

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2012-509464
(P2012-509464A)

(43) 公表日 平成24年4月19日(2012.4.19)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO1C 15/00 (2006.01)	GO1C 15/00 103D	5J084
GO1S 17/06 (2006.01)	GO1S 17/06	
GO1C 15/06 (2006.01)	GO1C 15/00 103A	
	GO1C 15/06 T	

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 38 頁)

(21) 出願番号 特願2011-536593 (P2011-536593)
 (86) (22) 出願日 平成21年11月17日(2009.11.17)
 (85) 翻訳文提出日 平成23年5月12日(2011.5.12)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2009/064758
 (87) 国際公開番号 W02010/057169
 (87) 国際公開日 平成22年5月20日(2010.5.20)
 (31) 優先権主張番号 61/115,136
 (32) 優先日 平成20年11月17日(2008.11.17)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 598064510
 ファロ テクノロジーズ インコーポレー
 テッド
 アメリカ合衆国 フロリダ州 レイク メ
 リー テクノロジー パーク 125
 (74) 代理人 110001210
 特許業務法人YKI国際特許事務所
 (72) 発明者 ブリッジズ ロバート イー
 アメリカ合衆国 ペンシルバニア ケネッ
 ト スクエア クウェイル レーン 1
 02
 (72) 発明者 ホファー ジョン エム
 アメリカ合衆国 ペンシルバニア ストラ
 スバーグ ノース スター ロード 30
 4

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 六自由度計測装置及び方法

(57) 【要約】

六自由度計測用のレーザ追尾システムとして、第1レーザビームを輻射する主光学アセンブリ、第2レーザビームを二次元パターンへと整形して輻射するパターン投射アセンブリ、並びに標的を備え、その標的が再帰反射器及び位置検出アセンブリを有し、その再帰反射器の対称中心が位置検出アセンブリの存在平面とは異なる平面上にあるものを提案する。標的の向きを計測する方法として、二次元パターンを呈するようレーザビームをその標的に入射させるステップと、位置検出アセンブリ上における二次元パターンの位置を調べそのパターンの実測シグネチャ値を求めるステップと、得られた実測シグネチャ値に基づき標的の向きを算出するステップと、を有する方法を提案する。

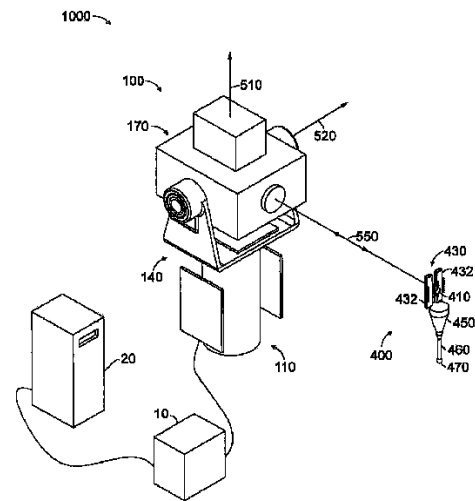


FIGURE 1

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

少なくとも一軸周りで回転可能な被支持アセンブリ、その被支持アセンブリ上にあり第 1 レーザビームを輻射する主光学アセンブリ及び同じく被支持アセンブリ上にあり二次元パターンを呈するよう第 2 レーザビームを輻射するパターン投射アセンブリを有する追尾ユニットと、

再帰反射器及びその近傍に位置する位置検出アセンブリを有し、その再帰反射器の対称中心が位置検出アセンブリの存在平面とは異なる平面上にある標的と、

を備える六自由度計測用のレーザ追尾システム。

【請求項 2】

請求項 1 記載のレーザ追尾システムであって、上記主光学アセンブリが、上記第 1 レーザビームを輻射する第 1 レーザ光源と、

距離計測用電子回路と、

再帰反射されたレーザビーム又はその一部を距離計測用電子回路に送る第 1 ビームスプリッタと、

位置検出器と、

再帰反射されたレーザビーム又はその一部を位置検出器に送る第 2 ビームスプリッタと

を有するレーザ追尾システム。

【請求項 3】

請求項 1 記載のレーザ追尾システムであって、上記パターン投射アセンブリが、第 2 レーザビームを輻射する第 2 レーザ光源と、

その第 2 レーザビームを拡張するビームエキスパンダと、

拡張された第 2 レーザビームを上記二次元パターンへと整形する整形部材と、

を有するレーザ追尾システム。

【請求項 4】

請求項 3 記載のレーザ追尾システムであって、上記整形部材がアポダイザを有するレーザ追尾システム。

【請求項 5】

請求項 4 記載のレーザ追尾システムであって、上記アポダイザが、ガラス板とガラス板の間に光学セメントで装着された連続トーン膜透光器を有するレーザ追尾システム。

【請求項 6】

請求項 3 記載のレーザ追尾システムであって、上記整形部材が回折素子を有するレーザ追尾システム。

【請求項 7】

請求項 3 記載のレーザ追尾システムであって、上記整形部材が、複数個のレンズ、複数個のビームスプリッタ及び複数個のプリズムを有するレーザ追尾システム。

【請求項 8】

請求項 3 記載のレーザ追尾システムであって、上記二次元パターンが、複数本の縞を有するパターンを含むレーザ追尾システム。

【請求項 9】

請求項 1 記載のレーザ追尾システムであって、

上記追尾ユニットが、スタンドに実装された方位軸アセンブリと、方位軸周りで回転させるよう方位軸アセンブリに実装された天頂軸アセンブリと、天頂軸周りで回転させるよう天頂軸アセンブリに実装された上記被支持アセンブリと、を有し、

上記方位軸アセンブリが、天頂軸アセンブリを方位軸周りで回転させる方位軸モータアセンブリと、天頂軸アセンブリの回転角を計測する方位軸エンコーダアセンブリと、を有し、

上記天頂軸アセンブリが、上記被支持アセンブリを天頂軸周りで回転させる天頂軸モータアセンブリと、当該被支持アセンブリの回転角を計測する天頂軸エンコーダアセンブリ

10

20

30

40

50

と、を有するレーザ追尾システム。

【請求項 10】

請求項 9 記載のレーザ追尾システムであって、上記追尾ユニットが、再帰反射されたレーザビームが所定位置から外れた位置でその位置検出器に入射したとき誤差信号を発生させる位置検出器を有し、上記第 1 レーザビームが上記再帰反射器の中央に入射するようその誤差信号に従い上記方位軸モータアセンブリ及び天頂軸モータアセンブリが上記被支持アセンブリを回転させるレーザ追尾システム。

【請求項 11】

請求項 3 記載のレーザ追尾システムであって、上記パターン投射アセンブリが、カメラ及び 1 個又は複数個の発光ダイオードを有するカメラアセンブリを備え、そのカメラアセンブリが、当該パターン投射アセンブリの光軸上に存するレーザ追尾システム。

10

【請求項 12】

請求項 3 記載のレーザ追尾システムであって、上記パターン投射アセンブリが、めいめいにカメラ及び 1 個又は複数個の発光ダイオードを有するカメラアセンブリを複数個備えるレーザ追尾システム。

【請求項 13】

請求項 11 記載のレーザ追尾システムであって、上記標的が位置決めスポットを有するレーザ追尾システム。

【請求項 14】

請求項 1 記載のレーザ追尾システムであって、上記再帰反射器がキューブコーナ型再帰反射器であるレーザ追尾システム。

20

【請求項 15】

請求項 1 記載のレーザ追尾システムであって、上記再帰反射器及び位置検出アセンブリが共通の構造材に堅固連結されたレーザ追尾システム。

【請求項 16】

請求項 1 記載のレーザ追尾システムであって、上記標的がプローブを有するレーザ追尾システム。

【請求項 17】

レーザビームを輻射するレーザ光源と、
そのレーザビームを拡張するビームエキスパンダと、
拡張されたレーザビームを二次元パターンへと整形する整形部材と、
を備え、六自由度計測用のレーザ追尾システムで使用されるパターン投射アセンブリ。

30

【請求項 18】

請求項 17 記載のパターン投射アセンブリであって、上記整形部材がアボダイザを有するパターン投射アセンブリ。

【請求項 19】

請求項 18 記載のパターン投射アセンブリであって、上記アボダイザが、ガラス板とガラス板の間に光学セメントで装着された連続トーン膜透光器を有するパターン投射アセンブリ。

【請求項 20】

請求項 17 記載のパターン投射アセンブリであって、上記整形部材が回折素子を有するパターン投射アセンブリ。

40

【請求項 21】

請求項 17 記載のパターン投射アセンブリであって、上記整形部材が、複数個のレンズ、複数個のビームスプリッタ及び複数個のプリズムを有するパターン投射アセンブリ。

【請求項 22】

請求項 17 記載のパターン投射アセンブリであって、上記二次元パターンが、複数本の縞を有するパターンを含むパターン投射アセンブリ。

【請求項 23】

請求項 17 記載のパターン投射アセンブリであって、カメラ及び 1 個又は複数個の発光

50

ダイオードを有するカメラアセンブリを備え、そのカメラアセンブリが、本パターン投射アセンブリの光軸上に存するパターン投射アセンブリ。

【請求項 24】

請求項 17 記載のパターン投射アセンブリであって、めいめいにカメラ及び 1 個又は複数個の発光ダイオードを有するカメラアセンブリを複数個備えるパターン投射アセンブリ。

【請求項 25】

再帰反射器と、
その近傍に位置する位置検出アセンブリと、
を備え、その再帰反射器の対称中心が位置検出アセンブリの存在平面とは異なる平面上にあり、六自由度計測用のレーザ追尾システムと併用される標的。

10

【請求項 26】

請求項 25 記載の標的であって、位置決めスポットを備える標的。

【請求項 27】

請求項 25 記載の標的であって、上記再帰反射器がキューブコーナ型再帰反射器である標的。

【請求項 28】

請求項 25 記載の標的であって、上記再帰反射器及び位置検出アセンブリが共通の構造材に堅固連結された標的。

【請求項 29】

請求項 25 記載の標的であって、プローブを備える標的。

20

【請求項 30】

再帰反射器及びその近傍に位置する位置検出アセンブリを有し且つその再帰反射器の対称中心が位置検出アセンブリの存在平面とは異なる平面上にある標的を準備するステップと、

二次元パターンを呈するようレーザビームをその標的に入射させるステップと、
位置検出アセンブリ上における二次元パターンの位置を調べそのパターンの向きを示すシグネチャ値を計測するステップと、

得られた実測シグネチャ値を理論シグネチャ値と繰返し比較するステップと、
実測シグネチャ値と理論シグネチャ値との差が収束条件を満たしたときにその実測シグネチャ値に基づき標的の向きを算出するステップと、
を実行して標的の向きを計測する方法。

30

【請求項 31】

請求項 30 記載の方法であって、
上記二次元パターンとして、中央の点から放射状に延びる複数本の縞を有するパターンを発生させ、

上記位置検出アセンブリとして、リニアな位置検出素子又は感光アレイを複数個有するものを使用する方法。

【請求項 32】

請求項 31 記載の方法であって、
上記複数個の位置検出素子又は感光アレイが複数個の画素を有し、
二次元パターンの位置を調べるステップが、
複数個一組の画素それぞれにつきその画素値を繰返し収集して平均化することで複数個一組の画素サンプル蓄積値を生成するステップと、

40

その画素サンプル蓄積値をフィルタリングするステップと、
当該画素サンプル蓄積値を間引くステップと、
隣接画素間の導関数値を算出するステップと、
その導関数値におけるゼロクロスを検出することで極大点及び極小点の候補を識別するステップと、

所定のしきい値より小規模な候補を検討対象外とするステップと、

50

残った候補の付近にあるデータポイント群に放物線を当て嵌めるステップと、を含む方法。

【請求項 33】

請求項 1 記載のレーザ追尾システムであって、上記位置検出アセンブリが、位置検出素子又は感光アレイと、その上に存する光学フィルタと、を有するレーザ追尾システム。

【請求項 34】

請求項 33 記載のレーザ追尾システムであって、上記位置検出アセンブリが、位置検出素子又は感光アレイを複数個有するレーザ追尾システム。

10

【請求項 35】

請求項 33 記載のレーザ追尾システムであって、上記感光アレイたる CCD 又は CMOS アレイを備えるレーザ追尾システム。

【請求項 36】

請求項 34 記載のレーザ追尾システムであって、上記位置検出素子又は感光アレイたるリニアアレイを複数個備えるレーザ追尾システム。

【請求項 37】

請求項 33 記載のレーザ追尾システムであって、上記光学フィルタが光学帯域通過フィルタ及び中性濃度フィルタを有するレーザ追尾システム。

【請求項 38】

20

請求項 25 記載の標的であって、上記位置検出アセンブリが、位置検出素子又は感光アレイと、その上に存する光学フィルタと、を有する標的。

【請求項 39】

請求項 38 記載の標的であって、上記位置検出アセンブリが、位置検出素子又は感光アレイを複数個有する標的。

【請求項 40】

請求項 38 記載の標的であって、上記感光アレイたる CCD 又は CMOS アレイを備える標的。

30

【請求項 41】

請求項 39 記載の標的であって、上記位置検出素子又は感光アレイたるリニアアレイを複数個備える標的。

【請求項 42】

請求項 38 記載の標的であって、上記光学フィルタが光学帯域通過フィルタ及び中性濃度フィルタを有する標的。

【請求項 43】

請求項 1 記載のレーザ追尾システムであって、
上記位置検出アセンブリ上における上記二次元パターンの位置を調べそのパターンの向きを示すシグネチャ値を計測するステップと、
得られた実測シグネチャ値を理論シグネチャ値と繰返し比較するステップと、
実測シグネチャ値と理論シグネチャ値との差が収束条件を満たしたときにその実測シグネチャ値に基づき上記標的の向きを算出するステップと、
を実行する電子回路を備えるレーザ追尾システム。

40

【請求項 44】

請求項 43 記載のレーザ追尾システムであって、
上記二次元パターンが、中央の点から放射状に延びる複数本の縞を有するパターンであり、
上記位置検出アセンブリが、リニアな位置検出素子又は感光アレイを複数個有するレーザ追尾システム。

50

【請求項 4 5】

請求項 4 4 記載のレーザ追尾システムであって、
 上記複数個の位置検出素子又は感光アレイが複数個の画素を有し、
 上記電子回路が、
 複数個一組の画素それぞれにつきその画素値を繰返し収集して平均化することで複数個一組の画素サンプル蓄積値を生成するステップと、
 その画素サンプル蓄積値をフィルタリングするステップと、
 当該画素サンプル蓄積値を間引くステップと、
 隣接画素間の導関数値を算出するステップと、
 その導関数値におけるゼロクロスを検出することで極大点及び極小点の候補を識別するステップと、
 10
 所定のしきい値より小規模な候補を検討対象外とするステップと、
 残った候補の付近にあるデータポイント群に放物線を当て嵌めるステップと、
 を実行するレーザ追尾システム。

【請求項 4 6】

少なくとも一軸周りで回動可能な被支持アセンブリを有する追尾ユニットを備え、
 その被支持アセンブリが、
 第 1 レーザビームを輻射する主光学アセンブリと、
 それぞれカメラ及び 1 個又は複数個の発光ダイオードを有する複数個のカメラアセンブリと、
 20
 を有するレーザ追尾システム。

【請求項 4 7】

請求項 4 6 記載のレーザ追尾システムであって、都合複数個備わるカメラの配置が、上記被支持アセンブリの光軸周りで対称であるレーザ追尾システム。

【請求項 4 8】

請求項 4 6 記載のレーザ追尾システムであって、都合複数個備わるカメラの位置が、上記被支持アセンブリの出射窓付近であるレーザ追尾システム。

【請求項 4 9】

請求項 4 6 記載のレーザ追尾システムであって、
 再帰反射器を有する標的を備え、
 都合複数個備わるカメラを用いその標的を立体視して標的に対する距離及び角度を推定するレーザ追尾システム。
 30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願は、米国暫定特許出願第 6 1 / 1 1 5 1 3 6 号（出願日：2008 年 1 月 1 日）に基づく優先権主張を伴う出願である。この参照を以て、当該暫定出願の全内容を本願に繰り入れることとする。

【0002】

本発明は座標計測装置、例えば注目点にレーザビームを送りその点の三次元座標を計測するタイプの座標計測装置に関する。この種の装置では、レーザビームを注目点自体又はそれに接する再帰反射標的に入射させ、装置内のジナル式ビーム駆動機構でレーザビームの向きを注目点方向に保ちつつ、その注目点までの距離を絶対距離計（ADM）、干渉計等の距離計測装置で、またその注目点に至る角度二通りを角度エンコーダ等の角度計測装置でそれぞれ計測することで、その注目点の座標を導出する。こうした注目点座標計測装置の例は特許文献 1（発明者：Brown et al.）、特許文献 2（発明者：Lau et al.）等に記載されている。
 40

【背景技術】

【0003】

レーザ追尾器は、1 本又は複数本のレーザビームを輻射しそのビームで再帰反射標的を
 50

追尾するタイプの座標計測装置である。レーザ走査器は、散光面上の注目点を1本又は複数本のレーザビームで走査するタイプの座標計測装置であり、レーザ追尾器と密接な関係を有している。

【0004】

通常、レーザ追尾器からレーザビームが送られる先は再帰反射標的である。その再帰反射標的としては、一般に、金属球及びそれに埋め込まれたキューブコーナ型再帰反射器からなる球面実装型再帰反射器(SMR)が用いられている。これは、互いに直交するよう3枚のミラーを配した構成のキューブコーナ型再帰反射器を、それらミラー3枚の共有接点即ち反射器頂部が金属球の中心に位置することとなるよう、その金属球内に埋め込んだものである。こうした金属球内キューブコーナ配置であるため、反射器頂部からSMR着座面に下ろした垂線の長さがそのSMRの向きによらず一定に保たれる。従って、任意の面に沿いSMRを転がしつつレーザ追尾器でそのSMRを追尾することにより、その面に沿い一群の三次元座標を計測することができる。言い換えれば、レーザ追尾器では、僅か三自由度(一通りの径方向距離と二通りの角度)の計測によって面全体の三次元座標を調べることができる。

10

【0005】

とはいえ、三自由度ではなく六自由度に亘る計測も必要とされている。六自由度追尾器があれば、例えば(1)追尾器からの視線が遮られているプローブ端の位置をその追尾器で計測することができ、(2)光パターンを用い三次元座標を計測する走査器の動きを追尾することができ、(3)ロボットのエンドエフェクタ(手先)又はそれに類する剛体の位置及び方向を探索することができ、(4)SMRに備わる大きな球面ではなく微細なプローブ端を用い物体の特徴を計測することができる。

20

【0006】

レーザ追尾器を基に提案又は実用化された六自由度計測システムの第1例は、カメラ及びレーザ追尾器と併せ再帰反射器及び複数の光点を有する標的を使用するものであり、特許文献3(発明者:Pettersen et al.)、特許文献4(発明者:Pettersen et al.)等にはこれに該当するものが記載されている。

【0007】

第2例は、レーザ追尾器からのレーザビームに対する標的の向きを動力又は手動による調整でほぼ直角に保ちつつ、標的内のビームスプリッタに入射するレーザビームの一部を位置検出器に送り標的のピッチ角及びヨー角を検出させる一方、残りの入射レーザビームを再帰反射器に送り、そこでの反射光の一部を偏向ビームスプリッタ及び検出器に送り電子回路で標的のロール角を検出させるシステムである。残りの反射光はレーザ追尾器に返戻する。特許文献5(発明者:Lau)に記載のシステムがこれに該当している。

30

【0008】

第3例は、第2例におけるロール角検出手段に代え、重力方向に対する標的の傾斜を計測する傾斜センサが使用されるシステムであり、特許文献5に記載のものがこれに該当している。

【0009】

第4例は、追尾器でキューブコーナ型再帰反射器の位置を計測しつつ、その追尾器に戻ってきた光の一部を分岐して解析用の感光アレイに送り、再帰反射器上に意図的に形成されているマーク(例えばキューブコーナを構成している3枚のミラーの交線)をその感光アレイで検出し、そしてその感光アレイ上に発現したパターンを解析して再帰反射器のピッチ角、ヨー角及びロール角を求めるシステムであり、特許文献6(発明者:Prenninger)に記載のものがこれに該当している。

40

【0010】

第5例は、キューブコーナ型再帰反射器の頂部に開口を形成し、その開口を介して位置検出器に光を送り、その位置検出器で標的のピッチ角及びヨー角を検出する一方、三通りある手段のいずれかでロール角を検出するシステムである。第1の手段では、追尾器上のカメラで再帰反射器付近の光入射点を検出する。第2の手段では、追尾器上の光源から比

50

較的広い角度範囲に亘り光を輻射しそれを位置検出器でピックアップする。第3の手段では、追尾器上の光源から標的にレーザ光を投射しその光で形成される縞を1個又は複数個のリニアアレイでピックアップする。特許文献7（発明者：Zumbrunn et al.）に記載のものが第5例に該当している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

【特許文献1】米国特許第4790651号明細書

【特許文献2】米国特許第4714339号明細書

【特許文献3】米国特許第5973788号明細書

【特許文献4】米国特許第6166809号明細書

【特許文献5】米国特許第7230689号明細書

【特許文献6】米国特許第5267014号明細書

【特許文献7】米国特許第7312862号明細書

【特許文献8】米国特許第7352446号明細書

【特許文献9】米国特許第6667798号明細書

【特許文献10】国際公開第WO2006/055770号パンフレット

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

これら、レーザ追尾器を用い六自由度計測を行うシステムはいずれも問題を抱えている。まず、第1例では、再帰反射標的付近に存する複数個のLED（発光ダイオード）等をカメラで捉えるようにしており、今日では標的を追尾器上部のカメラで捉えるものが市販されている。しかし、天頂軸を駆動しカメラを傾けるための駆動部や、ズームレンズを駆動し光スポットに合焦させるための駆動部といった駆動部が、複雑且つ高価なものとなっている。

【0013】

第2例では、標的からの反射光を二軸機械式サーボ機構を用い追尾器に向け続ける構成か、或いはユーザがマニュアルで追尾器に向ける構成が採られる。前者の構成だと複雑且つ高価であるし、後者の構成だとユーザの手を煩わせてしまう。更に、第2例では、使用している偏向ビームスプリッタがレーザビームに対し直交していないと、高い偏向コントラストが得られない。従って、ハンドヘルドシステムで第2例を使用するとその性能が見劣りするものになりやすい。

【0014】

第3例では、傾斜センサが傾斜（重力の作用）にも加速にも同様に応答するので、ハンドヘルドプローブ内にその傾斜センサを配置すると、手の動きによる加速がセンサの傾斜と誤認されてしまうことがある。この問題を緩和するため、応答を遅くするダンピング機構（例えばダンピング流体）がその製造元で傾斜センサに付加されることが多いけれども、そうしたダンピング機構付の傾斜センサでは、ロール角の変化に対する応答も遅くなってしまふ。

【0015】

第4例では、ビームスプリッタからの光を感光アレイに向け直に反射させ、キューブコーナ上の輝線をそのアレイで捉えるようにしている。そのため、ある限られた視野深さ内でしか、鮮明で歪みのない線像を感光アレイ上に形成することができない。

【0016】

第5例では、その再帰反射器に開口を設ける必要がある。開口があると再帰反射器の性能が幾ばくか低くなる。その開口の背後に配する位置検出器は、感光アレイとすることも位置検出素子（PSD）とすることも可能であるが、感光アレイだと開口からの光に対する応答がやや遅く、PSDだとやや不正確になる。更に、追尾器上には前述した三種類のロール角検出手段のうちいずれかが搭載される。それらはどれも複雑で高価である。

10

20

30

40

50

【0017】

従って、今求められているのは、これらの問題を踏まえ、簡略、安価且つ正確なレーザ追尾器利用型六自由度計測システムを実現することである。

【課題を解決するための手段】

【0018】

本発明の一実施形態は、追尾ユニット及び標的を備える六自由度計測用のレーザ追尾システムである。本システムの追尾ユニットは、少なくとも一軸周りで回転可能な被支持アセンブリを有し、その被支持アセンブリは、第1レーザビームを輻射する主光学アセンブリと、二次元パターンを呈するよう第2レーザビームを輻射するパターン投射アセンブリと、を有する。本システムの標的は、再帰反射器及びその近傍に位置する位置検出アセンブリを有し、その再帰反射器の対称中心は、位置検出アセンブリの存在平面とは異なる平面上にある。

10

【0019】

本発明の他の実施形態は、六自由度計測用のレーザ追尾システム内で使用されるパターン投射アセンブリである。本アセンブリは、レーザビームを輻射するレーザ光源と、そのレーザビームを拡張するビームエキスパンダと、拡張されたレーザビームを二次元パターンへと整形する整形部材と、を備える。

【0020】

本発明の他の実施形態は、六自由度計測用のレーザ追尾システムと併用される標的である。本標的は、再帰反射器と、その近傍に位置する位置検出アセンブリと、を備える。その再帰反射器の対称中心は、位置検出アセンブリの存在平面とは異なる平面上にある。

20

【0021】

本発明の他の実施形態は、標的の向きを計測する方法である。本方法は、再帰反射器及びその近傍に位置する位置検出アセンブリを有し且つその再帰反射器の対称中心が位置検出アセンブリの存在平面とは異なる平面上にある標的を準備するステップと、二次元パターンを呈するようレーザビームをその標的に入射させるステップと、位置検出アセンブリ上における二次元パターンの位置を調べそのパターンの向きを示すシグネチャ値を計測するステップと、得られた実測シグネチャ値を理論シグネチャ値と繰返し比較するステップと、実測シグネチャ値と理論シグネチャ値との差が収束条件を満たしたときにその実測シグネチャ値に基づき標的の向きを算出するステップと、を有する。

30

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】六自由度追尾システムの一例構成を示す斜視図である。

【図2】追尾ユニットの一例構成を示す分解図である。

【図3】追尾ユニットの一例構成を示す断面図である。

【図4】被支持アセンブリの一例構成を示すブロック図である。

【図5】被支持アセンブリ及び標的の一例構成を示す斜視図である。

【図6】パターン投射の一例構成を示す頂面図である。

【図7】パターン投射の一例構成を示す側面図である。

【図8】アポダイザ透過パターンの一例を示す図である。

40

【図9】伝搬中のレーザビームにおけるアポダイザ出射時照度パターンの一例を示す三次元プロット図である。

【図10】伝搬中のレーザビームにおける30m伝搬後照度パターンの一例を示す三次元プロット図である。

【図11A】標的の一例構成を示す模式的頂面図及び側面図である（入射角 = 0°）。

【図11B】標的の一例構成を示す模式的頂面図及び側面図である（入射角 = 45°）。

【図12A】標的の別例構成を示す模式的頂面図及び側面図である（入射角 = 0°）。

【図12B】標的の別例構成を示す模式的頂面図及び側面図である（入射角 = 45°）。

【図13】ヨー角のみの状態（A）からピッチ角のみの状態（K）まで10°刻みで傾斜方向を変化させつつ、標的の一例動作を示す模式的頂面図である（入射角 = 45°）。

50

【図14】誤差特性の一例を示すグラフである。

【図15】位置検出器上のレーザ入射パターンに係る実測シグネチャ値を求める手順の一例を示す図である。

【図16】プローブ端位置算出用繰返し手順の一例を示す図である。

【図17】カメラアセンブリを複数個有するレーザ追尾システムを示す斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下、図面を参照し幾つかの実施形態を示すこととする。本発明の技術的範囲に対する限定事項として解釈しないよう注意されたい。諸部材には複数の図を通じ同様の参照符号を付してある。

【0024】

図1に六自由度追尾システムの一例1000を示す。本システム1000は、追尾ユニット100、標的(target)400、電源/制御ユニット10及びコンピュータ20を備え、六自由度例えばx座標、y座標、z座標、ピッチ角、ロール角及びヨー角に亘り標的400を追尾可能なシステムである。。

【0025】

追尾ユニット100は方位軸(azimuth)アセンブリ110、天頂軸(zenith)アセンブリ140及び被支持(payload)アセンブリ170を備えている。方位軸アセンブリ(ポストアセンブリ)110はその搭載先スタンドに対し固定されており、天頂軸アセンブリ(ヨークアセンブリ)140は方位軸510周りで可回動、被支持アセンブリ170は天頂軸520周りで可回動とされている。更に、被支持アセンブリ170は、天頂軸アセンブリ140上に搭載されているため、方位軸510に加え天頂軸520周りでも回動させることができる。

【0026】

電源/制御ユニット10は、追尾ユニット100への電力供給に加え制御機能及び情報処理機能を担っている。コンピュータ20は、種々のデータ解析及び表示用パッケージソフトウェアを実行する。

【0027】

そして、標的400は、再帰反射器410、位置検出アセンブリ430、プローブ本体450、プローブ軸460、プローブ端470、位置決めスポット480(図5参照)、電子回路(図示せず)、バッテリー(図示せず)等の構成部材を備えており、それらは堅固に相互装着されている。位置検出アセンブリ430は位置検出器432及び光学フィルタ434を幾つか備えている。追尾ユニット100から輻射されるレーザビーム550は、それら反射器410及び検出器432に入射される。

【0028】

[方位軸アセンブリ及び天頂軸アセンブリ]

図2及び図3に追尾ユニット100の詳細を示す。図2は分解図、図3は断面図である。まず、方位軸アセンブリ110は、ポストハウジング(ポストフレーム)112、方位軸エンコーダアセンブリ120、下側方位軸ベアリング114A、上側方位軸ベアリング114B、方位軸モータアセンブリ125、方位軸スリップリングアセンブリ130及び方位軸回路基板135を備えている。

【0029】

方位軸エンコーダアセンブリ120は、ポストハウジング112に対するヨークハウジング(ヨークフレーム/被支持ハウジング)142の回動角を正確に計測するためのものであり、エンコーダディスク121及び読取ヘッドアセンブリ122を備えている。そのディスク121はヨークハウジング142のシャフトに装着されており、読取ヘッドアセンブリ122は固定の方位軸アセンブリ110に装着されている。読取ヘッドアセンブリ122は回路基板上に読取ヘッドを1個又は複数個固定した構成であり、その読取ヘッドはディスク121上の精細な格子線にレーザビームを送りそこで反射された光を検出する。1個又は複数個の読取ヘッド上にある検出器で検出された反射光を処理することで、固

10

20

30

40

50

定の読取ヘッドを基準にディスク121の回転角を求めることができる。

【0030】

方位軸モータアセンブリ125はロータ126及びステータ127を備えている。方位軸モータロータ126はヨークハウジング142のシャフトに直付けされた永久磁石を、また方位軸モータステータ127は所定の磁界を発生させる界磁巻線を備えており、その磁界とロータ126の永久磁石による磁界との作用で所望の回転運動がもたらされるよう構成されている。ステータ127はポストハウジング112に装着されている。

【0031】

方位軸回路基板135はエンコーダ、モータ等の方位軸関連部材の動作に必要な電氣的諸機能を担う回路基板(群)である。電源/制御ユニット10からは、対追尾器電力供給及び対追尾器信号授受のためのワイヤ束138が延ばされており、それらのうち一部のワイヤが基板135上のコネクタに接続されている。図3に示す例では、基板135、読取ヘッドアセンブリ122及び方位軸モータアセンブリ125にワイヤが巡らされているほか、方位軸スリップリングアセンブリ130の内側部品132にも一部のワイヤが巡らされている。このアセンブリ130は外側部品131及び内側部品132で構成されており、内側部品132は方位軸アセンブリ110に装着されているので固定、外側部品131は天頂軸アセンブリ140に装着されているので内側部品132に対し可回動である。このアセンブリ130が備わっているので、低インピーダンスでの電氣的接触を保ちながら内側部品132に対し外側部品131を回動させることができる。

【0032】

次に、天頂軸アセンブリ140は、ヨークハウジング142、天頂軸エンコーダアセンブリ150、左側天頂軸ベアリング144A、右側天頂軸ベアリング144B、天頂軸モータアセンブリ155、天頂軸スリップリングアセンブリ160及び天頂軸回路基板165を備えている。

【0033】

天頂軸エンコーダアセンブリ150は、ヨークハウジング142に対する被支持フレーム172の回動角を正確に計測するためのものであり、天頂軸エンコーダディスク151及び天頂軸読取ヘッドアセンブリ152を備えている。そのディスク151はヨークハウジング142のシャフトに装着されており、読取ヘッドアセンブリ152はそのハウジング142に装着されている。天頂軸読取ヘッドアセンブリ152は回路基板上に読取ヘッドを1個又は複数個固定した構成であり、その読取ヘッドはディスク151上の精細な格子線にレーザビームを送りそこで反射された光を検出する。1個又は複数個の読取ヘッド上にある検出器で検出された反射光を処理することで、固定の読取ヘッドを基準にディスク151の回転角を求めることができる。

【0034】

天頂軸モータアセンブリ155はロータ156及びステータ157を備えている。天頂軸モータロータ156は被支持フレーム172のシャフトに直付けされた永久磁石を、また天頂軸モータステータ157は所定の磁界を発生させる界磁巻線を備えており、その磁界とロータ156の永久磁石による磁界との作用で所望の回転運動がもたらされるよう構成されている。ステータ157はヨークハウジング142に装着されている。

【0035】

天頂軸回路基板165はエンコーダ、モータ等の天頂軸関連部材の動作に必要な電氣的諸機能を担う回路基板(群)である。方位軸スリップリング外側部品131からは電力乃至信号搬送用のワイヤ束168が延ばされており、それらのうち一部のワイヤが基板165上のコネクタに接続されている。図3に示す例では、基板165、天頂軸モータアセンブリ150及び読取ヘッドアセンブリ152にワイヤが巡らされているほか、天頂軸スリップリングアセンブリ160の内側部品162にも一部のワイヤが巡らされている。このアセンブリ160は外側部品161及び内側部品162で構成されており、内側部品162はヨークハウジング142に装着されているので方位軸周りで可回動だが天頂軸周りで非可回動、外側部品161は被支持フレーム172に装着されているので方位軸周り及び

10

20

30

40

50

天頂軸周りで可回動である。このアセンブリ 160 が備わっているので、低インピーダンスでの電氣的接触を保ちながら、内側部品 162 に対し外側部品 161 を回動させることができる。

【0036】

[主光学アセンブリ]

図 4 に、被支持アセンブリ 170 に備わる主光学アセンブリ 200 をパターン投射アセンブリ（編発生 / 投射アセンブリ）300 と共に示す。本アセンブリ 200 は、電気変調器 210、レーザ光源 215、距離計測用電子回路 220、位置検出器 230、ビームスプリッタ 240 及び 242、ダイクロイックビームスプリッタ 244 並びに出射窓 246 を備えている。そのスプリッタ 240 には光源 215 からのレーザビーム 250 が入射する。この例ではスプリッタ 240 がガラス製だが、光ファイバ製のビームスプリッタ等も使用することができる。スプリッタ 240 はレーザビームの一部を透過、一部を反射させる部材であり、再帰反射により返ってきたレーザビームの一部を回路 220 へと送るのに必要である。図示例でその距離計測方式として採用されているのは、強度変調及び位相計測を利用した ADM、例えば特許文献 8（発明者：Bridges and Hoffer）に記載のそれである。本アセンブリ 200 における距離計測を他のタイプの ADMで行うことや、ADMではなく干渉計で行うこともできる。干渉計の場合は変調器 210 が不要、処理用の電子回路が別種のもの、レーザ光源が別種のものになり、またレーザ光源が既知波長にて周波数安定なこと及びそのコヒーレント長が長いことが求められる。ADMの場合、レーザ光源を数 GHz 以上の周波数にて変調することができる。本アセンブリ 200 で干渉計と ADMを併用することも可能である。その場合、干渉計用レーザビームと ADM用レーザビームを出射途上で結合させ入射途上で分離させることができるよう、相応のビームスプリッタを用いるのが望ましい。

10

20

【0037】

ビームスプリッタ 242 には、ビームスプリッタ 240 を透過してきたレーザビーム 250 が入射する。このスプリッタ 242 はレーザビームの大半（例えば 85%）を透過させその残り（例えば 15%）を反射させるよう構成されており、再帰反射により返ってきたレーザビームの一部はこのスプリッタ 242 によって位置検出器 230 へと送られる。こうする理由については後述する。ダイクロイックビームスプリッタ 244 は、スプリッタ 242 を透過してきたビーム 250 を、出射窓 246 を介し追尾ユニット 100 から出射させる。このスプリッタ 244 は、パターン投射アセンブリ 300 内で発生させたレーザビーム 370 を追尾ユニット 100 からの出射途上でビーム 250 に結合させるのに使用されており、ある波長を透過させ他の波長を反射させるよう例えばガラスに薄膜誘電体多層被覆を設けることで形成されている。例えば、レーザ光源 215 が波長 1550 nm の分布帰還（DFB）レーザ、レーザ光源 315 が波長 635 nm のダイオードレーザである場合、このスプリッタ 244 の被覆は、1550 nm レーザビームを透過させ 635 nm レーザビームを反射させるものとすればよい。

30

【0038】

追尾ユニット 100 は、レーザビーム 370 と結合しレーザビーム 550 となったレーザビーム 250 を出射する。そのビーム 250 は再帰反射器 410 に入射する。その反射器 410、例えばキューブコーナ型再帰反射器によるビームのクリッピングを抑えるには、追尾計測可能域全体に亘りビーム 250 のサイズを抑えるのが望ましい。追尾計測可能域全体に亘りビーム 250 のサイズを抑えるには、できる限りガウス関数に近づくようビーム 250 のプロファイルを整形すればよい。そうすることで、伝搬に伴うビーム 250 の角度的発散を極力抑えることができる。

40

【0039】

再帰反射器 410 に達したレーザビーム 250 は、その反射器 410 の中央に入射した場合、入射時と同じ経路を逆行し追尾ユニット 100 へと戻っていく。反射器 410 の中央からずれたところに入射した場合、その反射器 410 の他面へと反射され、入射時の経路と平行だが異なる経路を辿りユニット 100 へと戻っていく。

50

【 0 0 4 0 】

追尾ユニット 1 0 0 は、戻ってきたレーザビーム 2 5 0 を出射窓 2 4 6 越しに受け入れる。ビームスプリッタ 2 4 2 は、窓 2 4 6 及びダイクロイックビームスプリッタ 2 4 4 を通って戻ってきたビーム 2 5 0 を、部分的に反射させて位置検出器 2 3 0 へと送る。そのビーム 2 5 0 は、再帰反射器 4 1 0 の中央で反射してきた場合は検出器 2 3 0 の中央に入射し、反射器 4 1 0 の中央からずれたところで反射してきた場合は検出器 2 3 0 の中央からずれたところに入射する。後者の場合誤差信号が発生する。方位軸モータアセンブリ 1 2 5 及び天頂軸モータアセンブリ 1 5 5 はこの誤差信号に応じ作動し、反射器 4 1 0 の中央を向くようビーム 2 5 0 を駆動する。これにより、ユニット 1 0 0 からのレーザビーム 5 5 0 に反射器 4 1 0 の動きが追従することとなる。言い換えれば、ビーム 5 5 0 で反射器 4 1 0 が追尾されることとなる。

10

【 0 0 4 1 】

なお、位置検出器 2 3 0 としては例えば P S D を使用することができる。ラテラル効果型 P S D もクォードラント型 P S D も使用可能だが、レーザビーム入射位置に対する出力電圧の線形性が良好であるのでラテラル効果型 P S D の方が望ましい。P S D に代え感光アレイ、例えば C C D アレイや C M O S アレイを使用することもできる。これらのアレイは線形性が良好であるので、返ってくるビームの位置を非常に正確に検出することができる。

【 0 0 4 2 】

[パターン投射アセンブリ]

追尾ユニット 1 0 0 及び電源 / 制御ユニット 1 0 があれば、パターン投射アセンブリ 3 0 0 無しでも再帰反射器 4 1 0 を三自由度に亘り計測することができる。ここでいう三自由度は標的に対する距離、方位角及び天頂角のことであり、これらは他の座標、例えば x 座標、y 座標及び z 座標へと換算することができる。しかしながら、S M R 等の追尾器用対称形状標的が付された物体ならばともかく、プローブ端 4 7 0 の座標は、三自由度計測では計測できないことがある。そのため、本システムでは六自由度に亘る計測を行う必要がある。

20

【 0 0 4 3 】

その六自由度計測を可能としているのは、主光学アセンブリ 2 0 0 及び標的 4 0 0 と連携して作動するパターン投射アセンブリ 3 0 0 である。図 4 ~ 図 7 にその一例 3 0 0 を示す。本アセンブリ 3 0 0 はレーザ光源 3 1 5、ビームエキスパンダアセンブリ 3 2 0、アポダイザ 3 3 0、特殊ミラー 3 4 0 及びカメラアセンブリ 3 5 0 を備えており、そのビームエキスパンダアセンブリ 3 2 0 は負レンズ 3 2 2 及び正レンズ 3 2 4 を備えている。カメラアセンブリ 3 5 0 はカメラ 3 5 2 及び 1 個又は複数個の L E D 3 5 4 を備えており、その位置から、特殊ミラー 3 4 0 に形成されている孔を介し標的 4 0 0 を光学的に捉えることができる。光源 3 1 5 は例えば可視光レーザ、好ましくはアイセーフレンジに属するけれども物体を照らすと見える程度には強いパワーを有するものである。例えば、出力パワー 3 9 m W の赤色ダイオードレーザ、特にその出力モードが単一モード横方向モード出力、出射プロファイルがガウス関数的なプロファイル、ビームの Q 値が良好な値 (例えば $M^2 < 1.1$) のものを使用するのが望ましい。そこで発生したレーザビーム 3 7 0 は、

30

40

【 0 0 4 4 】

また、図 4 に示した配置とは異なる配置でカメラ (群) を使用することもできる。例えば、図 1 7 に示すように、被支持アセンブリ 1 7 0 の前面にある出射窓 2 4 6 を挟み又は取り巻くように、2 個の小型カメラ 3 5 2 及びそれに付随する 1 個又は複数個の L E D を対称又は非対称配置してもよい。こうした配置にすると、標的 4 0 0 までの距離及び方向を立体視原理で推定することができる。カメラをヨークハウジング 1 4 2 上に実装するこ

50

ともできる。

【0045】

アポダイザ330（又は他の適切な整形部材）は、平行光化されたレーザービーム370を整形して二次元パターンを発生させる。アポダイザ330は、例えば、光学セメントを使用しガラス板間に連続トーン膜透光器(continuous tone film transparency)を装着した構成である。アポダイザ330に達するビーム370は例えばガウス関数的なプロファイル及び44mmの直径を有しており、アポダイザ330で発生する二次元パターンは例えば複数本の縞を含んでいる。アポダイザ330の透過特性は、その出射部における照度（入射光の単位面積当たりパワー）が特定の特性、例えば次に述べる特性を呈するように設計されている。図8にアポダイザ330の透過出射特性例を示す。図示例はアポダイザ330の一辺が38mm、縞の本数が8本、各縞の長さが15mmの例であり、アポダイザ中央部が直径8mmの暗域となっている。アポダイザ330上に都合8本ある縞は、いずれも二次元ガウスパターンのそれと似通った形状で、その幅には方向毎の違いが生じている。縞の長手方向沿い形状は厳密にガウス関数的なものではない。ガウス関数的プロファイルの幅を大きく損ねずその縁でほぼ0へと円滑に遷移させる平滑フィルタが、先立って適用されているからである。これ以外のアポダイザパターンを使用し好適な結果を得ることも可能である。

10

【0046】

図9に、アポダイザから出射される際のレーザービーム照度を示す。このレーザービームは、伝搬するにつれ回折しその形状が変化していく。図10に、30m伝搬した後のレーザービーム形状を示す。

20

【0047】

縞からなるパターンを他の手法で発生させることもできる。例えば回折素子を用いそうしたパターンを発生させる手法である。その種の素子の適用を繰り返すことで、線、方形、円等を含む様々なパターンを発生させることができる。発生するパターンを、その短手方向に沿いガウス関数的、長手方向に沿い略ガウス関数的なものとするすることで、投射される縞の発散を抑え、また図心乃至極大値算出に際しバイアスとなりうるフレネル回折リブルの発生を抑えることができる。

【0048】

何枚かの適切なレンズを用いパターンを発生させる手法もある。例えば、ガウス関数的な断面プロファイルを有する縞のパターンを4個の円柱レンズで発生させることができる。使用するビームは、一組のビームスプリッタ及び直角プリズムを用い生成、結合したものである。生成されるパターンは、そのパターンの中央でビーム強度が円滑に最小値へと低下していかない点で、図9及び図10に示したパターンとは異なるものとなる。このパターンの質は、原理的に、アポダイザ330で得られるものと同程度以上に良質とすることができる。

30

【0049】

[標的]

標的400は再帰反射器410を備えている。この反射器410はガラス製のキューブコーナプリズムであり、ある交点（いわゆる頂部）を共有する互いに垂直な三面を有している。その頂部付近の面は抗反射被覆で、また互いに直交する3個のガラス面は反射被覆（好ましくは薄膜誘電体多層被覆）で覆われている。こうした固形ガラス製のキューブコーナプリズムに代え、互いに直交するよう3枚のミラーを配した構成の再帰反射器、即ちオープンエアキューブコーナを使用することもできる。ただ、ガラス製キューブコーナプリズムの方がオープンエアキューブコーナよりも優れている。優れている点の一つは、スネルの法則に従いガラス内でレーザービームが屈折するため、オープンエアキューブコーナよりも許容角度範囲が大きくなる点である。他の一つは、ミラー配置スペースが不要であるため、その厚みの分だけ、位置検出器432の位置が反射器410に近くなる点である。

40

【0050】

50

キューブコーナプリズムを形成しているガラスは、波長1550nmでの屈折率が1.80といった高屈折ガラス、例えば株式会社オハラ製S-TIH53(商品名)である。高屈折率ガラスには、空気中からそのガラスに入射した光が面法線近くまで屈折する、という長所がある。従って、再帰反射器410の前面中央に対し、その面におけるレーザービーム250の入射位置がより近い位置となる。これによって、キューブコーナプリズムの縁によるレーザービームのクリッピングが抑制される。

【0051】

他の種類の再帰反射器、例えばキャッツアイ型再帰反射器を使用することもできる。キャッツアイ型再帰反射器は球状又は半球状のガラス製部材であり、その前面(湾曲面)に入射したレーザービームが、複数のガラス層を通り背面付近で小さな光スポットを形成するよう構成されている。その背面に施されている抗反射被覆で光が反射され、ガラス内を逆行して出射されるため、キャッツアイ型再帰反射器からは、入射レーザービームに対し略平行になるよう平行化された光が出射されることとなる。

10

【0052】

次に、位置検出アセンブリ430は位置検出器432及び光学フィルタ434を、またその検出器432としてリニア感光アレイを備えている。このアレイはCMOSアレイとしてもよいが、CCDアレイの方がより速やかに入手することができる。例えば、e2vテクノロジー社モデルTH7815A(商品名)を検出器432として使用するとよい。より具体的には、一辺10 μ mの画素4096個を有し、能動領域長が40.96mm、スルーリードを含めたチップパッケージの高さが50mm、幅が10.47mmのアレイを使用するとよい。

20

【0053】

リニア感光アレイに代え、他の種類の位置検出器を使用することもできる。例えば、リニアアレイを変形して円環状にしてもよいし、二次元アレイを用いるようにしてもよい。

【0054】

光学フィルタ434は光学帯域通過フィルタ(及び中性濃度フィルタ)で構成されており、その光学帯域通過フィルタはレーザービーム370の波長を含む狭波長域、例えば10~20nmの光しか通さず他の波長を反射乃至吸収するよう構成されている。その役目は、不要な背景光で位置検出器432が照らされ計測結果にバイアスやノイズが加わることを、防ぐことである。帯域通過フィルタは、ガラスを薄膜誘電体で多層被覆することで作成することができる。その反射特性は光の入射角に依存する。こうしたフィルタは、入射角全域に亘り任意波長を透過させるように設計することができる。例えば、 $\pm 45^\circ$ の範囲で本標的を作動させよう設計するとよい。

30

【0055】

光学フィルタ434に中性濃度フィルタを組み込むこともできる。まず、先に例示した通り、複数本の縞からなるパターンは十分に明るくすべきである。そうすれば、背景にある物体への入射を目で捉えることができるので、追尾ユニット100が標的400を追尾していないときでも、ユーザがレーザービームを素早く見つけることができる。他方、位置検出器432等のデバイスは、レーザービームの強すぎで飽和してしまわないよう、そのパワーが弱めのレーザービームで作動させるべきである。これら相反する要請を充足させる手法は二通りある。第1の手法は、再帰反射器410がレーザービーム250で追尾されていないときはレーザービーム370のパワーを強めにし、追尾が始まったら弱める、という手法である。第2の手法は、検出器432を覆うよう中性濃度フィルタを配置し、ビーム370の照度を適切なレベルに抑える、という手法である。後者の手法には、更に、検出器432の飽和パワーに対する背景光のパワー比を抑えることができる、という長所もある。所望の帯域通過特性が得られるよう中性濃度ガラスを複数の膜状誘電体層で被覆すれば、帯域通過フィルタの機能と中性濃度フィルタの機能とを、単一のフィルタで実現することもできる。

40

【0056】

背景光に対するシステム感度を抑える手法としては、レーザービームのパワーを所定速度

50

でオンオフ変調（チョッピング）し、それと同じ速度でそのレーザビームを検出する、という手法もある。この手法なら、背景光排除率を非常に高くすることができる。

【0057】

光学フィルタ434は幾通りかの形態で実装することができる。例えば、各位置検出器432の頂部に直に接着してもよいし、物理的手段で各感光アレイから仕切るようにしてもよい。後者の場合、フィルタ434・検出器432間に空隙が発生する。更に、検出器432自体に被覆を施し光学フィルタ機能を持たせてもよい。

【0058】

これら、再帰反射器410及び位置検出アセンブリ430はプローブ本体450に対し堅固に装着されており、プローブ軸460もプローブ本体450に対し堅固に装着されている。反射器410や位置検出器432は、相応の熱膨張係数（CTE）を有する共通の構造材によって堅固に保持させるのが望ましく、プローブ本体450もその構造材に装着することができる。こうして構造材を共通にすることで、印刷回路基板形成素材の熱膨張や撓みによる機械的な動きを抑えることができる。

10

【0059】

そして、図5に示した位置決めスポット480は、1個又は複数個のLED354で照明される写真測量型標的（或いはLED等の点光源）であり、レーザビーム370により形成される個々の縞と、位置検出器432A、432B上の対縞交差部位とを、互いに関連付けるのに使用されている。追尾ユニット100が追尾モードで作動しているときには、レーザビーム550が常にカメラ352の中央を通り、そのカメラ352が標的400の向きに対応する姿勢となっているので、スポット480をそのカメラ352で捉えることができる。例えば、標的400が直立姿勢をとっているときには、スポット480がカメラ352の中央より下にある姿が、そのカメラ352に捉えられることとなる。

20

【0060】

位置検出器432A、432Bと交差する縞の識別には、位置決めスポット480のほか幾種類かの装置を使用することができる。例えば、縞選別的にビームを阻止する機械式ビームブロックをパターン投射アセンブリ300内に設けてもよいし、標的400や追尾ユニット100の内部に傾斜センサを設け追尾ユニット100に対する標的400の傾斜に基づき個々の縞を識別してもよい。

30

【0061】

位置検出器432A、432Bと交差した縞はその検出器により電気信号に変換される。その信号を電氣的に処理することで、交差している縞の図心乃至極大点を検出ことができ、また標的400のヨー角、ピッチ角及びロール角やプローブ端470の座標を検出することができる。この処理は、標的400上の電子回路で行うことも、追尾ユニット100、電源/制御ユニット10又はコンピュータ20に有線又は無線中継してそこで行わせることもできる。

【0062】

[計測原理]

図11Aに、キューブコーナ型の再帰反射器410及び位置検出器432A、432Bの上面及び側面を示す。この図では、レーザビーム250が反射器410、レーザビーム370が検出器432A、432Bに、それぞれ直交方向から入射している。ビーム250は、反射器410の頂面中央412を通り反射器410の頂部414に達している。ビーム250の向きは、検出器230及びモータアセンブリ125、155の連携動作により、頂部414に至る向きに保たれている。ビーム370は常にビーム250に従っている。図示例の場合、そのビーム370で形成される縞が三部位で検出器432Aの能動領域433Aと交差、三部位で右側の検出器432Bの能動領域433Bと交差している。こうした交差部位の個数は、後に詳述する通り、追尾ユニット100に対する標的400のロール角で左右される。

40

【0063】

図11Bに、キューブコーナ型の再帰反射器410及び位置検出器432A、432B

50

の上面及び側面を示す。この図では、レーザビーム250が反射器410、レーザビーム370が検出器432A, 432Bに、それぞれ直交方向に対し45°ずれた方向から入射している。ビーム250の向きは、空気からガラスへと入射する際に屈折して面法線のそれに近づく。使用しているガラスの屈折率が1.8であれば、スネルの法則に従い、面法線に対するビーム250の角度が $\arcsin(\sin 45^\circ / 1.8) = 23.1^\circ$ となる。また、ビーム370も45°の入射角で検出器432A, 432Bに入射している。そのため、縞で形成されるパターンの輪郭が、上方から見て円ではなく楕円となっている。そのビーム370で形成される複数本の縞を、反射器410の頂面に沿い直線的に延長すると、それらはある一点416で交わる。その交点416は、面法線に対するビーム250, 370の傾斜角を増すにつれ、反射器410の頂面中央412から離れていく。

10

【0064】

標的400のピッチ角及びヨー角を求めることができるのは、交点416が頂面中央412から離れる動きを呈するからである。また、この動きが生じるのは、再帰反射器410の対称中心が位置検出器432A, 432Bの存在平面とは異なる面上にあるときである。この例のように反射器410がキューブコーナ型であれば、図11A及び図11Bに示す如くその条件が満たされる。反射器410の頂部が頂面よりも常に下方に来るからである。

【0065】

図12A及び図12Bに標的の別例構成1400を示す。これは標的400とほぼ同じ構成であるが、キューブコーナ型再帰反射器410の位置が位置検出器432A, 432Bの存在平面より幾分上にある点で異なっている。そのため、レーザビーム250が反射器410の頂面中央412に入射する部位は、実質的な入射部位を示す交点416からわかる通り標的400におけるそれと同じであるが、レーザビーム370で形成される複数本の縞が能動領域433A, 433Bと交差する部位は、図12Bに示す如く標的400におけるそれと相違している。また、当該交点416も移動しており、側面図たる図12Bに示す如く、ビーム250が空気中で辿っていた経路をガラス中に延長した先にある。即ち、ビーム250の中心が検出器432A, 432Bの存在平面と交わった点を上方から見たものが交点416となる。

20

【0066】

再帰反射器410を位置検出器432A, 432Bの存在平面より上方に配するメリットは、頂面図に示す如く交点416が頂面中央412に近くなることや、縞のうち検出器432A, 432Bと交差する部分が短くなることである。反射器410の位置は、レーザビーム370で形成される縞が検出器432A, 432Bに届く範囲内で、任意幅に亘り高めることができる。

30

【0067】

再帰反射器410の位置を位置検出器432A, 432Bの存在平面より上にした場合、市販のリニアCCDアレイを用い、0~45°の範囲に亘りピッチ角及びヨー角を計測することができる。図13にこの効果を示す。この図の右上隅にある小さな挿図は、ピッチ角、ロール角及びヨー角の取り決めを示している。x軸は検出器432A, 432Bの長手方向と同方向であり、ヨー角はx軸周り回動角、ピッチ角はy軸周り回動角、ロール角はz軸周り回動角に相応している。

40

【0068】

図11B及び図12Bに示した現象が発生するのは、標的400がヨーイング中でピッチングしていないときである。レーザビーム370で形成される縞は、標的400が左側にヨーイングすると、能動領域433A上での間隔が拡がり能動領域433B上での間隔が狭まる。標的400がピッチングすると、位置検出器432A, 432Bの表面に沿って上下動する。標的400がローリングすると、交点416周りで回動する。カメラアセンブリ350及び位置決めスポット480は、パターン投射アセンブリ300で生成される個々の縞を、検出器432A, 432Bに対する個々の交差部位に関連付けるのに

50

使用されている。

【0069】

図13にA～Kとして示したのは一般例（但し傾斜角の合計値が45°となるもの）である。傾斜方向は頂面中央412を交点416に結ぶ線から知ることができる。レーザービームで形成される複数本の縞は傾斜方向沿いに間延びし、その方向を長軸とする楕円状の輪郭を呈する。縞のなかに長軸と重なるものがないこともある。傾斜方向が位置検出器432A, 432Bに対し垂直ならその傾斜はヨーイングのみ、平行ならピッチングのみの傾斜である。ヨーイングとピッチングが同時に生じることもある。ロール角は、何らかの基準に対し特定の縞がなす角度として、位置決めスポット480によりもたらされる情報等から知ることができる。

10

【0070】

図13中のAは、レーザービーム入射方向に対する標的400のヨー角が45°、ピッチ角が0°の状態であり、レーザービーム370が標的400に図の右側から入射しているため、y軸（横軸）を長軸とする楕円が縞の延びで形成されている。その縞が位置検出器432Aと三部位で交差し、位置検出器432Bと三部位で交差していることに留意されたい。同じく図13中のKは、標的400のピッチ角が45°、ヨー角が0°の状態であり、ビーム370が標的400に図の上側から入射しているため、z軸（縦軸）を長軸とする楕円が形成されている。ここでも縞は各三部位にて検出器432A, 432Bと交差しているが、縞が短いためその交差部位が縞の端部近傍に生じている。

20

【0071】

図13では、AからKにかけて傾斜方向が10°刻みで変化している。これらの図に示した通り、縞は単一の点416を挟み対をなしている。その点416を明確に指し示す縞対が常に複数個存在している。この条件が成り立っているので、標的400のピッチ角及びヨー角を求めることができる。

【0072】

[計測方法]

上述した計測原理は六自由度計測方法及び装置のあらましを表している。次に、使用可能な情報処理手法について説明する。

【0073】

まず、位置検出器432A, 432Bの長手方向に沿った軸をx軸、位置検出器432A, 432Bの存在平面に直交する軸をz軸、x軸及びz軸と直交する軸をy軸とする。追尾ユニットから到来するレーザービームに対する標的の姿勢は、これらに従い定義される三通りの角度、及びロール角で全面的に記述することができる。それらのうち角度及びは、通例通り球面座標系に従いレーザービームを基準に定義される。即ち、はz軸からレーザービームに至る角度、はx軸からレーザービームの対xy平面投影像に至る角度である。については、便宜上、二次元的な図例えば図11～図13で図の上方から到来するレーザービームのが0°であると定める。従って、レーザービームが到来する方向は、 $\theta = +90^\circ$ なら図の右方、 $+180^\circ$ なら下方、 $+270^\circ$ なら左方と表される。ロール角は、追尾ユニットからの輻射で形成された縞のうちある1本を基準として定める。例えば、標的（プローブ）400及び追尾ユニット100が図1に示す向き、レーザー輻射により形成される縞が図8に示す向きであるとする。アポダイザ上の縞のうち図8の右側、上寄りにあるものを基準縞とすれば、ロール角はその縞と $\theta = 0^\circ$ の方向との関係で記述することができる。例えば、図中の基準縞は $\theta = 0^\circ$ に対し 22.5° 回動しているので、アポダイザから投射される光のロール角は 22.5° である、と称することができる。この初期位置に対しプローブが45°傾斜したなら、新たなロール角は $22.5^\circ + 45^\circ = 67.5^\circ$ となる。このように、ロール角は 0° から 360° に至る任意の値を採りうる。

30

40

【0074】

また、レーザービームの形状は、その伝搬につれ図9及び図10に示した如く変化していく。ひいては位置検出器432A, 432Bに対する縞の交差パターンも変化するので、

50

その点を勘案する必要がある。更に、縞の形状が完全に均等な形状ではないので、厳密なレーザビーム対位置検出器交差パターンは、その縞の厳密な形状で左右される。従って、検出器 4 3 2 A , 4 3 2 B 上に現れるパターンを、様々な距離、様々な傾斜角（ θ 、及びロール角）にて何回かサンプリングするのが現実的である。

【 0 0 7 5 】

計測精度を高めるため、プローブ端 4 7 0 を再帰反射器 4 1 0 の直下に配することもできる。位置検出器 4 3 2 A , 4 3 2 B の信号対雑音比及びレーザビーム 3 7 0 の投射で形成されたパターンの変動性に基づく数値解析を行い、角度 θ 及び ϕ を 0° から 45° まで変化したときに生じる誤差（ μm 単位）を調べてみたところ、図 1 4 に示す通り、最大誤差が $28\ \mu\text{m}$ となった。この領域でこの程度の小誤差なら十分に許容することができる。

10

【 0 0 7 6 】

[情報処理方法]

図 1 5 に、位置検出器 4 3 2 A , 4 3 2 B 上のレーザ入射パターンを示す実測シグネチャ値を求める手順の一例を示す。シグネチャとは極大点（山）及び極小点（谷）の位置のことであり、その極大点及び極小点は検出器 4 3 2 A , 4 3 2 B 上に最大 6 個まで現れる。個々の極大点の位置はいずれかの縞に対応しており、個々の極小点の位置は極大点同士の狭間に対応している。シグネチャを求めることで、更に、検出器 4 3 2 A , 4 3 2 B 上で各極大点乃至極小点の中央を占める交差の位置を、サブ画素精度で知ることができる。

【 0 0 7 7 】

その冒頭にある幾つかの処理ステップは、位置検出器 4 3 2 A（第 1 リニアセンサ）についても位置検出器 4 3 2 B（第 2 リニアセンサ）についても同様に適用される。該当するのは蓄積、ローパス、間引き、導関数値導出、ゼロクロス探索、小極大点/極小点除外及び放物線当て嵌めの諸ステップである。これらのステップは、フィールドプログラマブルゲートアレイ（FPGA）、デジタル信号プロセッサ（DSP）、マイクロプロセッサ、コンピュータ等の情報処理装置で実行される。

20

【 0 0 7 8 】

まず、個々の位置検出器に入射されるレーザビームがパワー及びデューティ比の調整を受けており、またそのビームが入射される時間（積分時間）の調整も受けているものとする。パワー及びデューティ比の調整は追尾ユニット内で、また積分時間の調整は電子シャッタ時間の調整を通じリニアセンサ側で実行することができる。いずれの調整も、位置検出器を飽和させずに良好な信号対雑音比を得るためのものである。

30

【 0 0 7 9 】

画素値は複数個一組で高速サンプリングされる。この図では、それにより得られた画素値が蓄積されている。即ち、複数個一組の画素値が複数回収集され、画素毎に平均化されている。例えば、4 0 9 6 個一組の画素値が位置検出器 4 3 2 A , 4 3 2 B から 1 6 0 0 フレーム/秒の速度で収集され、その画素値が 1 グループ = 8 フレーム毎に平均化されるなら、4 0 9 6 画素一組の画素サンプル蓄積値が 2 0 0 Hz の実効的データ収集速度で得られることとなる。

【 0 0 8 0 】

その画素サンプル蓄積値は次いでローパスフィルタリング及び間引きに供される。これらのステップは単一のデジタルフィルタで実行することができる。ローパスフィルタリングは様々な手法で実行することができる。最も単純なのは、隣り合う幾つかの画素同士でその値を平均化する手法である。間引きは幾つかの画素サンプル蓄積値を排除し後段での処理を単純化する処理であり、それにより、データポイント数を当初数の例えば $1/8$ に減らすことができる。

40

【 0 0 8 1 】

次いで、画素サンプル蓄積値から極大点及び極小点を抽出するため 4 個のステップが実行される。第 1 のステップでは隣接画素間の差分（導関数値）が導出される。第 2 のステップでは画素サンプル群が解析されそのゼロクロス、即ち極大点/極小点候補が識別される。第 3 のステップでは小さ過ぎる極大点/極小点候補、即ち候補のうち小規模過ぎてノ

50

イズの影響を受けやすいものや注目に値しないものが検討対象外とされる。第4のステップでは、残った極大点/極小点候補の付近にあるデータポイント群に放物線を当て嵌め、その極大点及び極小点の位置をサブ画素精度で求める。

【0082】

更に、位置決めスポット480の位置を利用し、後の処理で開始位置とされる概略ロール角が求められる。カメラ352ではスポット480の位置が十分正確にわからないので厳密なロール角を求めることはできない。

【0083】

こうして位置検出器432A, 432Bの出力に基づき放物線上の極大点及び極小点が、また位置決めスポット480の位置に基づき概略ロール角が求まったら、情報処理装置は、その結果に基づき、検出器432A, 432B上に生じている極大点それぞれをレーザビームによる縞それぞれと照合する。

10

【0084】

こうして計測されたシグネチャ値は、個々の縞との照合結果と、位置検出器432A, 432B毎のサブ画素精度位置とで構成されている。この実測シグネチャ値は図16に示す比較処理関数に入力され、次に説明する手法に従い理論シグネチャ値と比較される。

【0085】

この図に示す処理は、及びロール角の前回算出値に従い繰返し実行される。前回算出値として使用されるのは、標的(プローブ)400の向きに関する最近の計測結果から得られたもの又は初期的な近似値として供給されたものである。

20

【0086】

図中の当て嵌めルーチンでは、調整を何回か(通常は2乃至3回)繰返し実行することで、実測シグネチャ値・理論シグネチャ値間照合結果が最良となる、及びロール角の値が探索される。それにより得られた、及びロール角最良推定値は、レーザ追尾器による計測で判明している標的400までの距離と共に、図中のスプラインテーブルに送られる。そのスプラインテーブルには、標的400上での位置検出器・再帰反射器間位置関係を示す補償データも送られている。スプラインテーブルでは、そのデータに基づく補償により、極大点及び極小点のより正確な推定位置を示す理論シグネチャ値が導出される。

【0087】

この処理は、実測シグネチャ値と理論シグネチャ値の差が十分に小さくなり、当て嵌めルーチンにおける収束条件が満たされるまで継続される。収束条件が満たされたら、及びロール角最良推定値に基づきプローブ端の位置が算出される。この算出に際しては、プローブ及びその軸の長さや、プローブ及びその軸と標的400の他部位との幾何学的関係が勘案される。

30

【0088】

[標的捕捉用のカメラ]

カメラアセンブリ350はカメラ352及び1個又は複数個のLED354を備えている。上述の通り、このアセンブリ350を位置決めスポット480と併用することで、位置検出器432に交差する個々の縞を識別することができる。加えて、このアセンブリ350を使用することで、三自由度計測か六自由度かを問わず汎用型レーザ追尾器の動作を拡張することができる。

40

【0089】

汎用型レーザ追尾器を使用する場合、LEDを繰返し点灯させるのが普通である。LEDから発せられた光は再帰反射器で反射されて至近のカメラに戻る。そのカメラでは、通常の光景と併せ、LEDの点灯に同期し各再帰反射器が明るくなる光景が撮影される。その点灯のパターンから、オペレータは、再帰反射器の個数及び位置を素早く知ることができる。

【0090】

カメラには標的を素早く捉えられるという利点がある。しかし、現在入手可能な追尾器では、カメラが(備わっていたとしても)追尾器光軸から外れた場所に配置されている。

50

そうした配置では視差が生じるため、所要の再帰反射器を正確に向くよう追尾器を即座に駆動することができない。

【0091】

この問題に関しては、視差が生じないように、カメラアセンブリ350内のカメラ352を追尾器又はパターン投射アセンブリの光軸上に実装することで、対処することができる。また、図17に示すように、追尾器又はパターン投射アセンブリの光軸に対し互いに等距離となるよう、2個のカメラ352をその光軸を挟み又は囲み対称配置することでも対処することができる。図17に示すアセンブリ350では、出射窓246を挟むようカメラ352が、またそのカメラ352のそばにLED354がそれぞれ配置されているので、三角測量により標的の位置を計測することができる。更に、複数個のカメラを光軸周りに非対称配置することでも対処することができる。即ち、2個のカメラで計測される二種類の角度と、それらのカメラが追尾器座標系内で占めている位置とがわかる限り、再帰反射器の三次元位置を算出することができる。

10

【0092】

カメラアセンブリ350は任意の再帰反射器に向けることができる。オペレータは、コンピュータ画面上で所望のSMRを指定することで、その動作を実行させることができる。また、視野内に入ったSMRを自動的に捕捉するようコンピュータをセットアップしておくこともできる。この機能が格別に役立つのはSMRが1個しかないときである。

【0093】

こうした標的捕捉用カメラの代表的用途の一つに、多数の再帰反射標的を探すタイプの計測がある。本実施形態の追尾器では、コンピュータ画面上で次から次へとSMRを指定し、個々の標的をその追尾器で探索することで、そうした計測を実行することができる。計測開始時にはレーザビームを標的のそばに向けておく。カメラアセンブリ350がインライン型であれば、その環境下で個々の再帰反射器が占めている位置を迅速に自動特定して探索パターンを自動作成することができる。特に、標的への到達が困難な場合には、これによって時間をかなり節約することができる。この時間節約効果の好適例は航空機の胴体分離面連結である。航空機の胴体分離面同士を連結する際には、例えば、胴体分離面上に装着されている多数の小型再帰反射標的が使用される。それらの多くは到達困難な位置にある。標的探索の全自動化は胴体分離面間連結作業の簡略化につながる。

20

【0094】

以上、その具体的な実施形態を参照して本発明について説明した。ご理解頂けるように、それらに対しては、本発明の技術的範囲から逸脱することなく様々な変形を施すことができる。別紙特許請求の範囲における記載は、本発明の技術的範囲に収まる限りでそうした変形形態を包含するものである。

30

【0095】

即ち、上述した諸実施形態はあくまで限定ではなく例示である。本発明の技術的範囲は以上の説明ではなく別紙特許請求の範囲によって示されている。文理上又は均等論上特許請求の範囲の記載に該当するものであれば、こういった変形形態も、本発明の技術的範囲に包含されるものと解されたい。

【図1】

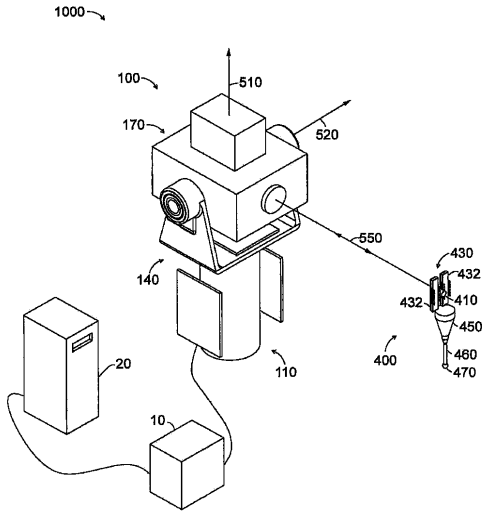


FIGURE 1

【図2】

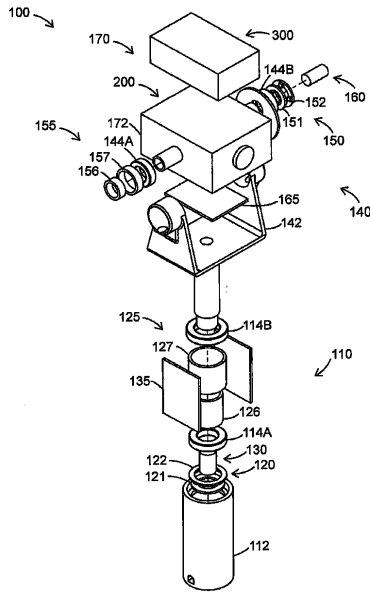


FIGURE 2

【図3】

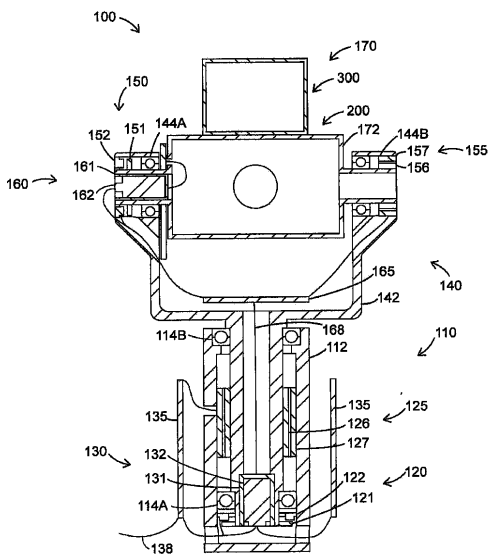
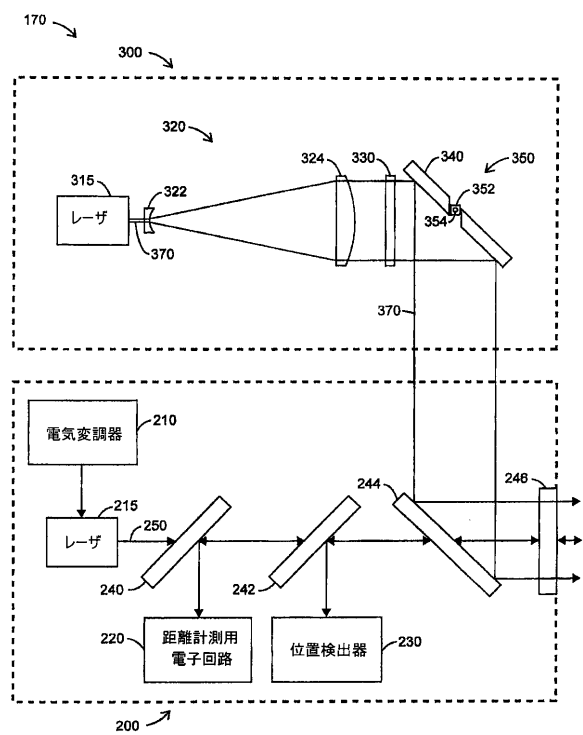


FIGURE 3

【図4】



【 図 5 】

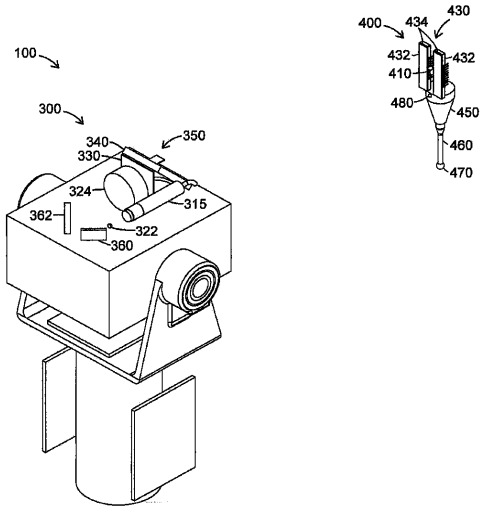


FIGURE 5

【 図 6 】

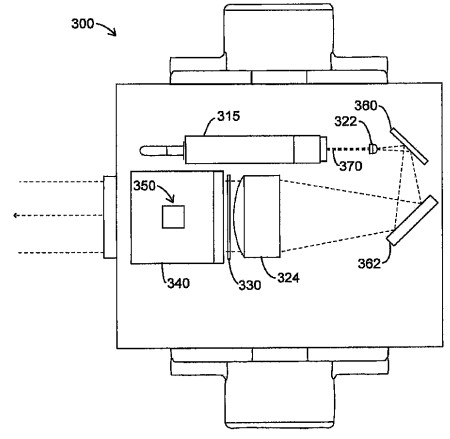


FIGURE 6

【 図 7 】

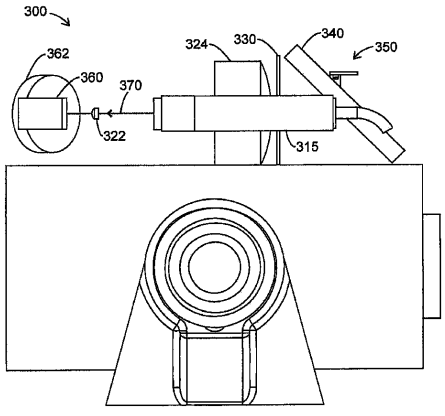


FIGURE 7

【 図 8 】

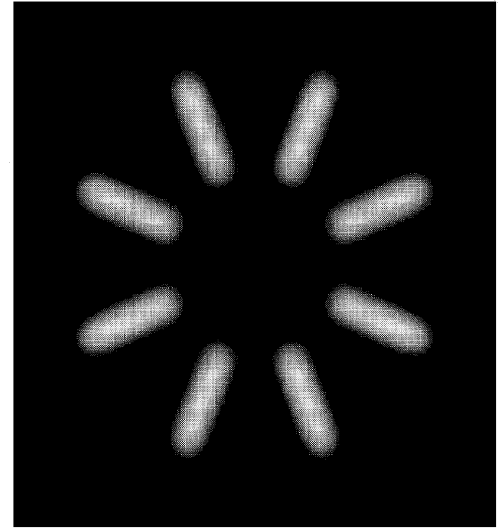


FIGURE 8

【 図 9 】

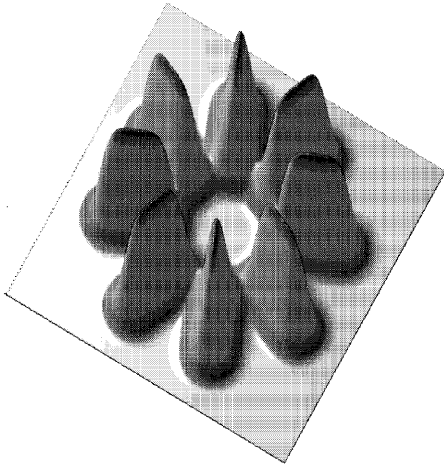


FIGURE 9

【 図 10 】

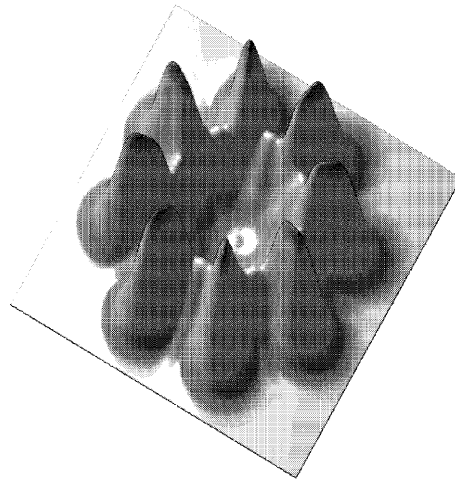


FIGURE 10

【 図 11 A 】

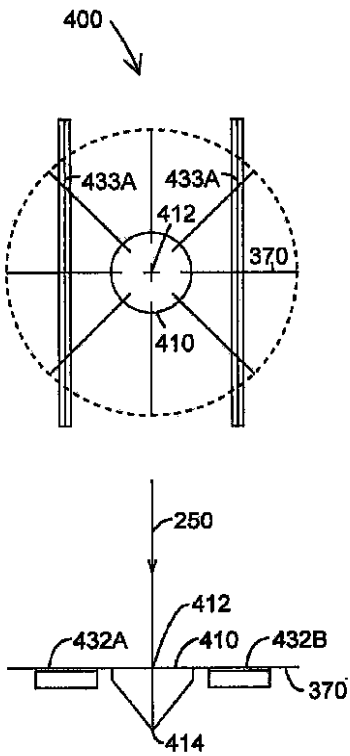


FIGURE 11A

【 図 11 B 】

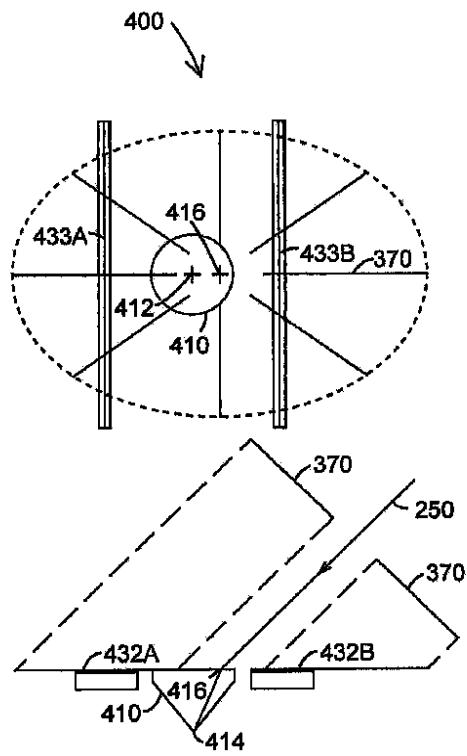


FIGURE 11B

【 図 1 2 A 】

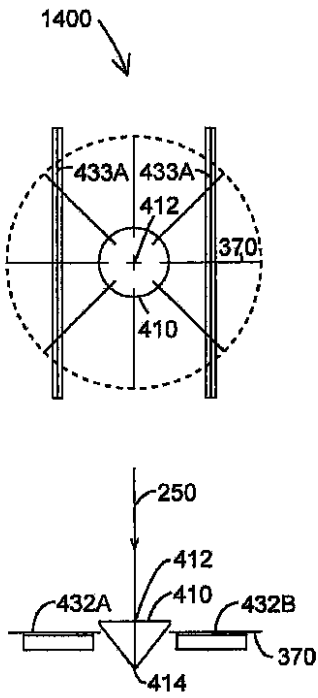


FIGURE 12A

【 図 1 2 B 】

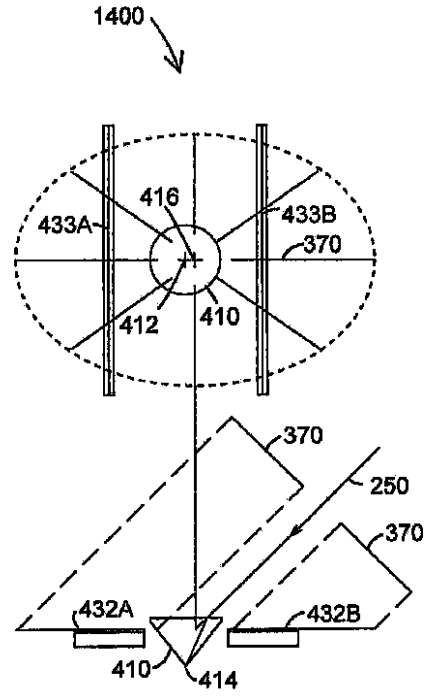
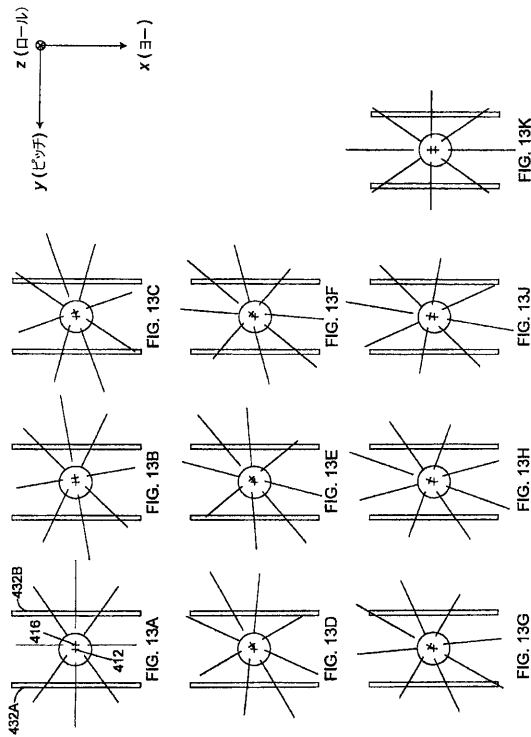
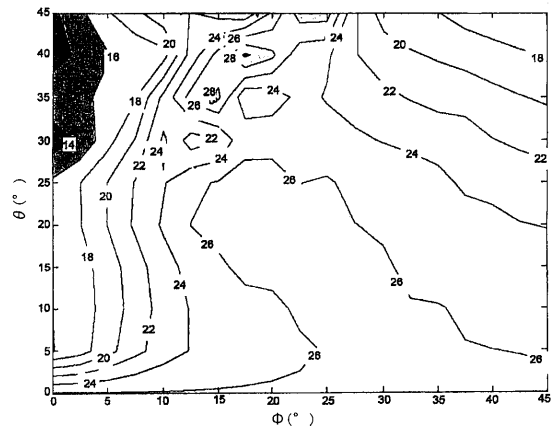


FIGURE 12B

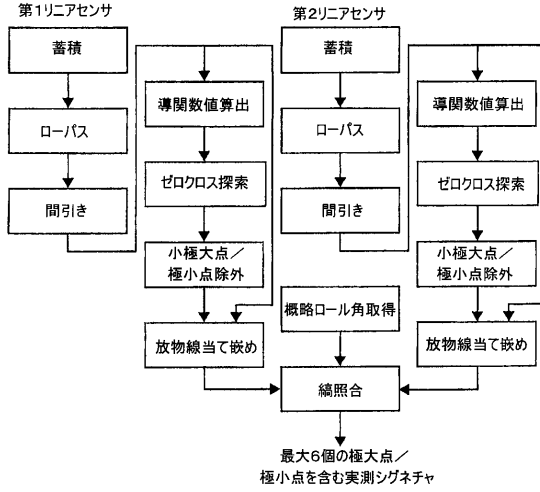
【 図 1 3 】



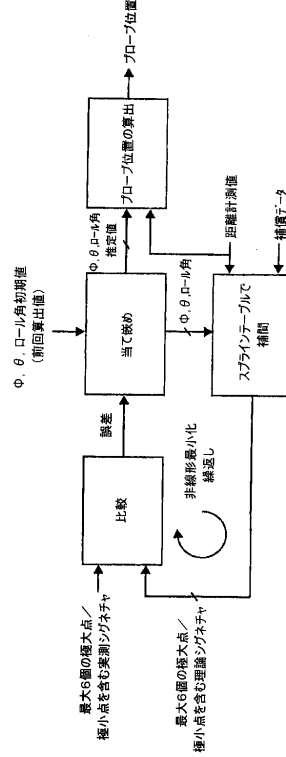
【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】

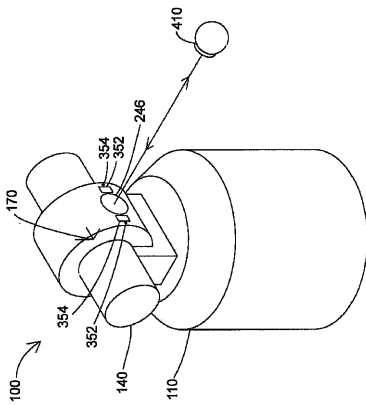


FIGURE 17

【手続補正書】

【提出日】平成22年12月13日(2010.12.13)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

少なくとも一軸周りで回動可能な被支持アセンブリ、その被支持アセンブリ上にあり第1レーザビームを輻射する主光学アセンブリ及び同じく被支持アセンブリ上にあり二次元パターンを呈するよう第2レーザビームを輻射するパターン投射アセンブリを有する追尾ユニットと、

再帰反射器及び位置検出アセンブリを有し、その位置検出アセンブリが主光学アセンブリと再帰反射器の頂部との間にあり、当該頂部が位置検出アセンブリの存在平面とは異なる平面上にある標的と、

を備える六自由度計測用のレーザ追尾システム。

【請求項2】

請求項1記載のレーザ追尾システムであって、上記主光学アセンブリが、上記第1レーザビームを輻射する第1レーザ光源と、距離計測用電子回路と、再帰反射されたレーザビーム又はその一部を距離計測用電子回路に送る第1ビームスプリッタと、

位置検出器と、

再帰反射されたレーザビーム又はその一部を位置検出器に送る第2ビームスプリッタと

、

を有するレーザ追尾システム。

【請求項3】

請求項1記載のレーザ追尾システムであって、上記パターン投射アセンブリが、第2レーザビームを輻射する第2レーザ光源と、その第2レーザビームを拡張するビームエキスパンダと、拡張された第2レーザビームを上記二次元パターンへと整形する整形部材と、を有するレーザ追尾システム。

【請求項4】

請求項3記載のレーザ追尾システムであって、上記整形部材がアポダイザを有するレーザ追尾システム。

【請求項5】

請求項4記載のレーザ追尾システムであって、上記アポダイザが、ガラス板とガラス板の間に光学セメントで装着された連続トーン膜透光器を有するレーザ追尾システム。

【請求項6】

請求項3記載のレーザ追尾システムであって、上記整形部材が回折素子を有するレーザ追尾システム。

【請求項7】

請求項3記載のレーザ追尾システムであって、上記整形部材が、複数個のレンズ、複数個のビームスプリッタ及び複数個のプリズムを有するレーザ追尾システム。

【請求項8】

請求項3記載のレーザ追尾システムであって、上記二次元パターンが、複数本の縞を有するパターンを含むレーザ追尾システム。

【請求項9】

少なくとも一軸周りで回動可能な被支持アセンブリ、スタンドに実装された方位軸アセ

ンブリ並びに方位軸周りで回動させよう方位軸アセンブリに実装された天頂軸アセンブリを有し、その被支持アセンブリが、天頂軸周りで回動させよう天頂軸アセンブリに実装された追尾ユニットと、

再帰反射されたレーザビームが所定位置から外れた位置でその位置検出器に入射したとき誤差信号を発生させ、第1レーザビームが再帰反射器の中央に入射するようその誤差信号に従い方位軸モータアセンブリ及び天頂軸モータアセンブリに被支持アセンブリを回動させる位置検出器と、

位置検出アセンブリ上における二次元パターンの位置を調べそのパターンの向きを示すシグネチャ値を計測するステップ、得られた実測シグネチャ値を理論シグネチャ値と繰返し比較するステップ、並びに実測シグネチャ値と理論シグネチャ値との差が収束条件を満たしたときにその実測シグネチャ値に基づき標的の向きを算出するステップを実行する電子回路と、

再帰反射器及び位置検出アセンブリを有し、その位置検出アセンブリが主光学アセンブリと再帰反射器の頂部との間にあり、当該頂部が位置検出アセンブリの存在平面とは異なる平面上にある標的と、

を備え、

被支持アセンブリが、第1レーザビームを輻射する主光学アセンブリと、二次元パターンを呈するよう第2レーザビームを輻射するパターン投射アセンブリと、を有し、

方位軸アセンブリが、天頂軸アセンブリを方位軸周りで回動させる方位軸モータアセンブリと、天頂軸アセンブリの回動角を計測する方位軸エンコーダアセンブリと、を有し、

天頂軸アセンブリが、被支持アセンブリを天頂軸周りで回動させる天頂軸モータアセンブリと、被支持アセンブリの回動角を計測する天頂軸エンコーダアセンブリと、を有する六自由度計測用のレーザ追尾システム。

【請求項10】

請求項3記載のレーザ追尾システムであって、上記パターン投射アセンブリが、カメラ及び1個又は複数個の発光ダイオードを有するカメラアセンブリを備え、そのカメラアセンブリが、当該パターン投射アセンブリの光軸上に存するレーザ追尾システム。

【請求項11】

請求項3記載のレーザ追尾システムであって、上記パターン投射アセンブリが、めいめいにカメラ及び1個又は複数個の発光ダイオードを有するカメラアセンブリを複数個備えるレーザ追尾システム。

【請求項12】

請求項10記載のレーザ追尾システムであって、上記標的が位置決めスポットを有するレーザ追尾システム。

【請求項13】

請求項1記載のレーザ追尾システムであって、上記再帰反射器がキューブコーナ型再帰反射器であるレーザ追尾システム。

【請求項14】

請求項1記載のレーザ追尾システムであって、上記再帰反射器及び位置検出アセンブリが共通の構造材に堅固連結されたレーザ追尾システム。

【請求項15】

請求項1記載のレーザ追尾システムであって、上記標的がプローブを有するレーザ追尾システム。

【請求項16】

レーザビームを輻射するレーザ光源と、

そのレーザビームを拡張するビームエキスパンダと、

拡張されたレーザビームを二次元パターンへと整形する整形部材と、

を備え、六自由度計測用のレーザ追尾システムで使用されるパターン投射アセンブリ。

【請求項17】

請求項16記載のパターン投射アセンブリであって、上記整形部材がアボダイザを有す

るパターン投射アセンブリ。

【請求項 18】

請求項 17 記載のパターン投射アセンブリであって、上記アボダイザが、ガラス板とガラス板の間に光学セメントで装着された連続トーン膜透光器を有するパターン投射アセンブリ。

【請求項 19】

請求項 16 記載のパターン投射アセンブリであって、上記整形部材が回折素子を有するパターン投射アセンブリ。

【請求項 20】

請求項 16 記載のパターン投射アセンブリであって、上記整形部材が、複数のレンズ、複数のビームスプリッタ及び複数のプリズムを有するパターン投射アセンブリ。

【請求項 21】

請求項 16 記載のパターン投射アセンブリであって、上記二次元パターンが、複数本の縞を有するパターンを含むパターン投射アセンブリ。

【請求項 22】

請求項 16 記載のパターン投射アセンブリであって、カメラ及び 1 個又は複数の発光ダイオードを有するカメラアセンブリを備え、そのカメラアセンブリが、本パターン投射アセンブリの光軸上に存するパターン投射アセンブリ。

【請求項 23】

請求項 16 記載のパターン投射アセンブリであって、めいめいにカメラ及び 1 個又は複数の発光ダイオードを有するカメラアセンブリを複数個備えるパターン投射アセンブリ。

【請求項 24】

再帰反射器と、
主光学アセンブリと再帰反射器の頂部との間にある位置検出アセンブリと、
を備え、その再帰反射器の頂部が位置検出アセンブリの存在平面とは異なる平面上にあり、六自由度計測用のレーザ追尾システムと併用される標的。

【請求項 25】

請求項 24 記載の標的であって、位置決めスポットを備える標的。

【請求項 26】

請求項 24 記載の標的であって、上記再帰反射器がキューブコーナ型再帰反射器である標的。

【請求項 27】

請求項 24 記載の標的であって、上記再帰反射器及び位置検出アセンブリが共通の構造材に堅固連結された標的。

【請求項 28】

請求項 24 記載の標的であって、プローブを備える標的。

【請求項 29】

再帰反射器及びその近傍に位置する位置検出アセンブリを有し、その再帰反射器の頂部が位置検出アセンブリの存在平面とは異なる平面上にあり、且つその位置検出アセンブリが再帰反射器の頂部と第 1 レーザビームの光源との間にある標的を準備するステップと、
第 1 レーザビームを再帰反射器に入射させるステップと、
第 1 レーザビームを再帰反射器の動きに追従させるステップと、
二次元パターンを呈するよう第 2 レーザビームを標的に入射させるステップと、
位置検出アセンブリ上における二次元パターンの位置を調べそのパターンの向きを示すシグネチャ値を計測するステップと、
得られた実測シグネチャ値を理論シグネチャ値と繰返し比較するステップと、
実測シグネチャ値と理論シグネチャ値との差が収束条件を満たしたときにその実測シグネチャ値に基づき標的の向きを算出するステップと、
を実行して標的の向きを計測する方法。

【請求項 30】

請求項 29 記載の方法であって、
上記二次元パターンとして、中央の点から放射状に延びる複数本の縞を有するパターンを発生させ、
上記位置検出アセンブリとして、リニアな位置検出素子又は感光アレイを複数個有するものを使用する方法。

【請求項 31】

再帰反射器及びその近傍に位置する位置検出アセンブリを有し、その再帰反射器の頂部が位置検出アセンブリの存在平面とは異なる平面上にあり、且つその位置検出アセンブリがリニアで複数個の画素を含む位置検出素子又は感光アレイを複数個有する標的を準備するステップと、

中央の点から放射状に延びる複数本の縞を有する二次元パターンを呈するようレーザービームを標的に入射させるステップと、

位置検出アセンブリ上における二次元パターンの位置を調べそのパターンの向きを示すシグネチャ値を計測するステップであって、複数個一組の画素それぞれにつきその画素値を繰返し収集して平均化することで複数個一組の画素サンプル蓄積値を生成するステップ、その画素サンプル蓄積値をフィルタリングするステップ、当該画素サンプル蓄積値を間引くステップ、隣接画素間の導関数値を算出するステップ、その導関数値におけるゼロクロスを検出することで極大点及び極小点の候補を識別するステップ、所定のしきい値より小規模な候補を検討対象外とするステップ、並びに残った候補の付近にあるデータポイント群に放物線を当て嵌めるステップを含むステップと、

得られた実測シグネチャ値を理論シグネチャ値と繰返し比較するステップと、

実測シグネチャ値と理論シグネチャ値との差が収束条件を満たしたときにその実測シグネチャ値に基づき標的の向きを算出するステップと、

を実行し、標的の向きを計測する方法。

【請求項 32】

請求項 1 記載のレーザー追尾システムであって、上記位置検出アセンブリが、

位置検出素子又は感光アレイと、

その上に存する光学フィルタと、

を有するレーザー追尾システム。

【請求項 33】

請求項 32 記載のレーザー追尾システムであって、上記位置検出アセンブリが、位置検出素子又は感光アレイを複数個有するレーザー追尾システム。

【請求項 34】

請求項 32 記載のレーザー追尾システムであって、上記感光アレイたる CCD 又は CMOS アレイを備えるレーザー追尾システム。

【請求項 35】

請求項 33 記載のレーザー追尾システムであって、上記位置検出素子又は感光アレイたるリニアアレイを複数個備えるレーザー追尾システム。

【請求項 36】

請求項 32 記載のレーザー追尾システムであって、上記光学フィルタが光学帯域通過フィルタ及び中性濃度フィルタを有するレーザー追尾システム。

【請求項 37】

請求項 24 記載の標的であって、上記位置検出アセンブリが、

位置検出素子又は感光アレイと、

その上に存する光学フィルタと、

を有する標的。

【請求項 38】

請求項 37 記載の標的であって、上記位置検出アセンブリが、位置検出素子又は感光アレイを複数個有する標的。

【請求項 39】

請求項 37 記載の標的であって、上記感光アレイたる CCD 又は CMOS アレイを備える標的。

【請求項 40】

請求項 38 記載の標的であって、上記位置検出素子又は感光アレイたるリニアアレイを複数個備える標的。

【請求項 41】

請求項 37 記載の標的であって、上記光学フィルタが光学帯域通過フィルタ及び中性濃度フィルタを有する標的。

【請求項 42】

請求項 1 記載のレーザ追尾システムであって、
上記位置検出アセンブリ上における上記二次元パターンの位置を調べそのパターンの向きを示すシグネチャ値を計測するステップと、
得られた実測シグネチャ値を理論シグネチャ値と繰返し比較するステップと、
実測シグネチャ値と理論シグネチャ値との差が収束条件を満たしたときにその実測シグネチャ値に基づき上記標的の向きを算出するステップと、
を実行する電子回路を備えるレーザ追尾システム。

【請求項 43】

少なくとも一軸周りで回動可能な被支持アセンブリ、その被支持アセンブリ上にあり第 1 レーザビームを輻射する主光学アセンブリ及び同じく被支持アセンブリ上にあり二次元パターンであって中央の点から放射状に延びる複数本の縞を有するものを呈するよう第 2 レーザビームを輻射するパターン投射アセンブリを有する追尾ユニットと、
再帰反射器及び位置検出アセンブリを有し、その位置検出アセンブリが主光学アセンブリと再帰反射器の頂部との間にあり、当該頂部が位置検出アセンブリの存在平面とは異なる平面上にあり、当該位置検出アセンブリがリニアな位置検出素子又は感光アレイを複数個有する標的と、
位置検出アセンブリ上における二次元パターンの位置を調べそのパターンの向きを示すシグネチャ値を計測するステップ、得られた実測シグネチャ値を理論シグネチャ値と繰返し比較するステップ、並びに実測シグネチャ値と理論シグネチャ値との差が収束条件を満たしたときにその実測シグネチャ値に基づき標的の向きを算出するステップを実行する電子回路と、
を備える六自由度計測用のレーザ追尾システム。

【請求項 44】

少なくとも一軸周りで回動可能な被支持アセンブリ、その被支持アセンブリ上にあり第 1 レーザビームを輻射する主光学アセンブリ及び同じく被支持アセンブリ上にあり二次元パターンであって中央の点から放射状に延びる複数本の縞を有するものを呈するよう第 2 レーザビームを輻射するパターン投射アセンブリを有する追尾ユニットと、
再帰反射器及び位置検出アセンブリを有し、その位置検出アセンブリが主光学アセンブリと再帰反射器の頂部との間にあり、当該頂部が位置検出アセンブリの存在平面とは異なる平面上にあり、当該位置検出アセンブリがリニアで複数個の画素を含む位置検出素子又は感光アレイを複数個有する標的と、
位置検出アセンブリ上における二次元パターンの位置を調べそのパターンの向きを示すシグネチャ値を計測するステップ、得られた実測シグネチャ値を理論シグネチャ値と繰返し比較するステップ、並びに実測シグネチャ値と理論シグネチャ値との差が収束条件を満たしたときにその実測シグネチャ値に基づき標的の向きを算出するステップを実行する電子回路であって、更に、複数個一組の画素それぞれにつきその画素値を繰返し収集して平均化することで複数個一組の画素サンプル蓄積値を生成するステップ、その画素サンプル蓄積値をフィルタリングするステップ、当該画素サンプル蓄積値を間引くステップ、隣接画素間の導関数値を算出するステップ、その導関数値におけるゼロクロスを検出することで極大点及び極小点の候補を識別するステップ、所定のしきい値より小規模な候補を検討

対象外とするステップ、並びに残った候補の付近にあるデータポイント群に放物線を当て嵌めるステップを実行する電子回路と、

を備える六自由度計測用のレーザ追尾システム。

【請求項 4 5】

少なくとも一軸周りで回動可能な被支持アセンブリを有する追尾ユニットを備え、その被支持アセンブリが、

第 1 レーザビームを輻射する主光学アセンブリと、

それぞれカメラ及び 1 個又は複数個の発光ダイオードを有する複数個のカメラアセンブリと、

を有するレーザ追尾システム。

【請求項 4 6】

請求項 4 5 記載のレーザ追尾システムであって、都合複数個備わるカメラの配置が、上記被支持アセンブリの光軸周りで対称であるレーザ追尾システム。

【請求項 4 7】

請求項 4 5 記載のレーザ追尾システムであって、都合複数個備わるカメラの位置が、上記被支持アセンブリの出射窓付近であるレーザ追尾システム。

【請求項 4 8】

請求項 4 5 記載のレーザ追尾システムであって、

再帰反射器を有する標的を備え、

都合複数個備わるカメラを用いその標的を立体視して標的に対する距離及び角度を推定するレーザ追尾システム。

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/US2009/064758

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
INV. G01S5/16 G01S17/66 G01B11/00 G01C15/00		
ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
G01S G01B G01C G01D G06F		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)		
EPO-Internal, INSPEC		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 7 312 862 B2 (ZUMBRUNN ROLAND [CH] ET AL ZUMBRUNN ROLAND [CH] ET AL) 25 December 2007 (2007-12-25) cited in the application	1-3,6-8, 14-17, 20-22, 25, 27-29, 33-42
Y	* abstract; figures 6,9 column 3, lines 42-44 column 5, lines 20-32 column 7, line 3 - column 8, line 17 ----- -/--	4,5, 9-13,18, 19,23, 24,26
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents :		
A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. *&* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report	
2 July 2010	09/07/2010	
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Grübl, Alexander	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/US2009/064758

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 03/062744 A1 (FARO TECH INC [US]) 31 July 2003 (2003-07-31)	46
Y	* abstract page 8, line 16 - page 9, line 29 page 11, lines 26-32 page 18, line 20 - page 20, line 17 page 24, lines 23-24 page 27, lines 7-20	9-12,23, 24
Y	WO 2007/079601 A1 (LEICA GEOSYSTEMS AG [CH]; DOLD JUERGEN [CH]; MOSER DANIEL [CH]; ZUMBRU) 19 July 2007 (2007-07-19) page 6, lines 5-13	13,26
Y	DE 35 30 922 A1 (RODENSTOCK OPTIK G [DE]) 30 April 1986 (1986-04-30) claim 1	4,5,18, 19
X	US 6 667 798 B1 (MARKENDORF ALBERT [CH] ET AL) 23 December 2003 (2003-12-23) * abstract; figures 1,2,4 column 1, lines 7-10 column 2, line 41 - column 5, line 64	1,25,30, 43
X	WO 2006/055770 A2 (DYNALOG INC [US]; DE SMET PIERRE [US]) 26 May 2006 (2006-05-26) claim 16; figures 1,2,4 page 6, line 29 - page 7, line 19 page 10, line 3 - page 12, line 30	30,31
X	US 6 166 809 A (PETTERSEN ALF D [NO] ET AL) 26 December 2000 (2000-12-26) * abstract; figures 1,4 column 4, line 3 - column 7, line 17	46-49

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US2009/064758**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see additional sheet

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.

2. As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.

3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

International Application No. PCT/US2009 /064758

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. claims: 1-29, 46

special technical feature: apodisation
problem solved: reducing diffraction patterns
technical effect: lower sidelobes

2. claims: 30-45

special technical feature: iteratively comparing the measured signature value with a theoretical signature value
problem solved: finding the values of pitch, yaw, and roll
technical effect: finding best match between the measured and theoretical signatures

3. claims: 47-49

special technical feature: two cameras are placed symmetrically about an axis of the payload assembly
problem solved: to provide an estimate of distance and angles to target
technical effect: stereoscopic viewing

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/US2009/064758

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 7312862	B2	25-12-2007	EP 1710602 A1 11-10-2006
			JP 2006276012 A 12-10-2006
			US 2006222314 A1 05-10-2006
WO 03062744	A1	31-07-2003	EP 1466136 A1 13-10-2004
WO 2007079601	A1	19-07-2007	AU 2007204543 A1 19-07-2007
			CA 2636383 A1 19-07-2007
			CN 101371160 A 18-02-2009
			EP 1971878 A1 24-09-2008
			JP 2009523236 T 18-06-2009
DE 3530922	A1	30-04-1986	NONE
US 6667798	B1	23-12-2003	AT 234473 T 15-03-2003
			AU 5800000 A 19-02-2001
			WO 0109642 A1 08-02-2001
			DE 50001460 D1 17-04-2003
			EP 1200853 A1 02-05-2002
			ES 2194748 T3 01-12-2003
			JP 2003506691 T 18-02-2003
WO 2006055770	A2	26-05-2006	US 2009157226 A1 18-06-2009
US 6166809	A	26-12-2000	NONE

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 ブラウン ローレンス ビー

アメリカ合衆国 ペンシルバニア コックランビル コルトン ドライブ 16

(72)発明者 アクレイ ケビン アール

アメリカ合衆国 ペンシルバニア ボイヤータウン グルディン レーン 19

Fターム(参考) 5J084 AA04 AD02 AD07 BA04 BA05 BA13 BA33 BA34 BA40 BA49
 BA50 BA57 BB10 BB12 BB14 BB18 BB20 BB25 BB27 BB31
 BB38 CA10 CA26 CA32 DA01 DA02 EA05 EA07 EA23 EA31