

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7530415号  
(P7530415)

(45)発行日 令和6年8月7日(2024.8.7)

(24)登録日 令和6年7月30日(2024.7.30)

(51)国際特許分類	F I			
G 0 6 F 3/01 (2006.01)	G 0 6 F	3/01	5 1 0	
G 0 6 F 3/0346(2013.01)	G 0 6 F	3/0346	4 2 2	
G 0 6 F 3/04815(2022.01)	G 0 6 F	3/0346	4 2 4	
G 0 6 T 19/00 (2011.01)	G 0 6 F	3/04815		
G 0 9 G 5/00 (2006.01)	G 0 6 T	19/00	6 0 0	
請求項の数 12 (全45頁) 最終頁に続く				

(21)出願番号	特願2022-203330(P2022-203330)	(73)特許権者	520078824
(22)出願日	令和4年12月20日(2022.12.20)		エクス・ワイ・ジー リアリティ リミテッド
(62)分割の表示	特願2020-535316(P2020-535316)の分割		XYZ REALITY LIMITED
原出願日	平成30年9月6日(2018.9.6)		イギリス国 ロンドン イーシー1ヴィー
(65)公開番号	特開2023-51993(P2023-51993A)		7エルキュー クラーケンウェル, ゴス
(43)公開日	令和5年4月11日(2023.4.11)		ウェル・ロード エンジェル, 338-
審査請求日	令和4年12月20日(2022.12.20)		346 ユニット G0.G02
(31)優先権主張番号	1714349.6	(74)代理人	100121728
(32)優先日	平成29年9月6日(2017.9.6)		弁理士 井関 勝守
(33)優先権主張国・地域又は機関	英国(GB)	(74)代理人	100165803
			弁理士 金子 修平
		(74)代理人	100170900
			弁理士 大西 渉
		(72)発明者	ミッチェル, デービッド ジョン
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 建物情報モデルの仮想画像の表示

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

建設現場において建物情報モデル(BIM)の仮想画像を表示するためのシステムであって、

ヘッドセットと、携帯式建設ツールと、を備え、

前記ヘッドセットは、

ユーザによって着用されるように構成され、1つ以上の電磁放射のビームの検出を表すセンサデータを出力するよう構成された、それに取り付けられた1つ以上の位置追跡センサを有する安全帽であって、前記1つ以上の位置追跡センサは、位置追跡システムの一部を構成し、前記センサデータは、前記建設現場における前記ヘッドセットの位置および向きを決定するために使用されるよう構成された安全帽と、

前記BIMの仮想画像を表示するためのディスプレイアセンブリを含む拡張現実ディスプレイシステムと、

電子制御システムと、を備え、

前記携帯式建設ツールは、

本体と、

前記携帯式建設ツールを保持するためのハンドル部分と、

前記建設現場内の制御点に前記携帯式建設ツールを取り付けるための取り付け部分と、

電磁放射のビームの検出を表す前記センサデータを出力するよう配置され、前記位置追跡システムの一部を構成する複数のセンサと、を備え、

前記ヘッドセットの電子制御システムは、

前記複数のセンサを使用して前記建設現場内において据え付けられた制御点で測定された前記携帯式建設ツールの位置を使用して、前記位置追跡システムによって使用される内因性座標系と、前記 BIM を定義するために使用される外因性座標系との間の変換を取得し、

その得られた変換を用いて、前記ヘッドセットと前記 BIM の 1 つ以上の位置と向きとを内因性座標系と外因性座標系との間で変換し、前記 BIM の仮想画像を前記ディスプレイアセンブリに表示するよう構成される、

ヘッドセット。

【請求項 2】

前記位置追跡システムは、前記建設現場に配置された 1 つ以上のビーコンを含み、前記位置追跡システムは、前記安全帽及び前記携帯式建設ツールの位置および向きが追跡される追跡ボリュームを定義する、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記位置追跡システムは、光学式インサイドアウト位置追跡システムである、請求項 1 または 2 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記外因性座標系は、地理座標系であり、前記携帯式建設ツールの位置が複数の制御点において測定され、前記位置は、前記外因性座標系における前記建設現場内の前記制御点の得られた座標と比較され、前記制御点の座標は、トータルステーションを使用して前記各制御点の位置を特定し、前記建設現場内又は隣接する既知の地理的位置の 2 点以上から三角測量することにより決定される、請求項 1 から 3 のいずれか 1 つに記載のシステム。

【請求項 5】

前記携帯式建設ツールは、前記建設現場において特定の作業が行われる場所又は基準点を突き止めるために前記位置追跡システムによって追跡され、前記ヘッドセットのディスプレイは、前記外因性座標系における前記ヘッドセットの位置に関連する情報を表示するために使用される、請求項 1 から 4 のいずれか 1 つに記載のシステム。

【請求項 6】

それぞれ複数のユーザによって装着される複数のヘッドセットであって、

前記変換は、継続的に更新され、前記複数のヘッドセットに同時かつワイヤレスでブロードキャストされる、請求項 1 から 5 のいずれか 1 つに記載のシステム。

【請求項 7】

外因性座標系で定義される建物情報モデル ( BIM ) の仮想画像を建設現場において表示する方法であって、

位置追跡システムによって定義される内因性座標系において携帯式建設ツールの位置を特定するために前記位置追跡システムを使用して前記建設現場において前記携帯式建設ツールを追跡し、

前記携帯式建設ツールは、本体と、前記携帯式建設ツールを保持するためのハンドル部分と、取り付け部分と、前記位置追跡システム用の複数のセンサとを含み、

前記追跡は、

前記建設現場内の 1 つ以上の制御点に前記取り付け部分を設置し、

前記外因性座標系において 1 つ以上の制御点の座標を取得し、

前記携帯式建設ツールを位置決めし、かつ、前記内因性座標系において前記 1 つ以上の制御点のそれぞれの位置を測定するために前記携帯式建設ツールの前記複数のセンサを使用し、

前記内因性座標系における前記位置決めされた制御点の座標を、前記外因性座標系における対応する得られた座標に関連付け、前記関連する座標を用いて前記外因性座標系と前記内因性座標系との間の変換を導出し、

前記位置追跡システムによって定義された前記内因性座標系でヘッドセットを位置決めするために前記位置追跡システムを使用して前記建設現場で前記ヘッドセットを追跡し、

10

20

30

40

50

前記ヘッドセットは、1つ以上の位置追跡センサが取り付けられた安全帽を含み、  
 前記1つ以上の位置追跡センサは、前記位置追跡システムの一部を形成し、  
 前記内因性座標系と前記外因性座標系との間で前記ヘッドセットの位置を変換するため  
 に前記外因性座標系と前記内因性座標系との間の前記変換を使用し、  
 前記ヘッドセットの変換された位置を使用して、前記ヘッドセットのディスプレイアッ  
 センブリ上に前記B I Mの仮想画像を表示し、  
 前記仮想画像は、前記建設現場に対して正しく位置付けられ、方向付けられ、且つ、拡  
 大縮小され、  
 前記外因性座標系で定義される前記B I Mの現場座標と前記内因性座標系との間の変換を  
 するために前記外因性座標系と前記内因性座標系との間の前記変換を使用することにより  
 、前記建設現場におけるユーザの位置に対して正しいコンテキストで前記ユーザに表示さ  
 れる、方法。

10

【請求項8】

少なくとも1つの慣性測定ユニットを使用して、前記ヘッドセットの位置及び向きを追  
 加形成し、且つ、前記少なくとも1つの慣性測定ユニットからの追加のトラッキングデー  
 タと前記位置追跡システムからのトラッキングデータとを融合し、前記位置追跡システム  
 の周波数よりも高い周波数で前記ヘッドセットのトラッキングデータを提供する、請求項  
 7の方法。

【請求項9】

前記外因性座標系は、地理的座標系であり、1つ以上の制御点の座標の取得は、トー  
 タルステーションを使用して各制御点の位置を特定し、前記建設現場又は隣接する既知の地  
 理的座標の2点以上から三角測量することにより決定される、請求項7又は8に記載の方  
 法。

20

【請求項10】

前記変換を更新し、前記建設現場においてそれぞれの複数のユーザによって装着される  
 複数のヘッドセットに無線でブロードキャストする、請求項7から9のいずれか1つに記  
 載の方法。

【請求項11】

前記建設現場において特定の作業が行われる場所又は基準点を突き止めるために前記携  
 帯式建設ツールの前記位置を追跡し、前記変換を使用して前記外因性座標系における前記  
 携帯式建設ツールの前記位置を計算し、前記ヘッドセットのユーザインターフェースを使  
 用して前記建設現場の現実世界座標における前記ヘッドセットの前記位置を指示する、請  
 求項7から10のいずれか1つに記載の方法。

30

【請求項12】

前記位置追跡システムは、前記建設現場に取り付けられた1つ以上のビーコンによって  
 定義された追跡ボリューム内で前記携帯式建設ツール及び前記ヘッドセットの位置を特定  
 するように構成され、前記携帯式建設ツールは、相対位置が既知である前記複数のセンサ  
 を含み、前記ヘッドセットは、相対位置が既知である前記1つ以上の位置追跡センサを含  
 み、前記複数のセンサ及び前記1つ以上の位置追跡センサのそれぞれが電磁放射を検出す  
 るように構成されている、請求項7から11のいずれか1つに記載の方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、建物情報モデル(B I M)の仮想画像の表示に関する。特に、排他的ではな  
 いが、本発明は、拡張現実ディスプレイデバイスを使用して、実行されるタスクまたは構  
 築されるオブジェクトの仮想画像を、建設現場のその正しい位置および向きで十分な精度  
 で表示できるようにすることに関し、それは、例えば所与の建設タスクをどこで実行すべ  
 きかを決定することによって建設現場の従来のセットアウトに代わるものとして使用され  
 ることができる。本発明の実施形態は、位置追跡システム(光学「インサイドアウト」位  
 置追跡システムなど)を使用して、少なくとも約5mmの精度で拡張現実ヘッドマウント

50

ディスプレイ（HMD）の位置を特定し得る。本発明は、追跡システムから受信した追跡データに現実世界のセットアウトデータを関連付けるための機器、そのような機器の動作を較正および制御するためのコンピュータソフトウェア、ならびに現実世界座標で仮想モデルを表示するための拡張現実HMDを提供する。本発明は、建設業者および他者が拡張現実HMDを使用して、セットアウトおよび/または検証技術者に頼る必要なく、3mmの精度/建設公差内で建設タスクを開始、完了および検証できるようにすることを目的とする。

【背景技術】

【0002】

建設現場での構造物の立設または建物の建設は、長いプロセスである。このプロセスは次のように要約できる。最初に、建物情報モデル（BIM）として既知である3次元モデルが、設計者または建築士によって作成される。BIMモデルは典型的には、現実世界座標で定義される。BIMモデルがそして、最も一般的には2次元図面の形式で、または場合によってはコンピューティングデバイス上の3Dモデルとして建設現場に送られる。技術者は、従来のステークアウト/セットアウトデバイスを使用して、現場の現実世界座標の既知の場所に制御点を確立し、2D図面またはBIMモデルにおける各構造物の建設予定場所をマークアウトするための参照として制御点を使用する。建設業者はそして、技術者により作られたマーク（「セットアウトマーク」）に合わせて図面および/またはBIMモデルを使用して、正しい位置に図面またはモデルに従った構造物を立設する。最後に、技術者は構造物または実行されたタスクを検証する必要がある。これは、3Dレーザスキャナを使用してポイントクラウドをキャプチャすることにより行われることが可能であり、ポイントクラウドからは、「竣工」構造物の3Dモデルを自動的に導出することができる。「竣工」モデルはそして、元のBIMモデルと比較される。このプロセスには最大2週間かかる可能性があり、その後、許容範囲外であることが判明する項目があるかを確認する必要がある、ペナルティが発生し得るか、または、やり直しする必要がある。

【0003】

従来、建設現場は、例えばベンチマークとして建設現場またはその近くの既知の場所の点に関して建設現場の制御点を位置決めするよう、トータルステーションまたはTSR（トータルステーションセオドライト）を使用して経験豊富な現場技術者によってセットアウトされている。既知の場所のこのような点の現実世界位置は、例えば、陸地測量部またはWGS84基準から知られ得る。その位置が正確に知られている場合、自然または人工の地理的特徴を使用して制御点の位置を特定し得る。制御点はそして、既知の場所のうちの2つ以上の点から三角測量することにより、トータルステーションを使用して建設現場に配置できる。

【0004】

建設現場で実行される各タスクは、このように正確にセットアウトされなければならない。典型的には、作業の連続した段階で一時的なマーカは消去され得るため、プロジェクト中にセットアウトを数回、行う必要がある。

【0005】

さらに、建設現場でタスクが完了すると、タスクを検証すること/それが正しい場所で行われたことを確認することが一般に必要であり、この目的のために、現場技術者は、セオドライトを使用して制御点を参照してタスクが実行された場所を確認する必要がある。

【0006】

建設プロジェクト中にセットアウトが必要になるたびに、現場技術者が建設現場に立ち会おうのを待つと、遅延がもたらされる。実行すべき建設タスクの位置を特定する必要があるたびに、現場技術者に頼る必要なく構造物の立設を開始できることが望ましいであろう。

【0007】

建設現場をセットアウトする既知の方法の別の欠点は、作業員が建設図面に従ってその正しい場所でタスクを実行できるように好適な位置に基準点およびマーカが確立されてい

10

20

30

40

50

るにもかかわらず、作業員が建設図面を解釈して、実行すべきタスクの詳細を決定し、基準点または墨出し部の間を補間することが依然として必要であることである。実際には、これにより、建設図面と実行されるタスクとの間に不一致が生じることがよくある。

【 0 0 0 8 】

既知の方法のさらに別の欠点は、制御点、または既知の場所の点に関連してそれら自身の位置を特定された他の基準点に関して建設現場に基準点および墨出し部がしばしば配置されることである。新しい基準点または墨出し部が以前の基準点または建設点に対して配置されるたびに、位置決め誤差が拡大される。

【 0 0 0 9 】

既知の方法のさらに別の欠点は、検証に使用される今日のセオドライトでは検証情報を請負業者に提供するのに最大2週間かかる可能性があることである。

10

【 0 0 1 0 】

これらの欠点は、重大な波及効果をもたらす可能性がある。セットアウトを間違えて完了した場合、またはセットアウトマークの誤った解釈に基づいて構造物が誤って立設された場合、次の業務請負業者はミスの上に建設を行い、したがって、エラーを悪化させる。典型的には1~2週間である検証リードタイムを考えると、複数の請負業者がプロジェクトでエラーを悪化させる可能性がある。これにより、しばしば請負業者がプロジェクトを予定通りに提供できず、予算内でも、好適な仕様に従ってもプロジェクトを提供できなくなる。

【 0 0 1 1 】

多くの国では、建設作業員は、建設現場での作業中に、落下物、他のオブジェクトとの衝突、破片、雨、および感電による怪我から自身の頭部を保護するために、建設ヘルメット（または安全帽）を着用する必要がある。英国では例えば、1992年の個人用保護具（PPE）規則において、安全帽がPPEの構成要素であり、法律により建設現場または危険環境で働くすべての人が安全帽を着用することが義務付けられている。

20

【 0 0 1 2 】

安全帽は一般に、適用され得る安全基準に合わせて作られている。1997年に米国国家規格協会は、CSA Z94.1規格に調和した安全帽についての性能Z89.1規格を改訂した。これらの規格への準拠は必須ではないが、ほとんどのメーカーが従っている。

【 0 0 1 3 】

安全帽の設計および構造は、当業者に周知であり、本明細書で詳細に説明する必要はない。安全帽の内側のサスペンションバンドは、安全帽の重量と任意の衝撃の力とを頭の上部に分散させ、安全帽には、バイザ、追加シェード用の幅広つばアタッチメント、イヤープロテクタ、後部視界を広げるためのミラー、ヘッドランプまたはフラッシュライトの取り付け部、着用者が身を乗り出している場合にヘルメットが脱落しないようにするあごひも、頭の側面を保温する断熱サイドパッド、ならびに/または、着色作業員識別用および/もしくは高視認性夜間再帰反射用のつば周りに伸ばされるバンドを取り付け得る。

30

【 0 0 1 4 】

建設現場での安全帽が広くいきわたっている事を考えると、建設現場で実行される作業を実施または支援するための電子機器を担持して、安全帽が当技術分野で使用されていることは驚くことではない。

40

【 0 0 1 5 】

例えば、US7592911B1（Hudgensら）には、現場の人員が着用する安全帽に含まれる電子回路を使用して建設現場において個人の活動を追跡することが開示されている。US7592911B1の1つの実施形態によれば、建設現場での活動は、建設現場にいる人員が着用する1つ以上の安全帽の一部として形成される電子回路から直接的または間接的に受信する個人情報処理することにより監視される。個人情報は、人員の個々人と一意に関連付けられる。電子回路から受信した個人情報および人員の場所に基づいて、1つ以上のメッセージが生成される。例えば、メッセージは、建設現場の許可されていないエリアに入った特定の人員に警告し得る。任意選択的に、人員の活動を定期的

50

に監視および報告し得る。

【0016】

カリフォルニア州ロサンゼルス(Daqri, LLC)から入手できる「スマートヘルメット」は、視覚的指示、リアルタイムアラート、および3Dマッピングを含む拡張現実および/またはマルチメディア情報を産業労働者に表示するための拡張現実ディスプレイを安全帽に組み込んでいる(例えば、<http://web.archive.org/web/20170606162951/https://daqri.com/products/smart-helmet/>を参照)。

【0017】

拡張現実(AR)は、音、ビデオ、グラフィックス、またはGPSデータなどのコンピュータ生成感覚入力によってその要素が拡張された、物理的な現実世界環境の、ライブの直接的または間接的なビューである。ARアプリケーションにより、ユーザは、ビューイングデバイスのカメラでキャプチャされた物理オブジェクトの画像にオーバーレイされた3次元仮想オブジェクトの形態などの情報を体験できる。仮想オブジェクトは、ユーザの目と整列された「仮想カメラ」によって投影されているかのようにユーザに表示される。他の拡張現実アプリケーションにより、ユーザは、現実物理世界の任意のオブジェクトのビューまたは画像の上にオーバーレイされた追加情報の視覚化を体験できる。

【0018】

WO2015/102834A1(Daqri, LLC)は、拡張現実処理をオフロードするシステムおよび方法を開示している。ユーザのビューイングデバイスの外部にあるセンサは、ビューイングデバイスの位置および向きを追跡する。ビューイングデバイスは、スマートフォン、タブレットコンピュータ、ウェアラブルコンピューティングデバイス(例えば時計または眼鏡)などのディスプレイを伴うコンピューティングデバイスであり得る。コンピューティングデバイスは、携帯式であり得、またはユーザの頭部に取り外し可能に取り付けられ得る。位置および向きは、ユーザに対してローカルな物理環境の事前定義参照を基準にして定義される。サーバは、追跡プロセスおよび拡張現実レンダリングプロセスのうちの少なくとも1つをオフロードする要求をビューイングデバイスから受信する。拡張現実レンダリングプロセスは、拡張現実データベースに基づく。サーバは、要求とビューイングデバイスの位置および向きとに基づいて、オフロードされた処理済みデータを生成する。オフロードされた処理済みデータは、ビューイングデバイスにストリーミングされる。オフロードされた処理済みデータの視覚化は、ビューイングデバイスで生成される。

【0019】

US2015/0235474A1(Mullins)によると、測量アプリケーションは、オブジェクトの3次元モデルに関連付けられたコンポーネントの測量を生成する。測量アプリケーションは、オブジェクトの近くにあるウェアラブルデバイスからビデオフィード、場所情報、および向き情報を受信する。オブジェクトの3次元モデルは、ウェアラブルデバイスから受信したビデオフィード、センサデータ、場所情報、および向き情報に基づいて生成される。ビデオフィードから分析が実行され、オブジェクトに対する操作が識別される。オブジェクトの3次元モデルは、オブジェクトの操作に基づいて更新される。オブジェクトの操作に関連する動的ステータスが、オブジェクトに関連する参照データに関して生成される。

【0020】

異なる角度および場所から同じ物理オブジェクトを見る複数のウェアラブルデバイス(例えばカメラおよびディスプレイを含むモバイルデバイス)をさらに使用して、物理オブジェクトの3次元を生成および再構築し得る。測量アプリケーションは、物理オブジェクトの3次元モデルに関連付けられたコンポーネントの測量を生成する。例えば、コンポーネントには、乾式壁の釘、ダッシュボードのスイッチ、工場機械のボタン、ポート、または任意の産業用物理オブジェクトが含まれ得る。

【0021】

10

20

30

40

50

US 9 6 6 5 9 8 5 B 2 (M u l l i n s ら) は、第 1 のウェアラブルデバイスに表示される仮想オブジェクトの操作を識別するリモートエキスパートアプリケーションを開示する。仮想オブジェクトは、第 2 のウェアラブルデバイスで視認される物理オブジェクトに基づいてレンダリングされる。仮想オブジェクトの操作は、第 1 のウェアラブルデバイスから受信される。仮想オブジェクトの操作の可視化は、第 2 のウェアラブルデバイスのディスプレイについて生成される。仮想オブジェクトの操作の視覚化は、第 2 のウェアラブルデバイスに伝達される。

【 0 0 2 2 】

US 2 0 1 5 / 0 2 3 5 4 7 4 A 1 および US 9 6 6 5 9 8 5 B 2 は両方とも、ウェアラブルデバイスがセンサ、ディスプレイ、プロセッサおよび記憶デバイスを含み得ることを開示している。ウェアラブルデバイスは、ウェアラブルコンピューティングデバイス、車両コンピュータ、タブレットコンピュータ、ナビゲーションデバイス、携帯メディアデバイス、またはユーザのスマートフォンであり得る。センサには例えば、近接センサまたは場所センサ（例えば、近距離無線通信、GPS、Bluetooth、Wi-Fi）、光学センサ（例えば、カメラ）、方位センサ（例えば、ジャイロスコープ）、音声センサ（例えば、マイク）またはその任意の好適な組み合わせが含まれ得る。

10

【 0 0 2 3 】

仮想現実（VR）/ARアプリケーションで使用され得る異なる光学位置追跡システムは、WO 2 0 1 6 / 0 7 7 4 0 1 A 1 (V a l v e C o r p o r a t i o n) に記載されている。例示的実装には、1つ以上の受信機と1つ以上の送信機とが含まれる。例示的送信機には、それぞれが扇形のレーザービームを放出する2つの直交回転子が含まれる。ロータが一定速度で回転すると、各ビームが掃引される。例示的光学受信機は比較的小さくすることができ、VRディスプレイの便利な場所に取り付けることができる。これらの受信機は、ヘッドマウントディスプレイに取り付けられ得る小さな光学検出器で構成されている。例示的システムは、各掃引ビームが各受信機/検出器を交差する時間を測定することにより位置を決定する。

20

【 0 0 2 4 】

他の位置決めシステムも利用可能である。Valve Corporationの光学位置決めシステムに類似した別のシステムは、US 5 1 0 0 2 2 9 9 A に記載されている。US 2 0 1 8 / 0 1 2 8 8 9 7 A 1 は、その内容が参照により本明細書に組み込まれ、超音波を使用して受信機に対する送信機の位置を決定するシステムを開示している。送信機は、超音波パルスを放出し、音の放出時間の表示を電子的に提供する。コンピュータプロセッサは、送信機と固定構成で配置された3つの超音波受信機とから時間表示を受信する。受信機は同一直線上に配置されておらず、音の波長の2倍未満の間隔が相互に空いている。コンピュータプロセッサは、3つの受信機のそれぞれへの超音波の時間表示と飛行時間とに基づいて、送信機の相対位置を推定する。好ましい実施形態では、受信機は、音の波長よりも短い距離だけ互いに離間している。

30

【 0 0 2 5 】

内容が参照により本明細書に組み込まれるUS 2 0 1 7 / 0 1 6 9 6 1 2 A 1 (C a s h e n ら) により開示されるように、ARシステムは、システムにより投影される仮想画像がずれている、すなわち、仮想画像が、オーバーレイしようとする現実世界ターゲットに対して正しく配置されていない) および/または仮想画像が歪んでいる場合、オペレータにとって有害であり得る。US 2 0 1 7 / 0 1 6 9 6 1 2 A 1 は、リアルタイムで多数の動的および静的因子入力を考慮するように構成され得る位置合わせシステムを開示し、それにより、グラフィック画像が投影されるときに、グラフィック画像が、オーバーレイしようとする現実世界ターゲットと実質的に位置合わせされて、グラフィック画像が実質的に歪みなく表示される。

40

【 0 0 2 6 】

その内容が参照により本明細書に組み込まれるUS 2 0 1 3 / 0 2 3 5 1 6 9 A 1 号 (K a t o ら) は、3次元ビデオ画像を表示するディスプレイ、ディスプレイに対する視聴

50

者の目の内側の角または尾の位置を測定する位置取得部、標準位置を決定するための較正において位置に関連する標準位置として目の内側の角または外側の角の測定された位置を記憶部に取得する標準位置記憶ユニット、ディスプレイに対してコンテンツを視聴する視聴者の目の内側の角または外側の角の新たな測定位置と標準位置との差を位置として検出する位置検出部、および、ディスプレイ上に表示される3Dビデオ画像に画像処理を実行して検出位置ギャップに従って3Dビデオ画像を回転または平行移動させる画像処理ユニットを含むHMDを開示している。

【0027】

US2017/0090203A1(MullinsおよびRies)は、センサ、透明ディスプレイ、ならびに拡張現実アプリケーションおよび位置合わせモジュールを備えるプロセッサを含むヘッドマウントデバイスを開示している。例えば、ヘッドマウントデバイスは、カメラ、および、タブレット、スマートフォン、またはウェアラブルコンピューティングデバイス(例えばヘルメットもしくは眼鏡)などの透明ディスプレイを伴うコンピューティングデバイスであり得る。

10

【発明の概要】

【0028】

本発明の態様によれば、建設現場の外因性現場座標系に位置付けられ、方向付けられた建物情報モデル(BIM)の仮想画像をユーザに表示するためのウェアラブル拡張現実(AR)ヘッドセットが提供される。ヘッドセットは、建設現場、または建築、建設、フィッティングまたはセットアップタスクが正確な場所で実行されるべき任意の他の場所で、建設業者および他の業者が使用することを特に目的としている。

20

【0029】

好適には、ヘッドセットは、例えば、ユーザが着用するように構成された建設ヘルメットなどのヘッドウェア物品を備え得る。

【0030】

ヘッドセットは、それに取り付けられた1つ以上の位置追跡センサを有し得、位置追跡センサは、ヘッドセットの位置および向きを決定できるようにする建設現場の場所で伝播する1つ以上の信号に対する1つ以上のセンサの反応を表すセンサデータを出力するように構成されている。好適には、1つ以上の信号は、建設現場にセットアップされた位置追跡システムによって放出され得る。好適な位置追跡システムは、当業者に知られている。本発明の実施形態で使用される位置追跡システムは、以下により詳細に説明するインサイドアウト位置追跡システムである。

30

【0031】

1つ以上の信号は、1つ以上の対応するビーコンによって放出され得る。建設現場での1つ以上のビーコンの正確な場所が既知であり得る。あるいは、追跡システムを使用して、既知の場所の1つ以上の制御点の位置を決定し得、それにより、ヘッドセットなどの位置追跡システムによって追跡される他のオブジェクトの場所を、制御点の場所を参照して算出することができる。

【0032】

いくつかの実施形態では、1つ以上の信号は、電磁放射、例えば、光または電波から成り得る。いくつかの実施形態では、以下により詳細に説明するように、掃引ビーム光学追跡システムを使用し得る。そのようなシステムは、1つ以上のビーコンによって放出される赤外線信号を採用し得る。いくつかの実施形態では、WiFi追跡システムが使用され得る。しかし、いくつかの実施形態は、例えば音波などの他のタイプの信号を利用し得る。

40

【0033】

いくつかの実施形態では、超音波を、使用されるヘッドセットに衝突する1つ以上の超音波信号に対する1つ以上の位置追跡センサの反応とともに使用して、建設現場でのヘッドセットの場所および向きを三角測量し得る。超音波を使用してオブジェクトの位置を追跡するシステムおよび方法は、US2018/0128897A1に開示されている。

50

## 【0034】

ヘッドセットは、拡張現実ディスプレイシステムを備え得る。拡張現実ディスプレイシステムは、位置追跡センサに対して固定されたユーザの視野内の使用中位置を有するディスプレイアセンブリを含み得る。いくつかの実施形態では、ディスプレイアセンブリが、使用位置から、例えばディスプレイアセンブリがユーザの目の前から除去される異なる位置へと選択的に移動可能であり得ることが理解されるであろう。例えば、ディスプレイアセンブリは、使用中位置と「非使用中」位置との間の移動のために、ヘッドウェア物品にヒンジ留めされるか、または別様に取り付けられ得る。ただし、使用中位置では、ディスプレイアセンブリをヘッドウェア物品の位置追跡センサに対して安定して配置し得、それにより、ディスプレイアセンブリディスプレイは、使用中位置にある場合には位置追跡センサに対して不動とし得る。

10

## 【0035】

好適には、ディスプレイアセンブリは、少なくとも1つのディスプレイを含み得、ユーザがディスプレイアセンブリを通して自身の周囲を見ることを可能にしながら、仮想画像をユーザに表示することができ得る。ディスプレイは、透明または半透明であり得る。典型的には、ディスプレイ自体に加えて、ディスプレイアセンブリは、ディスプレイから放出される光によって運ばれる画像を見るための少なくとも1つのレンズを含み得る。レンズは、ディスプレイとユーザの目との間に好適に配置され得る。いくつかの実施形態では、レンズは、仮想画像が無限遠に位置するようにユーザに見えるようにコリメータを備え得る。あるいは、レンズは光を発散させて、それにより、仮想画像が無限遠よりも近いユーザの前の焦点距離に見えるようにし得る。例えば、いくつかの実施形態では、ディスプレイと一緒にレンズを使用して、ディスプレイから放出される光によって表される仮想画像が2～10mの範囲の焦点距離でユーザに見えるようにし得る。ディスプレイアセンブリの特性はまた、ディスプレイアセンブリの視野、その射出瞳サイズなども定義することが理解されるであろう。以下により詳細に説明するように、本発明に従って建物情報モデルの仮想画像を正しく位置決めする場合、ディスプレイアセンブリのこれらおよび他の物理的および光学的特性および特徴を考慮に入れ得る。

20

## 【0036】

拡張現実ディスプレイシステムは、建物情報モデルの仮想画像を表す画像データを受信し、仮想画像をディスプレイに表示するように構成され得る。仮想画像は、ユーザの目を中心とする仮想カメラによって投影されているかのようにユーザに認識される。

30

## 【0037】

ヘッドセットは、ユーザの頭部に対するディスプレイの位置を検出し、それを表すディスプレイ位置データを出力するディスプレイ位置センサをさらに備え得る。さらにまたはあるいは、ヘッドセットは、ディスプレイがヘッドウェア物品に対して正しく配置されることを保証するための位置合わせデバイスを含み得る。当業者は、ユーザが同じ場所を見ている場合でも、ユーザの頭部におけるヘッドセットの位置が使用中に変化し得ることを理解するであろう。これは、ユーザが建築現場での建設タスクの実行に典型的には含まれる種類の手動操作に従事している場合に特に当てはまり得る。本発明によれば、現実世界に対して正しい場所でユーザが仮想画像を見るように、仮想カメラがユーザの目に正確に位置合わせされたままであることを保証することが重要である。ディスプレイ位置センサはしたがって、本発明に従って使用されて、建物情報モデルの仮想画像をディスプレイ(複数可)に配置する際に、ユーザの頭部に対するヘッドセット、特に1つ以上のディスプレイの位置の変化が考慮されることを保証する。

40

## 【0038】

ヘッドセットは、電子制御システムを備え得る。電子制御システムは、位置追跡システムによって定義された内因性座標系内の建設現場でのヘッドセットの場所および向きをセンサデータから決定し、それを表すヘッドセット追跡データを出力するように構成されたヘッドセット追跡サブシステムを備え得る。

## 【0039】

50

電子制御システムは、変換に基づいて内因性座標系と外因性座標系との間で位置データを変換するように構成された座標変換エンジンを備え得る。いくつかの実施形態では、変換は、外因性座標系の既知の場所の1つ以上の制御点の座標を、内因性座標系のそれらの対応する座標に関連付けることによって導出され得る。内因性座標系における1つ以上の制御点の座標は、位置追跡システムを使用して少なくとも1つのセンサから受信したセンサデータから導出され得る。

【0040】

電子制御システムは、ヘッドセット追跡データ、ディスプレイ位置データ、および外因性座標系で定義された建物情報モデルを表すモデルデータを受信し、座標変換エンジンを使用してモデルデータを処理して内因性座標系で定義された導出モデルデータを生成し、ヘッドセット追跡データおよびディスプレイ位置データを使用して建設現場でのヘッドウェア物品の位置および向きとユーザの頭部におけるディスプレイの位置とに対する建物情報モデルの仮想画像をレンダリングし、仮想画像を表す画像データを生成し、ユーザがディスプレイで見るとともに拡張現実ディスプレイシステムに画像データを送信するように構成され得る。このように、本発明の目的は、ユーザが、通常の建設許容範囲内で現実世界の建設現場に正しく配置されて方向付けられた建物情報モデルの仮想画像を見ることができるようになることであり、それにより、建築情報モデルに従って、場合によっては指定された許容範囲内で、タスクが実行されることを保証するのに十分な程度の精度で、1つ以上の建設タスクを実行する場所がユーザに通知される。

【0041】

いくつかの実施形態では、電子制御システムは、ディスプレイがヘッドウェア物品に対して正しく配置されることを保証するための位置合わせエンジンを備え得る。位置合わせエンジンは、ディスプレイ位置センサに加えて、またはその代わりに使用され得る。

【0042】

本発明の別の態様によれば、本発明によるヘッドセット内で建設現場の外因性現場座標系に配置および方向付けされた建物情報モデル(BIM)の仮想画像を表示する方法が提供される。

【0043】

文脈がそうでないことを示唆するか、または反対に示されない限り、本発明の1つ以上の特定の態様に関して本明細書に記載の技術的なまたは他の特徴は、本発明のすべての態様に適用できる。

【0044】

ヘッドセットはしたがって、1つ以上の位置追跡センサがそれに取り付けられた、またはそれに別様にしっかりと固定された、ユーザが着用するような形状および寸法のヘッドウェア物品と、少なくとも1つのディスプレイを含む拡張現実ディスプレイシステムと、ユーザの頭部に対するディスプレイの位置を検出するディスプレイ位置センサと、電子制御システムとを備え得る。

【0045】

いくつかの実施形態では、本発明の方法は、上記のように建設現場で伝播する1つ以上の信号、例えば電磁放射に対する1つ以上のセンサの反応を表すセンサデータに基づいて位置追跡システムによって定義される内因性座標系で、建設現場でのヘッドセットの位置および向きを決定するステップを備え得る。方法は、内因性座標系における建設現場でのヘッドセットの位置および向きを表すヘッドセット追跡データを生成することを備え得る。これらのステップは、ヘッドセット追跡システムによって便宜的に実行され得る。

【0046】

いくつかの実施形態では、本発明の方法は、変換に基づいて内因性座標系と外因性座標系との間で位置データを変換するステップを備え得る。上述したように、変換は、位置追跡システムを使用して、外因性座標系の既知の場所の1つ以上の制御点の座標を、内因性座標系のそれらの対応する座標に関連付けることによって導出され得る。好適には、そのステップは座標変換エンジンによって実行され得る。

## 【 0 0 4 7 】

上記のように、内因性座標系における1つ以上の制御点の座標は、少なくとも1つのセンサから受信したセンサデータに基づいて好適に決定され得る。

## 【 0 0 4 8 】

いくつかの実施形態では、本発明の方法は、ディスプレイ位置センサからディスプレイ位置データを受信するステップと、ヘッドセット追跡データを受信するステップと、外因性座標系で定義される建物情報モデルを表すモデルデータを受信するステップと、座標変換エンジンを使用してモデルデータを処理し、内因性座標系で定義されている導出モデルデータを生成するステップと、ヘッドセット追跡データおよびディスプレイ位置データを使用して、建設現場でのヘッドウェア物品の位置および向きに対して、ならびにユーザの目に対するディスプレイの位置に対して、建物情報モデルの仮想画像をレンダリングするステップとを備え得る。方法は、仮想画像を表す画像データを生成することと、ユーザが建物情報モデルの仮想画像として見るために拡張現実ディスプレイシステムに画像データを送信することとを備え得る。

10

## 【 0 0 4 9 】

上記のように、本発明のヘッドセットは、いくつかの実施形態では、ヘッドセット追跡サブシステムおよび座標変換エンジンを備え得る電子制御システムを備え得る。ヘッドセット追跡サブシステムは、本明細書でより詳細に説明するように、建設現場にてセットアップされた位置追跡システムと連携するように好適に構成され得る。ヘッドセット追跡サブシステムを使用して、ヘッドセットでヘッドセット追跡データの処理を実行し得るが、いくつかの実施形態では、建設現場でのヘッドセットの位置および向きを決定するためのヘッドセット追跡データの処理を、ヘッドセット外で、例えば有線または無線接続を介してヘッドセットと通信するように配置されたリモートコンピュータで実行され得る。いくつかの実施形態では、座標変換エンジンは、リモートコンピュータまたはサーバ上で実行されるように構成され得る。したがって一般的に、ヘッドセットの電子制御システムによって実行される処理ステップのいくつかは、リモートコンピュータまたはサーバ上で、ならびに、ヘッドセットとリモートコンピュータまたはサーバとの間のデータ送信用に構成された適した手段で実行され得る。

20

## 【 0 0 5 0 】

本発明のさらに別の態様によれば、コンピュータ化されたデバイスによって実行されると、建設現場の外因性現場座標系に配置されて方向付けられている建物情報モデル(BIM)の仮想画像をヘッドセットに表示する方法をコンピュータ化されたデバイスに実行させる命令セットを含むコンピュータプログラムが提供される。典型的には、コンピュータプログラムは、コンピュータ化されたデバイスによって実行されると、コンピュータ化されたデバイスが上記の本発明による方法を実行するための命令セットを含む。

30

## 【 0 0 5 1 】

したがって、ヘッドセットは、1つ以上の位置追跡センサがそれに取り付けられたユーザが着用するように構成されたヘッドウェア物品と、ユーザの視野内部に使用中位置を有するディスプレイアセンブリを含む拡張現実ディスプレイシステムと、少なくとも1つのディスプレイを含むディスプレイアセンブリと、ユーザの頭部に対するディスプレイの位置を検出するためのディスプレイ位置センサと、電子制御システムとを備え得る。

40

## 【 0 0 5 2 】

本発明の実施形態によれば、建設現場の現実世界座標で拡張現実ヘッドマウントディスプレイを使用して3次元の建物情報モデルを、少なくとも5mmの精度、好ましくは少なくとも3mmの精度で視認させる方法が提供される。本発明の実施形態は以下を備え得る。

## 【 0 0 5 3 】

(a) 位置追跡システムによって使用される内因性座標系での追跡ボリューム内の拡張現実ヘッドマウントディスプレイを少なくとも5mmに位置特定するために光学的インサイドアウト位置追跡システムを使用して、建設現場での拡張現実ヘッドマウントディスプ

50

レイを追跡すること。

【0054】

(b) 携帯式追跡デバイスを使用して、外因性座標系の既知の場所/制御点を位置追跡システムで定義されている内因性座標系の制御点の対応する位置に変換する変換を使用することにより、内因性座標系を外因性現実世界座標系に関連付けること。

【0055】

(c) 視線追跡デバイスを使用して、ユーザの目のうちの少なくとも1つの位置を拡張現実ヘッドマウントディスプレイに関連付けること、および/または

【0056】

(d) コンピュータソフトウェアを使用して、ヘッドセットの場所を表す位置追跡データと、ユーザの頭部における拡張現実ヘッドマウントディスプレイの位置を表す視線追跡データおよび拡張現実ヘッドマウントディスプレイの光学特性を表すデータとを融合して、拡張現実ヘッドマウントディスプレイを介して仮想BIMモデルを現実世界座標で表示すること。

10

【0057】

本発明の実施形態は、拡張現実HMDを使用して、現実世界座標でBIMモデルを建設公差(典型的には3mm以内の精度)で見する方法および/または作業をリアルタイムで検証する能力を建設業者/商業請負業者に提供することを目的とする。これにより、現場技術者の継続的な存在が不要になり得、作業員が建設図面を解釈し、基準点またはマーカ間のマークされていない場所を決定する必要性を最小限に抑制し得、それにより、以前に位置特定された基準点または制御点に基づいて基準点の位置決めにおける誤差の累積を除去し得る。これによりまた、建設業者および商業請負業者にリアルタイムの検証情報を提供しようとするため、検証作業においてセオドライトが不要になり得る。

20

【0058】

本発明の異なる態様では、ヘッドセット追跡は、ヘッドセット外部のセンサを使用して、ヘッドセットの位置および向きに基づいて外部追跡データを生成することを備え得る。例えば光学センサ(例えば、深度対応3Dカメラ)、ワイヤレスセンサ(Bluetooth、WiFi)、GPSセンサ、またはオーディオセンサなどの追跡センサを使用して、例えばユーザがどこを見ているかを判断するために、ヘッドセットの場所、物理的環境における追跡センサまでのヘッドセットの距離(例えば、会場または部屋の角に配置されたセンサ)、ヘッドセットの向きを決定し得る。

30

【0059】

いくつかの実施形態では、仮想画像のレンダリングは、ヘッドセットからのヘッドセット追跡データおよび拡張現実データベースに基づいて仮想オブジェクトをレンダリングすることを含み得る。ヘッドセット追跡データは、ヘッドセット内部のセンサから受信したセンサデータに基づいて、ヘッドセットの位置および向きを表し得る。センサには、例えば、近接センサまたは場所センサ(例えば、近距離無線通信、GPS、Bluetooth、WiFi)、光学センサ(例えば、カメラ)、方位センサ(例えば、ジャイロスコップ)、音声センサ(例えば、マイク)またはその任意の好適な組み合わせが含まれ得る。例えば、センサには、ヘッドセットの背面カメラおよび正面カメラが含まれ得る。

40

【0060】

本発明のさらに別の態様によれば、光学式インサイドアウト位置追跡システムを使用して建設現場で携帯式セットアウトツールを追跡して追跡システムが使用する内因性座標系の追跡ボリューム内のセットアウトツールの位置を特定することと、建設現場またはその近くの1つ以上の制御点の現実世界座標系における既知の場所を、位置追跡システムによって決定された内因性座標系内の制御点の対応する位置に関連付けることにより導出された変換を使用して、内因性座標系を外因性現実世界座標系に関連付けることとを備える、建設現場をセットアウトする方法が提供される。

【0061】

本明細書における「インサイドアウト位置追跡システム」とは、追跡ボリューム内で追

50

跡されるオブジェクトに設けられたセンサ、例えば光 - 電子センサまたはマイクが、放射源からのセンサの角距離を示す1つ以上の入射信号（例えば、電磁放射、または超音波、またはパルス）の1つ以上の特性を検出または測定するよう構成される追跡システムを意味する。典型的には、信号または放射の源は固定され得る。追跡されるオブジェクトは、例えば本発明のヘッドセットであり得る。

【0062】

信号（例えば、電磁放射）は指向性であり得る。特に、放射は、源の方位または角距離を示すような方法で変調され得る。信号または放射は、例えば、追跡ボリュームにわたって空間的に変調または減衰され得る。例えば、電磁放射の強度は、源までの角距離によって異なり得る。

【0063】

典型的には、電磁放射は、例えば追跡ボリュームを掃引することにより一時的に変化するレーザビームなどのビームの形態であり得る。

【0064】

センサは、入射信号、例えば電磁放射の一時的な変化を検出し得る。

【0065】

いくつかの実施形態において、ビームは、追跡ボリュームを通して一定速度で掃引され得、それにより、ビームがセンサに入射する時間は、センサから源までの角距離を示す。

【0066】

いくつかの実施形態では、ビームは、データを符号化するために変調される搬送波を備え得る。

【0067】

例えば、搬送波は、ビームの絶対位相を示すデータを符号化するために変調され得る。センサから源までの角距離は、ビームの絶対位相と、ビームがセンサに入射する時間とから導出され得る。

【0068】

いくつかの実施形態では、搬送波は、ビームから源までの角距離を示す動的データを符号化するために変調され得る。この場合、センサから源までの角距離をビームから「読み取り」得る。

【0069】

ビームが変調されてデータを符号化する場合、センサは、搬送波を復調して符号化データを回復するための光 - デジタル変換器を好適に組み込み得る。

【0070】

ビームは、平面の扇形を有し得る。好適には、電磁放射は不可視光、好ましくは赤外線であり得る。

【0071】

いくつかの実施形態では、電磁放射は、2つの横断軸上のセンサの角度位置を決定するための2つの相互横断（例えば直交）面にて変調され得る。例えば、2つの相互横断ビームが、追跡ボリュームにわたって掃引され得る。

【0072】

好適なビームは、基地局内のロータに取り付けることにより生成され得る。上記のように、ロータは一定の角速度で動作し得る。いくつかの実施形態では、2つの（またはそれ以上の）レーザが単一のロータに取り付けられ得、レーザからのビームを相互に横断方向に掃引するための好適な光学機械的構成が提供され得る。

【0073】

あるいは、相互横断軸の周りを回転するように構成された2つ以上のロータが提供され得る。2つ以上のロータのそれぞれに、1つ以上のレーザを搭載し得る。

【0074】

電磁放射の2つ以上のビームが採用される場合、それらは、センサがビームを区別できるようにするために、互いに異なる周波数を有し得る。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 7 5 】

追跡されるオブジェクトに1つ以上のセンサを提供し得、電磁放射の1つ以上の源があり得る。

## 【 0 0 7 6 】

追跡されるオブジェクトの場所は、複数の放射源に対する1つ以上のセンサの位置を三角測量することにより決定することができる。

## 【 0 0 7 7 】

あるいは、オブジェクトの場所は、少なくとも1つの放射源に対してオブジェクト上の複数のセンサの位置を三角測量することにより決定することができる。追跡されるオブジェクトにおける複数のセンサの相対位置を知っておくべきである。

10

## 【 0 0 7 8 】

複数の放射源がある場合、各源は、電磁放射の1つ以上のビームを放出し得る。好適には、各源は、上記のように2つの相互横断ビームを放出するように動作可能な基地局を備え得る。各基地局からの各ビームの周波数は異なり得る。

## 【 0 0 7 9 】

放射が2つの相互横断面上で変調される場合、オブジェクトの場所を3次元で決定することができる。

## 【 0 0 8 0 】

典型的には、センサはカメラではないが、検出可能な電気信号を生成することにより入射電磁放射に反応する。好適には、センサは、不可視光、例えば赤外線に反応するフォトダイオードを備え得る。例えば、センサはシリコンフォトダイオードを備え得る。センサは、フォトダイオードからの電気信号を増幅するための増幅器、離散エンベロープ検出器、および高速コンパレータを組み込んだ光 - デジタル回路をさらに備え得る。コンパレータは、好ましくは比較的小さなヒステリシスを有するべきである。このような回路は、電磁放射が過渡的にセンサに当たるとデジタルパルスを送るように構成される。

20

## 【 0 0 8 1 】

電磁放射の掃引ビームの源に対するセンサの角距離は、ビームがセンサに入射するときのビームの絶対角度位置を参照することにより校正され得る。

## 【 0 0 8 2 】

あるいは、源に対するビームの角度方向は、ビーム内で動的に符号化され得、これは、キャリア信号として使用される。

30

## 【 0 0 8 3 】

さらなる代替例では、源へのセンサの角距離は、同期信号と、センサにビームが入射するときとの間の経過時間から算出され得る。

## 【 0 0 8 4 】

典型的には、そのような同期信号は、ビーム自体と同様に、好ましくは不可視光、例えば赤外線である電磁放射の全方向フラッシュを備え得る。

## 【 0 0 8 5 】

好適なインサイドアウト光学位置追跡システムは、WO 2 0 1 6 / 0 7 7 4 0 1 A 1 に開示されており、その内容は参照により本明細書に組み込まれる。

40

## 【 0 0 8 6 】

このようなインサイドアウト光学位置追跡システムを使用する利点は、追跡ボリューム内のセンサの位置を3mm未満、より好ましくは1mm未満の精度で特定できることである。本発明の方法は、例えば建設タスクなどの特定の作業が建設図面に従って建設現場で行われるべき場所の位置を特定するために、建設現場で携帯式セットアウトツールの位置を正確に追跡するための光学的インサイドアウト追跡システムを利用し得る。いくつかの実施形態では、例えば、セットアウトツールを使用して、建設現場の基準点の位置を特定し得る。

## 【 0 0 8 7 】

したがって、いくつかの実施形態では、本発明の方法は、変換を使用して外因性現実世

50

界座標系でのセットアウトツールの場所を算出することと、ユーザインタフェースを使用して現実世界（現場）座標でセットアウトツールの位置を示すことを備え得る。好適には、ユーザインタフェースは、現場座標におけるツールの位置を表示するための、例えばフラットパネルディスプレイなどのディスプレイを含み得る。

【0088】

本発明の特定の態様では、セットアウトツールは、ユーザが装着可能な拡張現実眼鏡を備えるヘッドセットを備え、建設現場におけるセットアウトツールの位置に関する情報を表示するための少なくとも1つのディスプレイを含み得る。例えば、拡張現実眼鏡は、建設現場の特定の場所で実施される1つ以上の建設タスクに関する情報を表示するように動作可能であり得る。いくつかの実施形態では、拡張現実眼鏡は、ヘッドセットの位置、または位置追跡システムの一部を形成する1つ以上のセンサを搭載するヘッドセットに取り付けられた周辺機器の位置を、外因性現実世界座標で表示するように動作可能であり得る。

10

【0089】

いくつかの実施形態では、拡張現実眼鏡は、外因性現実世界座標で定義される建物情報モデル（BIM）の仮想画像を表示するように動作可能であり得る。本発明によれば、仮想画像は、建物モデルの現実世界現場座標を内因性座標系に変換するための変換を使用することにより、建設現場に対して正しく位置特定され、方向付けられ、現場におけるユーザの位置について正しいコンテキストでユーザに表示される3D画像であり得る。

【0090】

ヘッドセットは、例えば、位置追跡システムの一部を形成する複数のセンサを搭載するように適合された、当技術分野で知られている種類の建設ヘルメットなどの安全帽を備え得る。好適には、拡張現実眼鏡を安全帽に組み込んで、眼鏡とセンサを搭載する安全帽との間の制御可能距離を保証し得る。しかし、いくつかの実施形態では、拡張現実眼鏡を安全帽とは別個のものとし得る。

20

【0091】

インサイドアウト位置追跡システムは、建設現場で間隔を空けた場所にセットアップできる1つ以上の基地局であって、各基地局は、例えば建設現場にわたって掃引される光ビームなどの空間変調電磁放射を放出するよう動作可能である、基地局と、電磁放射に反応するセットアウトツール上の複数のセンサとを備え得る。いくつかの実施形態では、基地局は、最大約10m、好ましくは最大約5mの間隔でセットアップされ得る。上記のように、変調電磁放射はセンサと基地局との間の角距離を示し得、それにより、セットアウトツールのセンサを使用して内因性座標系におけるセットアウトツールの位置および/または向きを決定し得る。

30

【0092】

好適には、位置追跡システムは、セットアウトツールを外因性現実世界座標系の既知の場所の制御点に配置し、内因性座標系の制御点におけるセットアウトツールの対応する位置を決定することにより、外因性現実世界座標系に較正され得る。好適には、セットアウトツールは、2つ以上のセンサ、典型的には少なくとも3つのセンサを有し得る。センサの1つは、制御点に正確に配置され得る。1つのセンサに対する他のセンサの位置は既知であり得、外因性現実世界座標内の他のセンサの位置を算出できる。2つ、3つ、またはそれ以上のすべてのセンサの位置は、インサイドアウト追跡システムを使用して内因性座標で決定され得る。

40

【0093】

あるいは、またはさらに、位置追跡システムは、現実世界座標系で既知の場所を有する追跡ボリューム内の2つ、3つ、またはそれ以上の制御点にツールを連続して配置し、各制御点での内因性座標系でのツールの位置を決定することにより、外因性現実世界座標系に較正され得る。

【0094】

あるいは、またはさらに、位置追跡システムは、現実世界座標系の既知の場所を有する

50

追跡ボリューム内の2つ、3つ、またはそれ以上の制御点に配置されたセンサ（例えば光学センサ）を使用し、内因性座標系でのセンサの位置を決定して、外因性現実世界座標系に較正され得る。いくつかの実施形態では、追跡システムは、少なくとも2つまたは3つの制御点でセンサに関して定期的に再較正され得る。

【0095】

外因性座標系における制御点の場所は、建設現場をセットアウトするための当業者に知られている方法でトータルステーションを使用して決定され得る。したがって、建設現場での制御点の位置は、例えば陸地測量部またはWGS 84などの測地座標系で位置が正確に知られている2つ以上の点からの三角測量によって決定され得る。

【0096】

本発明の別の態様では、少なくとも1つの携帯式セットアウトツールと、追跡システムにより使用される内因性座標系の追跡ボリューム内のセットアウトツールの位置を特定するインサイドアウト位置追跡システムと、2つの座標系間で変換するための変換に基づいて追跡システムによって決定された内因性座標系のセットアウトツールの座標を外因性現実世界座標系の対応する座標に変換する座標変換エンジンを備える電子制御システムとを備える建設現場をセットアウトするための機器が提供される。

【0097】

好適には、変換は、現実世界座標系における既知の場所の1つ以上の制御点の位置を、インサイドアウト位置追跡システムを使用して決定される内因性座標系の対応する位置に関連付けることから導出される。

【0098】

セットアウトツールは、例えば、外因性現実世界座標系におけるセットアウトツールの位置をユーザに示すためのディスプレイなどのユーザインタフェースを備え得る。したがって、上記のように、携帯式セットアウトツールを使用して、建設図面に従って建設現場をセットアウトするための建設現場上の特定の基準点の位置を特定し得る。例えば、セットアウトツールは、フラットパネルまたは「計算機タイプ」ディスプレイを備え得る。

【0099】

位置追跡システムは、セットアウトツールに取り付けられた少なくとも1つのセンサと、例えば基地局との角距離を示す変調電磁放射などの信号を放出するように動作可能な少なくとも1つの基地局とを備え得る。好適には、少なくとも1つのセンサおよび少なくとも1つの基地局は、上記のとおりであり得る。

【0100】

いくつかの実施形態では、携帯式セットアウトツールは、先端を有するプローブを備え得る。セットアウトツールは、建設現場の場所にセンサを正確に配置するために、プローブの先端に配置されるセンサを備え得る。携帯式セットアウトツールの位置は、プローブの先端にあるセンサの位置として算出され得る。

【0101】

いくつかの実施形態では、位置追跡システムは複数の基地局を備え得る。

【0102】

いくつかの実施形態では、少なくとも1つの基地局は、電磁放射の少なくとも1つのビームを放出し、追跡ボリュームにわたってビームを掃引するように動作可能である。好適には、基地局は、制御された速度または一定の速度で、追跡ボリュームにわたってビームを掃引するように動作可能であり得る。

【0103】

追跡システムは、少なくとも1つのセンサから受信したセンサデータ、例えば、センサがビームに反応するときを表すタイミングデータ、またはビーム内で符号化された角距離データに基づいて、内因性座標系におけるセットアウトツールの位置を決定する追跡エンジンを備え得る。好適には、追跡エンジンは、携帯式セットアウトツール内に収容され得、それにより、内因性座標系における追跡ボリューム内の携帯式セットアウトツールの位置の算出は、携帯式セットアウトツール内で完全に実行される。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 0 4 】

しかし、いくつかの実施形態では、追跡エンジンは、例えば、セットアウトツールとは別個のコンピュータなどの制御デバイスに実装され得る。この構成は、機器が複数の携帯型セットアウトツールを備えている場合に特に便利であり得る。制御デバイスおよび1つ以上のセットアウトツールには、そのまたは各セットアウトツールと制御デバイスとの間でデータを通信するためのそれぞれのデータ送信機が提供され得る。例えば、セットアウトツール上の少なくとも1つのセンサからのセンサデータは、内因性座標系における追跡ボリューム内のセンサの位置の算出のためにリモート制御デバイスに送信され得、内因性座標系でのセンサの位置を表す追跡データは、変換エンジンを使用して外因性現実世界座標系に変換するためにセットアウトツールに送信され得る。

10

## 【 0 1 0 5 】

さらなる変形例では、座標変換エンジンはまた、別個の制御デバイス内で実装され得、外因性座標系における1つ以上のセットアウトツールの位置を表す追跡データをセットアウトツールに送信して、1人以上のユーザに表示し得る。

## 【 0 1 0 6 】

複数のセットアウトツールが提供される場合、それぞれが特定のセットアウトツールを識別する一意の識別子を表すデータを別個の制御デバイスに送信し得る。制御デバイスは、複数のセットアウトツールの一意の識別子を使用して、正しい追跡データが各セットアウトツールに送信されることを保証するように動作可能であり得る。

## 【 0 1 0 7 】

1つ以上のセットアウトツールは、ケーブルまたは無線によりデータ転送のために制御デバイスに接続され得る。

20

## 【 0 1 0 8 】

いくつかの実施形態では、電子制御システムは、インサイドアウト位置追跡システムを使用して現実世界座標系における既知の場所の1つ以上の制御点の内因性座標系における位置を特定することにより、内因性座標系を外因性現実世界座標系に関連付けるための変換を生成する較正エンジンをさらに備え得る。

## 【 0 1 0 9 】

電子制御システムは、携帯型セットアウトツール内に便宜的に収容され得る。しかし、いくつかの実施形態では、電子制御システムは、上記の種類別の別個の制御デバイスに配置され得る。現実世界座標における携帯型セットアウトツールの位置は、制御デバイスで算出され、ユーザに表示するためにセットアウトツールに送信され得る。同様に、変換は、別個の制御デバイスの較正エンジンと、変換エンジンに通信されて内因性座標系の座標を外因性系の対応する座標に変換する変換を表すデータとを使用して生成され得る。

30

## 【 0 1 1 0 】

いくつかの実施形態では、本発明の実施形態による機器はさらに、外因性現実世界座標系の既知の座標の建設現場における場所に配置でき、インサイドアウト位置追跡システムを使用して追跡されて内因性座標系におけるその座標を決定できる少なくとも1つのセンサを備える少なくとも1つの較正ツールを含み得る。較正エンジンは、変換を導出するために、内因性および外因性座標系でセンサの対応する座標の位置を関連付けるために使用され得る。

40

## 【 0 1 1 1 】

好適には、機器は、それぞれが少なくとも1つのセンサを有する複数のそのような較正ツールを含み得る。

## 【 0 1 1 2 】

別の実施形態では、機器は、複数のセンサを有する少なくとも1つの較正ツールを含み得る。

## 【 0 1 1 3 】

いくつかの実施形態では、位置追跡システムの定期的な再較正のために、既知の場所の制御点に固定されるように較正ツールを構成し得る。この目的のために、較正ツールは、

50

上記のようなセンサと、制御点で較正ツールをオブジェクトにしっかりと固定するための取り付け部とを備え得る。

【0114】

いくつかの実施形態では、セットアウトツールはヘッドセットを備え得る。ヘッドセットは、建設現場でのセットアウトツールの位置に関連する情報を表示するための拡張現実ディスプレイを組み込み得る。

【0115】

本発明のさらなる態様によれば、複数のセンサがそれに取り付けられたヘッドウェア物品と、ユーザが見たときに建物情報モデル(BIM)の仮想画像を表示する1つ以上のディスプレイを組み込んだ拡張現実眼鏡と、電子制御システムとを備える、建設現場をセットアウトする際に使用するヘッドセットが提供される。好適には、本発明のヘッドセットはさらに、ユーザの頭部の拡張現実眼鏡の位置、より具体的にはユーザの目に対する1つ以上のディスプレイの位置を検出するための手段をさらに含む。

10

【0116】

電子制御システムは、外因性現実世界座標系で定義された建物情報モデルを表すモデルデータを受信および処理し、外因性座標系と内因性座標系との間の変換を使用して内因性座標系でモデルを配置および方向付けするためのモデル位置決めエンジンを備え得る。

【0117】

電子制御システムは、内因性座標系での建設現場のヘッドウェア物品の位置および向きを表すヘッドセット追跡データを受信し、ヘッドウェア物品の位置および向きに対してモデルの仮想画像をレンダリングし、モデルの仮想画像としてユーザが見ることができる1つ以上のディスプレイに画像を送信する画像レンダリングエンジンを備え得る。

20

【0118】

画像レンダリングエンジンはまた、ユーザの目に対する1つ以上のディスプレイの位置を表すディスプレイ位置データを受信し得る。したがって、いくつかの実施形態では、画像レンダリングエンジンは、内因性座標系における建設現場のヘッドウェア物品の位置および向きを表すヘッドセット追跡データ、ユーザの目に対する1つ以上のディスプレイの位置を表すディスプレイ位置データを受信し、建設現場でのヘッドウェア物品の位置および向きと、ユーザの目に対する拡張現実眼鏡の位置とに対するモデルの仮想画像をレンダリングし、モデルの仮想画像としてユーザが見ることができる1つ以上のディスプレイに画像を送信するように構成され得る。

30

【0119】

いくつかの実施形態では、ヘッドセット追跡データは、建設現場の1つ以上の基地局によって放出される変調電磁放射に対するヘッドウェア物品上の複数のセンサの反応を表すセンサデータから導出され得、電磁放射の変調は、1つ以上の尊重される基地局までの角距離を示している。

【0120】

いくつかの実施形態では、変換は、外因性座標系における既知の場所の1つ以上の制御点の座標を、内因性座標系の対応する座標に関連付けることによって導出され得、内因性座標系における1つ以上の制御点の座標は、変調電磁放射に対する1つ以上の制御点に配置された1つ以上のセンサの反応を表すセンサデータから導出される。

40

【0121】

したがって、ヘッドウェア物品上のセンサは、センサの位置を追跡するために1つ以上の基地局から建設現場にわたって掃引される非可視光、好ましくは赤外線1つ以上のビームに反応し得る。有利には、上記のように、そのまたは各基地局は、相互横断する、好ましくは直交する平面で非可視光の2つのビームを放出し得る。そのまたは各ビームは、平面の扇形を有し得る。

【0122】

センサは、好適な光-デジタル変換器によってデジタル信号に変換することができる検出可能信号を生成することにより、電磁放射に反応する光-電子センサであり得る。いく

50

つかの実施形態では、デジタル信号は、追跡データを導出するためのタイミングデータを符号化し得る。タイミングデータは、フィールドプログラマブルゲートアレイ（FPGA）によってタイムスタンプが付され、集計され得る。あるいは、デジタル信号は、ビーム内に含まれるデータをビームのその源への瞬間的な角距離を表すキャリア信号として復調することによって得られた角距離データを符号化し得る。

【0123】

好適には、ヘッドウェア物品は、ヘッドセット上の互いに既知の位置に少なくとも5つのセンサを有する。いくつかの実施形態では、ヘッドウェア物品は、内因性座標系でヘッドセットの位置および向きを正確に決定するために、5つ超のセンサ、好ましくは10個超のセンサ、より好ましくは20個超のセンサを備え得る。いくつかの実施形態では、ヘッドウェア物品は最大32個のセンサを備え得る。

10

【0124】

いくつかの実施形態では、ディスプレイ位置データは、ヘッドウェア物品の1つ以上のディスプレイ位置センサによって生成され得る。好適なディスプレイ位置センサは、当業者に知られており、例えば、US 2013/0235169 A1またはUS 9754415 B2に開示されている種類の位置センサを含み、これらの内容は参照により本明細書に組み込まれる。

【0125】

例えば、いくつかの実施形態では、ディスプレイ位置データは、ユーザの目の動きを追跡するための少なくとも1つの視線追跡デバイスによって生成され得る。視線追跡デバイスは、ユーザの目の位置を追跡するように構成され得る。好適には、ディスプレイ位置データは、ディスプレイに対するユーザの目の少なくとも1つの瞳孔の位置を表すデータを備え得、より具体的には、ディスプレイ位置データは、ディスプレイに対するユーザの目の瞳孔の少なくとも1つの中心の位置を表すデータを備え得る。いくつかの実施形態では、視線追跡デバイスは、ヘッドセットに取り付けられてユーザの目に赤外線を放出するように構成された少なくとも1つの赤外線カメラと、反射赤外放射を検出する少なくとも1つの赤外線検出器とを含み得る。

20

【0126】

あるいは、ディスプレイ位置センサは、例えば、ユーザの頭部、皮膚および/または髪の詳細を画像化して肌および/または髪に対するディスプレイの動きを決定する内向きCMOS検出器を備え得る。このような動きは、ディスプレイとユーザの頭部との間の相対的な動きに対応し得る。いくつかの実施形態では、CMOS検出器は、LED光源と、放射光線および反射光線を導くための単一レンズまたはマイクロレンズアレイのいずれかとを備え得る。CMOS検出器は、ディスプレイアセンブリ上の任意の好適な場所に配置され得る。任意の好適な光学センサ技術および構成が、内向きの光学検出器に使用され得る。例えば、任意の光学式マウスに見いだされるレーザまたはLED、レンズ、およびCMOSセンサは、ディスプレイとユーザの頭部との間の相対運動検出器として使用され得る。

30

【0127】

他の例では、ディスプレイ位置センサは、例えば、ユーザの頭部から離れて面してディスプレイアセンブリ上に配置されたカメラなどの外向きセンサを備え得る。カメラは、物理的環境およびユーザの環境内の物理的オブジェクトから2次元画像情報および/または深度情報をキャプチャし得る。例えば、カメラは、深度カメラ、可視光カメラ、赤外光カメラ、および/または位置追跡カメラを含み得る。

40

【0128】

いくつかの実施形態では、BIMモデルの仮想画像は、拡張現実眼鏡の1つ以上のディスプレイでユーザに表示される合成3D画像を備え得る。好適には、眼鏡は、合成画像を立体画像として表示するための2つのディスプレイを備え得る。本発明に従って生成される仮想画像は、1つ以上のディスプレイの光学的特性および/または物理的特性に従って調整され得ることが、当業者によって理解されるであろう。したがって、当技術分野で知

50

られているように、仮想画像は、拡張現実ディスプレイの焦点距離および/または射出瞳サイズに一致すべきである。

【0129】

BIMモデルの仮想画像は、ヘッドセットが建設現場に対して移動したときに仮想画像がスムーズに更新されるように、少なくとも30Hz、好ましくは少なくとも60Hzのフレームレートを有すべきである。1つの実施形態では、画像レンダリングエンジンのフレームレートは約90Hzであり得る。

【0130】

1つ以上の基地局からの不可視光のビームは、仮想画像の所望フレームレートよりも低い周波数で建設現場にわたって移動し得る。例えば、いくつかの実施形態では、光ビームは、30~60Hzの範囲の掃引周波数を有し得る。ヘッドセットの電子制御システムはしたがってさらに、少なくとも1つの慣性測定ユニット(IMU)を備え得る。好適なIMUユニットは、当業者に利用可能であり、例えば500Hzの報告周波数とともに、例えば1000Hzのサンプリングレートを有し得る。

10

【0131】

内因性座標系におけるヘッドウェア物品の位置および向きを表す追跡データは、IMUユニットからの動きデータを、センサによって出力されたセンサデータから導出された位置データと融合し得る。追跡モジュールはしたがって、センサデータをIMUから受信した動きデータと融合して、センサデータのみを使用して仮想画像のスムーズなフレームレートを提供可能であり得るよりも高い周波数で追跡データを生成し得る。好適には、内因性座標系でのヘッドウェア物品の位置および向きを表す追跡データは、主にIMUユニットからの動きデータに基づいており、センサデータから導出される、より正確な位置および向きの情報で定期的に更新される。

20

【0132】

実行される建設タスクを表す仮想画像を現場の作業員に表示することにより、建設現場をセットアウトするために本発明のヘッドセットを使用し得ることが、当業者には理解されるであろう。仮想画像は、作業員に関連したコンテキストで、BIMモデルで定義されるように建設現場におけるその正しい位置および向きに表示できる。位置追跡システムの内因性座標系と建設現場について確立された外因性現実世界座標系との間の変換により、BIMモデルは、追跡システムで使用される内因性座標系にて正しく配置および方向付けでき、ヘッドウェア物品の位置および向きを追跡することにより、その適したコンテキストで作業員に表示できる。このように、例えばトータルステーションなどの従来の方法を使用して制御点の位置を特定すると、建設現場で基準点またはマーカの位置をさらに特定すること、または、基準点またはマーカに関連して建設現場で実行されるべきタスクの方法について建設図面を解釈することの必要がなくなる。

30

【0133】

代わりに、本発明によれば、従来の方法を使用して制御点の位置が特定されると、現場で実行されるべきタスクを、正しい場所で正しい向きに作業員に直接、表示することができ、基準点もしくはマーカ間の補間または建設図面の解釈の必要性を回避することができる。

40

【0134】

好適には、電子制御システムはさらに、内因性座標系における建設現場でのヘッドウェア物品の位置および向きを算出するために、ヘッドウェア物品のセンサから受信したセンサデータを処理する追跡エンジンを備え得る。

【0135】

いくつかの実施形態では、電子制御システムはさらに、ヘッドウェア物品の1つ以上のディスプレイ位置センサから受信したディスプレイ位置データを処理してユーザの目に対するヘッドウェア物品の1つ以上のディスプレイの位置を決定するディスプレイ位置追跡エンジンを備え得る。

【0136】

50

電子制御システムは、1つ以上のプロセッサと、1つ以上のメモリユニットと、変換を使用して内因性座標系においてモデルを配置して方向付けするためにモデルデータを処理することが1つ以上のプロセッサによって実行可能なモデル位置決めモジュール、ならびに、追跡データ、モデルデータ、および任意選択的なディスプレイ位置データを処理して、ハードウェア物品の位置および向きに対して、および任意選択的にユーザの頭部におけるディスプレイの位置に対してBIMモデルの仮想画像をレンダリングすることが1つ以上のプロセッサで実行可能な画像レンダリングモジュールを備えるソフトウェアを保存する少なくとも1つのデータ記憶デバイスとを備え得る。電子制御システムが、モデル位置決めエンジンおよび/または画像レンダリングエンジンを実装するための1つ以上のマイクロコントローラ、または、ローカルデータベースによって通常の方法で相互接続される別個のメモリおよびデータ記憶デバイスを伴う1つ以上のマイクロプロセッサを備え得ることが理解されよう。

10

【0137】

電子制御システムは、少なくとも1つのデータ通信デバイスをさらに備え得る。

【0138】

ソフトウェアは、データ通信デバイスを介してリモートサーバからモデルデータを受信することが1つ以上のプロセッサによって実行可能なモデルダウンロードモジュールを含み得る。

【0139】

いくつかの実施形態では、ソフトウェアは、変換を受信して少なくとも1つのデータ記憶デバイスに保存することが1つ以上のマイクロプロセッサによって実行可能な変換受信機モジュールをさらに備え得る。

20

【0140】

いくつかの実施形態において、ソフトウェアはさらに、ヘッドセット上のセンサから受信したセンサデータを処理して内因性座標系の建設現場におけるハードウェア物品の位置および向きを算出することが1つ以上のプロセッサによって実行可能な追跡モジュールを備え得る。

【0141】

上記のように、本発明の実施形態によるハードウェア物品は、ヘルメットに取り付けられた、またはヘルメットとは別個の拡張現実眼鏡を伴う、例えば建設ヘルメットなどの安全帽を備え得る。

30

【0142】

本発明はまた、本明細書に記載の本発明に従って建設現場をセットアウトする方法を実行するためのコンピュータ実行可能ソフトウェアを含む。

【0143】

したがって、本発明のさらに別の態様では、建設現場をセットアウトするための機器を制御するコンピュータソフトウェアが提供され、これは、内因性座標系における携帯式セットアウトツールの位置および/または向きを決定する追跡モジュールと、内因性座標系と外因性座標系との間の変換のための変換を使用して、内因性座標系のセットアウトツールの座標を外因性現実世界座標系の対応する座標に変換するための座標変換モジュールとを備える。

40

【0144】

本発明のさらに別の態様によれば、したがって、座標変換モジュールは、追跡モジュールによって算出されるように、内因性座標系におけるセットアウトツールの位置および/または向きを表す追跡データに変換を適用して、外因性座標系におけるセットアウトツールの位置および/または向きを決定することがプロセッサによって実行可能であり得る。

【0145】

上記のように、変換は、現実世界座標系における既知の場所の1つ以上の制御点の位置をインサイドアウト位置追跡システムを使用して決定された内因性座標系のそれらの対応する位置に関連付けることから好適に導出される。

50

## 【 0 1 4 6 】

追跡モジュールは、建設現場の少なくとも1つの基地局から放出される信号（例えば変調電磁放射）に反応するセットアウトツール上の1つ以上のセンサの出力を表すセンサデータに基づいて、セットアウトツールの位置および/または向きを算出することがプロセッサによって実行可能であり得る。

## 【 0 1 4 7 】

上記のように、1つ以上のセンサは、例えば、1つ以上の基地局からの入射光に反応するフォトダイオードなどの光 - 電子センサであり得る。

## 【 0 1 4 8 】

変調光は時間的に変化し得る。1つ以上のセンサは、タイムスタンプが付されて集約（例えば、2つ以上のセンサがある場合）されるデジタルパルスに変換され得る電気信号を生成して、センサから基地局までの角距離を示すタイミングデータを提供し得る。

10

## 【 0 1 4 9 】

いくつかの実施形態では、変調光は、データを符号化するために変調され得る。

## 【 0 1 5 0 】

いくつかの実施形態では、データは、光の絶対位相を表し得、センサと光が放出される基地局との間の角距離を、光がセンサに入射する時間に基づいて算出することができる。

## 【 0 1 5 1 】

いくつかの実施形態では、データは、光が放出される基地局への方位を表し得る。光は、追跡ボリュームにわたって掃引されるものであり得、データは、基地局に対するビームの方位が変化するにつれて動的に更新され得る。

20

## 【 0 1 5 2 】

追跡モジュールはしたがって、センサからのそのようなセンサデータに基づいてセットアウトツールの位置および/または向きを算出することがプロセッサによって実行可能であり得る。いくつかの実施形態では、上記のように、追跡モジュールは、IMUユニットの出力を表す動きデータに基づいて、セットアウトツールの位置および/または向きを算出することが、プロセッサによって実行可能であり得、これは、1つ以上のセンサの出力を表すデータから導出された、より正確な位置および/または向きの情報で周期的にスケルチされる。

## 【 0 1 5 3 】

本発明のさらに別の態様によるソフトウェアはさらに、変調光に対する各制御点でのセンサの反応を表すデータから外因性現実世界座標系における既知の場所の複数の制御点の内因性座標系における位置を決定して、内因性座標系を外因性現実世界座標系に関連付けるための変換を生成することがプロセッサによって実行可能な較正モジュールを備え得る。

30

## 【 0 1 5 4 】

いくつかの実施形態において、ソフトウェアはさらに、外因性現実世界座標系における追跡モジュールによって決定されたセットアウトツールの位置を表示するようディスプレイを制御することがプロセッサによって実行可能なディスプレイモジュールを備え得る。いくつかの実施形態では、ディスプレイはセットアウトツール上に提供され得る。いくつかの実施形態では、ディスプレイは、例えば拡張現実ディスプレイを備えるヘッドセットで提供され得る。

40

## 【 0 1 5 5 】

いくつかの実施形態では、ソフトウェアはさらに、外因性現実世界座標系で定義された建物情報モデル（BIM）を表すモデルデータを受信および保存することがプロセッサによって実行可能なデータ通信モジュールを備え得る。

## 【 0 1 5 6 】

いくつかの実施形態では、ソフトウェアはさらに、モデルデータによって表される建物情報モデルの位置および向きを、変換を使用して外因性座標系から内因性座標系に変換することがマイクロプロセッサによって実行可能なモデル位置決めモジュールを備え得る。

50

## 【0157】

いくつかの実施形態では、ソフトウェアはさらに、変換されたモデルデータと追跡データで表されるセットアウトツールの位置および向きとを使用して、セットアウトツールの一部を形成する拡張現実ディスプレイに表示するための建物情報モデルの仮想画像をレンダリングすることがプロセッサによって実行可能な画像レンダリングモジュールを備え得る。

## 【0158】

いくつかの実施形態では、ソフトウェアはさらに、変換を受信してデータ記憶デバイスに保存することがプロセッサによって実行可能な変換受信機モジュールを備え得る。

## 【0159】

本発明のいくつかの実施形態では、コンピュータソフトウェアは、眼鏡が安全帽に対して正しく配置されることを保証するための位置合わせモジュールを備え得る。

## 【0160】

本発明の別の態様では、プロセッサによって実行可能なマシンコードを備える建設現場のセットアウトに使用するためのインサイドアウト位置追跡システムを較正する較正ソフトウェアが提供され、それは(i)外因性現実世界座標系での建設現場における複数の制御点の位置を表す制御点場所データを受信し、(ii)追跡システムで使用される内因性座標系における制御点の位置を表す制御点追跡データを受信し、(iii)内因性座標系および外因性座標系における制御点の位置を関連付けて座標系間の変換を導出する。

## 【0161】

好適には、較正ソフトウェアは、基地局までの角距離を示す、建設現場の少なくとも1つの基地局によって放出された変調電磁放射に対する各制御点でのセンサの反応を表すセンサデータを受信および処理して内因性座標系での制御点の位置を算出することがプロセッサによって実行可能なマシンコードを備え得る。

## 【0162】

有利には、マシンコードは、ステップ(i)~(iii)を定期的に繰り返して変換をリフレッシュするように実行可能であり得る。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0163】

以下は、本発明の実施形態の添付図面を参照した単なる例としての説明である。

## 【0164】

図面において、

## 【0165】

【図1】建設現場の概略図であり、そこでは、インサイドアウト位置追跡システムが、本発明に従って携帯式セットアウトツールの位置を追跡するようにセットアップされる。既知の場所の複数の制御点は、セットアウトツールを現実世界座標系に較正するために建設現場にて位置特定されている。

【図2】本発明によるセットアウトツールに組み込まれている光 - 電子センサの概略図である。

【図3】本発明によるマルチセンサ較正ツールで使用するための複数の光 - 電子センサの概略図である。

【図4】追跡ボリューム内の既知の場所の複数の制御点を使用して、本発明による外因性現実世界座標系にセットアウトツールを較正する方法を概略的に示す。

【図5A】既知の場所の単一制御点とマルチセンサ較正ツールとを使用して、本発明による外因性現実世界座標系にセットアウトツールを較正する代替方法を概略的に示す。

【図5B】追跡システムによって定義される追跡ボリューム内の既知の場所の複数の制御点を使用して、内因性座標系を伴う位置追跡システムを外因性現実世界座標系に較正する方法を概略的に示す。

【図6】本発明による位置追跡システムの較正に使用するためのマルチセンサ較正ツールを概略的に示す。

10

20

30

40

50

【図 7】典型的な建物情報モデル（BIMモデル）の概略図である。

【図 8】本発明による携帯式セットアウトツールの概略図である。

【図 9】図 8 の携帯式セットアウトツールの電子部品を概略的に示す。

【図 10】較正モードにおける図 8 および図 9 の携帯式セットアウトツールの動作を表すフローチャートである。

【図 11】セットアウトモードにおける図 8 および図 9 の携帯式セットアウトツールの動作を表すフローチャートである。

【図 12】本発明による拡張現実ディスプレイを組み込んだ安全帽の上方から片側への斜視概略図である。

【図 13】追跡モジュールと拡張現実ディスプレイモジュールとを含む図 12 の安全帽の電子部品を示す。

10

【図 14】図 12 および図 13 の安全帽の追跡モジュールの動作を表すフローチャートである。

【図 15】図 12 および図 13 の安全帽の拡張現実ディスプレイモジュールの動作を表すフローチャートである。

【図 16】図 1 の建設現場に対して正しく配置されて方向付けられている図 7 の BIM モデルを概略的に表す。

【図 17】図 12 および図 13 の拡張現実眼鏡を伴う安全帽を使用して、本発明による建設現場をセットアウトする方法を概略的に示す。

【図 18】ディスプレイがユーザの目に対して中央にあるときのディスプレイ上の仮想画像のユーザのビューを示す。仮想画像は、ディスプレイを介して現実世界のユーザのビューに対して正しく配置される。

20

【図 19】ディスプレイが中央位置からずれた状態の、図 18 と同じ仮想画像のユーザのビューを示す。仮想画像は、ディスプレイを介して現実世界のユーザのビューに対して誤って位置特定される。

【図 20】中央位置からのディスプレイのずれを補正するために、ディスプレイ上で図 18 の仮想画像の位置がどのように調整されるべきかを概略的に示し、それにより、ディスプレイを介して現実世界のユーザのビューに対して画像が正しく位置特定されたままになる。

【図 21】画像を表すデータ、ヘッドセット追跡データ、視線追跡データ、座標変換データ、およびディスプレイの特性に基づいて仮想画像がレンダリングされる、本発明による拡張現実ヘッドセットについての電子制御システムの動作を示すフローチャートである。

30

【発明を実施するための形態】

【0166】

位置追跡システム

【0167】

建設現場 1 が図 1 に概略的に示されている。3つの制御点 10a、10b および 10c は、測量の当業者によく知られた方法でトータルステーションを使用して制御現場 1 にて正確に位置特定される。特に、制御点 10a、10b、10c は、建設現場のまたは建設現場に隣接する地理的三角測量点、ベンチマークまたは他の既知の地理的特徴などの絶対的な既知の場所の 2 つ以上の点からの三角測量によって、建設現場 1 に配置される。点 10a、10b、10c の場所は、例えば、WGS 84 または陸地測量部基準などの任意の好適な現実世界座標系で表現され得る。

40

【0168】

図 1 には 3 つの制御点 10a、10b、10c が示されているが、他の実施形態では、3 つ超の制御点が確立され得る。

【0169】

レーザベースのインサイドアウト位置追跡システム 100 が、建設現場 1 にてセットアップされる。本実施形態では、追跡システム 100 は、複数の離間した基地局 102 を備え、それらの各々は、赤外光のパルス 103 の全方向同期を放出するように選択的に動作

50

可能であり、相互に直交する軸上で建設現場 1 にわたって 2 つの線形不可視光光学扇形ビーム 104、105 を掃引するように構成された 2 つのロータを備える。本実施形態では、基地局 102 は、最大約 5 ~ 10 m の距離だけ互いに離れている。他の実施形態では、採用されるインサイドアウト位置追跡システムの能力に応じて、基地局 102 は 10 m 超、離れて配置され得る。

【0170】

図 1 に示すように、本実施形態では 4 つの基地局 102 が採用されるが、他の実施形態では 4 つ未満の基地局 102、例えば 1 つ、2 つもしくは 3 つの基地局 102、または 4 つ超の基地局を使用し得る。使用される基地局 102 の総数は、建設現場 1 によってカバーされるエリアに依存する。より多くの基地局 102 が使用される場合、より広いエリアをカバーすることができる。

10

【0171】

特に建設現場 1 が狭いエリアのみをカバーするいくつかの実施形態では、後述するように単一の基地局 102 で十分であり得るが、少なくとも 2 つの基地局 102 があることが好ましい。

【0172】

上記のように、好適なインサイドアウト位置追跡システムは、WO 2016 / 077401A1 (Valve Corporation) によって開示されるが、建設現場をセットアウトするために必要なレベルの精度を提供するならば、他の位置追跡システムを使用し得る。

20

【0173】

例えば、いくつかの実施形態では、代替のインサイドアウト位置追跡システムを採用し得る (図示せず)、これは 2 つ以上の基地局を備え、その各々は、相互横断軸上で建設現場 1 にわたって 2 つの線形不可視光光学扇形ビームを掃引するように動作可能である。各基地局によって生成される 2 つのビームは、上記のように別個のロータに取り付けられたレーザ、または単一のロータに取り付けられた 2 つのレーザによって生成され得、それらは、相互横断方向に掃引する 2 つのビームを作成するための好適な光学機械的構成を伴う。ビームは相互に異なる周波数を有し得、搬送波として機能して基地局への方位 (例えば、方位角または傾斜のそれぞれ) を表すデータを符号化し得る。そのような構成では、全方向同期パルスは不要である。

30

【0174】

特に、追跡システムは、各方向で 3 mm 以下、好ましくは 1 mm 未満の精度で追跡オブジェクトの位置を特定可能であるべきである。これは、GPS ベースの位置追跡システムとは対照的であり、GPS ベースの位置追跡システムでは、わずか約 1 ~ 5 cm の範囲の精度しか実現できない。このような精度は屋外の建設作業には十分であり得るが、より詳細な屋内または内装作業には適していない。

【0175】

本発明によれば、したがって、インサイドアウト位置追跡システムは、少なくとも  $\pm 1$  mm、好ましくは  $\pm 1$  mm よりも高い精度を有するべきである。

【0176】

執筆時点で、WO 2016 / 077401A1 の開示に従った好適な追跡システムは、「Lighthouse」という商品名で Valve Corporation から市販されている。

40

【0177】

「Lighthouse」追跡システムでは、各基地局 102 内の 2 つのロータのそれぞれが、レーザ光のビームを放出する複数の赤外線レーザダイオードを搭載している。動作中、ロータは 60 Hz の周波数で互いに 180° だけ位相がずれて回転する。他の実施形態では、1 つ以上のビームは、30 ~ 90 Hz または 45 ~ 75 Hz の周波数で掃引され得る。各レーザビームは、基地局 102 内のミラーによって反射され、建設現場 1 にわたって掃引するそれぞれの扇形ビーム 104、105 を生成する。基地局 102 によって

50

放出されるレーザービーム104、105は、図4、図5Aおよび図5Bに最もよく示されるように建設現場1にて追跡ポリウム110を定義する。

【0178】

全方向同期パルスは、各掃引サイクルの開始時に120Hzの周波数で各基地局102内の複数のLEDによって放出され、追跡ポリウム110を光で漲らせる。このため、同期パルスの生成には、例えばLEDなどの広角光源が好ましい。

【0179】

正確な一定角速度で建設現場1にわたってレーザービーム104、105を掃引し、レーザービーム104、105を正確なタイミングの同期パルス103に同期させることにより、各基地局102は、以下でより詳細に説明するように、追跡ポリウム110内の1つ以上の追跡オブジェクトの位置および/または向きを特定するために、追跡ポリウム110内の光-電子センサによって検出できる2つの相互に直交する空間変調光ビーム104、105を時間変化的に生成する。

10

【0180】

位置追跡システム100が2つ以上の基地局102を備える場合、基地局102は、有線接続を介して、または無線で互いに同期して、それぞれの基地局102によって生成される全方向同期パルス103が異なる時間に放出されることを保証し、基地局102によって放出されたレーザービーム104、105が追跡ポリウム110にわたって互いに位相がずれるように掃引されることを保証し得、それにより、各基地局102からの各パルスおよび各レーザービーム104、105は、各センサによって個別に検出され得る。

20

【0181】

WO2016/077401A1に記載されているように、複数の基地局102からの同期パルス103および/または掃引レーザービーム104、105を互いに区別して、異なる基地局102からの信号および追跡ポリウム110内の任意の他の干渉光源からの信号の曖昧性を除去しやすくし得る。例えば、各基地局102からの同期パルス103および/または掃引ビーム104、105は、他の基地局(複数可)102とは異なる光波長または振幅変調周波数を有し得、または、それらは基地局識別データを符号化し得る。

【0182】

追跡ポリウム110内のオブジェクトの位置および/または向きは、オブジェクトに取り付けられた1つ以上のセンサ202を使用して決定することができる。オブジェクトが1つのセンサ202のみを有する場合、追跡ポリウム110内のオブジェクトの位置を定義するために2つ以上の基地局102が必要とされる。一方、オブジェクトに複数のセンサ202が提供されてオブジェクト上のセンサ202の相対位置が既知である場合、単一の基地局102で十分であり得る。

30

【0183】

本実施形態では、各センサ202は、図2に示すように、シリコンフォトダイオード204と、増幅器/検出器回路205とを備えるが、全方向同期パルス103の特性および追跡ポリウム110を掃引する空間変調光ビーム104、105の特性に応じて、当業者に知られている他の好適なセンサ202を採用し得る。

【0184】

各フォトダイオード204は、基地局102からの光がフォトダイオード204に入射するときにデジタルパルスを出力する光-デジタル変換器205に接続される。光-デジタル変換器205は、増幅器、離散エンベロープ検出器、および比較的少量のヒステリシスを伴う高速コンパレータを備え、これは、同期パルス103が入射するたび、または基地局102からの光ビーム104、105がセンサ202を掃引して通過するたびにデジタルパルスを送達する。デジタルパルスは、センサ202がパルス103またはビーム104、105によって照射される時間にわたり、それにより、基地局102に対するセンサ202の向きに関係なく、エッジ位置がパルスまたはビームの通過を正確に表すように回路が設計される。

40

【0185】

50

光 - デジタル変換器 205 によって生成されたデジタルパルスには、フィールドプログラマブルゲートアレイ (FPGA) 207 およびマイクロコントローラ 208 を使用してタイムスタンプが付され、以下に説明するように、追跡ボリューム 110 内のセンサ 202 の位置を算出するためのタイミングデータが生成される。

【0186】

追跡オブジェクトが複数のセンサ 202 を有する場合、図 3 に示すように、単一の FPGA 207 によって、センサ 202 のすべてから受信したデジタルパルスが受信され、タイムスタンプが付され、集約される。

【0187】

上記のように、各ビーム 104、105 内で方位データが符号化される実施形態では、光 - デジタル変換器 205 はさらに、ビームから復調された方位データを出力するためのデータ出力を備え得る。

10

【0188】

本実施形態で使用されるインサイドアウト位置追跡システムはしたがって、複数の基地局 102 と、基地局 102 によって放出される掃引レーザビーム 104、105 によって定義される追跡ボリューム 110 内の追跡対象オブジェクト上の少なくとも一つのセンサ 202 とを備える。

【0189】

FPGA 207 によって出力されるタイミングデータによって表されるように、基地局 102 によって発行される全方向同期パルス 103 と、基地局 102 からのビーム 104、105 のうちの一つがセンサ 202 を通過する時間との間の経過時間から、基地局 102 とセンサ 202 との間の角距離を算出することが可能である。センサ 202 と二つ以上の基地局 102 との間の角距離から、基地局 102 に対するセンサ 202 の位置を三角測量することが可能である。各基地局 102 によって放出される掃引ビーム 104、105 によって定義される直交平面内のセンサ 202 と二つ以上の基地局 102 との間の角距離を算出することにより、3次元における基地局 102 に対するセンサ 202 の位置を決定することが可能である。

20

【0190】

このように、インサイドアウト位置追跡システム 100 は、追跡ボリューム 110 内の任意の追跡オブジェクトの位置を定義できる内因性座標系を定義することが理解されよう。

30

【0191】

上記のように、追跡オブジェクトが複数のセンサ 202 を有する実施形態では、オブジェクト上の複数のセンサ 202 の相対位置が既知であれば、センサ 202 のそれぞれと一つの基地局 102 との間の角距離を三角測量することにより、追跡ボリューム 110 内のオブジェクトの位置決めは一つの基地局 102 のみを使用して達成できる。

【0192】

現実世界座標への位置追跡システムの較正

【0193】

本発明の重要な態様は、位置追跡システム 100 によって定義される内因性座標系を外因性現実世界 (現場) 座標に関連付けることを含む。上記のように、制御点 10a、10b、10c の位置は、現実世界座標系で既知である。追跡システム 100 はしたがって、図 1 に示すような単一のセンサ 202 を備える較正ツール 250 を手動で各制御点 10a、10b、10c に順に図 4 に示されるように移動させ、位置追跡システム 100 によって定義される内因性座標系における制御点 10a、10b、10c の場所を決定することにより、本発明の一つの実施形態に従って外因性座標系に較正され得る。制御点 10a、10b、10c の場所が内因性座標系と外因性現実世界座標系との両方で既知であると、追跡システム 100 の内因性座標系における座標を、外因性現実世界座標系における座標に、またはその逆に変換するための数学的変換を導出することができる。

40

【0194】

50

好適には、これらの較正ステップは、本発明による較正ソフトウェアがプログラムされたコンピュータ（図示せず）を使用して実行され得る。実行されると、較正ソフトウェアはコンピュータを動作させて、外因性現実世界座標系における制御点10a、10b、10cの位置を表す制御点位置データを受信し、各制御点10a、10b、10cに順に配置されたときの較正ツール250上のセンサ202からのタイミングデータに基づいて位置追跡システム100によって定義された内因性座標系における制御点の位置を表す制御点追跡データを受信し、内因性座標系および外因性座標系における制御点10a、10b、10cの位置を関連付けて座標系間の変換を生成する。

【0195】

較正ソフトウェアはしたがって、各制御点10a、10b、10cにて位置特定されたときに建設現場1にて基地局102からの空間変調光ビーム104、105にセンサ202が反応する時間を表すタイミングデータを受信および処理して、内因性座標系における制御点10a、10b、10cの位置を算出することが、コンピュータにより実行可能であるマシンコードを備え得る。

【0196】

図5Aは、本発明の異なる実施形態による、追跡システム100を現実世界座標に較正する代替方法を示す。

【0197】

図5Aでは、単一の制御点10が建設現場1の既知の点に位置している。上記のように、現実世界座標における制御点10の場所は、トータルステーションを使用して、従来の方法で建設現場1のまたは建設現場1に隣接する既知の場所の2つ以上の点から三角測量を行って、現場技術者により決定され得る。

【0198】

複数のセンサ202a、202b、202c...202nを備えたマルチセンサ較正ツール350は、制御点10に配置される。マルチセンサ較正の例は、図6に概略的に示される。分かるように、マルチセンサ較正ツール350は、ハンドル部分371を備える本体370、ハンドル部分371に対して角度が付けられた中間部分372、および平坦な端面375を備える取り付け部分374を備え、取り付け部分374には、較正ツール350を制御点10でオブジェクトに取り付けるために貫通する1つ以上の穴380が形成されている。

【0199】

図6に見られるように、センサ202a、202b、202c...202nは、ツール350の中間部分372上の離間した位置に設けられる。センサ202a、202b、202c...202nの相対位置は既知である。上記のように、追跡ボリューム110内のマルチセンサ較正ツール350の位置および向きは、複数センサ202a、202b、202c...202nによって生成されたタイミングデータから算出することができる。追跡ボリューム110内の較正ツール350の位置および向き、較正ツール350上のセンサ202a、202b、202c...202nの既知の相対的配置、および外因性現実世界座標における制御点10の既知の場所から、外因性現実世界座標系と内因性座標系との間の変換を算出できる。

【0200】

建設現場1の現実世界座標系および位置追跡システム100によって定義される内因性座標系間の変換を生成するためのさらに別の較正方法を、図5Bに示す。

【0201】

図5Bでは、上記の図1および図4に示されたのと同様に、建設現場1における既知の場所の3つの制御点10a、10b、10cがある。外因性現実世界座標における制御点10a、10b、10cの位置は、上記のように従来の測量技術を使用して既知である。

【0202】

ただし、図4および図5Aを参照して説明された実施形態とは異なり、図5Bでは、センサ202は、各制御点10a、10b、10cに恒久的に配置される。位置追跡システ

10

20

30

40

50

ム 1 0 0 によって定義される内因性座標系の制御点 1 0 a、1 0 b、1 0 c でのセンサ 2 0 2 の位置は、上記のように、各センサ 2 0 2 が各基地局 1 0 2 によって放出される同期パルス 1 0 3 および直交掃引ビーム 1 0 4、1 0 5 に反応したときを表す各制御点でのセンサ 2 0 2 によって生成されるタイミングデータを使用して各センサ 2 0 2 から各基地局 1 0 2 までの角距離を算出し、その角距離から各基地局 1 0 2 までの各センサ 2 0 2 の位置を三角測量することにより算出できる。制御点 1 0 a、1 0 b、1 0 c でのセンサ 2 0 2 の位置が、内因性座標系と外因性現実世界座標系との両方で既知であると、2 つの座標系間の好適な数学的変換を推定することができる。

#### 【 0 2 0 3 】

図 5 B に示された較正方法の利点は、センサ 2 0 2 を各制御点 1 0 a、1 0 b、1 0 c に恒久的に残すことができ、内因性座標系と外因性座標系との間の較正を定期的によりフレッシュできることである。

#### 【 0 2 0 4 】

セットアウトツール

#### 【 0 2 0 5 】

建物情報モデル ( B I M ) は従来、現実世界 ( 現場 ) 座標を使用してレイアウトされ、これは上記のように典型的には地理座標系を使用して表現される。図 7 は、単に例として、建設現場 1 で建設される建物 5 0 についての 3 次元 B I M モデルを示している。建物 5 0 は、外壁 5 1、5 2、5 3、5 4、屋根 5 5、およびその 1 つが 5 8 で示される内部パーティション 1 を有する。壁 5 2 のうちの 1 つは窓 6 1 を含むように設計されている。

#### 【 0 2 0 6 】

建設現場 1 をセットアウトする場合、建設現場 1 に関して、3 D の B I M モデルから 2 次元で作成された建設図面を解釈することが必要であり、それにより、建設図面に示されるさまざまなタスクが建設現場 1 の正しい場所で行われる。タスクは、適用される規制および/または許可に準拠し、タスクが意図したとおりに実行されることを保証し、タスクが他のタスクに関連して正しい場所で行われることを保証するように、できる限り正確に正しい場所で行われるべきである。上記のように、正しい場所で建設タスクを実行する際のエラーまたはミスは、建設図面に従うタスクの完了に遅れが生じ得、場合によっては追加費用が発生し得る。

#### 【 0 2 0 7 】

本発明によれば、建設現場 1 は、図 8 および図 9 に示される種類の携帯式セットアウトツール 4 0 0 を使用してセットアウトすることができ、これは、ハウジング 4 0 1 に取り付けられたプローブ 4 2 1 の先端に配置された単一の光 - 電子センサ 4 0 2 を備える。後述のようにセンサ 4 0 2 の位置を表示するために、フラットパネルディスプレイ 4 2 5 がハウジング 4 2 0 の前壁 4 0 3 に設置される。センサ 4 0 2 は、単一のフォトダイオード 4 0 4 と、上記の種類の光 - デジタル変換器 4 0 5 とを備える。

#### 【 0 2 0 8 】

図 9 に示すように、光 - デジタル変換器 4 0 5 は、変換器 4 0 6 から受信したデジタルパルスにタイムスタンプを付けるためのプロセッサ 4 0 8 により制御される F P G A 4 0 7 に接続されている。F P G A 4 0 7、プロセッサ 4 0 8、およびディスプレイ 4 2 5 は、ローカルバス 4 0 9 に接続され、ローカルバス 4 0 9 はまた、メモリデバイス 4 1 0、記憶デバイス 4 1 1、および例えば U S B ポートなどのデータ入出力デバイス 4 1 2 に接続される。セットアウトツール 4 0 0 のさまざまな電子部品は、再充電可能なバッテリー 4 1 3 により電力が供給され、バッテリー 4 1 3 は、必要に応じてバッテリー 4 1 3 を再充電するための電源に接続するための電源コネクタ 4 1 4 を有する。

#### 【 0 2 0 9 】

記憶デバイス 4 1 1 は、セットアウトツール 4 0 0 を動作させるためのマシン実行可能コードを含む。ツール 4 0 0 が動作するとき、マシン実行可能コードは、プロセッサ 4 0 8 によって実行可能であり、較正モードおよび使用時のセットアウトモードを提供する。

#### 【 0 2 1 0 】

10

20

30

40

50

## 較正モード

### 【0211】

較正モードでは、セットアウトツール400は、図4に関連して上述した較正ツール250と同様の方法で動作する。すなわち、較正モードのセットアウトツールを、建設現場1の現実世界座標における既知の場所の制御点10a、10b、10cに順次、移動させて、位置追跡システム100によって定義された内因性座標系における制御点10a、10b、10cの位置を特定し、2つの座標系間の数学的変換を導出し得、それをそして、以下に説明するそのセットアウトモードにおいてツール400が使用するためにセットアウトツール400の記憶デバイス411に保存することができる。

### 【0212】

図10は、較正モードでマイクロコントローラ408によって実行される一連の動作を示す。当業者は、これらの動作を実行するマシン実行可能コードを生成するためにコンパイルされ得るコンピュータプログラムを書くために使用され得る多数のコンピュータ言語に精通しているであろう。

### 【0213】

セットアウトツール400のスイッチを入れた後、ステップ452でユーザは較正モードまたはセットアウトモードを選択するよう促される。較正モードを開始すると、マシン動作可能コードは次に、ステップ454で、図4に示すような建設現場における既知の場所の第1の制御点10aについての現実世界地理座標系における座標を入力するようにユーザを促す。ユーザはそして、第1の制御点10aに移動し、センサ402をセットアウトツール400のプローブの先端におけるセンサ402を第1の制御点10aに正確に配置し、ステップ456でセットアウトツール400を動作させてセンサ402が正しく第1の制御点10aに配置されていることを示す。

### 【0214】

センサ402は、基地局102によって放出される全方向同期パルス103および掃引直交ビーム104、105を検出し、光-デジタル変換器405は、ステップ458でツール400内のFPGA407によってタイムスタンプが付された対応するデジタルパルスを生成する。

### 【0215】

FPGAからのタイミングデータに基づいて、ステップ460で、マイクロコントローラ408は、追跡システム100によって定義される内因性座標系におけるセンサ402の場所を決定する。内因性座標系における第1の制御点10aの場所は、ステップ462で記憶デバイス411に記憶される。

### 【0216】

ステップ464で、マイクロコントローラ408は、少なくとも3つの制御点の場所が取得されたかどうかをチェックする。3つ未満の制御点の場所が得られている場合、内因性座標系および外因性座標系の少なくとも3つの制御点の場所が記憶デバイス411に保存されるまでステップ454~462が繰り返される。本実施形態では、少なくとも3つの制御点の場所が必要であるが、いくつかの代替実施形態では、2つの制御点だけで十分であり得、その場合、内因性座標系および外因性座標系の少なくとも2つの制御点の場所が記憶デバイス411に保存されるまでステップ454~462が繰り返される。

### 【0217】

ステップ466において、内因性座標系における制御点の位置は、外因性現実世界座標系における制御点の対応する位置に関連しており、2つの座標系間の数学的変換が導出され、これはそして、ステップ468で記憶デバイス411に記憶される。ツール400はそして、較正モードを終了する(ステップ470)。

### 【0218】

## セットアウトモード

### 【0219】

ステップ501でセットアウトモードに入ると、図11に示すように、マイクロコント

10

20

30

40

50

ローラ 408 はまず、上記のように、較正モードで算出された数学的変換を記憶デバイス 411 からメモリ 410 にロードする (ステップ 502)。

【0220】

マイクロコントローラ 408 はそして、上記のように、FPGA 407 から受信したタイミングデータ (ステップ 503) が継続的に処理されて、位置追跡システム 100 によって定義される内因性座標系における追跡ボリューム 110 内のツール 400 の位置を決定する、連続「リスニング」モードで動作する (ステップ 504)。

【0221】

変換を使用して、内因性座標系における建設現場 1 の追跡ボリューム 110 内のツール 400 の位置、より正確にはツールのプローブの先端のフォトダイオード 404 の位置は、外因性現実世界座標系に変換される (ステップ 505)。

10

【0222】

マシンコードは、マイクロコントローラ 408 を制御して、フラットパネルディスプレイ 425 上の現実世界座標系におけるツール 400 の位置をリアルタイムで表示する (ステップ 506)。

【0223】

ユーザは、本発明の本実施形態によるセットアウトツール 400 を使用して、基準点の位置を特定すること、および/または、ツール 400 から現実世界座標におけるその位置が正確に知られている建設現場 1 の場所にマーカを建設図面に従って配置することによって、建設現場 1 をセットアウトできることを理解されたい。このようにして、建設図面にマークされる基準点は、現場技術者を建設現場 1 に呼び出して基準点の位置を特定させる必要なく、または、トータルステーションを使用してマーカを配置させる必要なく、建設現場 1 の現実世界にて位置特定されることができる。

20

【0224】

拡張現実ディスプレイを伴う安全帽

【0225】

別の実施形態では、本発明は、図 12 に示すように、安全帽 600 と拡張現実眼鏡 700 とを備える建設現場用のセットアウトツールを提供する。

【0226】

安全帽 600 は、以下により詳細に説明するように、複数のセンサ 602 a、602 b、602 c ... 602 n および関連する電子回路を備えた本質的に従来型の構造の建設ヘルメット 601 を備え、図 1 に関連して上述したように、建設現場 1 にセットアップされたインサイドアウト位置追跡システム 100 によって定義される追跡ボリューム 110 内の安全帽 600 の位置を追跡する。

30

【0227】

本実施形態では、ヘルメット 601 は、32 個のセンサ 602 a、602 b、602 c ... 602 n を備え、ここで  $n = 32$  であるが、センサの数は本発明に従って変え得ることが理解されよう。好適には、ヘルメット 601 は、ヘルメット 601 の外面全体に分布する 20 ~ 32 個のセンサを有し得るが、安全帽 600 の位置および向きを追跡するには少なくとも 5 個のセンサが必要である。

40

【0228】

図 13 に最もよく示されているように、各センサ 602 a、602 b、602 c ... 602 n は、赤外光に敏感なフォトダイオード 604 a、604 b、604 c ... 604 n と、図 2、図 3 および図 9 に関して上述した種類の関連する光 - デジタル変換器 605 a、605 b、605 c ... 605 n とを備える。好適には、フォトダイオード 604 a、604 b、604 c ... 604 n は、フォトダイオードへの損傷を避けるためにヘルメット 601 の外面に形成された凹部内に配置される。

【0229】

光 - デジタル変換器 605 a、605 b、605 c ... 605 n から受信したデジタルパルスは、ローカルデータバス 609 によりプロセッサ 608 に接続された FPGA 607

50

によりタイムスタンプが付され、集約される。ローカルバス609はまた、メモリデバイス610、記憶デバイス611、例えばUSBポートなどのドックコネクタ615を有する入出力デバイス612、および、1つ以上の加速度計と1つ以上のジャイロ스코ープとの組み合わせを備える仮想現実および拡張現実ヘッドセットに見られる種類の慣性測定ユニット(IMU)618に接続される。典型的なIMUは、ピッチ、ロール、ヨーモードごとに1つの加速度計と1つのジャイロ스코ープとを備えている。

#### 【0230】

安全帽600の電子部品は、充電式バッテリーユニット613により電力供給される。バッテリーユニット613を再充電のために電源に接続するために、電源コネクタソケット614が提供される。

10

#### 【0231】

好適には、安全帽600の電子部品は、ヘルメット601に形成された保護された空洞625内に収容される。

#### 【0232】

上述したように、安全帽600は、ヘルメット601の内部に吊り下げバンドを有して、安全帽600の重量、ならびに頭の上部にわたる任意の衝撃の力を分散させ得る。図12に示すように、ヘルメット601は、突出つば619を備え、任意選択的に、イヤープロテクタ、後部視界を広げるためのミラー、ヘッドランプまたはフラッシュライトの取り付け部、ヘルメット601が脱落しないようにするあごひも、頭の側面を保温する断熱サイドパッド、ならびに/または、着色作業員識別用および/もしくは高視認性夜間再帰反射用のつば619周りに伸ばされるバンドを取り付けられ得る。

20

#### 【0233】

有利なことに本実施形態では、ヘルメットは、建設現場1でのユーザの目を保護するだけでなく、ゴーグル620の内側に取り付けられた拡張現実眼鏡700を保護するのに役立つ安全ゴーグル620を備える。図12に示されるように、ゴーグル620は、ゴーグル620をある程度、保護するために、つば619のわずかに後ろに凹むようにヘルメット601に取り付けられている。拡張現実眼鏡700自体が頑丈で建設用とされている実施形態においては、安全ゴーグル620が省略され得ることが理解されるであろう。他の実施形態では、ヘルメット601は安全パイザを備え得る。

#### 【0234】

拡張現実眼鏡700は、図12に示されるように、2つのテンプルアーム722の間に取り付けられた成形されて透明な(光学的に透明な)プレート720を備える。本実施形態では、拡張現実眼鏡700は、センサ602a、602b、602c...602nに対して図12に示すような「使用中」位置にしっかりと固定されて、上記のように安全ゴーグル620の背後に配置されるように安全帽600に取り付けられる。拡張現実眼鏡700は、いくつかの実施形態では、安全帽600から取り外し可能であり得、または、例えば安全帽600とテンプルアーム722との間のヒンジによって、使用中位置から、ユーザの目の前からそれらを取り外す「非使用」位置(図示せず)に、選択的に移動可能であり得る。

30

#### 【0235】

本実施形態では、透明プレート720は、ユーザの目の前に位置するように構成され、ユーザの右目および左目のそれぞれの前に配置されるように構成された2つの目領域723a、723bと、相互接続ブリッジ領域724とを備える。

40

#### 【0236】

目領域723a、723bのそれぞれに取り付けられる、または組み込まれるのは、以下に説明するように、拡張現実メディアコンテンツをユーザに表示しつつ、自身の現実世界環境を眼鏡700を通してユーザが見ることを可能にするそれぞれの透明または半透明のディスプレイデバイス725a、725bである。拡張現実眼鏡700はまた、各ディスプレイデバイス725a、725bによって表示される画像を見るために、各ディスプレイデバイス725a、725bの後ろに配置されたレンズ(図示せず)も備える。いく

50

つかの実施形態では、レンズは、各ディスプレイデバイス725 a、725 bにより表示される画像が無遠に位置するようにユーザに見えるようにコリメートレンズであり得る。いくつかの実施形態では、レンズは、各ディスプレイデバイス725 a、725 bによって表示される画像が、無限遠よりも近い拡張現実眼鏡700の前の焦点距離に見えるように、ディスプレイデバイス725 a、725 bによって放出される光線を発散させるように構成され得る。本実施形態では、レンズは、ディスプレイデバイス725 a、725 bによって表示される画像がユーザの前方8 mの焦点距離に位置するように見えるように、ディスプレイデバイス725 a、725 bとともに構成および配置される。

#### 【0237】

各目領域723 a、723 b内で、透明プレート720は、安全帽600が装着されているときのユーザの目の位置を追跡するためのそれぞれの視線追跡デバイス728 a、728 bを担持する。特に、視線追跡デバイス728 a、728 bのそれぞれは、使用中のユーザの目に対する拡張現実眼鏡700の動きを検出する目的で、ユーザのそれぞれの目の瞳孔の中心の位置を検出し、ユーザの頭部に対する拡張現実眼鏡700の位置に関するディスプレイ位置データを生成および出力するように構成される。当業者は、US 9 754 441 B 2に開示されている種類の光学センサ、およびUS 2 013 / 0235 169 A 1に開示されている種類の位置取得ユニットを含む、使用中のユーザの頭部に対する拡張現実眼鏡700の位置を追跡するための多数の他の解決策を知っているであろう。ユーザの頭部に対する拡張現実眼鏡700の動きを監視することは重要であり、それは、特にユーザが身体活動を行っている場合、使用中のユーザの頭部に対して安全帽600が移動し得るからである。安全帽600は、振動、衝動、またはユーザによる他の種類の動きの結果として、ユーザの頭部の上で滑り得る。本実施形態では、2つの視線追跡デバイス728 a、728 bが設けられ、それぞれがユーザの眼のそれぞれに関連付けられるが、他の実施形態では、1つの眼に関連付けられる単一の視線追跡デバイスを採用し得る。

#### 【0238】

図13を参照すると、透明ディスプレイデバイス725 a、725 bおよび視線追跡デバイス728 a、728 bは、プロセッサ708、メモリユニット710、記憶デバイス711、ドックコネクタ715を伴う入出力デバイス712、およびWi-Fiマイクロコントローラ716と相互接続するためにローカルデータバス709に接続される。電子部品の電力は、バッテリーユニット713を再充電用の電源に接続するための電源コネクタソケット714に接続された再充電可能なバッテリーユニット713によって提供される。他の実施形態では、安全帽600と眼鏡700との両方に単一の電源コネクタソケットを提供し得、いくつかの実施形態では、位置追跡回路および拡張現実ディスプレイ回路に電力を供給するために単一の充電式バッテリーユニットを提供し得る。

#### 【0239】

安全帽600上のドックコネクタ615は、眼鏡700のドックコネクタ715に接続され、安全帽600から眼鏡700に追跡データを提供する。

#### 【0240】

安全帽600の記憶デバイス611は、安全帽600の動作を制御するためにプロセッサ608によって処理できるコンピュータ実行可能マシンコードを含む。上記の携帯セットアウトツール400と同様に、当業者は、安全帽600を図14のフローチャートに従って動作させるマシンコードを生成するためにコンパイル可能なソフトウェアを書くために採用され得る多数のコンピュータプログラミング言語に精通しているであろう。

#### 【0241】

図14のステップ650で安全帽600の電源を入れると、プロセッサ608は、記憶デバイス611にアクセスして、プロセッサ608による実行のためにマシンコードをメモリユニット610にロードする。FPGA607によって出力される集約されたタイムスタンプ付きデジタルパルスは、ステップ651でマシンコードに従ってプロセッサ608によって受信および処理され、図1～図11に関して説明したように、全方向赤外線同期パルス103を放出し、建設現場1にわたって赤外光104、105の直交ビームを掃

10

20

30

40

50

引する建設現場1の1つ以上の基地局102に関して、安全帽600の初期位置および向きを決定する。

【0242】

ヘルメット601の表面上のフォトダイオード604a、604b、604c...604nは、同期パルス103および掃引ビーム104、105に反応し、光-デジタル変換器605a、605b、605c...605nによって生成されたデジタルパルスは、タイムスタンプが付され、FPGA607によって集約される。基地局102のうちの1つによって放出された同期パルス103と、フォトダイオード604a、604b、604c...604nのうちの1つに入射する1つの基地局からの掃引ビーム104、105の時間との間の経過時間を使用して、1つの基地局102への1つのフォトダイオードの角距離を決定することができる。基地局102からの掃引ビーム104、105によって作成された追跡ボリューム110内の1つのフォトダイオード604a、604b、604c...604nの位置は、上記のように、複数の基地局102までの1つのフォトダイオードの角距離を三角測量することにより、追跡システムにより定義された内因性座標系で算出することができる。安全帽600の向きは、基地局102に対するすべてのフォトダイオード604a、604b、604c...604nの位置から算出することができる。

10

【0243】

参照符号652によって図14に示すように、安全帽600の初期位置および向きを表す追跡データは、ドッキングコネクタ615にて入出力デバイス612を介して安全帽600から出力され、以下で説明するように拡張現実眼鏡700に送信される。

20

【0244】

安全帽600のその後の位置追跡は、主にIMUデバイス618を使用して実行され、IMUデバイス618は、サンプリングレートが1000Hzで、報告レートは500Hzである。滑らかな拡張現実表示を達成するのに安全帽600の位置追跡が十分に迅速であれば、本発明の他の実施形態では異なるサンプリングおよび報告レートを使用し得ることを当業者は理解するであろう。

【0245】

したがって、ステップ653で、建設現場1上の安全帽600の位置および向きは、IMUデバイス618から受信したIMUデータを処理することによって追跡され、更新された追跡データは、上記の参照符号654によって示されるように出力される。

30

【0246】

当技術分野では、エラーの二重積分によるIMUのドリフトが知られている。ドリフトは毎秒メートルのオーダーである。本実施例の安全帽600では、FPGA607によって出力されるタイミングデータから導出される、より正確な位置および向きの情報を使用して、IMUデバイス618によって生成される追跡データのエラーが周期的にスケルチされる。

【0247】

上記のように、本実施形態の各基地局102からのビーム104、105は、60Hzの周波数で建設現場1にわたって掃引される。ステップ655において、プロセッサ608は、更新されたタイミングデータについてFPGA607をポーリングする。更新されたタイミングデータは毎秒60回、利用可能であり、上記で説明したように、基地局102に対する安全帽600の位置および向きを決定するためにステップ656で処理されることが理解されよう。参照符号657によって示されるように、補正された追跡データは、安全帽から眼鏡700に出力される。このように、IMUデバイス618によって生成される追跡データは、FPGA607によって出力されるタイミングデータから導出される追跡データと融合される。

40

【0248】

眼鏡700の記憶デバイス711は、眼鏡700の動作を制御するためにプロセッサ708によって処理することができるコンピュータ実行可能マシンコードを含む。上記のように、当業者は、眼鏡700を図15のフローチャートに従って動作させるマシンコード

50

を生成するようコンパイルできるソフトウェアを書くために採用され得る多くのコンピュータプログラミング言語に精通しているであろう。

【0249】

さらに、記憶デバイス711は、追跡システム100の内因性座標系で定義される基地局102によって定義される追跡ボリューム110内の安全帽600の位置および向きを、外因性現実世界座標系に変換するための数学的変換を保存する。変換は、図4、図5Aまたは図5Bおよび/または図6もしくは図10に関連して上述した方法および/または装置のいずれかを使用して、本発明に従って取得し得る。変換は、I/Oデバイス712を介して、またはWi-Fiマイクロコントローラ716を介して無線で眼鏡700に入力され、記憶デバイス711に保存され得る。

10

【0250】

記憶デバイス711はまた、例えば、図7を参照して上述したBIMモデルなどの建物情報モデルを表すモデルデータも保存する。上記のように、BIMモデルは外因性現実世界座標で定義される。変換と同様に、BIMモデルデータは、I/Oデバイス712を介して、またはWi-Fiマイクロコントローラ716を介して無線で眼鏡700に入力され得る。好適には、BIMモデルデータは、インターネットを介してリモートサーバからダウンロードされ得る。

【0251】

記憶デバイス711はまた、ディスプレイ725a、725bによって表示される画像がユーザの前に配置される焦点距離を含む、拡張現実眼鏡700のさまざまな物理的および/または光学的特性を表すディスプレイデータも保存する。

20

【0252】

図15のステップ750で眼鏡700の電源を入れると、プロセッサ708は、記憶デバイス711にアクセスして、プロセッサ708による処理のためにマシンコードをメモリデバイス710にロードする。ステップ751および752のそれぞれにおいて、プロセッサ708はマシンコードを実行して、変換、BIMモデルデータおよび記憶デバイス711からのディスプレイデータを取得し、それらをメモリユニット710にロードする。

【0253】

マシンコードは、外因性座標系で定義されるBIMモデルの座標を、記憶デバイス711から取得された数学的変換を使用して追跡システム100が利用する内因性座標系に変換することが、プロセッサ708によって実行可能なモデル位置決めモジュールを含む。ステップ753ではしたがって、モデルデータは、変換を使用して処理され、BIMモデルを正しく配置および方向付けし、図16に概略的に示すように、内因性座標系にてスケールリングする。

30

【0254】

マシンコードはさらに、安全帽および眼鏡のゴーグル620および透明プレート720を通して見た建設現場1の直接図に重ねられた、コンテキスト内の透明ディスプレイデバイス725a、725bに表示するための建物情報モデルの立体仮想3D画像をレンダリングすることが、プロセッサ708によって実行可能な画像レンダリングモジュールを含む。BIMモデルの仮想3D画像は、変換されたモデルデータ、ディスプレイデータ、安全帽600から受信した追跡データ652、654、657、および視線追跡デバイス728a、728bから受信したディスプレイ位置データに基づいてレンダリングされ、建設現場1上の安全帽600の位置に対して、およびユーザの頭部に対する安全帽600、特にユーザの目に対する拡張現実眼鏡700の位置に対して正しいコンテキストでモデルの画像を表示する。

40

【0255】

BIMモデルの仮想3D画像は、当業者に知られているように、ラスタ化、光線追跡または経路追跡を使用してレンダリングされ得、少なくとも30Hz、好ましくは60Hzのフレームレートでステップ755で透明ディスプレイ725a、725bに出力される

50

。本実施例では、BIMモデルの合成画像は、90Hzのフレームレートでリフレッシュされる。90Hzのフレームレートでは、上記のように500Hzの報告レートを有するIMU618からの出力に基づく追跡データを使用する必要があるが、これはヘルメット601上のセンサ602a、602b、602c...602nからのタイミングデータを使用して60Hzの周波数で修正されることが理解されるであろう。ビーム104、105のより速いスキャンレートが使用される実施形態では、IMU618を省いて、センサから受信したタイミングデータのみに基づいて追跡データを作成することが可能であり得る。

#### 【0256】

図17に示されるように、BIMモデルの選択された部分のみがユーザ2a、2bに表示され得る。例として、図17に示されるユーザ2aには、建設現場1で建設される建物情報モデルによって表される建物50の内部パーティション58が示されている。有利には、本発明の方法および装置を使用して、パーティション58の仮想3D画像は、建設現場1において正しい位置および向きで正しいスケールでユーザに示されている。同様に、図17におけるユーザ2bには、建設現場1で建設される壁52および窓61が示されている。

10

#### 【0257】

このように、本発明の安全帽600および拡張現実眼鏡700は、トータルステーションを使用して位置特定された基準点を物理的に墨出しすることなく建設現場1をセットアウトすることを可能にする。代わりに、建設現場1は、コンテキストにおいて建設現場1で実行されるタスクを正しい場所および向きでユーザに表示することによりセットアウトされることができる。本実施形態において、実行されるべきタスクは、図7に示される建物50の建設であり、個々のサブタスクは、窓61を伴う壁52を建設し、内部パーティション58を建設することを含む。しかし、他の実施形態では、グラフィカルに示すことができる実行されるべき任意のタスクは、拡張現実眼鏡700において仮想形式で表示され得る。例えば、眼鏡700において仮想形式で表示され得る他のタスクには、溝を掘るべき場所、敷設または切断されるべきパイプ、オブジェクトを作成するための、たとえばケーブルまたはパイプへのアクセスを提供するための1つ以上の穴などが含まれる。

20

#### 【0258】

本発明の方法は、単一のユーザに限定されないことが理解されよう。いくつかの実施形態では、例えば建設現場1などの建設現場の複数の作業員メンバに、上記のような安全帽600および拡張現実眼鏡700を装備させ得る。各ユーザの眼鏡700は、同じ数学的変換を使用して較正され、各ユーザには、それぞれの安全帽600におけるセンサ602a、602b、602c...602nを伴う追跡システム100を使用して決定された建設現場1上のそれぞれの位置に基づいて、建物情報モデルの一部の個々の仮想画像が表示される。

30

#### 【0259】

図5Bを参照して上述したように、変換が継続的に更新される実施形態では、変換は、例えば眼鏡700の各セット内のWiFiマイクロコントローラを使用して、すべてのユーザに同時にブロードキャストされることができる。

40

#### 【0260】

上記のように、安全帽600の位置は、建設現場1にセットアップされた基地局102に対するセンサ602a、602b、602c...602nの位置から導出される。BIMモデルの仮想画像が眼鏡700の透明ディスプレイ725a、725bに表示されるので、安全帽に対するディスプレイ725a、725bの変位を考慮するためにいくらかの修正を行わなければならない。これは、眼鏡700が上記のように安全帽600にしっかりと固定される場合には容易である。しかし、いくつかの実施形態では、眼鏡700のマシンコードは、眼鏡700が安全帽600に対して正しく配置されることを保証するための位置合わせモジュールを含み得る。この目的のために、その内容が参照により本明細書に組み込まれるUS2017/0090203A1に開示された位置合わせ方法が、使用さ

50

れ得る。他の好適な位置合わせ方法も、当業者には明らかであろう。

【0261】

同様に、透明プレート720またはディスプレイ725a、725bによって作成された任意の視覚的人工物を考慮するために調整が必要になり得る。例えば、透明プレート720が、目領域723a、723bが近づく、または、透明プレート720を通して見たときの建設現場1の直接画像を補正するためのレンズを含むような形状である場合、ディスプレイ725a、725bでBIMモデルの合成画像をレンダリングする際にディスプレイデータに基づいて何らかの補正がこれについて必要になり得る。

【0262】

上記のように、本発明によれば、(図19および図20の参照符号1910で示される)仮想カメラ、したがってディスプレイ725a、725bでユーザに表示される仮想画像の位置が、ユーザの頭部の安全帽600の任意の動きを考慮して好適に調整されることを保証するために、ユーザの頭部に対する拡張現実眼鏡700の位置を追跡することが重要である。これは、図18~図20に概略的に示されている。

10

【0263】

図18は、例としてディスプレイ725aのうちの1つに表示される仮想画像1801を示す。純粹に例示目的のために、仮想画像1801は、木1802と人1803とを含む。図18では、ディスプレイ725aは、仮想画像1801が拡張現実眼鏡700によってオーバーレイされる現実世界に対するその正しい場所にそれが現れるように、ユーザの目に対して正しく中央に配置される。本発明のコンテキストにおいて、BIMモデルが、特定の建設タスクが実行される場所をユーザに正確に示すために、建設現場1に対してその正しい位置および向きで表示されることが重要であることが理解されよう。

20

【0264】

使用中、安全帽600は、ユーザの頭部に対して移動しやすいことが理解されよう。これは、例えば建設タスクなどの身体活動を実行する際のユーザの身体運動の結果であり得る。例えば、ユーザは、自身が実行しているさまざまな建設タスクによって、自身の体を介して伝達される衝動または振動にさらされ得、その結果、ユーザの頭部に対する安全帽600の滑りが生じ得る。図19に示すように、以下で説明する仮想画像の対応する調整なしでのユーザの目1905に対するディスプレイ725aの移動があると、仮想カメラ1910がユーザの目1905ともはや整列しないような仮想カメラ1910の変位がもたらされ、その結果、仮想画像1801は、ユーザがディスプレイ725aを通して見ることができ現実世界に対して不正確な位置に表示されるであろう。図19において、参照符号1801は、ユーザの頭部に対する安全帽600の動きにより、ユーザに対して誤って表示される仮想画像の位置を示し、参照符号1901は、現実世界に対する仮想画像の正しい位置を示す。

30

【0265】

使用中のユーザの頭部に対する安全帽600の動きを補償するために、視線追跡デバイス728a、728bを使用して、ユーザの頭部に対する安全帽600の位置が監視される。視線追跡デバイス728a、728bは、ユーザの頭部に対する安全帽600の位置、より具体的にはユーザの目1905に対する拡張現実眼鏡700の位置を示す上記のディスプレイ位置データを生成する。このディスプレイ位置データは、ディスプレイデータおよび追跡データ652、654、657を用いてプロセッサ708によって処理され、実効的に仮想カメラ1910をユーザの目1905に位置合わせしたままとすることにより図20に示すように建設現場に対してその正しい位置にBIMモデルの仮想画像をレンダリングする。

40

【0266】

このプロセスは、図21に概略的に示され、図21は、内因性座標系での安全帽600からのヘッドセット追跡データ2104、視線追跡デバイス728a、728bによって生成されたディスプレイ位置データ2106、および拡張現実眼鏡700の物理的/光学的特性を表すディスプレイデータ2110を融合し、拡張現実眼鏡700による表示のた

50

めに、座標変換エンジン 2 1 0 8 によって内因性座標系で定義される B I M モデルの仮想画像を生成する、本発明による電子制御システム 2 1 0 2 による処理を示す。このように、本発明の本実施形態は、建設現場 1 に対する B I M モデルの仮想画像を約 3 mm またはそれより良好な精度で表示すると同時に、拡張現実ディスプレイシステムに対して内因性の仮想カメラをユーザの目との適切な位置合わせ状態に維持し、現実世界と仮想画像との間の視差を回避することを目的とする。

【 0 2 6 7 】

本発明のヘッドセットは、例えば mm の精度で、実行される建設タスクを表して B I M モデルの仮想画像を建設現場の作業員に表示しようとすることを当業者は理解するであろう。仮想画像を、B I M モデルで定義された建設現場で、作業員に対するコンテキストでその正しい位置および向きに表示できる。位置追跡システムの内因性追跡座標系と外因性現実世界座標系との間の座標変換により、B I M モデルを適切なコンテキストで作業員に表示できる。実施形態に従ってユーザの頭部に対する拡張現実ディスプレイの位置を検出するために視線追跡または他の方法を使用することにより、現場作業員が行う肉体労働などの身体活動によるディスプレイの小さな動きまたは向きの変化が考慮され得、仮想モデルは B I M モデルで定義されたその正しい場所にとどまり得る。

10

20

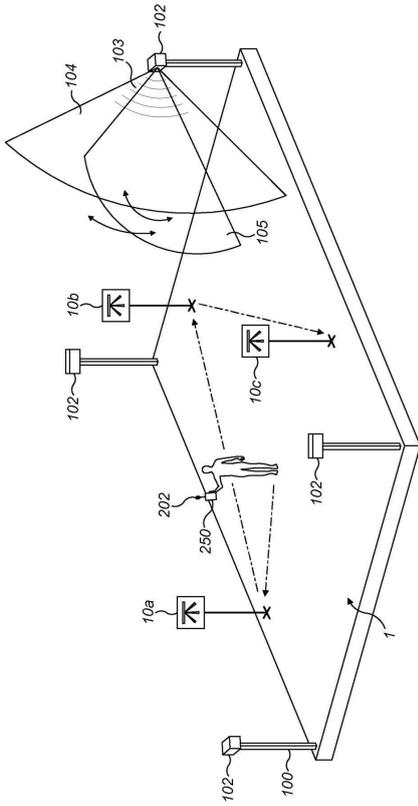
30

40

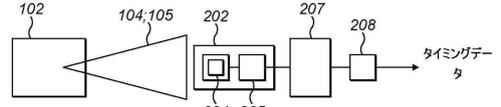
50

【図面】

【図 1】



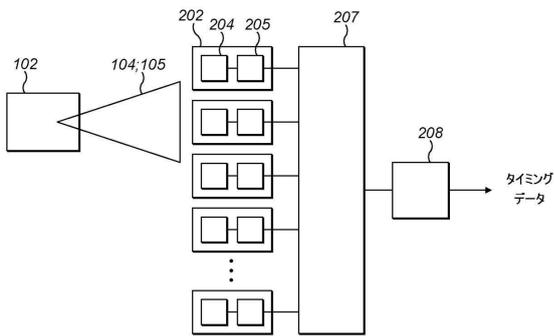
【図 2】



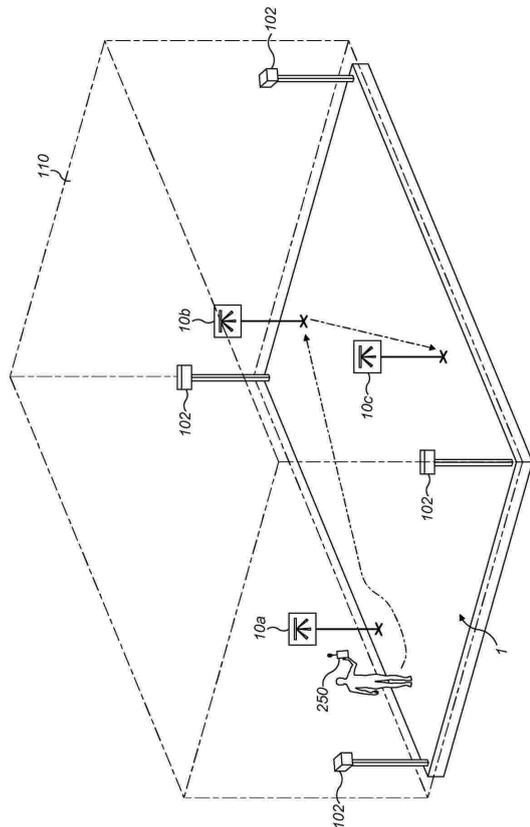
10

20

【図 3】



【図 4】

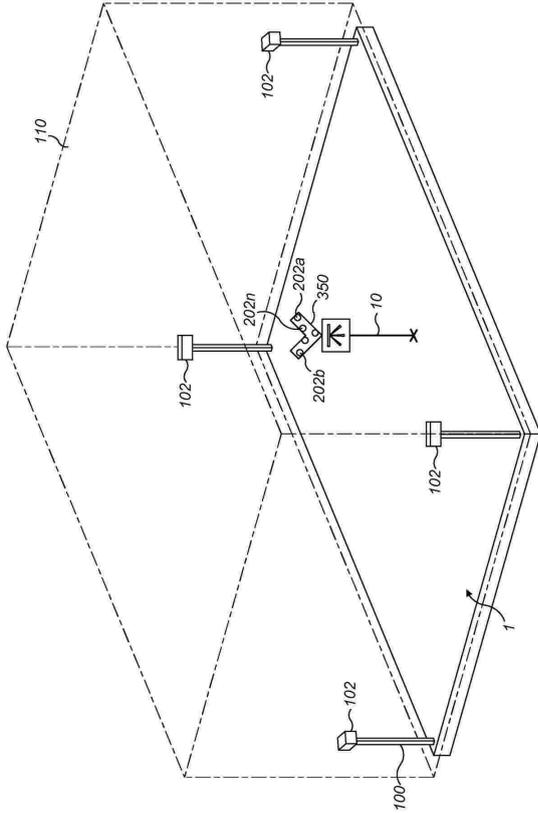


30

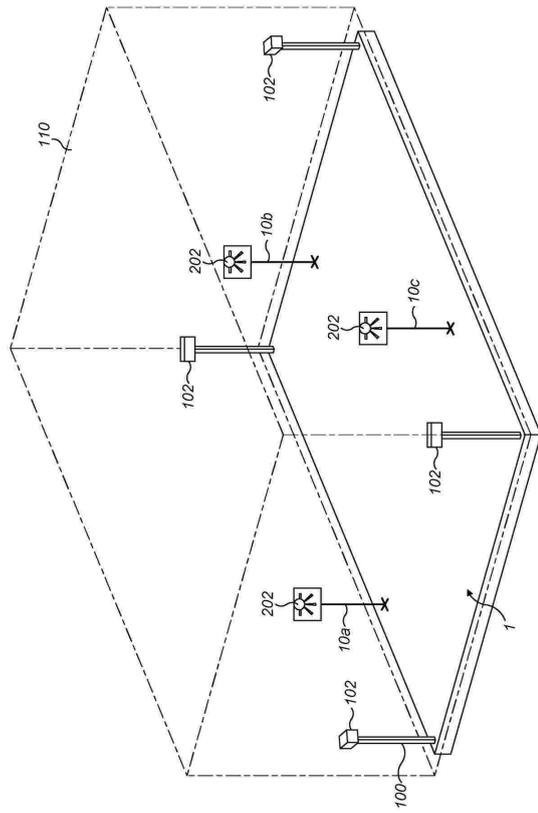
40

50

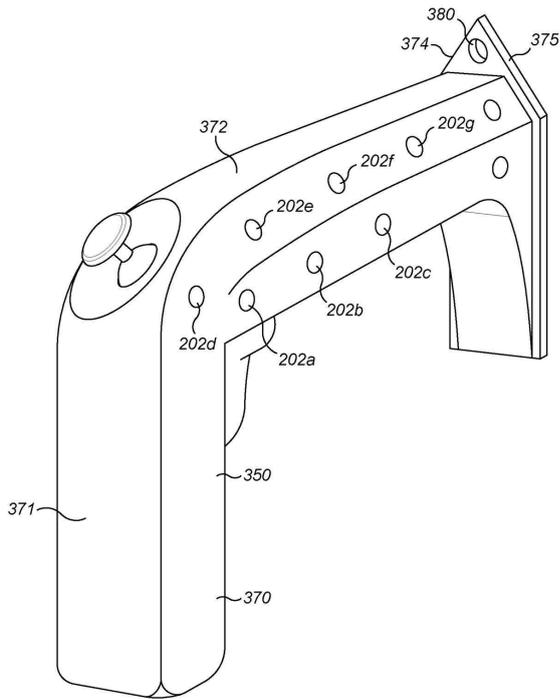
【図 5 A】



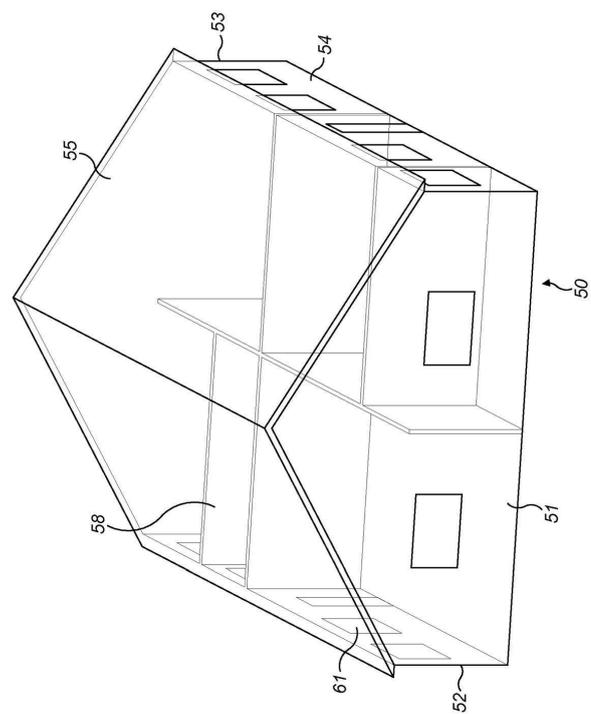
【図 5 B】



【図 6】



【図 7】



10

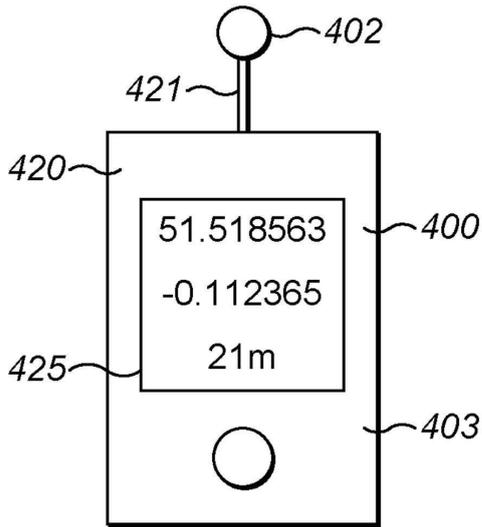
20

30

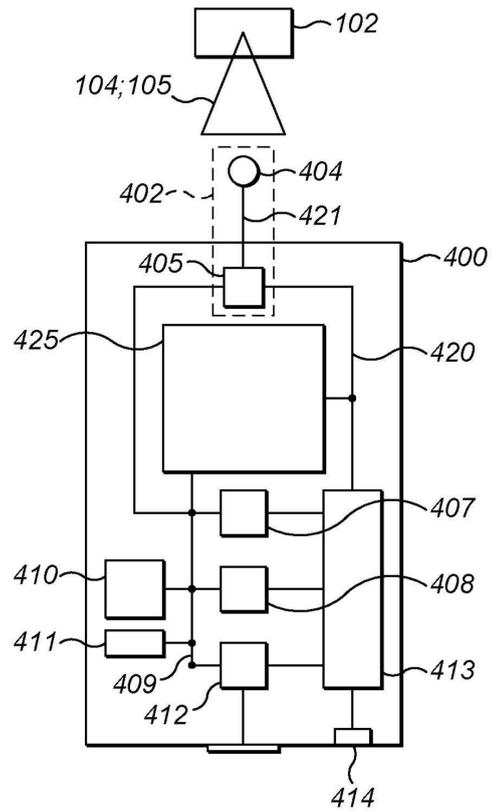
40

50

【図8】



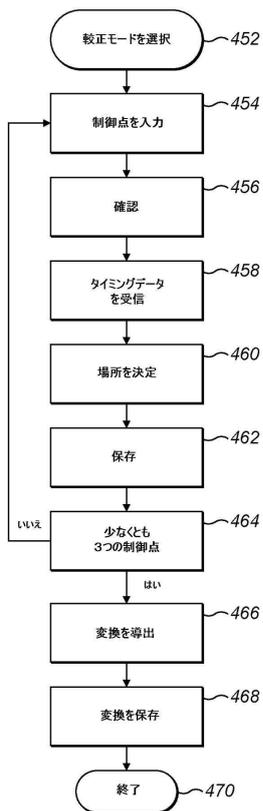
【図9】



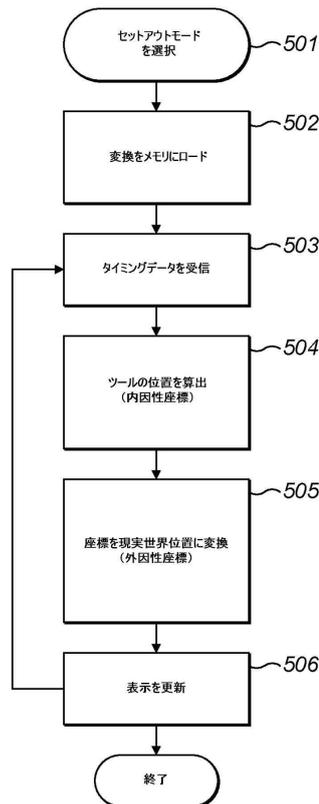
10

20

【図10】



【図11】

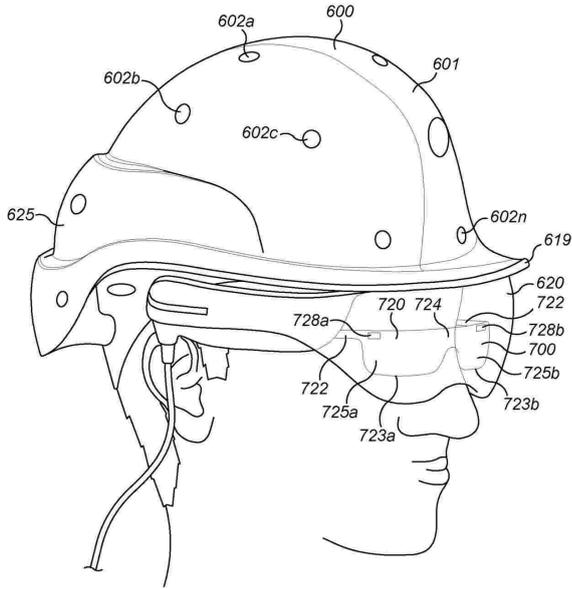


30

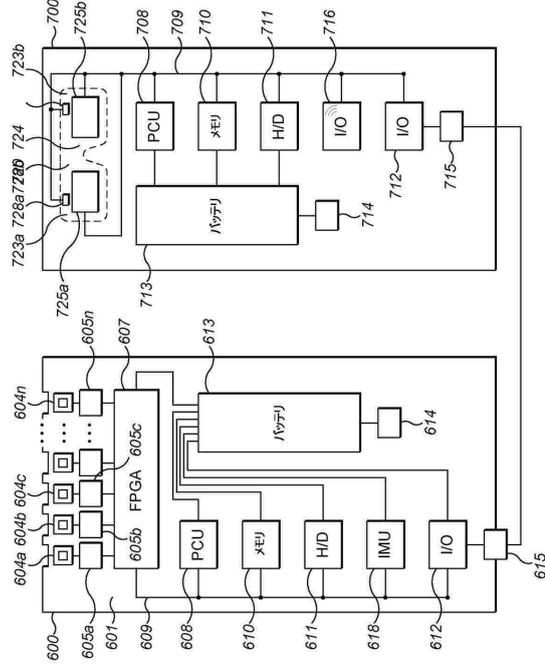
40

50

【図12】



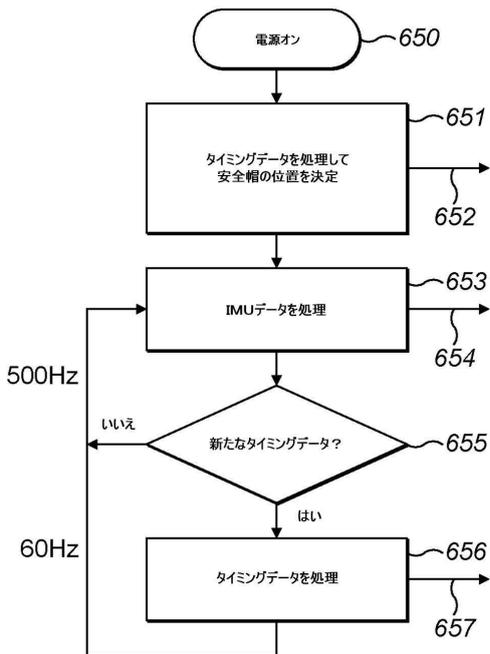
【図13】



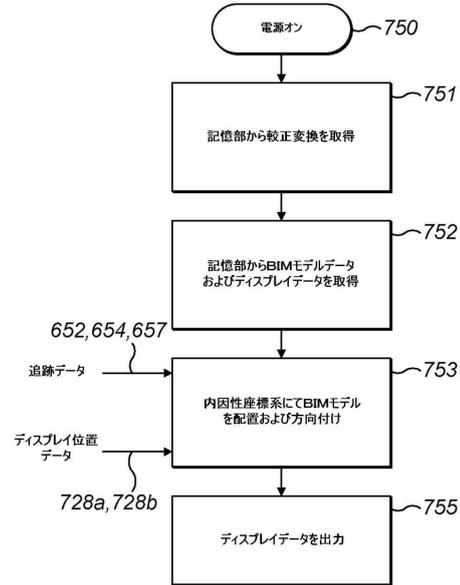
10

20

【図14】



【図15】

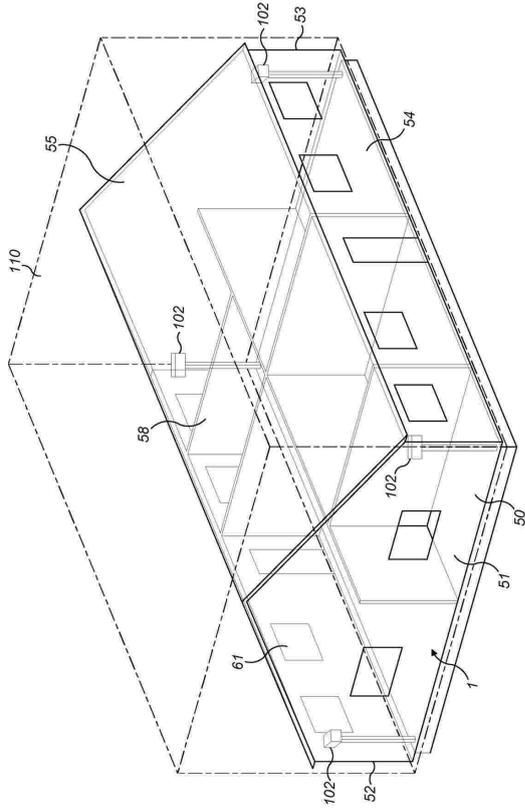


30

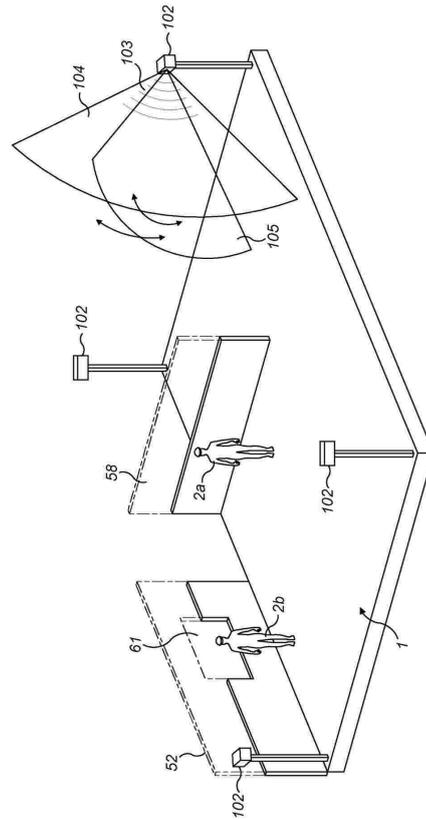
40

50

【 図 1 6 】



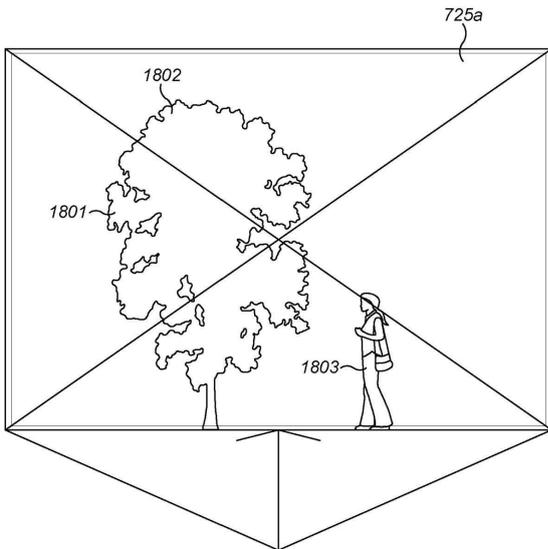
【 図 1 7 】



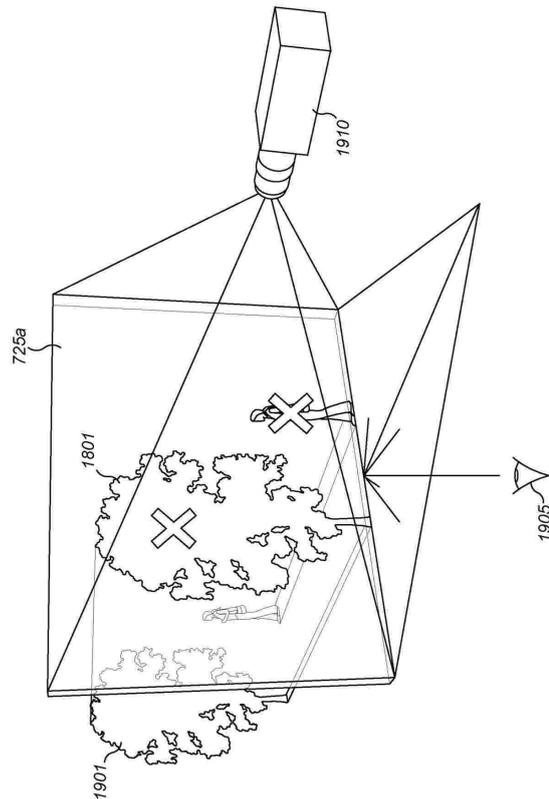
10

20

【 図 1 8 】



【 図 1 9 】

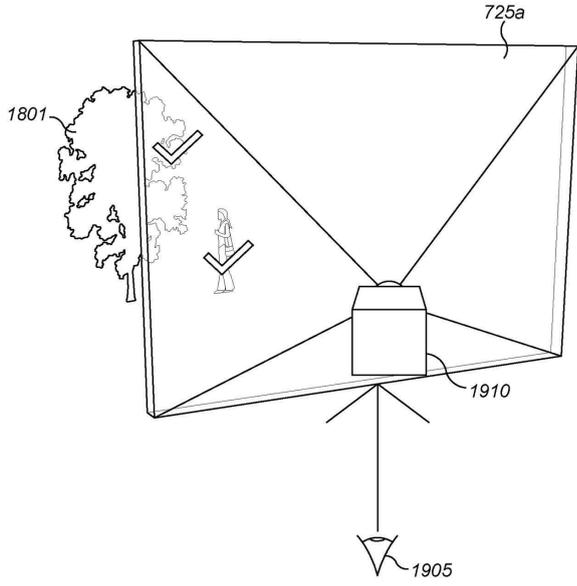


30

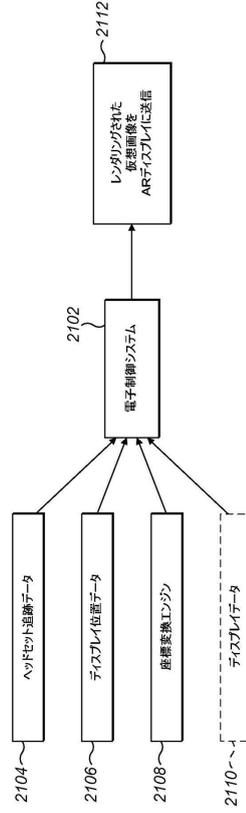
40

50

【図 20】



【図 21】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

**G 0 9 G 5/37 (2006.01)**

F I

G 0 9 G	5/00	5 1 0 A
G 0 9 G	5/00	5 5 0 C
G 0 9 G	5/00	5 3 0 H
G 0 9 G	5/37	3 0 0
G 0 9 G	5/00	X

イギリス国 グレーター・ロンドン エイチエー２ ０ディービー ハーロウ, ジョリーズ・レーン  
 , アプガー・コテージ

審査官 滝谷 亮一

(56)参考文献

米国特許出願公開第 2 0 1 6 / 0 2 9 2 9 1 8 ( U S , A 1 )

国際公開第 2 0 1 6 / 0 7 7 4 0 1 ( W O , A 1 )

国際公開第 2 0 1 6 / 0 1 7 2 5 3 ( W O , A 1 )

国際公開第 2 0 1 5 / 0 9 8 8 0 7 ( W O , A 1 )

特開 2 0 0 0 - 1 5 5 8 5 5 ( J P , A )

特開 2 0 0 6 - 2 5 2 4 6 8 ( J P , A )

米国特許出願公開第 2 0 1 4 / 0 1 6 8 2 6 4 ( U S , A 1 )

米国特許出願公開第 2 0 0 3 / 0 0 1 4 2 1 2 ( U S , A 1 )

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)

G 0 6 F 3 / 0 1

G 0 6 F 3 / 0 3 4 6

G 0 6 F 3 / 0 4 8 1 5

G 0 6 T 1 9 / 0 0

G 0 9 G 5 / 0 0

G 0 9 G 5 / 3 7