

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5491611号
(P5491611)

(45) 発行日 平成26年5月14日(2014.5.14)

(24) 登録日 平成26年3月7日(2014.3.7)

(51) Int.Cl.

G06T 19/00 (2011.01)

F 1

G06T 19/00

G

請求項の数 9 外国語出願 (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2012-269788 (P2012-269788)
 (22) 出願日 平成24年12月10日 (2012.12.10)
 (65) 公開番号 特開2013-127783 (P2013-127783A)
 (43) 公開日 平成25年6月27日 (2013.6.27)
 審査請求日 平成24年12月10日 (2012.12.10)
 (31) 優先権主張番号 2011253973
 (32) 優先日 平成23年12月12日 (2011.12.12)
 (33) 優先権主張国 オーストラリア (AU)

(73) 特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100076428
 弁理士 大塚 康徳
 (74) 代理人 100112508
 弁理士 高柳 司郎
 (74) 代理人 100115071
 弁理士 大塚 康弘
 (74) 代理人 100116894
 弁理士 木村 秀二
 (74) 代理人 100130409
 弁理士 下山 治
 (74) 代理人 100134175
 弁理士 永川 行光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】並列追跡及びマッピングのためのキーフレーム選択

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の画像からキー画像を選択する方法であって、

第1の画像を撮像するために使用されたカメラの第1の姿勢に基づいて、前記第1の画像中のマーカに対応する第1の画像特徴を取得する第1の取得ステップと、

第2の画像を撮像するために使用されたカメラの第2の姿勢に基づいて、第2の画像中の前記第1の画像特徴に対応する第2の画像特徴を取得する第2の取得ステップと、

前記第1の画像中の前記第1の画像特徴の位置及び前記第2の画像中の前記第2の画像特徴の位置並びに前記カメラの前記第1の姿勢及び前記第2の姿勢に基づいて、3次元(3D)空間における前記マーカの再構成位置を決定する第1の決定ステップと、

前記マーカの前記決定された再構成位置及び前記3D空間における前記マーカの所定の位置に基づいて再構成誤差を決定する第2の決定ステップと、

前記決定された再構成誤差が所定の基準を満たす場合、拡張現実システムの座標系を構成するためのキー画像として前記第1の画像及び前記第2の画像のうち少なくとも一方の画像を選択する選択ステップと、

を備えることを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記所定の基準は、前記拡張現実システムのユーザにより設定される前記拡張現実システムの精度に応じて動的に調整されることを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

10

20

前記所定の基準は、前記マーカの前記画像特徴の前記再構成誤差の平均及び分散に応じて動的に調整されることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記再構成誤差は、前記拡張現実システムの構成後の座標系において測定されることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

1 つのシーンの前記座標系を構成するために前記第 1 の画像を選択した後に前記シーンから前記マーカを除去するステップを更に備えることを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 6】

前記第 1 の画像及び前記第 2 の画像は、複数のカメラを備えたマルチビューカメラシステムにより撮像されることを特徴とする請求項 1 乃至 5 の何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 7】

前記再構成誤差が前記所定の基準を満たさない場合、ユーザを移動させるための命令を生成するステップを更に備えることを特徴とする請求項 1 乃至 6 の何れか 1 項に記載の方法。

【請求項 8】

複数の画像からキー画像を選択する装置であって、

第 1 の画像を撮像するために使用されたカメラの第 1 の姿勢に基づいて、前記第 1 の画像中のマーカに対応する第 1 の画像特徴を取得する第 1 の取得手段と、

第 2 の画像を撮像するために使用されたカメラの第 2 の姿勢に基づいて、第 2 の画像中の前記第 1 の画像特徴に対応する第 2 の画像特徴を取得する第 2 の取得手段と、

前記第 1 の画像中の前記第 1 の画像特徴の位置及び前記第 2 の画像中の前記第 2 の画像特徴の位置並びに前記カメラの前記第 1 の姿勢及び前記第 2 の姿勢に基づいて、3 次元 (3 D) 空間ににおける前記マーカの再構成位置を決定する第 1 の決定手段と、

前記マーカの前記決定された再構成位置及び前記 3 D 空間ににおける前記マーカの所定の位置に基づいて再構成誤差を決定する第 2 の決定手段と、

前記決定された再構成誤差が所定の基準を満たす場合、拡張現実システムの座標系を構成するためのキー画像として前記第 1 の画像及び前記第 2 の画像のうち少なくとも一方の画像を選択する選択手段と、

を備えることを特徴とする装置。

【請求項 9】

コンピュータに、請求項 1 乃至 7 の何れか 1 項に記載の方法の各ステップを実行させるためのコンピュータプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般に拡張現実 (AR) システムに関し、特に、正確で信頼性の高いマップの生成及びカメラ位置の判定に使用するために画像シーケンスからキーフレームを選択することに関する。更に、本発明は、拡張現実システムの座標系を構成するのに使用するために複数の画像から第 1 の画像を選択する方法及び装置に関する。本発明は、拡張現実システムの座標系を構成するのに使用するために複数の画像から第 1 の画像を選択するためのコンピュータプログラムが記録されているコンピュータ可読媒体を含むコンピュータプログラムにも関する。

【背景技術】

【0002】

拡張現実 (AR) は、現実世界とコンピュータで生成されたデータとの組み合わせを扱う研究分野であり、コンピュータグラフィックスオブジェクトがリアルタイムで現実の場面に混入される。拡張現実画像撮像システムの大半は、ユーザの環境に関する所定の情報によって（すなわち、何らかのマップの形態で）動作する。ユーザは所定の情報に基づい

10

20

30

40

50

て環境と対話できる。提供されるマップがわかりやすいものである場合、マップから直接登録を実行可能であるが、これは、カメラを利用する拡張現実追跡で使用される一般的な方法である。わかりやすいマップを作成するのは残念ながら難しく、長い時間を要する。そのようなマップは、多くの場合、熟練した技術者により手作業で作成され、一般に最小化方法により最適化されない限り、マップは十分に正確であるとはいえない。この最小化方法に必要とされる演算の負担も大きい。

【0003】

並列追跡及びマッピング(PTAM)は、従来のマップを必要とせずにシーンにおけるリアルタイム追跡を実行するために特にカメラなどのハンドヘルドデバイスで使用されるアルゴリズムである。ユーザは、まず追跡すべき作業空間の上方にカメラを配置し、キーを押下することにより、マップ初期化のための初期キーフレームを選択する。通常、初期キーフレームから約1,000の自然特徴が抽出され、後続フレームに渡って追跡される。次に、ユーザは、わずかに離れた位置へカメラをスムーズに平行移動し、2度目にキーを押下することにより第2のキーフレームを撮像する。その後、相対カメラ姿勢を推定し且つ選択されたキーフレーム及び追跡される特徴対応を使用して三角測量により初期マップを作成するために、周知の5点姿勢アルゴリズムが使用される。

【0004】

5点姿勢アルゴリズムの欠点の1つは、マップ初期設定中にユーザとの対話が要求されることである。ユーザによっては、三角測量に必要とされる立体基線条件を理解できず、単なる回転を使用してカメラなどを初期設定しようとする場合もある。更に、5点姿勢アルゴリズムでは、長い時間中断なく特徴を追跡する必要がある。特徴は偶発的なカメラの回転や急激なカメラの移動により一致せず、その結果、マップ初期設定に利用可能な追跡特徴はほとんど得られなくなる。シーンにおけるリアルタイム追跡を実行する別の方法は、ユーザが当初は平面的なシーンを見ていると仮定する。初期キーフレームを選択した後にユーザがカメラを移動させるにつれて、フレームごとに一致した特徴から現在のフレームと初期キーフレームとの間のホモグラフィ仮説が生成される。その後、各ホモグラフィ仮説は、2つ以上の可能な3次元(3D)カメラ姿勢に分解される。条件数に基づいて第2のキーフレームが選択される。分解に至る8自由度(DOF)の変化に関する各点の投影の偏導関数のヤコビ行列をJとするとき、条件数は、情報行列 $J^T J$ の最小固有値と最大固有値との比である。条件数は、分解の際のパラメータに関する誤差の尺度を示すだけであり、3Dマップ点の精度に直接関連しているわけではないので、このような方法も最適ではない。

【0005】

シーンにおけるリアルタイム追跡を実行する別の方法は、GRIC(Geometric Robust Information Criterion)モデルに基づくモデルベースの方法である。このようなモデルベースの方法では、初期キーフレームと現在のフレームとの間の特徴対応に基づいてGRICスコアが計算される。フレームごとに、2つのモデル(すなわちエピポーラ及びホモグラフィ)の各々に対してスコアが計算される。ホモグラフィモデルは、小さな基線によって立体画像の対応を最もよく記述する。エピポーラモデルはシーン幾何を考慮に入れるが、より大きな基線を必要とする。エピポーラモデルのGRICスコアがホモグラフィモデルのGRICスコアより低い場合、第2のキーフレームが選択される。しかし、このモデルベースの方法では、ホモグラフィモデル及びエピポーラモデルの双方に対して特徴を中断なく長い時間連続して追跡すること及び追跡特徴ごとに再投影誤差を計算することが必要とされるので、演算の負担は大きい。

【0006】

シーンにおけるリアルタイム追跡を実行する他の方法は、2つのキーフレームの間の時間的距離又は追跡特徴の追跡長さのいずれかが一定の閾値より大きい場合に十分に正確な初期3Dマップを作成できることを默示的に仮定する。カメラから特徴までの距離はキーフレーム間の所要距離に影響を及ぼすので、この仮定は不正確である場合が多い。

【発明の概要】

10

20

30

40

50

【発明が解決しようとする課題】**【0007】**

本発明の目的は、既存の構成の1つ以上の欠点をほぼ克服すること又は少なくとも改善することである。

【課題を解決するための手段】**【0008】**

本開示の1つの態様によれば、複数の画像からキー画像を選択する方法であって、

第1の画像を撮像するために使用されたカメラの第1の姿勢に基づいて、第1の画像中のマーカに対応する第1の画像特徴を取得する第1の取得ステップと、

第2の画像を撮像するために使用されたカメラの第2の姿勢に基づいて、第2の画像中の第1の画像特徴に対応する第2の画像特徴を取得する第2の取得ステップと、

第1の画像中の第1の画像特徴の位置及び第2の画像中の第2の画像特徴の位置並びにカメラの第1の姿勢及び第2の姿勢に基づいて、3次元(3D)空間におけるマーカの再構成位置を決定する第1の決定ステップと、

マーカの決定された再構成位置及び3D空間におけるマーカの所定の位置に基づいて再構成誤差を決定する第2の決定ステップと、

決定された再構成誤差が所定の基準を満たす場合、拡張現実システムの座標系を構成するためのキー画像として第1の画像及び第2の画像のうち少なくとも一方の画像を選択する選択ステップと、

を備えることを特徴とする方法が提供される。

20

【0016】

本発明の他の態様も開示される。

【図面の簡単な説明】**【0017】**

添付の図面を参照して、本発明の1つ以上の実施形態を説明する。

【図1A】図1Aは、拡張現実システムにより使用される2D校正マーカパターンを示す図である。

【図1B】図1Bは、拡張現実システムにより使用される3D校正マーカパターンを示す図である。

【図2A】図2Aは、説明される構成が実施されるビデオシステムを示す概略ブロック図である。

【図2B】図2Bは、説明される構成が実施されるビデオシステムを示す概略ブロック図である。

【図3】図3は、説明される構成が実施される図2A及び図2Bのビデオシステムの別の構成を示す概略ブロック図である。

【図4A】図4Aは、複数の画像からキーフレームを選択する方法を示す概略フローチャートである。

【図4B】図4Bは、複数の画像からキーフレームを選択する方法を示す概略フローチャートである。

【図4C】図4Cは、複数の画像からキーフレームを選択する方法を示す概略フローチャートである。

【図5】図5は、図4の方法において実行される一致した画像特徴を判定する方法を示す概略フローチャートである。

【図6】図6は、本発明に係る校正マーカパターンの隅点の再構成誤差を示す図である。

【図7】図7は、図4の方法に従って生成された3次元(3D)マップの一例を示す図である。

【図8】図8は、マップ初期設定中の図2Aのビデオディスプレイを示す図である。

【発明を実施するための形態】**【0018】**

添付の図面の1つ以上の図において、同一の図中符号により示されるステップ及び/又

50

は特徴が参照される場合、説明の便宜上、特に指示のない限り、それらのステップ及び／又は特徴は同一の機能又は動作を有する。

【0019】

図2Aは、ビデオシステム200を示す。ビデオシステム200は、例えばシーン293の画像を撮像する移動カメラ220を備える。シーン293は静止している。移動カメラ220は通信網290に接続される。通信網290は、インターネットなどのワイドエリアネットワーク(WAN)、携帯電話通信網又はプライベートWANである。

【0020】

図2Aに示されるように、ビデオシステム200は、コンピュータモジュール201と、キーボード202、マウス poインタデバイス203、スキャナ226及びマイク280などの入力デバイスと、プリンタ215、ディスプレイ装置214及びスピーカ217を含む出力デバイスとを更に含む。

【0021】

外部変復調器(モデム)トランシーバデバイス216は、接続回線221を介して通信網290との間で通信を実行するためにコンピュータモジュール201により使用される。接続回線221が電話回線である場合、モデム216は従来の「ダイヤルアップ」モデルである。あるいは、接続回線221が大容量(例えば、ケーブル)接続回線である場合、モデム216はブロードバンドモデルである。通信網290への無線接続を実現するために、無線モデルも使用可能である。

【0022】

通常、コンピュータモジュール201は、少なくとも1つのプロセッサユニット205及びメモリユニット206を含む。例えばメモリユニット206は、半導体ランダムアクセスメモリ(RAM)及び半導体読み取り専用メモリ(ROM)を有する。コンピュータモジュール201は、ビデオディスプレイ214、スピーカ217及びマイク280に結合するオーディオビデオインターフェース207と、キーボード202、マウス203、スキャナ226及びカメラ227に結合し且つ任意にジョイスティック又は他のヒューマンインターフェースデバイス(図示せず)に結合する入出力(I/O)インターフェース213と、外部モデル216及びプリンタ215に結合するインターフェース208とを含む複数のI/Oインターフェースを更に含む。いくつかの実現形態において、モデル216は、コンピュータモジュール201内に、例えばインターフェース208内に組み込まれる。コンピュータモジュール201は、接続回線223を介してコンピュータモジュール201をローカルエリアネットワーク(LAN)として知られるローカルエリア通信網222に結合させることができるローカルネットワークインターフェース211を更に有する。

【0023】

図2Aに示されるように、ローカル通信網222は、いわゆる「ファイアウォール」デバイス又はそれに類似する機能を有するデバイスを通常含む接続回線224を介してワイド網290にも結合する。ローカルネットワークインターフェース211は、Ethernet(登録商標)回路カード、Blue tooth(登録商標)無線構成又はIEEE802.11無線構成を備えるが、インターフェース211として他の多くの種類のインターフェースが実施されてもよい。

【0024】

I/Oインターフェース208及び213は、直列接続及び並列接続のいずれか一方又は双方を可能にするが、直列接続は、通常、ユニバーサルシリアルバス(USB)規格に従って実現され且つ対応するUSBコネクタ(図示せず)を有する。記憶装置209が配置され、この記憶装置209はハードディスクドライブ(HDD)210を通常含む。フロッピーディスクドライブ及び磁気テープドライブ(図示せず)のような他の記憶装置が使用されてもよい。不揮発性ソースとして動作するように、オプションのディスクドライブ212が通常配置される。ビデオシステム200に対するデータの適切なソースとして、光ディスク(例えばCD-ROM、DVD、Blue-ray Disc(登録商標))、USB-RAM、ポータブル外部ハードドライブ及びフロッピーディスクなどのポータブル

10

20

30

40

50

ルメモリデバイスが使用される。

【0025】

コンピュータモジュール201の構成要素205～213は、通常、当業者には周知であるビデオシステム200の従来の動作モードが実現されるように相互接続バス204を介して通信する。例えば、プロセッサ205は、接続線218を使用してシステムバス204に結合される。同様に、メモリ206及び光ディスクドライブ212は、接続線219によりシステムバス204に結合される。本明細書において説明される構成を実施できるコンピュータは、例えばIBM-PC及びその互換機、Sun Sparcstation、Apple Mac(登録商標)又はそれに類似するコンピュータシステムを含む。

10

【0026】

以下に説明される方法は、ビデオシステム200を使用して実現される。その場合、以下に説明される図1～図6の処理は、ビデオシステム200内で実行可能な1つ以上のソフトウェアアプリケーションプログラム233として実現される。詳細には、説明される方法のステップは、ビデオシステム200内で実行されるソフトウェアアプリケーションプログラム233の命令231により実行される(図2Bを参照)。ソフトウェア命令231は、各々が1つ以上の特定のタスクを実行する1つ以上のコードモジュールとして形成される。ソフトウェアは2つの個別の部分に分割されてもよく、第1の部分及び対応するコードモジュールは、以下に説明される方法を実行する。第2の部分及び対応するコードモジュールは、第1の部分とユーザとの間のユーザインターフェースを管理する。

20

【0027】

ソフトウェアは、例えば以下に説明される記憶デバイスを含むコンピュータ可読媒体に記憶される。通常、ソフトウェアアプリケーションプログラム233はHDD210又はメモリ206に記憶される。ソフトウェアは、コンピュータ可読媒体からビデオシステム200にロードされた後、ビデオシステム200により実行される。従って、ソフトウェア233は、例えば光ディスクドライブ212により読み取られる光可読ディスク記憶媒体(例えばCD-ROM)225に記憶される。そのようなソフトウェアが記憶されたコンピュータ可読媒体又はコンピュータ可読媒体に記録されたコンピュータプログラムは、コンピュータプログラム製品である。コンピュータシステム200においてこのコンピュータプログラム製品を使用することにより、以下に説明される方法を実現するのに有利な装置が実現されるのが好ましい。

30

【0028】

場合によっては、ソフトウェアアプリケーションプログラム233は、1枚以上のCD-ROM225に符号化された形態でユーザに提供され、対応するドライブ212を介して読み取られても良いし、あるいは通信網290又は222からユーザにより読み取られても良い。更にソフトウェアは、他のコンピュータ可読媒体からビデオシステム200にロードされてもよい。コンピュータ可読媒体は、実行及び/又は処理のために記録されている命令及び/又はデータをコンピュータシステム200に提供するあらゆる非一時的な有形記憶媒体を表す。コンピュータモジュール201の内部に組み込まれるか又は外部にあるかにかかわらず、そのような記憶媒体には、フロッピーディスク、磁気テープ、CD-ROM、DVD、Blu-ray Disc、ハードディスクドライブ、ROM又は集積回路、USBメモリ、光磁気ディスク、PCMciaカードなどのコンピュータ可読カードなどが含まれる。コンピュータモジュール201へのソフトウェア、アプリケーションプログラム、命令及び/又はデータの提供にも関与する一時的なコンピュータ可読送信媒体又は非有形コンピュータ可読送信媒体の例は、無線送信チャネル又は赤外線送信チャネル、並びに別のコンピュータ又は別のネットワーク化デバイスへのネットワーク接続、Eメール送信を含むインターネット又はイントラネット及びウェブサイトに記録された情報などを含む。

40

【0029】

上述のソフトウェアアプリケーションプログラム233の第2の部分及び対応するコ-

50

ドモジュールは、ディスプレイ 214 にレンダリングされるか又は他の方法により表現される 1 つ以上のグラフィカルユーザインタフェース (G U I) を実現するために実行される。G U I と関連するアプリケーションへ制御コマンド及び / 又は入力を供給するために、ビデオシステム 200 及びアプリケーションのユーザは、通常、キーボード 202 及びマウス 203 を操作することにより機能適応方式でインタフェースを操作する。スピーカ 217 を介して出力される音声プロンプト及びマイク 280 を介して入力されるユーザ音声コマンドを利用するオーディオインタフェースのような他の形態の機能適応型ユーザインタフェースが実現されてもよい。

【 0 0 3 0 】

図 2B は、プロセッサ 205 及び「メモリ」234 を詳細に示す概略ブロック図である。
メモリ 234 は、図 2A のコンピュータモジュール 201 がアクセス可能なすべてのメモリモジュール (H D D 209 及び半導体メモリ 206 を含む) の論理的集合体を表す。

【 0 0 3 1 】

コンピュータモジュール 201 が最初に起動された時点で、P O S T (p o w e r - o n s e l f - t e s t) プログラム 250 が実行される。P O S T プログラム 250 は、通常、図 2A の半導体メモリ 206 の R O M 249 に記憶される。ソフトウェアを記憶する R O M 249 のようなハードウェアデバイスはファームウェアと呼ばれる場合もある。P O S T プログラム 250 は、適正に機能していることを確認するためにコンピュータモジュール 201 内部のハードウェアを検査し、通常、プロセッサ 205 及びメモリ 234 (209, 206) と、通常は同様に R O M 249 に記憶されている基本入出力システムソフトウェア (B I O S) モジュール 251 とが正しく動作しているか否かを検査する。P O S T プログラム 250 が正常に実行された後、B I O S 251 は図 2A のハードディスクドライブ 210 を起動する。ハードディスクドライブ 210 が起動されると、ハードディスクドライブ 210 に常駐するブートストラップローダプログラム 252 がプロセッサ 205 を介して実行される。その結果、R A M メモリ 206 にオペレーティングシステム 253 がロードされるので、オペレーティングシステム 253 は動作を開始する。オペレーティングシステム 253 は、プロセッサ管理、メモリ管理、デバイス管理、記憶装置管理、ソフトウェアアプリケーションインタフェース及び一般ユーザインタフェースを含む種々の高レベル機能を実現するためにプロセッサ 205 により実行可能なシステムレベルアプリケーションである。

【 0 0 3 2 】

オペレーティングシステム 253 は、コンピュータモジュール 201 で実行中の各処理又は各アプリケーションが別の処理に割り当てられたメモリと衝突することなくその処理又はアプリケーションを実行するのに十分なメモリを使用できるようにメモリ 234 (209, 206) を管理する。更に、図 2A のシステム 200 で利用可能な種々の種類のメモリは、各処理を有効に実行できるように適正に使用される。従って、メモリ集合体 234 は、(特に指示のない限り) メモリの特定のセグメントがどのように割り当てられるかを示すことを意図しているのではなく、コンピュータシステム 200 がアクセス可能であるメモリの全体図を示し且つそのメモリがどのように使用されるかを示すことを意図する。

【 0 0 3 3 】

図 2B に示されるように、プロセッサ 205 は、制御ユニット 239 、算術論理ユニット (A L U) 240 及びキャッシュメモリと呼ばれる場合もあるローカルメモリ又は内部メモリ 248 を含む複数の機能モジュールを含む。通常、キャッシュメモリ 248 は、レジスタ部分に複数の格納レジスタ 244 ~ 246 を含む。1 つ以上の内部バス 241 がこれらの機能モジュールを機能の上で相互に接続する。通常、プロセッサ 205 は、接続回線 218 を使用して、システムバス 204 を介して外部デバイスと通信する 1 つ以上のインターフェース 242 を更に有する。メモリ 234 は、接続回線 219 を使用してバス 204 に結合される。

【 0 0 3 4 】

10

20

30

40

50

アプリケーションプログラム 233 は、条件分岐命令及び条件ループ命令を含む一連の命令 231 を含む。アプリケーションプログラム 233 は、プログラム 233 の実行に使用されるデータ 232 を更に含む。命令 231 及びデータ 232 は、記憶場所 228、229、230 及び 235、236、237 にそれぞれ記憶される。命令 231 及び記憶場所 228～230 の相対的な大きさに応じて、記憶場所 230 に記憶されている命令により示されるように、特定の命令が 1 つの記憶場所に記憶される場合もある。あるいは、記憶場所 228 及び 229 に記憶されている命令セグメントにより示されるように、1 つの命令が複数の部分に分割され、各部分が個別の記憶場所に記憶されてもよい。

【0035】

一般に、プロセッサ 205 に命令セットが提供され、プロセッサ 205 はそれらの命令を実行する。プロセッサ 205 は次に続く入力を待ち、別の命令セットを実行することによりその入力に反応する。各入力は、入力デバイス 202、203 のうち 1 つ以上のデバイスにより生成されるデータ、通信網 290、202 のうちの 1 つを介して外部ソースから受信されるデータ、記憶装置 206、209 のうち 1 つから検索されるデータ又は適切な読み取り装置 212 に挿入された記憶媒体 225 から検索されるデータを含む複数のソースのうち 1 つ以上のソースから提供される。すべてのソースは図 2A に示される。場合によっては、命令セットを実行することによりデータが出力される。命令セットの実行はデータ又は変数をメモリ 234 に記憶することを更に含む。

10

【0036】

説明される構成は入力変数 254 を使用する。入力変数 254 は、メモリ 234 の対応する記憶場所 255、256、257 に記憶される。説明される構成は出力変数 261 を生成し、出力変数 261 はメモリ 234 の対応する記憶場所 262、263、264 に記憶される。中間変数 258 が記憶場所 259、260、266 及び 267 に記憶される場合もある。

20

【0037】

図 2B のプロセッサ 205 に関して説明すると、レジスタ 244、245、246、算術論理ユニット (ALU) 240 及び制御ユニット 239 は、プログラム 233 を構成する命令セットの命令ごとに「フェッチ、復号、実行」サイクルを実行するために必要とされるマイクロ動作のシーケンスを実行するように互いに関連して動作する。各フェッチ、復号、実行サイクルは以下を含む。

30

【0038】

(a) 記憶場所 228、229、230 から命令 231 をフェッチする又は読み取るフェッチ動作

(b) どの命令がフェッチされたかを制御ユニット 239 が判定する復号動作

(c) 制御ユニット 239 及び / 又は ALU 240 がその命令を実行する実行動作

その後、次の命令に対して更なるフェッチ、復号、実行サイクルが実行される。同様に、制御ユニット 239 が記憶場所 232 に値を記憶する又は書き込む記憶サイクルが実行される。

【0039】

図 4～図 6 の処理における各ステップ又は各部分処理は、プログラム 233 の 1 つ以上のセグメントと関連し且つプログラム 233 のそれらのセグメントに対して命令セットの命令ごとにフェッチ、復号、実行サイクルを実行するために互いに関連して動作するプロセッサ 205 のレジスタ部分 244、245、247、ALU 240 及び制御ユニット 239 により実行される。

40

【0040】

あるいは、説明される方法は、説明される方法の機能又は部分機能を実行する 1 つ以上の集積回路のような専用ハードウェアで実現される。そのような専用ハードウェアには、フィールドプログラマブルゲートアレイ (FPGA)、特定用途向け集積回路 (ASIC)、グラフィックプロセッサ、デジタルシグナルプロセッサ又は 1 つ以上のマイクロプロセッサ及び関連メモリが含まれる。専用ハードウェアは、カメラ 220、220A～22

50

0 E に埋め込まれ且つコンピュータモジュール 201 内で実行されるソフトウェアのみで実行される構成に匹敵する機能を有すると考えられるデバイスを更に含む。

【 0 0 4 1 】

1 つの構成において、説明される方法は、カメラ 220、220A～220E のうち 1 つ以上のカメラのプロセッサにより実行されるソフトウェアとして実現されるか、もしくはカメラ内部の専用ハードウェアを使用して実現される。更に別の構成において、説明される方法は、ソフトウェアモジュールとハードウェアモジュールとの混成構成を使用して実現される。

【 0 0 4 2 】

図 2 A の例において、3 次元（3D）空間のシーン 293 は、3D 球形オブジェクト 299、3D 立方体オブジェクト 297 及び校正マーカパターン 298 を含む。10

【 0 0 4 3 】

校正マーカパターン 298 は、拡張現実システムに使用可能な図 1 A に示されるような 2D 校正マーカパターンである。あるいは、校正マーカパターン 298 は、図 1 B に示されるような 3D 校正マーカパターンである。図 1 B に示されるような 3D 校正マーカパターンも拡張現実システムに使用可能である。

【 0 0 4 4 】

校正マーカパターン 298 は、撮像されるオブジェクトの縮尺及びシーン 293 におけるグローバル座標系の原点を定義する。校正マーカパターン 298 は、マップ初期設定を目的として当初は移動カメラ 220 により見えると想定されるが、後の追跡動作及びマッピング動作には必要ではない。校正マーカパターン 298 は、図 1 A に示される 2D 校正マーカパターン及び図 1 B に示される 3D 校正マーカパターンに限定されない。校正マーカパターン 298 は、空間内の既知の場所に既知の寸法で固定され且つ撮像画像中で検出可能であるならば、どのような種類又は形状であってもよい。20

【 0 0 4 5 】

1 つの構成において、移動カメラ 220 は、シーン 293 の画像を撮像するデジタルスチル画像カメラである。別の構成において、移動カメラ 220 は、3D 空間内で所定のフレームレートで連続してシーン 293 の画像を撮像するデジタルビデオカメラである。更に別の構成では、カメラ 220 は、立体カメラなどのマルチレンズカメラシステムである。更に別の構成において、シーンの画像を撮像するために、2 つ以上の個別のカメラを備えたマルチビューカメラシステムが使用される。30

【 0 0 4 6 】

カメラ内部 (intrinsic) パラメータを判定するために、移動カメラ 220 は、何らかの適切なカメラ校正アルゴリズムを使用して校正される。焦点距離、主点及びレンズ歪みパラメータなどのカメラ内部パラメータは、移動カメラ 220 に対してあらかじめ判定される。移動カメラ 220 は、シーン 293 に関して、破線のカメラ 220 により示されるような初期位置にある。図 2 A に示されるように、撮像画像 291 は、初期位置にあるカメラ 220 により撮像されたシーン 293 のビューを表す。その後、矢印 296 により示されるように、移動カメラ 220 は、実線のカメラ 220 により示される新たな場所へ移動される。この新たな場所は初期位置とは異なる。理解しやすいように、初期位置から新たな場所へ移動された後も、実線で示される移動カメラ 220 は、破線で示される移動カメラ 220 と同一のカメラを表す。図 2 B に示されるように、撮像画像 292 は、新たな場所でカメラ 220 により撮像されたシーン 293 のビューを表す。40

【 0 0 4 7 】

画像 291 及び 292 は、プロセッサ 205 を使用して、移動カメラ 220 から通信網 290 を介してコンピュータモジュール 201 へ順次ダウンロードされる。あるいは、撮像中に、画像 291 及び 292 は、カメラ 220 によりコンピュータモジュール 201 へ送出される。

【 0 0 4 8 】

コンピュータモジュール 201 は、移動カメラ 220 により撮像された入力画像 29150

及び 292 を通信網 290 を介して受信する。画像 291 及び 292 は、メモリ 206 及び / 又はハードディスクドライブ 210 に記憶される。図 4 A、図 4 B 及び図 4 C を参照して以下に詳細に説明される方法 400 に従って、画像 291 及び 292 から 1 つ以上のキーフレーム（又はキー画像）が選択される。

【0049】

方法 400 に従って、図 7 に示されるように、画像 291 及び 292 を使用して生成されるべき 3 次元（3D）マップ 295 の予想画質が判定される。3D マップ 295 の予想画質が所定の精度を超える場合、2 つの画像 291 及び 292 はキーフレーム（又はキー画像）として設定され、3D マップ 295 を生成するために、それらのキーフレーム（キー画像）から抽出された一致点を使用して三角測量が実行される。3D マップ 295 の予想画質が不十分である場合、異なる初期キーフレーム（キー画像）を使用して方法 400 が再び実行される。10

【0050】

図 3 は、ビデオシステム 200 の別の構成を示す。この場合、ビデオシステム 200 は、通信網 290 に接続された複数の固定カメラ 220A、220B、220C、220D 及び 220E を備える。各固定カメラ 220A、220B、220C、220D 又は 220E は独立して動作する。各カメラ 220A ~ 220E により撮像された画像 291 及び 292 に類似するシーン 293 の画像は、コンピュータモジュール 201 にダウンロードされ且つ方法 400 に従って処理される。20

【0051】

図 4 A、図 4 B 及び図 4 C を参照して、複数の画像からキーフレーム（キー画像）を選択する方法 400 を詳細に説明する。方法 400 は、移動可能なカメラ 220 により撮像された図 2 A の画像 291 及び 292 を例にして説明される。方法 400 は、ハードディスクドライブ 210 に常駐し且つプロセッサ 205 により実行が制御されるソフトウェアアプリケーションプログラム 233 の 1 つ以上のコードモジュールとして実現される。20

【0052】

図 4 A に示されるように、方法 400 は画像ダウンロードステップ 401 から開始される。このステップにおいて、プロセッサ 205 は、移動カメラ 220 から通信網 290 を介して現在のフレームをダウンロードするために使用される。図 2 A の例に従えば、方法 400 の 1 回目の反復時における現在のフレームは画像 291 である。画像 291 は、方法 400 に従って処理される準備が整った状態の生画像である。前述のように、ダウンロードされた画像 291 は、メモリ 206 及び / 又はハードディスクドライブ 210 に記憶される。30

【0053】

別の構成において、画像 291 及び 292 は、JPEG、JPEG 2000、モーション JPEG 2000、MPEG 1、MPEG 2、MPEG 4 及び H.264 のような従来の符号化方式を使用して移動カメラ 220 により圧縮される。そのような構成では、方法 400 は、生画素データを生成するために画像 291 及び 292 を復号化するステップを含む。40

【0054】

決定ステップ 402 において、プロセッサ 205 は、現在のフレーム（例えば画像 291）の中に校正マーカパターン 298 が存在するか否かを検出するために使用される。現在のフレーム（例えば画像 291）の中に校正マーカパターン 298 が検出された場合、方法 400 はステップ 403 へ進む。検出されない場合、初期キーフレームを設定する方法 400 は、次の入力フレームを処理するためにダウンロードステップ 401 に戻る。

【0055】

1 つの構成において、ある特定のグレイ値閾値に満たない連結された暗画素群を判定するために、現在のフレームは検出ステップ 402 で 2 値化される。この場合、各暗画素群の輪郭が抽出され、4 本の直線により囲まれた画素群が潜在マーカとしてマークされる。潜在マーカの 4 つの隅は、透視歪みを除去する目的でホモグラフィを判定するために使用50

される。校正マーカの内部パターンが標準正面図に移行された後、 $N \times N$ の 2 値格子が判定される。格子の 2 値は、相関により校正マーカパターン 298 の特徴ベクトルと比較される特徴ベクトルを形成する。この比較の出力は信頼度係数である。信頼度係数が所定の閾値より大きい場合、ステップ 402 において現在のフレームの中で校正マーカパターン 298 が検出されたと考えられる。

【0056】

別の構成では、固定グレイ値閾値を使用して現在のフレームを 2 値化するのではなく、検出ステップ 402 において、エッジ検出器を使用してエッジ画素が検出される。この場合、エッジ画素はセグメントに連携され、セグメントは四辺形として分類される。各四辺形の 4 つの隅は、透視歪みを除去する目的でホモグラフィを判定するために使用される。その後、内部パターンがサンプリングされ、相関により既知の校正マーカパターン 298 の特徴ベクトルと比較される。この比較の出力が所定の閾値より大きい場合、校正マーカパターン 298 が発見されたと考えられる。10

【0057】

図 4A を参照して説明すると、カメラ姿勢判定ステップ 403 において、プロセッサ 205 は、ステップ 401 で現在のフレームの中で検出された校正マーカパターン 298 の既知の位置及び姿勢と、検出された校正マーカパターン 298 の見え方とに基づいて現在のフレーム（例えば画像 291）に対するカメラの姿勢を判定するために使用される。

【0058】

1 つの構成において、校正マーカパターン 298 の 4 本の輪郭直線及び 4 つの隅は、姿勢判定ステップ 403 でステップ 402 と同様にして判定される。次に、以下の式（1）で与えられる透視変換を使用して、検出されたマーカは正規化される。変換行列におけるすべての変数は、検出された校正マーカパターン 298 の 4 つの頂点の画像座標及びマーカ座標を、それぞれ (x_c , y_c) 及び (X_m , Y_m) に代入することにより判定される。20

【0059】

【数 1】

$$\begin{bmatrix} hx_c \\ hy_c \\ h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{11} & N_{12} & N_{13} \\ N_{21} & N_{22} & N_{23} \\ N_{31} & N_{32} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ 1 \end{bmatrix} \quad (\text{式 } 1) \quad \text{30}$$

【0060】

式中、 h は任意のスケール係数である。

【0061】

次に、校正マーカパターン 298 の 2 本の平行線により形成される平面の法線ベクトルが判定される。画像座標中の 2 本の平行線の式は、次の式（2）により与えられる。

【0062】

【数 2】

$$a_1x + b_1y + c_1 = 0, a_2x + b_2y + c_2 = 0 \quad (\text{式 } 2) \quad \text{40}$$

【0063】

式中、 a_1 、 b_1 及び c_1 並びに a_2 、 b_2 及び c_2 は、各平行線の定数パラメータである。

【0064】

移動カメラ 220 が事前に校正されていたと仮定すると、透視投影行列 P は、以下の式（3）に従って 4×4 の行列として表される。

【0065】

【数3】

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & 0 \\ 0 & P_{22} & P_{23} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (\text{式3})$$

【0066】

従って、式(1)を式(4)に従って次のように表すことができる。

【0067】

【数4】

$$\begin{bmatrix} hx_c \\ hy_c \\ h \\ 1 \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} \quad (\text{式4})$$

【0068】

式中、(X_c , Y_c , Z_c)は校正マーカパターン298の隅のカメラ座標である。

【0069】

校正マーカパターン298の2つの辺を含む平面の式は、以下の式(5)に従って、カメラ座標において式(3)の x_c 及び y_c を式(2)の x 及び y に代入することにより表される。 20

【0070】

【数5】

$$a_1 P_{11} X_c + (a_1 P_{12} + b_1 P_{22}) Y_c + (a_1 P_{13} + b_1 P_{23} + c_1) Z_c = 0,$$

$$a_2 P_{11} X_c + (a_2 P_{12} + b_2 P_{22}) Y_c + (a_2 P_{13} + b_2 P_{23} + c_2) Z_c = 0$$

(式5)

【0071】

式(5)から、校正マーカパターン298の2辺を含む平面の法線ベクトルが判定され、 n_1 及び n_2 によりそれぞれ表される。校正マーカパターン298の平行な2辺の方向ベクトル v_1 は、外積 $n_1 \times n_2$ により与えられる。次に、方向ベクトル v_2 を判定するために、第2の組の平行線が使用される。 v_1 及び v_2 が厳密に垂直になるように、雑音に起因する誤差及び画像処理誤差を補償するために2つの方向ベクトル v_1 及び v_2 は純化される。 30

【0072】

v_1 及び v_2 の双方に対して垂直な単位方向ベクトル v_3 も判定される。単位方向ベクトル v_1 、 v_2 及び v_3 は、マーカ座標から以下の式(6)に示されるカメラ座標への変換行列 T の回転成分を一体に形成する。

【0073】

【数6】

$$\begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1^T & v_2^T & v_3^T & W_{3 \times 1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} \quad (\text{式6})$$

【0074】

変換行列の回転成分、マーカ座標におけるマーカの4つの隅及び検出されたマーカの現在のフレームにおける対応する頂点が与えられると、8つの式(平行移動成分 $W_{3 \times 1}$ を含む)が生成され、それら8つの式から、この平行移動成分の値が得られる。変換行列 T はカメラの姿勢の大まかな推定を表す。画像雑音、動きによるぶれ及びカメラ校正の精度 50

不足が存在する場合、一般に、校正マーカパターン 298 の 1 つの画像に基づいて判定された変換行列 T は、拡張現実システムに適用するのに十分な精度を有していないという点に注意することが重要である。

【0075】

ステップ 403 に続いて、次の検査ステップ 404 では、プロセッサ 205 は、初期キーフレーム（又はキー画像）が設定されたか否かを検査するために使用される。初期キーフレームが既に設定されている場合、方法 400 は、図 4B に示される投影ステップ 406 へ進む。本例において、ステップ 404 で初期キーフレームが設定されていると判定されるということは、現在のフレームが図 2A の画像 292 であることを意味する。これに対し、初期キーフレームが設定されていない（すなわち、今回初めて校正マーカパターン 298 が検出された）場合、本例に従えば、現在のフレームは画像 291 であり、方法 400 は設定ステップ 405 へ進む。ステップ 405 において、プロセッサ 205 は、現在のフレーム（例えば画像 291）を初期キーフレームとして設定し、方法 400 は読み取りステップ 401 に戻り、メモリ 206 及び / 又はハードディスクドライブ 210 から次の入力フレーム（例えば画像 292）を読み取る。10

【0076】

投影ステップ 406 において、プロセッサ 205 は、校正マーカパターン 298 の予想画像座標を推定するために、ステップ 403 で判定されたカメラ姿勢に基づいて既知の校正マーカパターン 298 から取り出された 1 組の隅を初期キーフレーム（例えば画像 291）及び現在のフレーム（例えば画像 292）に投影するために使用される。既知の校正マーカパターン 298 から取り出された 1 組の隅は事前に判定されており、ステップ 406 においてメモリ 206 又は記憶装置 210 からアクセスされる。別の構成において、1 組の隅は、ディスク記憶媒体 225 及び / 又はコンピュータネットワーク（920 又は 922）からアクセスされる。既知の校正マーカパターン 298 から取り出された 1 組の隅は、校正マーカパターン 298 の領域全体にまばらに且つ一様に分散されていることが望ましい。1 つの構成において、校正マーカパターン 298 から少なくとも 20 個の隅の特徴が選択される。20

【0077】

以下に詳細に説明されるように、図 4B に示される続くステップ 407 ~ 409 において、プロセッサ 205 は、第 1 の画像（例えば画像 291 の形の初期キーフレーム）と関連する校正マーカパターン 298 の特徴に対応する第 1 の画像中の第 1 の画像特徴を判定するために方法 400 で使用される。第 1 の画像特徴は、第 1 の画像を撮像するために使用されたカメラ 220 の第 1 の姿勢に基づいて判定される。次に、プロセッサ 205 は、複数の画像のうち第 2 の画像（例えば画像 292）を撮像するために使用されたカメラの第 2 の姿勢に基づいて第 2 の画像中の第 1 の画像特徴と視覚的に一致する第 2 の画像特徴を判定するために使用される。30

【0078】

検出ステップ 407 において、プロセッサ 205 は、隅検出器を使用して初期キーフレーム（例えば画像 291）及び現在のフレーム（例えば画像 292）から突出（salient）画像特徴を検出するために使用される。1 つの構成において、非最大抑制型の F A S T - 10 隅検出器が使用される。あるいは、初期キーフレーム（例えば画像 291）中の突出画像特徴を検出するために、ハリス隅検出器、モラベック隅検出器、S U S A N 隅検出器、S I F T 又は S U R F 隅検出器が使用されてもよい。40

【0079】

それに代わる構成において、ステップ 407 では、投影ステップ 406 で判定された初期キーフレーム（例えば画像 291）中及び現在のフレーム（例えば画像 292）中の校正マーカパターン 298 の隅の予想画像座標の付近の画像領域のみが検査される。この画像領域の大きさは、校正マーカパターン 298 の大きさ、位置及び姿勢と、ステップ 403 で判定されたカメラ姿勢とに基づいて判定される。

【0080】

50

次に、方法 400 は、検出ステップ 407 からマッチングステップ 408 へ進み、初期キーフレーム（例えば画像 291）と、メモリ 206 及び / 又はハードディスクドライブ 210 に記憶されている現在のフレーム（例えば画像 292）とにおいて校正マーカパターン 298 の隅に対応する互いに一致する画像特徴を判定する。

【0081】

図 5 を参照して、マッチングステップ 408 で実行される一致した画像特徴を判定する方法 500 を説明する。方法 500 は、ハードディスクドライブ 210 に常駐し且つプロセッサ 205 により実行を制御されるソフトウェアアプリケーションプログラム 233 の 1 つ以上のコードモジュールとして実現される。

【0082】

方法 500 の第 1 の選択ステップ 510 において、プロセッサ 205 は、校正マーカパターン 298 のすべての隅が処理されたか否かを判定するために使用される。処理すべき隅が残っていない場合、初期キーフレーム（例えば画像 291）と現在のフレーム（例えば画像 292）との間で一致したすべての隅の画像特徴が判定され、方法 500 は終了し、方法 400 は推定ステップ 409 に進む。処理すべき隅がまだ残っている場合、方法 500 は判定ステップ 520 に進む。

【0083】

判定ステップ 520 において、プロセッサ 205 は、校正マーカパターン 298 の隅に対応する初期キーフレーム（例えば画像 291）中の 1 組の突出画像特徴候補を判定するために使用される。1 組の突出画像特徴候補は、ステップ 406 で判定された選択された隅の予想画像座標から突出画像特徴までのユークリッド距離に基づいて判定される。

【0084】

1 つの構成において、選択された隅の予想画像座標を中心とする半径が 10 画素の円形検索領域が定義される。この円形検索領域の中で発見されたすべての突出画像特徴は、投射された隅の場所になりうる候補であると考えられる。別の構成において、矩形の検索領域が使用され、矩形の検索領域の寸法は、ステップ 403 で判定された推定カメラ姿勢の位置及び姿勢によって決まる。

【0085】

ステップ 520 に続いて、次の検査ステップ 530 において、プロセッサ 205 は、処理すべき画像特徴候補が残っているか否かを検査するために使用される。すべての画像特徴候補が処理されていた場合、方法 500 は検査ステップ 510 に戻り、校正マーカパターン 298 の次の隅を処理する。処理すべき画像特徴候補が残っている場合、方法 500 はステップ 540 へ進む。

【0086】

マッチングステップ 540 において、ステップ 520 で初期キーフレームから判定された選択された各画像特徴候補は、メモリ 206 及び / 又はハードディスクドライブ 210 に記憶されている現在のフレームの 1 組の画像特徴とマッチングされる。マッチングされる現在のフレーム中の 1 組の画像特徴は、ステップ 406 で判定された選択された隅の予想画像座標から画像特徴までのユークリッド距離に基づいて判定される。ステップ 540 に続いて、方法 500 はステップ 530 に戻り、現在処理中の所定の隅に対して最もよくマッチングする特徴が発見されるまでステップ 540 が繰り返される。

【0087】

1 つの構成において、ステップ 540 では、初期キーフレーム及び現在のフレームの双方における突出画像特徴の場所を中心とする 8×8 パッチが抽出される。次に、 8×8 パッチは、零平均平方誤差和 (ZSSD) の尺度を使用してマッチングされる。最高の ZSSD スコアを有する対の画像特徴が校正マーカパターン 298 の現在の隅に関する最も的一致として選択される。あるいは、選択された隅の予想画像座標に最も近く且つ所定の閾値を超える ZSSD スコアを有する対の画像特徴が校正マーカパターン 298 の現在の隅に関する最も的一致として選択される。

【0088】

10

20

30

40

50

別の構成において、発見ステップ 540 で、選択された画像特徴候補と、現在のフレームの 1 組の画像特徴とのマッチングを行うために、 16×16 パッチ又は 32×32 パッチなどの異なるパッチサイズ及び平方誤差和 (SSD) 又は絶対値誤差和 (SAD) などの異なる類似度尺度が使用される。

【0089】

図 4B に戻ると、方法 400 は、判定ステップ 408 に続く推定ステップ 409 へ進む。推定ステップ 409 において、プロセッサ 205 は、第 1 の画像特徴の位置、第 2 の画像特徴の位置、第 1 のカメラ姿勢及び第 2 のカメラ姿勢に基づいて校正マーカパターン 298 の特徴の再構成位置を判定するために使用される。

【0090】

推定ステップ 409 において、プロセッサ 205 は、ステップ 408 で判定された校正マーカパターン 298 の隅に対応する一致する特徴の画像座標及び初期キーフレーム (例えば画像 291) と現在のフレーム (例えば画像 292) との相対姿勢に基づいて、三角測量により校正マーカパターン 298 の隅の 3D 位置を推定するために使用される。相対カメラ姿勢は、方法 400 のステップ 403 で判定された初期キーフレームのカメラ姿勢及び現在のフレームのカメラ姿勢に基づいて判定される。

【0091】

1つの構成において、ステップ 409 では線形三角測量が実行される。例えば、空間内の点 X の 2 つの観測 x 及び x' 並びに初期キーフレーム (例えば画像 291) 及び現在のフレーム (例えば画像 292) の投影行列 P 及び P' がそれぞれ与えられた場合、点 X の奥行きは式 (7) 及び (8) に従って判定される。

【0092】

【数 7】

$$x = PX \quad (\text{式 } 7)$$

【0093】

【数 8】

$$x' = P'X \quad (\text{式 } 8)$$

$$P = K[R|t] = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p^{1T} \\ p^{2T} \\ p^{3T} \end{bmatrix}$$

【0094】

(式 7) でクロス積を計算すると、

【0095】

【数 9】

$$x \times (PX) = PX \times PX = 0$$

$$(\text{式 } 9)$$

【0096】

(式 9) は、3 つの一次方程式を使用して次のように書き改めることができる。

【0097】

10

20

30

40

【数10】

$$u(p^{3T}X) - (p^{1T}X) = 0$$

$$v(p^{3T}X) - (p^{2T}X) = 0$$

$$u(p^{2T}X) - v(p^{1T}X) = 0$$

【0098】

式中、 p^{iT} は投影行列 P の行である。式(10)に従って次のように A X = 0 の形の式を合成できる。

10

【0099】

【数11】

$$A = \begin{bmatrix} up^{3T} - p^{1T} \\ vp^{3T} - p^{2T} \\ u'p'^{3T} - p'^{1T} \\ v'p'^{3T} - p'^{2T} \end{bmatrix} \quad (\text{式10})$$

【0100】

4つの同次未知数を含む式(10)の4つの式は、式(11)に従って特異値分解(SVD)を実行することにより解くことができる。

20

【0101】

【数12】

$$A = U\Sigma V^T \quad (\text{式11})$$

【0102】

式中、U 及び V は 4×4 行列であり、 V^T は V の共役転置であり、 Σ は 4×4 対角行列である。式(11)の解 X は、行列 V の最終列に対応する。

【0103】

30

1つの構成において、校正マーカパターン 298 の隅の 3D 位置を判定するために、サンプソンの距離尺度などの適切なコスト関数を最小化する反復アルゴリズム又は非反復アルゴリズムが使用される。

【0104】

次に、方法 400 は、推定ステップ 409 から判定ステップ 410 へ進む。判定ステップ 410 において、プロセッサ 205 は、校正マーカパターン 298 の特徴の再構成位置に基づいて 3D 空間ににおける 3D 再構成誤差を判定するために使用される。再構成誤差は校正マーカパターン 298 の隅ごとに判定される。隅ごとの再構成誤差は、プロセッサ 205 によりメモリ 206 及び / 又はハードディスクドライブ 210 に記憶される。1つの構成において、再構成誤差は、拡張現実システムの構成後の座標系で測定される。例えば、図 6 を参照して説明すると、再構成誤差 601 は、パターン X_{marker} の隅の実際の位置とステップ 409 で判定された再構成 $X_{reconst\ 602}$ の位置との間のユークリッド距離である。パターン X_{marker} のそのような隅の再構成位置 $X_{recons\ 602}$ は、一致した特徴及び相対カメラ姿勢に基づく。図 6 に示されるように、校正の不正確さ、雑音及び動きによるぶれのために、カメラ姿勢(例えば 603)は不正確になる場合がある。図 6 は、観測された隅の特徴 604(すなわち x_L 及び x_R)並びに投影された隅 605(すなわち x_L^* 及び x_R^*)を示す。投影された隅(例えば 605)は、判定されたカメラ姿勢に基づいて判定される。パターン X_{marker} の隅の実際の位置は所定の位置であり、マップ初期設定中に入力として提供される。1つの実施形態において、パターン X_{marker} の実際の位置は、マップ初期設定ステップの間にユーザ

40

50

により提供される。別の実現形態において、パターン $X_{mark_e_r}$ の実際の位置は、コンピュータモジュール 201 により受信されたジオタグ付きビーコンを介して取得される。コンピュータモジュール 201 は、受信されたビーコンに基づいて実際の場所を判定する。

【0105】

続くステップ 411～413において、プロセッサ 205 は、判定された再構成誤差がシーン再構成に関する所定の基準を満たす場合に拡張現実システムの座標系を構成するための第 1 の画像（すなわち現在のフレームの形）を選択するために使用される。決定ステップ 411において、プロセッサ 205 は、校正マーカパターン 298 の隅の 3D 再構成の品質が十分であるか否かを判定するために使用される。再構成の品質が十分である場合、方法 400 は設定ステップ 412 へ進み、現在のフレーム（例えば画像 292）をキーフレームとして設定する。そうでない場合、方法 500 は決定ステップ 415 へ進む。
10

【0106】

1つの構成において、
 1) 再構成誤差が隅の再構成は成功であると示し（すなわち、隅の再構成誤差が第 1 の閾値 T_1 より小さい場合）且つ
 2) 再構成に成功した隅の数が第 2 の閾値 T_2 より大きい場合、校正マーカパターン 298 の隅の 3D 再構成の品質は十分であると考えられる。

【0107】

別の構成において、閾値 T_1 は固定ではない。閾値 T_1 は、説明される方法を実現する拡張現実システムで要求される精度に応じて、システムのユーザの設定に従って動的に調整される。
20

【0108】

更に別の構成において、3D 再構成の品質基準は、校正マーカパターン 298 の隅の再構成誤差の平均及び分散に基づく。

【0109】

次に、方法 400 はステップ 412 へ進む。ステップ 411 で校正マーカパターン 298 の再構成された隅の品質は十分であると判定されているので、ステップ 412 では、プロセッサ 205 は、メモリ 206 及び / 又はハードディスクドライブ 210 に記憶されている現在のフレーム（例えば画像 292）を第 2 のキーフレームとして設定するために使用される。初期キーフレーム（例えば画像 291）及び現在のフレーム（例えば画像 292）は、初期 3D マップ（例えば図 7 に示されるようなマップ 295）を構成するためにマップ初期設定ステップ 413 において使用される立体画像対を形成する。
30

【0110】

ステップ 412 に続いて、方法 400 の構成ステップ 413 において、プロセッサ 205 は、初期キーフレーム（例えば画像 291）及び第 2 のキーフレーム（すなわち現在のフレーム）（例えば画像 292）に基づいて、メモリ 206 及び / 又はハードディスクドライブ 210 内でシーン 293 のマップを構成するためのマップ初期設定を実行するために使用される。FAST-10 隅検出器のような隅検出器を使用して、初期キーフレーム（例えば画像 291）から、図 2A 及び図 3 の 3D 球形オブジェクト 299 及び 3D 立方体オブジェクト 297 からの自然画像特徴を含む 1 組の自然画像特徴が抽出される。あるいは、初期キーフレーム（例えば画像 291）の隅を検出するために、ハリス隅検出器、モラベック隅検出器、SUSAN 隅検出器、SIFT、又は SURF 隅検出器が使用されてもよい。マップ初期設定ステップ 413 において、プロセッサ 205 は、推定ステップ 409 で判定された相対カメラ姿勢に基づいて現在のフレーム（例えば画像 292）における特徴対応を判定するためのエピポーラ検索を実行するためにも使用される。画像 291 及び 292 のような一対の立体画像の間の相対カメラ姿勢が与えられている場合、一方の画像中の 1 点は、第 2 の画像中のいわゆるエピポーラ線に対応する。このエピポーラ線に沿った一致点の場所を判定するためにパッチ検索が実行される。次に、プロセッサ 205 は、ステップ 413 において、判定された特徴対応の画像座標及び相対カメラ姿勢に基
40
50

づいてそれらの自然画像特徴に対応する隅の3D座標を判定する目的で三角測量を実行するためには、初期マップ295が記憶される。方法400に従って校正された3Dマップ295は、メモリ206及び/又はハードディスクドライブ210に記憶される。3D点群295が処理400により生成された後、校正マーカパターンはシーンから除去可能である。

【0111】

1つの構成において、方法400は、非常に密度の高い3Dマップ295を生成するために、マップ初期設定に際して初期キーフレーム中の検出されたすべての隅の特徴を使用する。

10

【0112】

別の構成において、マップ初期設定には、初期キーフレーム中の検出された隅の特徴のうちサブセットのみが選択される。選択される画像特徴の数は事前定義済み閾値に限定され、選択される特徴は、初期キーフレーム中にまばらに且つ一様に分散する。

【0113】

決定ステップ411において隅の再構成の品質が不足している場合、図4Cに示されるように、方法400は、ステップ411から決定ステップ415へ進む。ステップ415において、プロセッサ205は、初期キーフレームが撮像されてから経過した時間の長さが所定の閾値Tを超えたか否かを判定するために使用される。初期キーフレーム撮像後に経過した時間が閾値Tに満たない場合、方法400は、方法400のステップ401に戻り、次の入力フレームを処理する。そうでない場合、方法400は決定ステップ416へ進む。

20

【0114】

方法400のステップ416において、プロセッサ205は、閾値Tがメモリ206及び/又はハードディスクドライブ210に記憶されている所定の閾値MAXより小さいか否かを判定するために使用される。Tの現在の値がMAXより小さい場合、方法400は設定ステップ417へ進み且つ低速カメラ運動を処理するために閾値Tは2倍に増分される。これに対し、閾値TがMAX以上である場合、マップ初期設定は失敗したと判定され、方法400は設定ステップ419へ進む。設定ステップ419において、閾値Tはデフォルト設定値DEFAULTに再初期設定される。

30

【0115】

ステップ417及び419に続いて、次の設定ステップ418は、現在のフレーム（例えば画像292）を初期キーフレームとして設定し、方法400はステップ401に戻って、次の入力フレームを処理する。

【0116】

更に別の構成において、図2Aのビデオシステム200は、マップ初期設定を成功させるために必要とされる移動カメラ220の距離及び方向を示す視覚標識及び/又は可聴標識を提供する。この視覚標識及び/又は可聴標識は、例えばビデオディスプレイ214及び/又はスピーカ217を介して提供される。方法400により初期キーフレームが選択されていると仮定すると、立体基線条件を満たすために、移動カメラ220は、初期キーフレームの位置からある特定の距離だけ側方へ移動されなければならない。立体基線は、この場合、初期キーフレームの位置における移動カメラ220と校正マーカパターン298との間の距離であるシーン奥行きに関連する。立体基線とシーン奥行きとの関係は実験に基づいて判定される場合が多く、1つの構成において、立体基線距離はシーン奥行きの10分の1とほぼ等しくなるように設定される。あるいは、マップ初期設定を成功させるためのカメラの動きを推定するために、ステップ411で判定された再構成の品質が使用される。再構成誤差（すなわち奥行き分解能）は、所定の奥行きを有するシーンに対して基線距離にほぼ反比例する。従って、プロセッサ205は、基線距離をステップ411で判定された推定再構成誤差と乗算し、次にこの乗算の結果を再構成誤差の所望のレベルで除算することにより、移動カメラの現在の位置から必要とされるカメラの動きを推定する

40

50

ことができる。カメラの移動方向は、校正マーカパターン 298 の面と平行になるように制限される。

【0117】

次に、例によって方法 400 を更に詳細に説明する。1つの例において、方法 400 は屋内ナビゲーションシステムに使用される。この場合、1つのシーンの中で新たに観測されたオブジェクトのマッピングと、追跡されるオブジェクトからのカメラ姿勢（すなわち位置及び姿勢）の限定とはリアルタイムに同時に実行される。そのような屋内ナビゲーションアプリケーションの場合、ユーザは、展示住宅（「デモハウス」）の室内などの屋内シーンをカメラ付き携帯電話又は光学シースルーヘッドマウントディスプレイ（HMD）などの撮像表示デバイスを介して見ている。まず、ユーザは、図 1A 又は図 1B に示される校正マーカパターン 298 のような校正マーカパターンに直接目を向けることにより、屋内ナビゲーションシステムを初期設定する。この場合、校正マーカパターンは、目に見えるオブジェクトの縮尺及びシーン中のグローバル座標系を定義する。校正マーカパターンは、例えば展示住宅の玄関ドアの面、入口付近の床面又は下駄箱の上面に現れる。屋内ナビゲーションシステムは、方法 400 に従って、撮像画像中の校正マーカパターンの存在を自動的に検出し、検出された校正マーカパターンと共に第 1 の画像を初期キーフレームとして提供する。再構成誤差が所定の基準を満たさない場合、ビデオシステム 200 は、マップ初期設定のための所望のユーザの動きを示す視覚的命令及び可聴命令を提示する。例えば、図 8 は、ビデオディスプレイ 214 の右下隅にユーザが動くべき所望の方向及びその推定距離（すなわち 1m）を示す点滅矢印 801 及びテキスト 802 を示す。同時に、プロセッサ 105 は、「左へ 1m 動いてください」のような命令をスピーカ 217 から発生させる。ユーザが校正マーカパターンを見ながら入口を通って展示住宅に入るにつれて、マップ初期設定のために、続く画像のうち 1 つが方法 400 に従って選択される。

【0118】

展示住宅の例の説明を続けると、方法 400 に従って（すなわち、ステップ 412 で）第 2 のキーフレームが判定された後、初期キーフレーム及び第 2 のキーフレームから自然特徴（例えば隅点）が抽出される。次に、校正マーカパターンから導出された学習済みエピポーラ幾何に基づいて特徴のマッチングが実行される。既知のエピポーラ幾何に基づいて、空間内の点の 3D 場所が判定される。また、三角測量により対の特徴対応も判定される。次に、展示住宅内部のシーンの初期 3D マップが生成される（ステップ 413）。その後の追跡及び場所限定に、校正マーカパターンは不要である。

【0119】

その後、展示住宅に関して生成された 3D マップの中の既存のオブジェクトを追跡し続けるために、何らかの適切な並列追跡及びマッピングアルゴリズムが実行される。そのような並列追跡及びマッピングアルゴリズムは、検出された特徴の場所及び対応するマップ中の点に基づいて現在のカメラ姿勢（位置及び姿勢）を判定するために使用される。ユーザが展示住宅内に更に進入し、周囲環境の未調査領域に入るにつれて、生成された 3D マップに新たに検出された自然特徴が追加される。このような屋内ナビゲーションシステムは、補助テキスト情報又は合成オブジェクトを画像の上に重ねる（overlay）。補助テキスト情報は、グローバル座標系に関してユーザの現在の位置を示すと共に、初期ユーザ位置から歩いた距離を示す。合成オブジェクトは、壁の塗装、家具、家電製品、更にはユーザが展示住宅の窓又はバルコニーから外を見た場合の仮想オーシャンビューを含む。

【0120】

以上説明した方法は、製品設計に使用可能である。一例として、キューブの一面に校正マーカパターン（例えば校正マーカパターン 298）を有するテクスチャ化キューブが考えられる。この場合、まず設計者は、カメラ付き携帯電話又はヘッドマウントディスプレイ（HMD）を介して校正マーカパターンを見ることにより拡張現実（AR）システムを初期設定し、テクスチャ化キューブを新たな場所へ移動する。前述のように初期マップを生成するために、一対のキーフレームが判定される。カメラ付き携帯電話又はヘッドマウントディスプレイを通して見た場合に、例えばコピー機を表現するコンピュータグラフィ

10

20

30

40

50

ツクスが画像に重ね合わされてもよい。そこで、種々の視角及び観察位置からデザインを検討するために、設計者はキューブを移動させるか又は回転させる。次に、ボタン選択に応答したコピー機の動作をシミュレートするコンピュータアニメーションを見るために、合成プリンタのボタンが選択される。

【0121】

以上、本発明のいくつかの実施形態のみを説明したが、本発明の範囲及び精神から逸脱することなく、それらの実施形態に対して変形及び／又は変更を実施可能である。実施形態は一例であり、限定的なものではない。

【0122】

本明細書の記述に関して、「備える」という用語は、「主に含むが、専ら必要ではない」又は「有する」又は「含む」ことを意味し、「～のみから構成される」という意味ではない。「備える」の語形変化は、それに対応して意味の変化を示す。

【0123】

[関連特許出願の参照]

本出願は、2011年12月12日に出願されたオーストラリア国特許出願第2011253973号についての優先権を、35U.S.C.セクション119に基づいて請求するものであり、その全ての記載内容の参照により本出願に援用する。

【図1A】

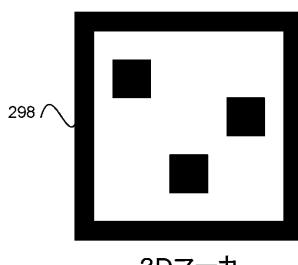


FIG. 1A

【図1B】

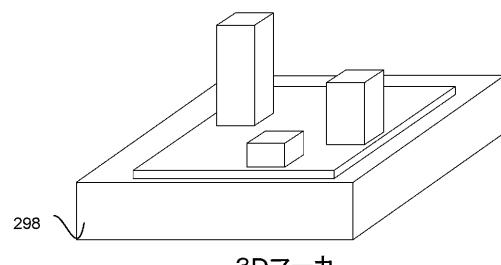
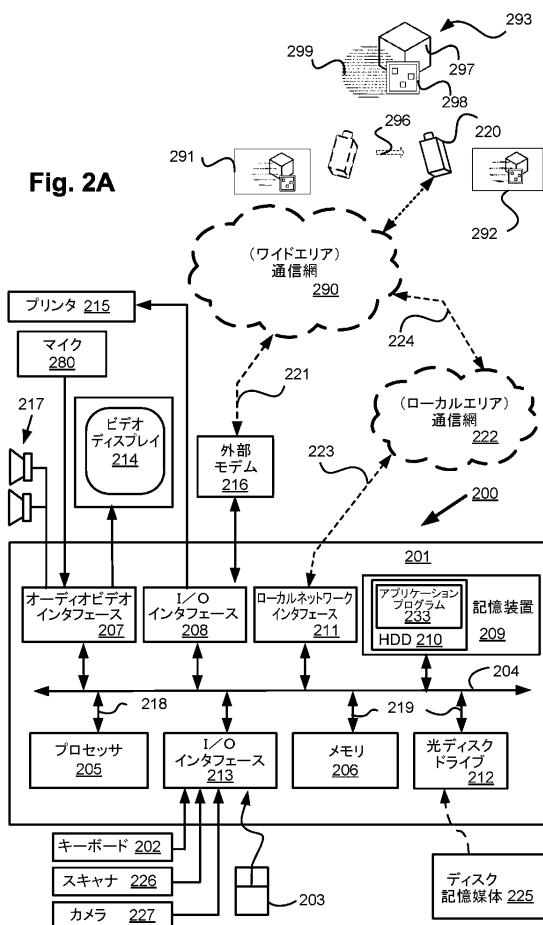
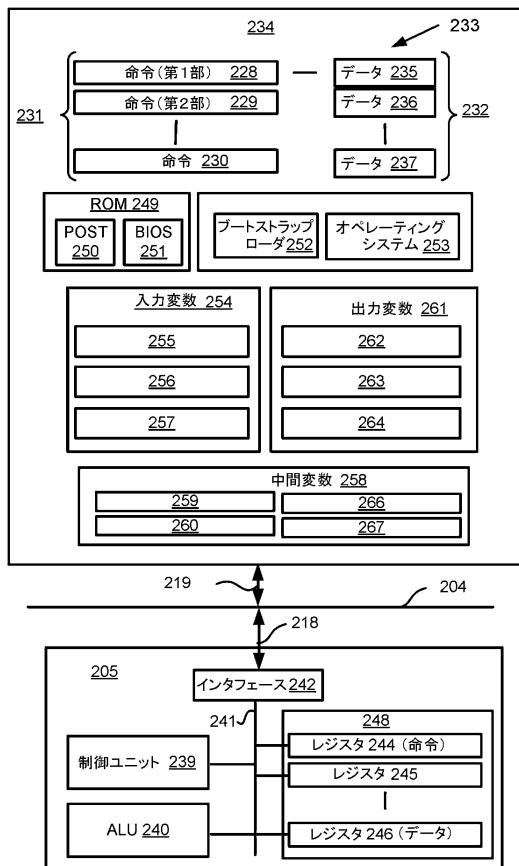


FIG. 1B

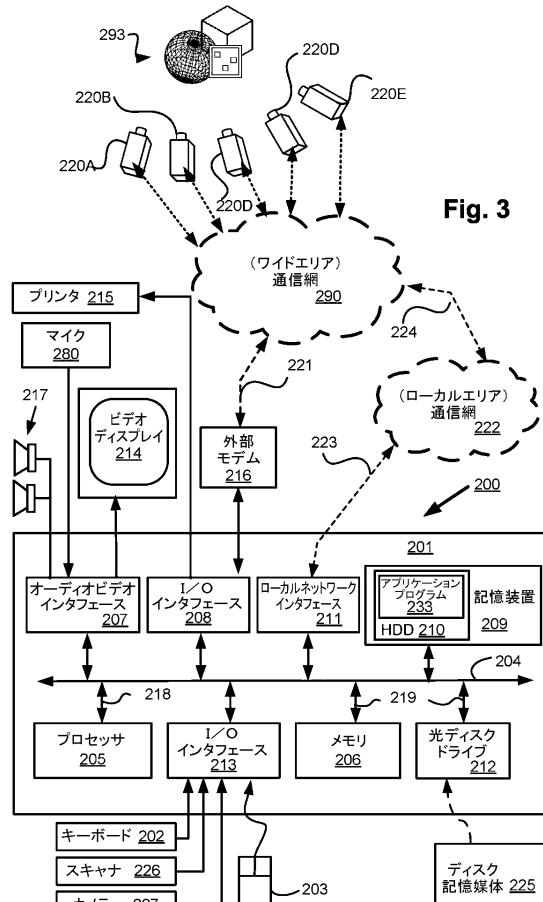
【図2A】



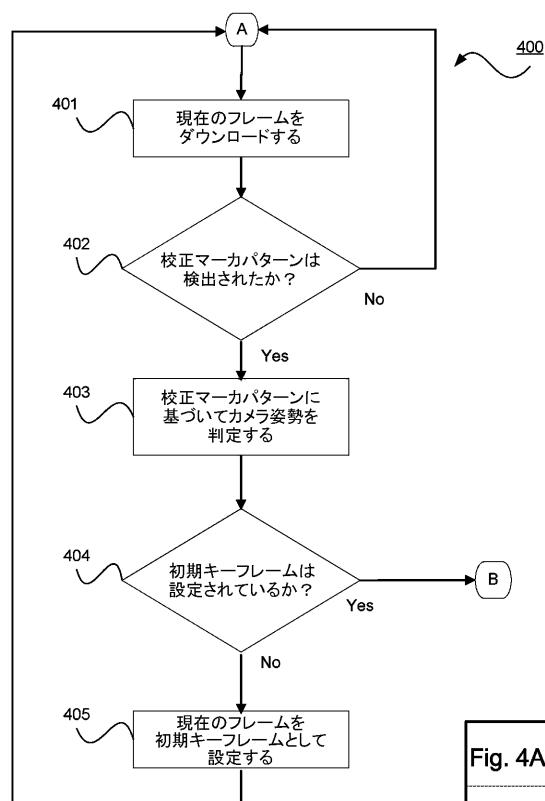
【図 2B】



【図 3】



【図 4A】

Fig. 4B
Fig. 4C

【図 4B】

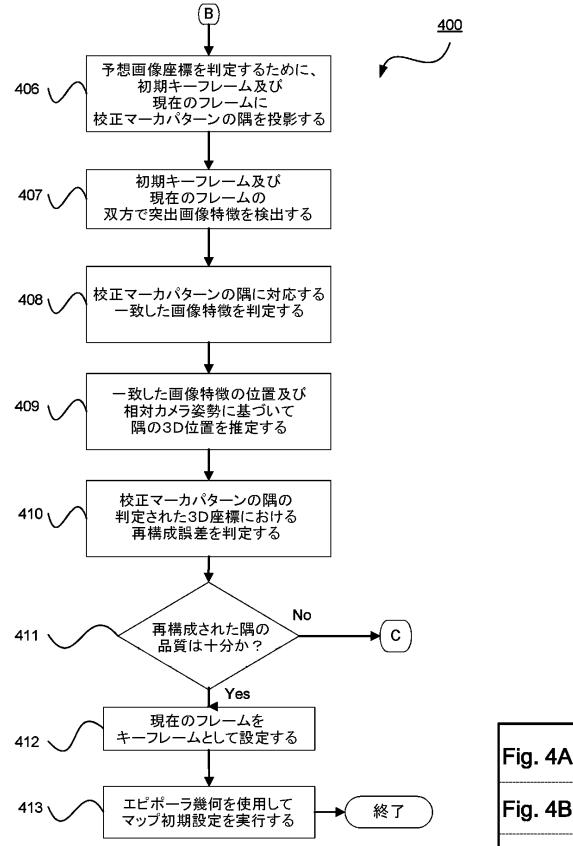


Fig. 4A

Fig. 4B

【図 4 C】

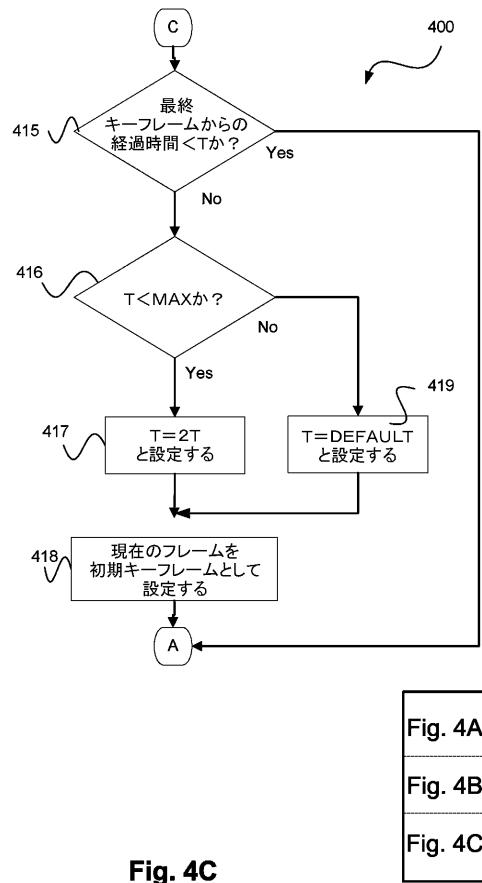


Fig. 4C

【図 5】

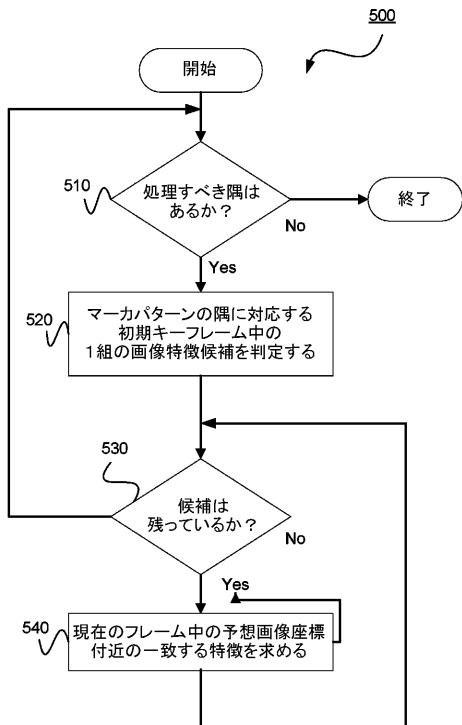


Fig. 5

【図 6】

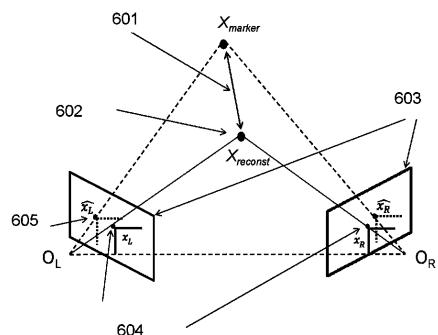


Fig. 6

【図 7】

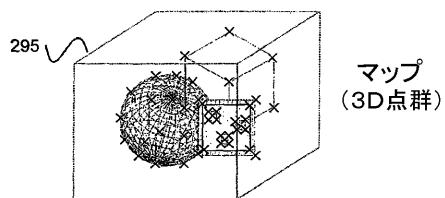
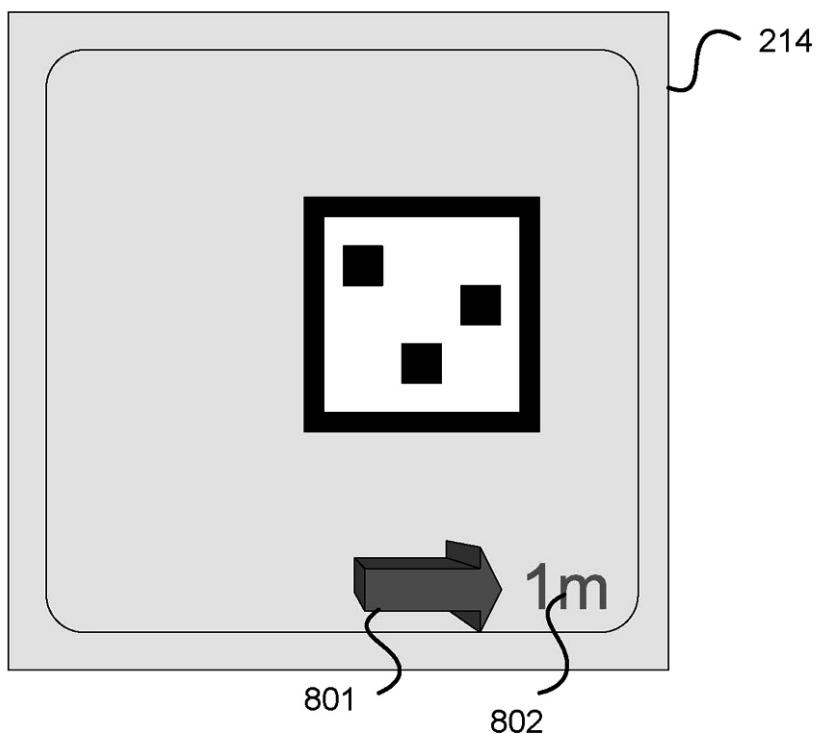


Fig. 7

【図8】

**Fig. 8**

フロントページの続き

(72)発明者 カ ミン レオン

オーストラリア国 2113 ニュー サウス ウエールズ州, ノース ライド, トーマス
ホルト ドライブ 1 キヤノン インフォメーション システムズ リサーチ オーストラリア
プロプライエタリー リミテッド 内

(72)発明者 サイモン リディングトン

オーストラリア国 2113 ニュー サウス ウエールズ州, ノース ライド, トーマス
ホルト ドライブ 1 キヤノン インフォメーション システムズ リサーチ オーストラリア
プロプライエタリー リミテッド 内

審査官 村松 貴士

(56)参考文献 特開2008-046687(JP,A)

特開2011-145856(JP,A)

特開2008-002980(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 06 T 1 / 0 0

G 06 T 19 / 0 0

G 06 F 3 / 0 4 8 - 3 / 0 4 8 9