれて付録 A として本明細書に添付される 2019 年 1 月 23 日出願の「手術前画像を手術部位の間接現実視点に対するリアルタイム手術画像に対して整列させる方法」という名称の米国仮特許出願第 62／796、065 号明細書に開示された位置合わせ／整列化処理とほぼ類似又は同一である特徴を含むことができる。

【0046】

ブロック 864 で、方法 860 は、点群の欠落領域／無効領域を識別する段階を含む。一部の実施形態では、ブロック 864 は、図 5 の方法 550 のブロック 554 とほぼ同様に又は同一に進行することができる。本発明の技術の一態様では、医療走査データは、点群の欠落領域又は無効領域に対応する 3D 深度データを含む。例えば、図 9A は、患者の脊椎の一部分に対応するかつ欠落領域 972 を含む点群 970 の概略図である。図 9B は、本発明の技術の実施形態による患者の脊柱の対応する CT 走査データ 974 の概略図である。図 9A と 9B を合わせて参照すると、CT 走査データ 974 は、点群 970 内の欠落領域 972 の少なくとも一部分に対応する 3D 容積測定深度データ 976 を含むことができる。

【0047】

ブロック 865 で、方法 860 は、医療走査の 3D データを元の深度データ（例えば、ブロック 861 を用いて取り込まれた）と融合／結合させ、欠落領域又は無効領域に対するデータ点を含む融合点群を発生させる段階を含む。一般的に、医療走査データは、点群内のデータを置換及び／又は補完することができる。例えば、医療走査データは、取り込まれたデータが不十分である点群領域内のデータを置換し、点群の欠落領域を補完する（例えば、充填する）ことができる。従って、融合点群は、上記で詳細に解説しているように、あらゆる望ましい仮想視野からレンダリングされた場面 108 の出力画像のより良い再構成及び合成を容易にする場面 108 のより正確でロバストな深度マップを提供することができる。

【0048】

より具体的には、一部の実施形態では、医療走査からのデータは、点群の欠落領域に対してだけ充填される。例えば、図 9C は、図 9B に示す CT 走査データ 974 が図 9A に示す点群 970 の欠落領域 972 に対して充填される融合点群 980 の概略図である。一部の実施形態では、点群 970 の欠落領域 972 に対応する CT 走査データ 974 の適切な領域は、位置合わせされた CT 走査データ 974 と点群 970 の間で最近傍を比較することによって見出すことができる。すなわち、例えば、位置合わせされた点群内に近傍を持たない（例えば、閾値未満である）医療走査内の点を識別して点群データ内へ／点群デ

ータと融合することができる。他の実施形態では、元の深度データ（例えば、点群 970）の可能な限り多くは、位置合わせされた医療走査データ（例えば、CT 走査データ 974）で置換することができる。一部の実施形態では、最近傍アルゴリズムを使用して、元の深度データのどの領域を除去して置換すべきかを決定することができる。更に他の実施形態では、医療走査データと点群は、切捨て符号付き距離関数（TSDF）のような容積測定（例えば、ボクセル）表現を使用して直接に融合することができる。

【0049】

ブロック 866 で、方法 860 は、任意的に、融合点群に基づいて 3 次元メッシュを発生させる段階を含むことができる。3 次元メッシュを使用して、場面 108 の出力画像を再構成／合成することができる。一部の実施形態では、方法 860 は、ブロック 851 に
10 戻り、場面 108 の深度情報を更新することができる。一部の実施形態では、医療走査データと元の深度データが TSDF を使用して直接に融合される場合に、3D メッシュは、マーチングキューブ又は他の適切なアルゴリズムを使用して発生させることができる。

【0050】

一部の実施形態では、医療走査データは先験的に既知であり、従って、有意な処理を必要としない。従って、本発明の技術の一態様では、方法 860 は、医療走査に基づいて元の深度を迅速に更新する（例えば、補完及び／又は置換する）ことができ、リアルタイム又はほぼリアルタイムの処理と場面 108 の出力画像の発生とを可能にする。

【0051】

他の実施形態では、医療走査データは、更に別の精緻化が可能である深度最適化処理の初期状態として作用することができる。例えば、医療走査データをライブデータと位置合わせして、図 8～9C を参照して詳細に解説したように穴を埋めることができる。しかし、一部の実施形態では、カメラ 112 は、医療走査データよりも高い分解能／精度を有する場合がある。従って、深度センサ 116 及び医療走査データから融合された深度情報を使用して、カメラ 112 からの画像を使用する 3D 再構成処理を初期化することができる。画像からの深度情報は、次に、医療走査からの深度情報と融合されるか又はそれを置換
20 することができる。一部の実施形態では、医療走査データに基づいて欠落領域／無効領域の深度範囲が既知であり、すなわち、画像データから真の深度値を決定するのに必要である繰返しの範囲が最小にされるので、画像データの深度処理が加速される。

【0052】

III. 更に別の例

以下の例は、本発明の技術のいくつかの実施形態を例示するものである：

1. 場面の深度データを深度センサで取り込む段階と、場面の画像データを複数のカメラで取り込む段階と、深度データに基づいて場面を表す点群を発生させる段階と、点群の領域を識別する段階と、画像データに基づいて領域に対する深度データを発生させる段階と、領域に対する深度データを深度センサからの深度データと融合して場面を表す融合点群を発生させる段階とを備える場面の深度を決定する方法。
2. 点群の領域が、点群がデータを含まないか又はまばらなデータを含む点群の欠落領域である例 1 の方法。
3. 点群の欠落領域を識別する段階が、点群の欠落領域が予め決められた閾値数よりも少ないデータ点を有すると決定する段階を含む例 2 の方法。
4. 点群の欠落領域を識別する段階が、点群内でユーザ定義式閾値よりも大きい穴を識別する段階を含む例 2 又は例 3 の方法。
5. 欠落領域に対する深度データを発生させる段階が、欠落領域を取り囲む深度センサによって取り込まれた深度データの一部に更に基づく例 2～4 のいずれか 1 つの方法。
6. 領域に対する深度データが、深度センサを用いて取り込まれた深度データよりも高い分解能を有する例 1～5 のいずれか 1 つの方法。
7. 融合点群に基づいて場面を表す 3 次元メッシュを発生させる段階を更に備える例 1～6 のいずれか 1 つの方法。
8. 場面が、手術場面である例 1～7 のいずれか 1 つの方法。

10

20

30

40

50

９．複数のカメラの各々が、場面に対して異なる位置及び向きを有し、画像データが、ライトフィールド画像データである例１～８のいずれか１つの方法。

１０．画像データ及び融合点群を処理して仮想カメラ視野に対応する場面の出力画像を合成する段階と、ユーザに表示するためにディスプレイに出力画像を伝送する段階とを更に備える例１～９のいずれか１つの方法。

１１．ディスプレイが、ユーザによって着用されるヘッドマウント式ディスプレイであり、場面の領域を識別する段階が、ヘッドマウント式ディスプレイの位置及び向きのうちの少なくとも一方に基づく例１０の方法。

１２．場面に対して異なる位置及び向きに配置され、場面の画像データを取り込むように構成された複数のカメラと、場面の深度に関する深度データを取り込むように構成された深度センサと、カメラ及び深度センサに通信的に結合されたコンピュータデバイスであって、コンピュータデバイスが、コンピュータ実行可能命令を含有するメモリと、メモリに含有されたコンピュータ実行可能命令を実行するためのプロセッサとを有し、コンピュータ実行可能命令が、カメラから画像データを受信する段階と、深度センサから深度データを受信する段階と、深度データに基づいて場面を表す点群を発生させる段階と、点群の領域を識別する段階と、画像データに基づいて領域に対する深度データを発生させる段階と、領域に対する深度データを深度センサからの深度データと融合して場面を表す融合点群を発生させる段階とのための命令を含む上記コンピュータデバイスとを備える場面を撮像するためのシステム。

１３．点群の領域が、点群がデータを含まないか又はまばらなデータを含む点群の欠落領域である例１２のシステム。

１４．点群の領域が、ユーザ選択式である例１２又は例１３のシステム。

１５．ディスプレイを更に含み、コンピュータデバイスが、ディスプレイに通信的に結合され、コンピュータ実行可能命令が、画像データ及び融合点群を処理して仮想カメラ視野に対応する場面の出力画像を合成する段階と、ユーザに表示するためにディスプレイに出力画像を伝送する段階とのための命令を更に含む例１２～１４のいずれか１つのシステム。

１６．場面の領域を識別する段階が、ディスプレイの位置及び向きのうちの少なくとも一方に基づく例１５のシステム。

１７．場面の深度データを深度センサで取り込む段階と、深度データに基づいて場面を表す点群を発生させる段階と、点群の領域を識別する段階と、点群を３次元（３Ｄ）医療走査データと位置合わせする段階と、３Ｄ医療走査データの少なくとも一部分を深度センサからの深度データと融合して場面を表す融合点群を発生させる段階とを備える場面の深度を決定する方法。

１８．点群の領域が、点群がデータを含まないか又はまばらなデータを含む点群の欠落領域である例１７の方法。

１９．場面が、患者の一部分を含む医療場面であり、点群の欠落領域が、患者の一部分に対応し、３Ｄ医療走査データ部分の当該部分が、患者の同じ部分に対応する例１８の方法。

２０．３Ｄ医療走査データが、コンピュータ断層撮影（ＣＴ）データである例１７～１９のいずれか１つの方法。

【００５３】

Ⅴ．結論

本発明の技術の実施形態に関する上述の詳細説明は、包括的であること又は本発明の技術を上記に開示した通りの形態に限定することを意図していない。本発明の技術の特定の実施形態及びそれに対する例を例示目的で説明したが、当業者が認識するように本発明の技術の範囲内で様々な同等な修正が可能である。例えば、所与の順序で段階を提示したが、代替実施形態では異なる順序で段階を実行することができる。同じく、本明細書に説明した様々な実施形態を組み合わせることで更に別の実施形態を提供することができる。

【００５４】

以上のことから、本発明の技術の特定の実施形態を例示目的で本明細書に説明したが、本発明の技術の実施形態の説明を不要に曖昧にしないように公知の構造及び機能を詳細に示していないか又は説明していないことは認められるであろう。関連が許す限り、単数形又は複数形の用語は、それぞれ、複数形又は単数形の用語を包含することができる。

【0055】

更に、2又は3以上の品目のリストに関して単語「又は」が他の品目に対して限定的な単一品目のみを意味するように明示的に限定されない限り、そのようなリストでの「又は」の使用は、(a) リスト内のあらゆる単一品目、(b) リスト内の品目の全て、又は(c) リスト内の品目のあらゆる組合せを含むものと解釈しなければならない。これに加えて、用語「備える」は、より多くの同じ特徴及び／又は追加の種類の特徴が排除されないように少なくとも列挙された特徴を含むことを意味するように全体を通して使用される。同じく、特定の実施形態を例示目的で本明細書に説明したが、本発明の技術から逸脱することなく様々な修正を行うことができることも認められるであろう。更に、本発明の技術の一部の実施形態に関連付けられた利点をそれらの実施形態の関連で説明したが、他の実施形態もそのような利点を示すことができ、本発明の技術の範囲に入るために全ての実施形態が必ずしもそのような利点を示す必要はない。従って、本発明の開示及び関連技術は、本明細書に明示的に示されないか又は説明されない他の実施形態を包含することができる。

【符号の説明】

【0056】

- 100 撮像システム
- 102 画像処理デバイス
- 104 場面
- 106 投影器
- 108 深度センサ

【図面】

【図1】

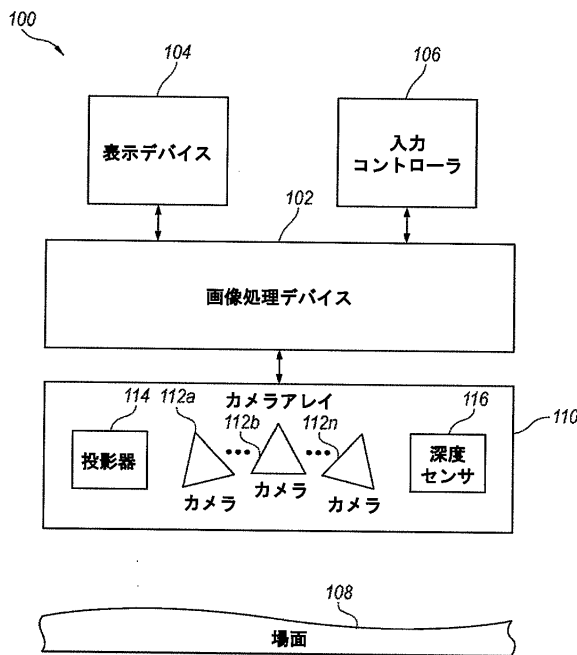


Fig. 1

【図2】

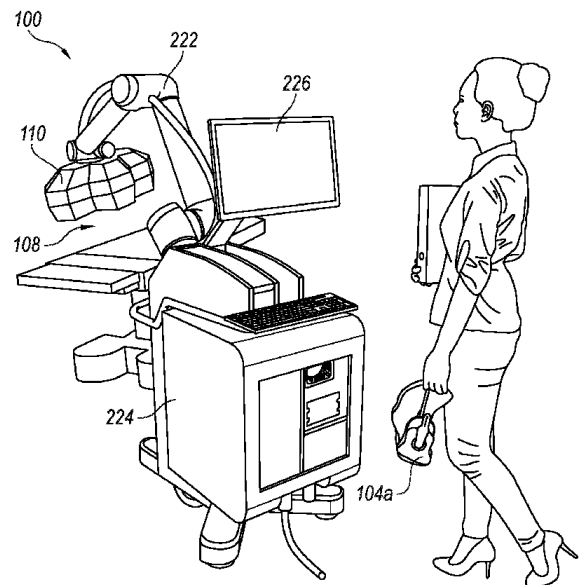


Fig. 2

10

20

30

40

50

【図 3】

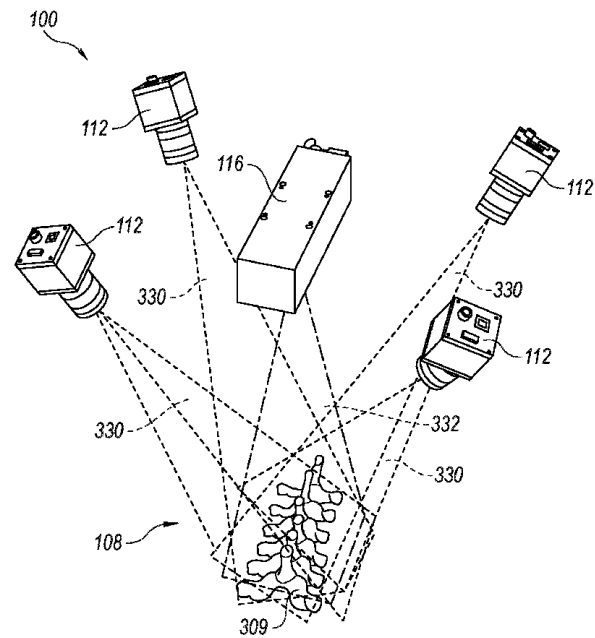


Fig. 3

【図 4】

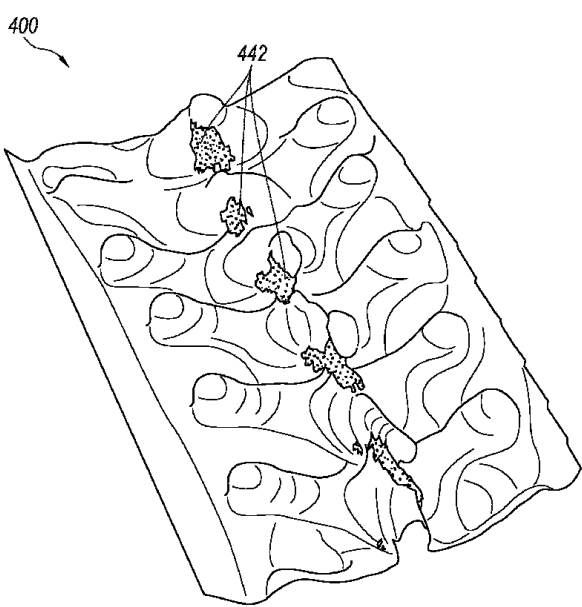


Fig. 4

【図 5】

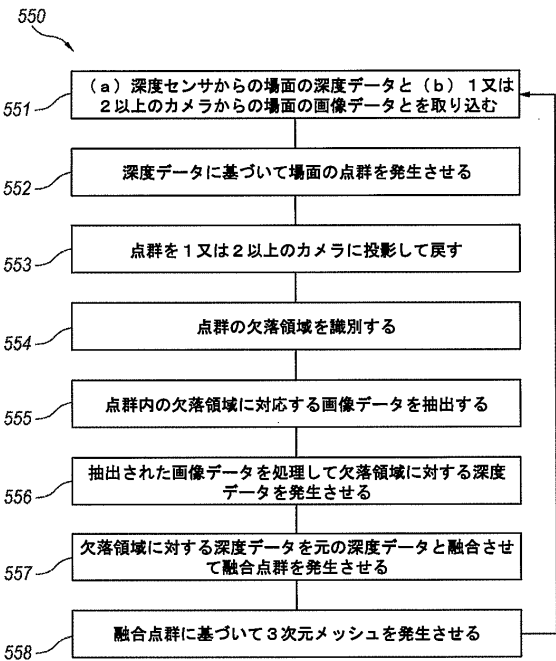


Fig. 5

【図 6】

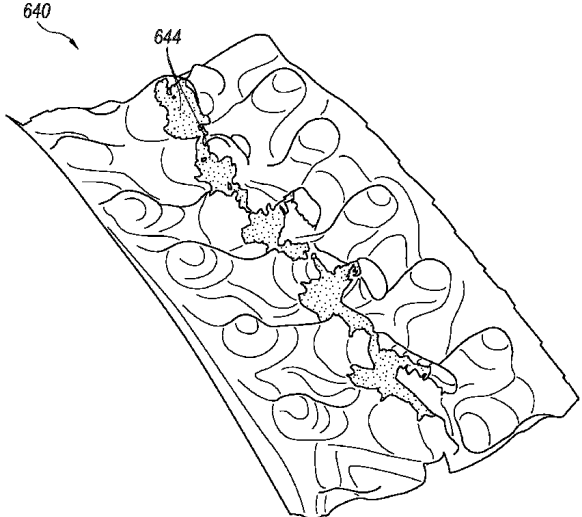


Fig. 6

10

20

30

40

50

【図 7】

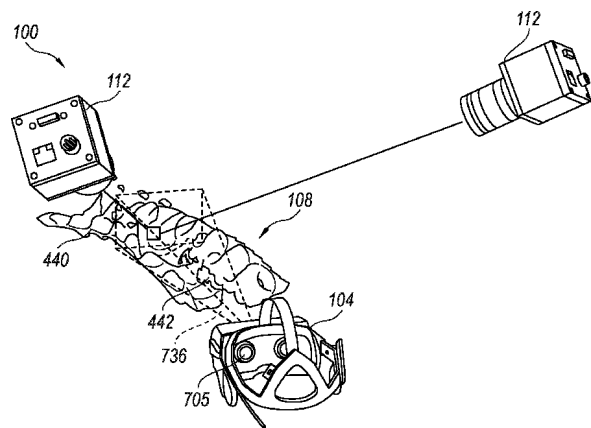


Fig. 7

【図 8】

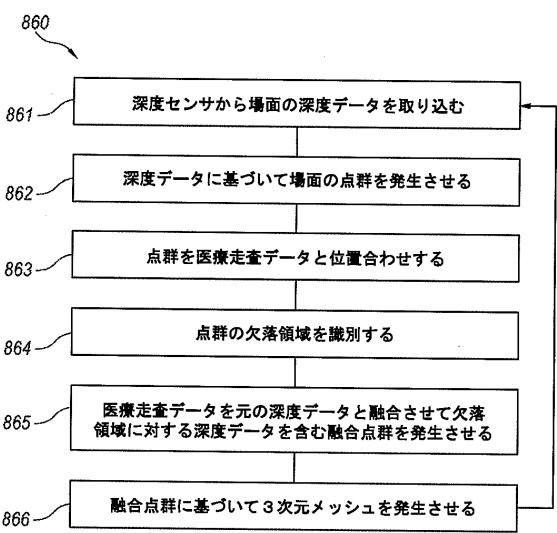


Fig. 8

【図 9 A】

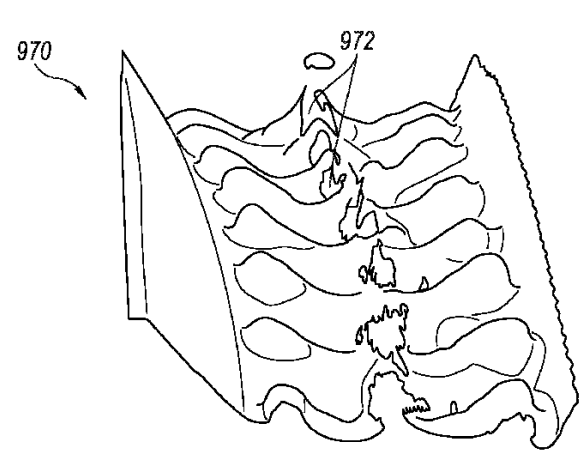


Fig. 9A

【図 9 B】

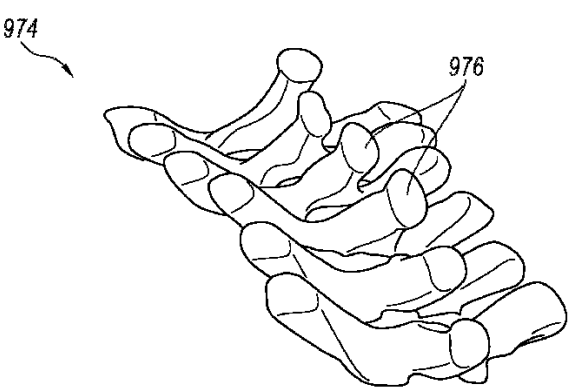


Fig. 9B

10

20

30

40

50

【図 9 C】

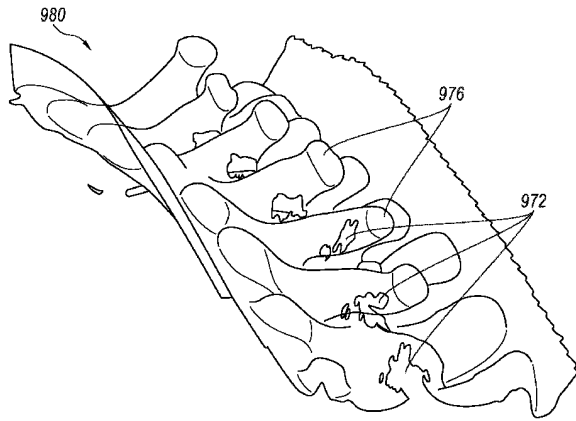


Fig. 9C

10

20

30

40

50

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US 21/14397

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC - G06K 9/00, G06T 7/00 (2021.01)

CPC - G06T 7/571, G06T 2207/10148, G06T 2207/10016, G06T 7/80

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)

See Search History document

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

See Search History document

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

See Search History document

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X -- Y	US 2018/0225866 A1 (Heptagon Micro Optics Pte. Ltd.) 09 August 2018 (09.08.2018), entire document especially abstract; Fig. 1,2; para [0018], [0056], [0057], [0059]	1-7, 9, 10, 12-16 8, 11, 17-20
Y	US 2017/0079724 A1 (7D SURGICAL INC.) 23 March 2017 (23.03.2017), entire document especially para [0004], [0007]-[0008], [0154]-[0156], [0173]-[0176]	8, 11, 17-20
A	US 8,073,318 B2 (Gindale et al.), 06 December 2011 (06.12.2011), entire document	1-20

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"D" document cited by the applicant in the international application

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"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, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

03 March 2021 (03.03.2021)

Date of mailing of the international search report

MAR 25 2021

Name and mailing address of the ISA/US

Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents

P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450

Facsimile No. 571-273-8300

Authorized officer

Lee Young

Telephone No. PCT Helpdesk: 571-272-4300

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2019)

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

テーマコード (参考)

G 0 6 T 7/50 (2017.01)

G 0 6 T 7/50

MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,N
E,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,
CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,IT,JO,JP,K
E,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,N
G,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,
TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

(74)代理人 100109335

弁理士 上杉 浩

(74)代理人 100120525

弁理士 近藤 直樹

(74)代理人 100139712

弁理士 那須 威夫

(74)代理人 100122563

弁理士 越柴 絵里

(72)発明者 ノン トーマス イヴァン

アメリカ合衆国 ワシントン州 9 8 1 1 9 シアトル ウエスト ジョン ストリート 1 1 1 # 3 0 8

(72)発明者 コルメナレス デヴィッド ジュリオ

アメリカ合衆国 ワシントン州 9 8 1 1 9 シアトル ウエスト ジョン ストリート 1 1 1 # 3 0 8

(72)発明者 ヨンクイスト ジェイムズ アンドリュー

アメリカ合衆国 ワシントン州 9 8 1 1 9 シアトル ウエスト ジョン ストリート 1 1 1 # 3 0 8

F ターム (参考) 4C093 AA22 AA26 EE05 FF35 FF37 FF42

5B050 BA09 BA13 CA07 DA07 DA10 EA06 EA07 EA13 EA18 EA19

EA27 EA28 FA02 FA09 GA08

5C061 AA01 AB04 AB06 AB08 AB14 AB18

5L096 AA09 CA05 FA66 FA67 FA69 JA16