

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7025317号  
(P7025317)

(45)発行日 令和4年2月24日(2022.2.24)

(24)登録日 令和4年2月15日(2022.2.15)

(51)国際特許分類 F I  
G 0 1 S 7/497(2006.01) G 0 1 S 7/497

請求項の数 8 (全23頁)

(21)出願番号	特願2018-205753(P2018-205753)	(73)特許権者	390008235 ファナック株式会社 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3 5 8 0 番地
(22)出願日	平成30年10月31日(2018.10.31)	(74)代理人	100099759 弁理士 青木 篤
(65)公開番号	特開2020-71143(P2020-71143A)	(74)代理人	100123582 弁理士 三橋 真二
(43)公開日	令和2年5月7日(2020.5.7)	(74)代理人	100112357 弁理士 廣瀬 繁樹
審査請求日	令和2年3月23日(2020.3.23)	(72)発明者	中村 稔 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3 5 8 0 番地 ファナック株式会社内
審査番号	不服2020-17324(P2020-17324/J 1)	(72)発明者	渡邊 淳 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3 5 最終頁に続く
審判請求日	令和2年12月17日(2020.12.17)		
早期審査対象出願			

(54)【発明の名称】 測距装置を有する物体監視システム

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

対象空間に照射した参照光と前記対象空間からの反射光との位相差に基づき前記対象空間の測距値を出力する測距装置を備え、前記対象空間の中に定めた監視領域内に監視物体が存在するか否かを前記測距値に基づき判定する物体監視システムであって、前記対象空間における前記監視領域外の外部物体の配置及び形状を前記外部物体の前記測距値に基づき求め、前記外部物体の反射率を一律の規定値と仮定し、求めた前記配置及び前記形状に従って前記外部物体に起因する前記測距値のシフト量を推定する手段と、前記推定したシフト量に基づき、前記判定手法を補正する手段と、を備えることを特徴とする物体監視システム。

## 【請求項2】

対象空間に照射した参照光と前記対象空間からの反射光との位相差に基づき前記対象空間の測距値及び光強度値を出力する測距装置を備え、前記対象空間の中に定めた監視領域内に監視物体が存在するか否かを前記測距値に基づき判定する物体監視システムであって、前記対象空間における前記監視領域外の外部物体の配置及び形状を前記外部物体の前記測距値に基づき求め、求めた前記配置、前記形状、及び前記光強度値に従って前記外部物体に起因する前記測距値のシフト量を推定する手段と、前記推定したシフト量に基づき、前記判定手法を補正する手段と、を備えることを特徴とする物体監視システム。

## 【請求項3】

前記シフト量は、前記監視領域の遠方側縁についてのみ推定される、請求項 1 又は 2 に記載の物体監視システム。

【請求項 4】

前記判定手法の補正は、前記監視領域を補正することによって行われる、請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の物体監視システム。

【請求項 5】

前記判定は、前記測距装置の視線方向における前記監視領域の範囲を表す範囲値テーブルに基づき行われ、前記判定手法の補正は、前記範囲値テーブルを補正することによって行われる、請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の物体監視システム。

【請求項 6】

前記判定手法の補正は、前記監視物体の前記測距値を補正することによって行われる、請求項 1 又は 2 に記載の物体監視システム。

【請求項 7】

前記シフト量は、前記対象空間内で移動する前記監視物体についてのみ推定される、請求項 1、2、又は 6 に記載の物体監視システム。

【請求項 8】

前記監視物体は、前記監視領域を所定の拡張距離で拡張した領域内の物体として検出される、請求項 1、2、6、又は 7 に記載の物体監視システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、測距装置を有する物体監視システムに関し、特にマルチパスの影響を考慮した物体監視システムに関する。

【背景技術】

【0002】

物体までの距離を測定する測距装置として、光の飛行時間に基づき距離を出力する TOF (time of flight) カメラが公知である。TOF カメラは、所定周期で強度変調した参照光を対象空間に照射し、参照光と対象空間からの反射光との間の位相差に基づき対象空間の測距値を出力する位相差方式を採用するものが多い。

【0003】

斯かる TOF カメラは、参照光の経路長を位相差に基づき間接的に測定し測距するため、ある測距点に対し、他の物体を介して多重反射した参照光が強く影響する場合には、測距値が誤って大きくなる現象（所謂、マルチパス）が知られている。マルチパスの影響の抑制又は低減に関する技術としては、例えば下記の特許文献が公知である。

【0004】

特許文献 1 には、少なくとも 2 つの照射領域毎に照射光量を調節可能に構成した光源部を備えた 3 次元測定装置が開示されている。3 次元測定装置は、各照射領域 a、b、c において所定の基本光量を照射光量として設定した照射パターン A の露光量の総和と、各照射領域の中の少なくとも 1 つである照射領域 b の照射光量が基本光量より小さい照射パターン B の露光量の総和とを差分し、差分を 2 倍することにより、照射パターン A に混入する不要反射光の露光成分を算出している。

【0005】

特許文献 2 には、撮像センサの視野のうち任意の領域のみを照明する照明モジュール（ストライプ照明）を備えた飛行時間型カメラが開示されている。ピクセル領域ごとに互いに独立して照明及び測定を行う構成は、直接でない光路や多重反射を減らせると同時に、より直接的な光をピクセル領域が受光できるので、多重反射（マルチパス反射）に関して有利となる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

10

20

30

40

50

【文献】再公表特許 2014/097539号  
特表 2015 - 513825号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

TOFカメラを利用し、対象空間の中に定めた監視領域内に監視物体が存在するか否かを測距値に基づき判定する物体監視システムにおいて、監視領域近傍にマルチパスを引き起す外部物体が有る場合には、TOFカメラから出力される測距値が誤って大きくなることがある。この場合、特に監視領域の遠方位置においては、監視領域の中に監視物体が存在していても監視物体が無いと誤判定されてしまう。

10

【0008】

一方、監視領域近傍に外部物体が有っても、外部物体の配置や外部物体の反射率に依存して、外部物体が監視領域内の物体測距に大きな影響を及ぼさないこともある。

【0009】

そこで、マルチパスの影響を考慮してより正確な物体監視を行う技術が求められている。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本開示の一態様は、対象空間に照射した参照光と対象空間からの反射光との位相差に基づき対象空間の測距値を出力する測距装置を備え、対象空間の中に定めた監視領域内に監視物体が存在するか否かを測距値に基づき物体監視システムであって、対象空間における監視領域外の外部物体の配置及び形状を外部物体の測距値に基づき求め、前記外部物体の反射率を一律の規定値と仮定し、求めた配置及び形状に従って外部物体に起因する測距値のシフト量を推定する手段と、推定したシフト量に基づき、判定手法を補正する手段と、を備える、物体監視システムを提供する。

20

本開示の他の態様は、対象空間に照射した参照光と対象空間からの反射光との位相差に基づき対象空間の測距値及び光強度値を出力する測距装置を備え、対象空間の中に定めた監視領域内に監視物体が存在するか否かを前記測距値に基づき判定する物体監視システムであって、対象空間における監視領域外の外部物体の配置及び形状を外部物体の測距値に基づき求め、求めた配置、形状、及び光強度値に従って外部物体に起因する測距値のシフト量を推定する手段と、前記推定したシフト量に基づき、判定手法を補正する手段と、を備える、物体監視システムを提供する。

30

【発明の効果】

【0011】

本開示の一態様によれば、マルチパスの影響を考慮したより正確な物体監視を行うことが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】一実施形態における物体監視システムの構成を示すブロック図である。

【図2】物体監視システムの適用例を示す平面図である。

【図3】マルチパスを誘発し得る外部物体の一例を示す平面図である。

40

【図4】対象空間における外部物体の配置（ベクトル  $A_j$ 、ベクトル  $B_j$ 、及び法線ベクトル  $s_j$ ）に従って対象空間（点  $P_j$ ）における測距値のシフト量を推定する原理を示す概念図である。

【図5A】外部物体の反射率（ $r$ ）に従って対象空間（点  $P_j$ ）における測距値のシフト量を推定する原理を示す概念図である。

【図5B】外部物体の反射率（ $r'$ ）に従って対象空間（点  $P_j$ ）における測距値のシフト量を推定する原理を示す概念図である。

【図6】測距値のシフト量の計算式を説明するための概念図である。

【図7】多重反射光の光強度値（ $L_f$ ）及び往路遅延（ $T_f$ ）の算出式を説明するための概念図である。

50

【図 8】外部物体の微小面 ( $s_i$ ) からの反射光成分の光強度値 ( $L_i$ ) 及び往路遅延 ( $T_i$ ) の算出式を説明するための概念図である。

【図 9】測距値のシフト量の簡易計算手法を示す概念図である。

【図 10】測距装置の視線方向における監視領域の範囲を示す平面図である。

【図 11】測距装置の視線方向における監視領域の範囲を表す範囲値テーブルを示す図である。

【図 12】外部物体に起因する測距値のシフト量を示す等高線図である。

【図 13】監視領域の補正を示す平面図である。

【図 14】補正した監視領域の拡大図である。

【図 15】物体監視システムの動作の一例を示す概略フローチャートである。

10

【図 16】外部物体に起因する測距値の補正量を示す等高線図である。

【図 17】監視領域に僅かに入った監視物体のマルチパスの影響を受けた測距点群を示す平面図である。

【図 18】測距値の補正量 (シフト量) を推定する監視物体の検出領域を示す図である。

【図 19】監視物体の測距点群を補正する様子を示す拡大図である。

【図 20】物体監視システムの動作の一例を示す概略フローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、添付図面を参照して本開示の実施形態を詳細に説明する。各図面において、同一又は類似の構成要素には同一又は類似の符号が付与されている。また、以下に記載する実施形態は、特許請求の範囲に記載される発明の技術的範囲及び用語の意義を限定するものではない。

20

【0014】

図 1 は、一実施形態における物体監視システム 1 の構成を示すブロック図である。物体監視システム 1 は、測距装置 10、コンピュータ装置 20、及び信号出力部 27 を備え、監視領域内の物体有無を監視するよう構成されている。測距装置 10、コンピュータ装置 20、及び信号出力部 27 は、有線、無線などのネットワーク等を介して接続され、相互に通信可能に構成される。他の実施形態では、測距装置 10、信号出力部 27、及びコンピュータ装置 20 の少なくとも一部は、バス接続等で一体化されていてもよい。信号出力部 27 は、外部機器への 1 つ又は複数の信号出力機能を有し、また 1 つ又は複数の信号入力機能を有している場合もある。ネットワークの通信制御としては、例えばイーサネット (登録商標)、USB 等の通信制御がある。

30

【0015】

測距装置 10 は、例えば TOF カメラであり、対象空間に照射した参照光と対象空間からの反射光との間の位相差に基づき対象空間の測距値データ 11 を出力する。さらに、測距装置 10 は、対象空間から反射される参照光の光強度値データ 12 を出力する場合がある。

【0016】

コンピュータ装置 20 は、CPU 21、RAM 22、ROM 23、入出力部 24、不揮発性メモリ 25、及び表示部 26 を備えている。不揮発性メモリ 25 は、ユーザによって設定された監視領域の三次元情報を含む監視領域データ 31 を記憶している。CPU 21 は、RAM 22 をワーク RAM として ROM 23 に記憶された物体監視プログラム 30 を実行すると、監視領域データ 31 を不揮発性メモリ 25 から読出すと共に、入出力部 24 を介して測距値データ 11、光強度値データ 12 等を測距装置 10 から読出す。CPU 21 は、監視領域内の物体有無を測距値データ 11 及び監視領域データ 31 に基づき判定し、監視領域内に監視物体が存在する場合には、信号出力部 27 に作用して物体検知信号を出力する。また、表示部 26 は、測距装置 10 からの測距値データ 11 又は光強度値データ 12 を画像として表示する。

40

【0017】

さらに、本実施形態における物体監視システム 1 は、監視領域外の外部物体に起因する測距値のシフト量を推定し、推定したシフト量に基づき監視領域内の物体有無判定を補正す

50

る機能を有している。CPU 21は、対象空間における外部物体の配置を外部物体の測距値データ11に基づき求め、求めた配置に従って外部物体に起因する測距値のシフト量データ32を算出する。また、必要に応じてCPU 21は、外部物体の配置に加えて外部物体の光強度値データ12から測距値のシフト量データ32を算出する。測距値のシフト量データ32は、物体監視ログとして外部物体データ33と関連付けて不揮発性メモリ25に記憶されてもよい。

【0018】

図2は、物体監視システム1の適用例を示す平面図である。本例では、作業台40に載置したワーク41を搬送するロボット42と作業員43との間の干渉を回避するため、監視領域44がユーザによって設定され、物体監視システム1は監視領域44内に作業員43が存在するか否かを測距装置10の測距値データ等に基づき判定する。本例における監視領域44は、安全柵45の開口部近傍に直方体形状として定められているが、測距装置10の対象空間46の中であれば任意の場所に任意の形状で設定できる。また、物体監視システム1が出力する物体検知信号は、一般には安全を配慮して監視領域44の監視によって作業員43から隔離されるロボット、工作機械等の危険源の動力を停止する信号として使用される。

10

【0019】

図3は、マルチパスを誘発し得る外部物体47の一例を示す平面図である。外部物体47は、測距装置10の対象空間46の中にあり、且つ、監視領域44の外部に存在する物体として定義される。外部物体47は、壁、柱等の不動体でもよく、図3に示すような段ボール、椅子等の動体でもよい。従って、マルチパスを誘発し得る外部物体47は対象空間46の中に複数存在していることもある。

20

【0020】

図3に示す外部物体47の影響により、作業員等の監視物体36の測距値はシフトする(大きくなる)。このため、特に監視領域44の遠方領域48において、実際の監視物体36'は監視領域44内に存在している場合であっても、マルチパスの影響を受けた監視物体36は監視領域44内に存在していないと誤判定されてしまう。この測距値のシフト量は、下記の原理に基づき推定できる。

【0021】

図4は、対象空間における外部物体の配置(ベクトル $A_i$ 、ベクトル $B_i$ 、及び法線ベクトル $s_i$ ( $i$ は整数))に従って対象空間(点 $P_j$ ( $j$ は整数))における測距値のシフト量を推定する原理を示す概念図である。ベクトル $A_i$ は、測距装置10の光源から外部物体47の微小面 $s_i$ を結ぶベクトルであり、ベクトル $B_i$ は、外部物体47の微小面 $s_i$ から点 $P_j$ を結ぶベクトルである。図4では、概略的にA点-D点の4点の微小面を代表的に示しているが、実際には外部物体47の面全体から反射した光が点 $P_j$ を照らすことに留意されたい。また、法線ベクトル $s_i$ は、外部物体47の微小面 $s_i$ に対して垂直なベクトルである。

30

【0022】

測距装置10は光の飛行時間に基づき測距するため、点 $P_j$ における物体測距は、点 $P_j$ から直接反射してくる単反射光の距離遅延 $T_d$ だけでなく、外部物体47を介して点 $P_j$ から反射してくる多重反射光の往路遅延 $T_f$ の影響を受ける。従って、多重反射光の往路遅延 $T_f$ は、ベクトル $A_i$ の大きさ及びベクトル $B_i$ の大きさの和に依存する。また、点 $P_j$ における物体測距は、点 $P_j$ から直接反射してくる単反射光の光強度 $L_o$ だけでなく、外部物体47を介して点 $P_j$ から反射してくる多重反射光の光強度値 $L_f$ の影響も受ける。外部物体47の微小面 $s_i$ を考えた場合、微小面 $s_i$ の法線ベクトル $s_i$ が測距装置10の方を向いている程、測距装置10の参照光は微小面 $s_i$ に強く照射される。また、微小面 $s_i$ の法線ベクトル $s_i$ が点 $P_j$ の方を向いている程、点 $P_j$ は強い影響を受ける。換言すれば、点 $P_j$ における物体測距は、対象空間における(即ち点 $P_j$ に対する)外部物体47の微小面 $s_i$ の配置(ベクトル $A_i$ 、ベクトル $B_i$ 、及び法線ベクトル $s_i$ )に依存することとなる。従って、外部物体47に起因する測距値のシフト量は、対象空間における外部物体47

40

50

の配置を外部物体 47 の測距値に基づき求め、求めた配置に従って推定することができる。

【0023】

図 5 A 及び図 5 B は、外部物体の反射率（ $\rho$  及び  $\rho'$ （ $\rho < \rho'$ ））に従って対象空間（例えば点  $P_j$ ）における測距値のシフト量を推定する原理を示す概念図である。図 5 A には、黒色等の低反射率  $\rho$  の外部物体 47 が示されており、図 5 B には、白色等の高反射率  $\rho'$  の外部物体 47 が示されている。低反射率  $\rho$  の外部物体 47 の場合、点  $P_j$  における物体測距は、外部物体 47 の影響を殆ど受けず、点  $P_j$  から直接反射してくる単反射光の光強度値  $L_o$  のみに概ね依存する。しかし、高反射率  $\rho'$  の外部物体 47 の場合、点  $P_j$  における物体測距は、外部物体 47 を介して点  $P_j$  から反射してくる多重反射光の光強度値  $L_f$  にも依存することとなる。従って、外部物体 47 に起因する測距値のシフト量は、は、前述の配置に加えて、必要に応じて外部物体 47 の反射率（ $\rho$  及び  $\rho'$ ）に基づき推定する。これにより、測距値のシフト量の計算精度が向上する。なお、本願では詳細には触れないが、物体の反射率や配置関係によっては、物体間を複数回にわたって反射した参照光の影響が発生する場合もある。その影響は大きくないものの、これらまで加味して計算することで、更なる精度の向上が期待できる。以下では、斯かるシフト量の理論的な計算式又は簡易的な計算式を説明する。これら計算式は、コンピュータ装置 20 の計算性能等を顧みて、実機での検証に基づき係数等を補正して使用することに留意されたい。

10

【0024】

図 6 は、測距値のシフト量の計算式を説明するための概念図である。図 6 のグラフは、測距装置で受光した光のパルス波を示している。グラフの縦軸は光強度を表し、横軸は時間を表す。参照光は、周期  $T_p$  で強度変調され、点  $P_j$  から直接反射してくる単反射光 (i) は、パルス幅  $T_p / 2$ 、光強度値  $L_o$ 、及び距離遅延  $T_d$  を有するものとする。この本来の単反射光に加え、外部物体を介して点  $P_j$  から反射してくる多重反射光 (ii) は、外部物体の微小面  $s_j$  で反射し、遅延した位相を持つ反射光成分の和で構成される。図 7 では、図 5 に示す A 点 - D 点の 4 点の反射光成分の和を代表的に示している。実際には、単反射光 (i) 及び多重反射光 (ii) を複合した歪んだ複合反射光 (iv) を受光することとなる。

20

【0025】

測距装置 10 は、歪んだ複合反射光 (iv) を受光した場合、その測距原理から矩形状の等価光 (vi) として測距を行うこととなる。多重反射光 (ii) を、往路遅延  $T_f$ 、光強度値  $L_f$ 、時間幅  $T_p / 2$  の矩形状の等価光 (iii) として考えても、実際に受光する歪んだ複合反射光 (iv) に対する等価光 (iii) の影響は、(v) 及び (vi) に示す通り、等価となる。このとき、陰影部 a 及び陰影部 b の面積が等しいという関係から、陰影部 a の時間幅を  $t$  とすると、下記式が得られる。

30

【0026】

【数 1】

$$t \cdot L_o = (T_f - T_d / 2 - t) \cdot L_f \quad \dots \text{式 1}$$

40

【0027】

さらに、式 1 を変形すると、下記式が得られる。

【0028】

【数 2】

$$t = (T_f - T_d / 2) \cdot L_f / (L_o + L_f) \quad \dots \text{式 2}$$

50

【 0 0 2 9 】

ここで、陰影部 a の時間幅 t は、外部物体の影響を受けた複合反射光の等価光 (v<sub>i</sub>) の距離遅延 T d' と、外部物体の影響を受けていない単反射光 (i) の距離遅延 T d との差分に等しいため、下記式が得られる。

【 0 0 3 0 】

【数 3】

$$Td' - Td = (Tf - Td / 2) \cdot Lf / (Lo + Lf) \quad \dots \text{式 3}$$

10

【 0 0 3 1 】

前述の距離遅延同士の差分 T d' - T d は、往復路の距離遅延同士の差分であるため、下記式のように光速 c を乗算して 2 で除算することにより、外部物体に起因する測距値の正味のシフト量 D s が推定される。従って、式 3 の右辺が求めれば、測距値のシフト量 D s を推定できることとなる。

【 0 0 3 2 】

【数 4】

$$Ds = \frac{c \cdot (Td' - Td)}{2} \quad \dots \text{式 4}$$

20

【 0 0 3 3 】

式 3 において、単反射光 (i) の距離遅延 T d は、予め定めた点 P<sub>j</sub> の位置から求められる。また、単反射光 (i) の光強度値 L<sub>o</sub> は、予め定めた点 P<sub>j</sub> の位置と物体監視システム 1 で規定される監視物体の反射率から影響が最大となる反射率を想定して計算することが可能である。従って、式 3 における多重反射光の光強度値 L<sub>f</sub> 及び往路遅延 T<sub>f</sub> を求めることにより、距離遅延同士の差分 T d' - T d、ひいては測距値のシフト量 D s を求めることが可能となる。

30

【 0 0 3 4 】

図 7 は、多重反射光の光強度値 L<sub>f</sub> 及び往路遅延 T<sub>f</sub> の算出式を説明するための概念図である。外部物体の微小面 s<sub>j</sub> からの反射光成分は、パルス幅 T<sub>p</sub> / 2、光強度 L<sub>j</sub>、及び往路遅延 T<sub>j</sub> を有するものとする。これら反射光成分を、パルス幅 T<sub>p</sub> / 2、光強度 L<sub>f</sub>、往路遅延 T<sub>f</sub> の等価光として考えた場合、L<sub>f</sub>、T<sub>f</sub> は下記式の通りとなる。

【 0 0 3 5 】

【数 5】

$$Lf = \sum \Delta L_j \quad \dots \text{式 5}$$

40

【 0 0 3 6 】

【数 6】

50

$$Tf = \frac{1}{L_f} \sum (\Delta T_i \cdot \Delta L_i) \quad \dots \text{式6}$$

【0037】

ここで、式5、式6の  $L_i$ 、 $T_i$ について検討する。図8は、外部物体47の微小面  $s_i$ からの反射光成分の光強度値  $L_i$ 及び往路遅延  $T_i$ の算出式を説明するための概念図である。外部物体47の微小面  $s_i$ の面積を  $s_i$ 、各微小面  $s_i$ の反射率を  $\rho_i$ 、ベクトル  $A_i$ と法線ベクトル  $s_i$ との成す角を  $\theta_i$ 、ベクトル  $B_i$ と法線ベクトル  $s_i$ との成す角を  $\alpha_i$ とする。微小面  $s_i$ を介して点  $P_j$ から反射してくる反射光成分の光強度値  $L_i$ は、反射率  $\rho_i$ に応じて変化し、距離の二乗に反比例し、 $\theta_i$ 、 $\alpha_i$ の各々の余弦に応じて変化する。また、微小面  $s_i$ を介して点  $P_j$ から反射してくる反射光成分の往路遅延  $T_i$ は、ベクトル  $A_i$ 及びベクトル  $B_i$ の大きさと、光速  $c$ とから求められる。従って、 $L_i$ 、 $T_i$ は、下記式から求められることとなる。ここで、 $k$ は比例係数である。

【0038】

【数7】

$$\Delta L_i = k \cdot \frac{\rho_i \cdot \cos \theta_i}{|\vec{A}_i|^2} \cdot \frac{\cos \alpha_i}{|\vec{B}_i|^2} \cdot \Delta s_i \quad \dots \text{式7}$$

【0039】

【数8】

$$\Delta T_i = \frac{1}{c} \cdot (|\vec{A}_i| + |\vec{B}_i|) \quad \dots \text{式8}$$

【0040】

従って、式6における  $T_i \cdot L_i$ の関係式は、式7、式8から下記の通りとなる。

【0041】

【数9】

$$\Delta T_i \cdot \Delta L_i = \frac{k}{c} \cdot \frac{\rho_i \cdot \cos \theta_i \cdot \cos \alpha_i \cdot (|\vec{A}_i| + |\vec{B}_i|)}{|\vec{A}_i|^2 \cdot |\vec{B}_i|^2} \cdot \Delta s_i \quad \dots \text{式9}$$

【0042】

ここで、法線ベクトル  $s_i$  は、測距装置が出力した微小面  $s_i$  の周辺の複数の距離情報を使用して推定することが可能である。従って、法線ベクトル  $s_i$  が求めれば、ベクトル  $A_i$  との成す角  $\theta_i$  も、ベクトル  $B_i$  との成す角  $\alpha_i$  も求められることとなる。

【 0 0 4 3 】

また、外部物体 4 7 の微小面  $s_i$  は、測距装置が出力する測距値に基づき検出されるため、微小面  $s_i$  の法線ベクトル  $s_i$  は必ず測距装置側を向く。従って、 $0^\circ < \theta_i < 90^\circ$  となる。また、 $0^\circ < \alpha_i < 90^\circ$  の範囲外となる外部物体 4 7 の微小面  $s_i$  は、点  $P_j$  の方向を向いていない面であるため、測距値のシフト量  $D_s$  の計算から除外してもよい。

【 0 0 4 4 】

式 7、式 9 を式 5、式 6 に代入すると、多重反射光の光強度値  $L_f$  及び往路遅延  $T_f$  は、10

下記式から求められることとなる。

【 0 0 4 5 】

【数 1 0】

$$L_f = k \sum \frac{\rho_i \cdot \cos \theta_i}{|\vec{A}_i|^2} \cdot \frac{\cos \alpha_i}{|\vec{B}_i|^2} \cdot \Delta s_i \quad \dots \text{式 1 0}$$

20

【 0 0 4 6 】

【数 1 1】

$$T_f = \frac{k}{c \cdot L_f} \sum \frac{\rho_i \cdot \cos \theta_i \cdot \cos \alpha_i \cdot (|\vec{A}_i| + |\vec{B}_i|)}{|\vec{A}_i|^2 \cdot |\vec{B}_i|^2} \cdot \Delta s_i \quad \dots \text{式 1 1}$$

30

【 0 0 4 7 】

式 1 0、式 1 1 における  $i$  は整数であるため、これら式は、多重反射光の光強度値  $L_f$  及び往路遅延  $T_f$  を離散的な値で計算したものと見える。さらに、式 1 0、式 1 1 を下記式のように積分式として表現すると、 $L_f$ 、 $T_f$  を連続的な値で計算したものとなる。即ち、下記の積分式は、外部物体 4 7 の反射面  $S$  の全てを介して点  $P_j$  から反射してくる多重反射光の光強度値  $L_f$ 、往路遅延  $T_f$  をより精密に計算したものと見える。換言すれば、測距値のシフト量  $D_s$  は、外部物体 4 7 の測距値から推定した形状に基づき算出されることとなる。なお、下記の積分式ではさらに、反射面  $S$  の反射率を一定値  $\rho_s$  としていることに留意されたい。また、下記式における  $\cos \theta_s$ 、 $\cos \alpha_s$ 、ベクトル  $A_s$ 、及びベクトル  $B_s$  は、40

【 0 0 4 8 】

【数 1 2】

$$L_f = k \cdot \rho_s \int_S \frac{\cos \theta_s}{|\vec{A}_s|^2} \cdot \frac{\cos \alpha_s}{|\vec{B}_s|^2} \cdot ds \quad \dots \text{式 1 2}$$

50

【 0 0 4 9 】

【 数 1 3 】

$$Tf = \frac{k \cdot \rho_s}{c \cdot Lf} \int_s \frac{\cos \theta_s \cdot \cos \alpha_s \cdot (|\vec{A}_s| + |\vec{B}_s|)}{|\vec{A}_s|^2 + |\vec{B}_s|^2} \cdot ds \quad \dots \text{式 1 3}$$

【 0 0 5 0 】

10

また、前述した通り、外部物体 4 7 における光の反射がランバート反射であると仮定すると、反射面 S における反射率  $\rho_s$ 、光強度値データ  $L_s$ 、及び測距値データ  $A_s$ （即ち、ベクトル  $A_s$  の大きさ）との間には、下記の関係式が成り立つこととなる。ここで、 $k_s$  は比例係数である。

【 0 0 5 1 】

【 数 1 4 】

$$L_s = \frac{k_s \cdot \rho_s}{|\vec{A}_s|^2} \quad \dots \text{式 1 4}$$

20

【 0 0 5 2 】

従って、式 1 4 を変形すると、反射面 S の反射率  $\rho_s$  は、下記式に示す通り、反射面 S の代表点の光強度値データ  $L_i$  及び測距値データ  $A_i$  から求めることもできる。

【 0 0 5 3 】

【 数 1 5 】

$$\rho_s = \frac{L_i \cdot |\vec{A}_i|^2}{k_s} \quad \dots \text{式 1 5}$$

30

【 0 0 5 4 】

さらに、外部物体 4 7 の反射面 S が複数個、即ち  $m$  個（ $m$  は 2 以上の整数）有る場合には、式 1 2、式 1 3 で求めた個々の  $L f_j$ 、 $T f_j$ （ $1 \leq j \leq m$ ）について、さらに下記式の計算を行い、複数の反射面 S に起因する測距値のシフト量  $D_s$  を推定することもできる。下記式を応用すれば、外部物体 4 7 が対象空間の中に複数存在している場合であっても測距値のシフト量を推定することも可能となる。なお、測距装置 1 0 からの参照光が複数の外部物体 4 7 を介して点  $P_j$  から多重反射してくる場合の測距値のシフト量  $D_s$  については、複数の外部物体の配置と、必要に応じて複数の外部物体の反射率とを考慮して推定することになることに留意されたい。

40

【 0 0 5 5 】

【 数 1 6 】

50

$$L_f = \sum_{j=1}^m L_{f_j} \quad \dots \text{式 1 6}$$

【 0 0 5 6 】

【 数 1 7 】

10

$$T_f = \frac{1}{L_f} \sum_{j=1}^m (T_{f_j} \cdot L_{f_j}) \quad \dots \text{式 1 7}$$

【 0 0 5 7 】

図 9 は、測距値のシフト量の簡易計算手法を示す概念図である。以下では、コンピュータ装置の計算性能等を顧み、測距装置のイメージセンサ 5 0 の画素単位に注目した簡易計算手法を説明する。イメージセンサ 5 0 の各画素には、視線方向に伴う視野範囲が其々ある。従って、前述した微小面  $s_i$  は、画素  $u_i$  の視野範囲に存在する外部物体の一部の面に相当すると考えることができる。

20

【 0 0 5 8 】

各画素の視野範囲において、測距装置のレンズ 5 1 の中心から単位距離に位置し、且つ、イメージセンサ 5 0 に対して正対した平面の単位面積を  $s_0$  とした場合、任意の画素  $u_i$  の測距値  $A_i$  が示す位置にある外部物体 4 7 の一部の面の面積  $s_i$  は、距離の二乗に比例し、法線ベクトル  $s_i$  との成す角  $\theta_i$  の余弦に概ね反比例するため、下記の近似式から求めることができる。なお、 $k$  は比例係数である。

【 0 0 5 9 】

【 数 1 8 】

30

$$\Delta s_i \cong k \cdot \frac{|\vec{A}_i|^2}{\cos \theta_i} \cdot s_0 \quad \dots \text{式 1 8}$$

【 0 0 6 0 】

従って、式 1 8 を式 1 0、式 1 1 に代入し、新たな比例係数  $k_p$  を使用すると、多重反射光の光強度値  $L_f$ 、往路遅延  $T_f$  は、外部物体 4 7 を構成する各画素を単位として簡易化した下記式から求めることができる。

40

【 0 0 6 1 】

【 数 1 9 】

50

$$Lf = k_p \sum \frac{\rho_i \cdot \cos \alpha_i}{|\vec{B}_i|^2} \quad \dots \text{式 19}$$

【 0 0 6 2 】

【 数 2 0 】

10

$$Tf = \frac{k_p}{c \cdot Lf} \sum \frac{\rho_i \cdot \cos \alpha_i \cdot (|\vec{A}_i| + |\vec{B}_i|)}{|\vec{B}_i|^2} \quad \dots \text{式 20}$$

【 0 0 6 3 】

20

測距装置 10 が光強度値データを出力できない場合、又は、さらに計算式を簡易化する方法として、式 19、式 20 において、反射率  $\rho_i$  を一定値とし、新たな比例係数  $k_{p1}$  を使用すると、多重反射光の光強度値  $Lf$ 、往路遅延  $Tf$  は、さらに簡易化した下記式から求めることもできる。

【 0 0 6 4 】

【 数 2 1 】

$$Lf = k_{p1} \sum \frac{\cos \alpha_i}{|\vec{B}_i|^2} \quad \dots \text{式 21}$$

30

【 0 0 6 5 】

【 数 2 2 】

$$Tf = \frac{k_{p1}}{c \cdot Lf} \sum \frac{\cos \alpha_i \cdot (|\vec{A}_i| + |\vec{B}_i|)}{|\vec{B}_i|^2} \quad \dots \text{式 22}$$

40

【 0 0 6 6 】

式 21、式 22 は、測距装置が出力する各画素の測距値のみで点  $P_j$  における測距値のシフト量  $D_s$  を計算する手法となる。なお、比例係数  $k_{p1}$  は、実測に基づき実用を踏まえて決めていく。

【 0 0 6 7 】

50

また、前述した通り、外部物体 47 における光の反射がランバート反射であると仮定すると、各画素の光強度値  $I_i$  は、各画素が担当する外部物体 47 の一部の面の反射率を反映する。そこで、式 15 を式 19、式 20 に代入し、新たな比例係数  $k_{p2}$  を使用すると、下記式が得られる。

【 0 0 6 8 】

【 数 2 3 】

$$Lf = k_{p2} \sum \frac{I_i \cdot |\vec{A}_i|^2 \cdot \cos \alpha_i}{|\vec{B}_i|^2} \quad \dots \text{式 2 3} \quad 10$$

【 0 0 6 9 】

【 数 2 4 】

$$Tf = \frac{k_{p2}}{c \cdot Lf} \sum \frac{I_i \cdot |\vec{A}_i|^2 \cdot \cos \alpha_i \cdot (|\vec{A}_i| + |\vec{B}_i|)}{|\vec{B}_i|^2} \quad \dots \text{式 2 4} \quad 20$$

【 0 0 7 0 】

式 23、式 24 は、式 21、式 22 に対し、測距装置が出力する各画素の外部物体 47 の光強度値も用いて点  $P_j$  における測距値のシフト量  $D_s$  を計算する手法となる。これにより、外部物体の反射率による影響を加味できるため、測距値のシフト量  $D_s$  の計算精度が向上する。なお、比例係数  $k_{p2}$  は、実測に基づき実用を踏まえて決めていく。また、法線ベクトル  $s_j$  は、注目画素  $u_j$  に隣接する複数の画素の測距値から求められる。さらに計算式を簡易化するため、 $\cos \alpha_j$  を最大値の 1 としてもよい。

【 0 0 7 1 】

以下では、前述のように推定したシフト量  $D_s$  に基づき、監視領域内の物体有無判定を補正する 2 つの実施例について説明する。

【 0 0 7 2 】

図 10 は測距装置 10 の視線方向における監視領域 44 の範囲を示す図であり、図 11 は図 10 の監視領域 44 の範囲を表す範囲値テーブル 52 を示す図である。監視領域 44 内の監視物体 36 の有無を判定する手法の一つとして、ユーザが設定した監視領域 44 に対し、測距装置 10 のイメージセンサの各画素  $u(i, j)$  の視線方向における監視領域 44 の範囲を表す範囲値テーブル 52 を予め作成しておき、画素  $u(i, j)$  毎に測定された測距値が範囲値テーブル 52 の近位値  $D_{near}$  と遠位値  $D_{far}$  との範囲内か否かを判定することによって、監視領域 44 の物体監視を行う手法がある。図 10 に示す例では、監視物体 36 の第 1 測距点群 53 が範囲値テーブル 52 の範囲外であるものの、監視物体 36 の第 2 測距点群 54 は範囲値テーブル 52 の範囲内であるため、監視領域内に監視物体 36 が存在すると判定される。なお、近位値  $D_{near}$  は使用せず、遠位値  $D_{far}$  以内で監視領域内に監視物体 36 が存在すると判定する物体監視システムもある。

【 0 0 7 3 】

< 実施例 1 (監視領域の補正) >

10

20

30

40

50

図 1 2 は、外部物体 4 7 に起因する測距値のシフト量を示す等高線図である。理解を容易にするため、図 1 2 では、監視領域 4 4 及びその周辺領域についても測距値のシフト量の等高線が示されているが、本例における測距値のシフト量は、監視領域 4 4 の遠方側縁 5 5 についてのみ推定されることに留意されたい。なお、監視領域 4 4 の遠方側縁 5 5 とは、直方体形状の監視領域 4 4 であれば、監視領域 4 4 の背面、右側面、左側面、上面、及び下面として定義される。測距値のシフト量を監視領域 4 4 の遠方側縁 5 5 についてのみ推定することにより、コンピュータ装置の計算コストを抑制することができる。

【 0 0 7 4 】

図 1 3 は監視領域 4 4 の補正を示す平面図であり、図 1 4 は補正した監視領域 4 4 ' の拡大図である。本例では、監視領域 4 4 の遠方側縁 5 5 についてのみ推定したシフト量だけ監視領域 4 4 を補正（拡張）し、補正した監視領域 4 4 ' を生成する。即ち、図 1 1 の範囲値テーブル 5 2 における遠位値  $D_{far}$  を補正することとなる。図 1 4 に示す通り、監視領域 4 4 ' における第 1 遠位値 5 6 は約 2 5 mm 分拡張されており、第 2 遠位値 5 7 は約 1 0 0 mm 分拡張されている。監視領域 4 4 の補正後は、補正した範囲値テーブル 5 2 に基づき、補正した監視領域 4 4 ' 内の物体有無判定を行う。これにより、マルチパスの影響を考慮した物体監視が可能となる。

10

【 0 0 7 5 】

図 1 5 は、本例における物体監視システムの動作を示す概略フローチャートである。ステップ S 1 0 では、外部物体の測距値データを測距装置から取得する。ステップ S 1 1 では、必要に応じて外部物体の光強度値データを測距装置から取得する。ステップ S 1 2 では、対象空間における外部物体の配置（ベクトル  $A_i$ 、ベクトル  $B_i$ 、及び法線ベクトル  $s_i$ ）を外部物体の測距値に基づき求める。

20

【 0 0 7 6 】

ステップ S 1 3 では、求めた配置と、必要に応じて外部物体の光強度値（ $L_i$ ）とに基づき、監視領域の遠方側縁についてのみ測距値のシフト量（ $D_s$ ）を推定する。ステップ S 1 4 では、推定したシフト量に基づいて監視領域を補正する。ステップ S 1 5 では、監視物体が補正した監視領域内か否かを判定する。監視物体が補正した監視領域内に無い場合には（ステップ S 1 5 の NO）、補正した監視領域に基づき物体有無判定（ステップ S 1 5）を繰返す。監視物体が補正した監視領域内に有る場合には（ステップ S 1 5 の YES）、ステップ S 1 6 において物体検知信号を出力する。

30

【 0 0 7 7 】

< 実施例 2（監視物体の測距値の補正） >

図 1 6 は外部物体 4 7 に起因する測距値の補正量を示す等高線図であり、図 1 7 は監視領域に僅かに入った監視物体 3 6 ' のマルチパスの影響を受けた測距点群 5 8 を示す平面図である。図 1 6 及び図 1 7 に示す補正量の等高線は、測距装置 1 0 が測距した測距値、即ち測距値が示す測距点（位置）を基準に、測距値の補正量（シフト量）の分布を表しており、図 1 2 及び図 1 3 に示したシフト量の等高線とは分布及び符号が異なることに留意されたい。このように、測距装置 1 0 が測距した測距値の補正量（シフト量）を推定し、測距値を補正した監視物体が監視領域内か否かを判定する。

【 0 0 7 8 】

理解を容易にするため、図 1 6 及び図 1 7 では、監視領域 4 4 及びその周辺領域についても測距値の補正量の等高線が示されているが、本例における測距値の補正量（シフト量）は、測距装置 1 0 の対象空間 4 6 において監視領域 4 4 に入る前の監視物体の測距点群 5 8 についてのみ推定される。例えば一つの手法として、本例における物体監視システムは、測距装置 1 0 の対象空間 4 6 において移動する物体を監視物体として補正量（シフト量）の推定を行うことができる。これにより、コンピュータ装置の計算コストを抑制することができる。

40

【 0 0 7 9 】

また別の手法として、本例における測距値の補正量（シフト量）は、監視物体の測距点群 5 8 のように監視領域 4 4 の周辺領域の測距点についてのみ推定してもよい。図 1 8 は、

50

測距値の補正量（シフト量）を推定する監視物体の検出領域を示す図である。例えば監視物体は、図 18 に示すように監視領域を所定の拡張距離  $r$  で拡張した領域内で測距される物体として検出することができる。拡張距離  $r$  は、予め実機による検証等に基づいて求めた一定の距離でもよく、又は、本例における外部物体 47 により推定した等高線の最低値分の距離、即ち補正量の最大値としてもよい。これより、コンピュータ装置の計算コストを抑制することができる。

【0080】

図 19 は、監視物体の測距点群 58 を補正する様子を示す拡大図である。測距点群 58 の各測距点（位置）と測距値の補正量を示す等高線図とを照合することで、又は、測距点群 58 から測距値の補正量（シフト量）を推定することで、測距点群 58 の各測距点の補正量が得られ、補正された測距点群 61 を得る。図 19 に示す例では、監視物体の第 1 測距値 59 が約 50 mm 補正（低減）されており、第 2 測距値 60 が約 60 mm 補正（低減）されている。監視物体の測距値を補正した後は、補正した測距値に基づき、監視領域 44 内の物体有無判定を行う。これにより、マルチパスの影響を考慮した物体監視が可能となる。

10

【0081】

図 19 は、本例における物体監視システムの動作を示す概略フローチャートである。ステップ S20 では、外部物体の測距値データを測距装置から取得する。ステップ S21 では、必要に応じて外部物体の光強度値データを測距装置から取得する。ステップ S22 では、対象空間における外部物体の配置（ベクトル  $A_i$ 、ベクトル  $B_i$ 、及び法線ベクトル  $s_i$ ）を外部物体の測距値に基づき求める。

20

【0082】

ステップ S23 では、求めた配置と、必要に応じて外部物体の光強度値（ $L_i$ ）とに基づき、監視領域に入る前の監視物体についてのみ測距値の補正量（シフト量）を推定する。ステップ S24 では、推定した補正量（シフト量）に基づいて監視物体の測距値を補正する。ステップ S25 では、測距値を補正した監視物体が監視領域内か否かを判定する。測距値を補正した監視物体が監視領域内に無い場合には（ステップ S25 の NO）、監視物体の測距値の補正量（シフト量）の推定（ステップ S23）に戻る。測距値を補正した監視物体が監視領域内に有る場合には（ステップ S25 の YES）、ステップ S26 において物体検知信号を出力する。

30

【0083】

以上の実施形態によれば、マルチパスの影響を考慮してより正確な物体監視を行うことが可能となる。

【0084】

前述したフローチャートを実行するプログラムは、コンピュータ読取り可能な非一時的記録媒体、例えば CD-ROM 等に記録して提供してもよい。

【0085】

本明細書において種々の実施形態について説明したが、本発明は、前述した実施形態に限定されるものではなく、以下の特許請求の範囲に記載された範囲内において種々の変更を行えることを認識されたい。

40

【符号の説明】

【0086】

- 1 物体監視システム
- 10 測距装置
- 11 測距値データ
- 12 光強度値データ
- 20 コンピュータ装置
- 21 CPU
- 22 RAM
- 23 ROM

50

2 4	入出力部	
2 5	不揮発性メモリ	
2 6	表示部	
2 7	信号出力部	
3 0	物体監視プログラム	
3 1	監視領域データ	
3 2	シフト量データ	
3 3	外部物体データ	
3 6	マルチパスの影響を受けた監視物体	
3 6	実際の監視物体	10
4 0	作業台	
4 1	ワーク	
4 2	ロボット	
4 3	作業者	
4 4	監視領域	
4 4	補正した監視領域	
4 5	安全柵	
4 6	対象空間	
4 7	外部物体	
4 8	監視領域の遠方位置	20
5 0	イメージセンサ	
5 1	レンズ	
5 2	範囲値テーブル	
5 3	第 1 測距点群	
5 4	第 2 測距点群	
5 5	遠方側縁	
5 6	第 1 遠位値	
5 7	第 2 遠位値	
5 8	測距点群	
5 9	第 1 測距値	30
6 0	第 2 測距値	
6 1	補正した測距点群	

【 図 面 】

【 図 1 】

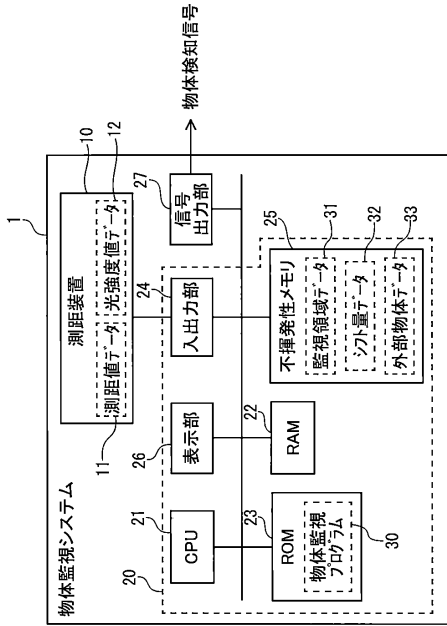
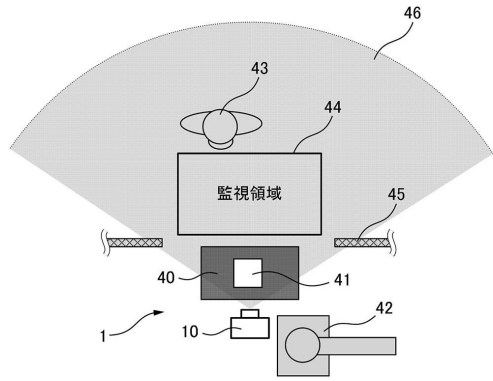


図1

【 図 2 】

図2

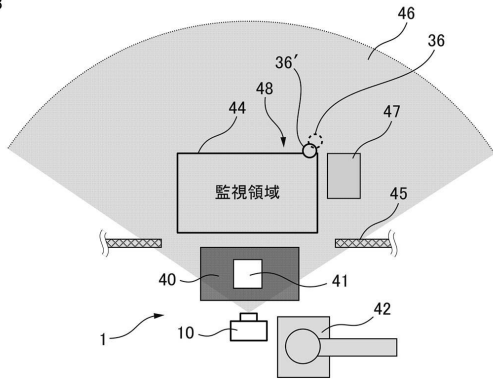


10

20

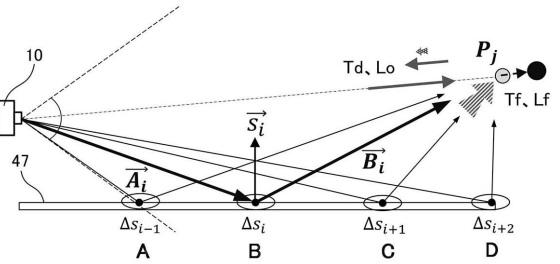
【 図 3 】

図3



【 図 4 】

図4



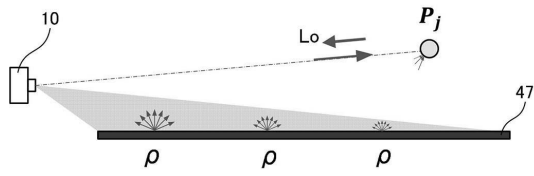
30

40

50

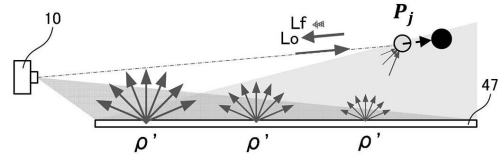
【図 5 A】

図5A



【図 5 B】

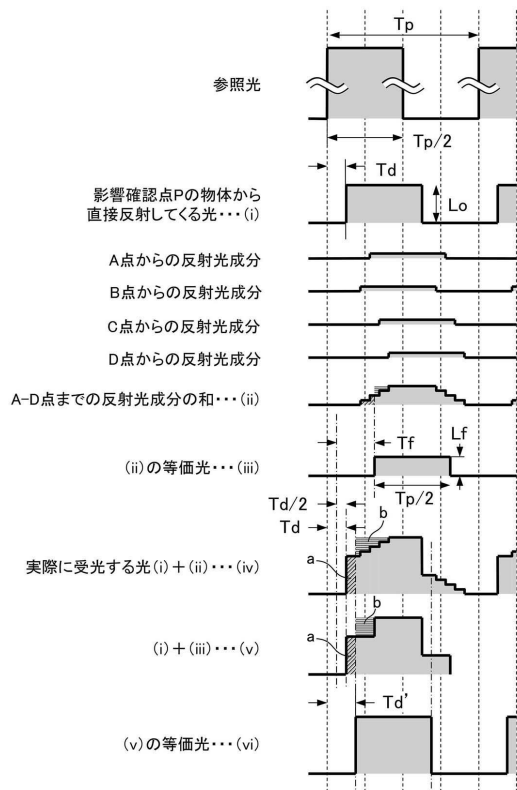
図5B



10

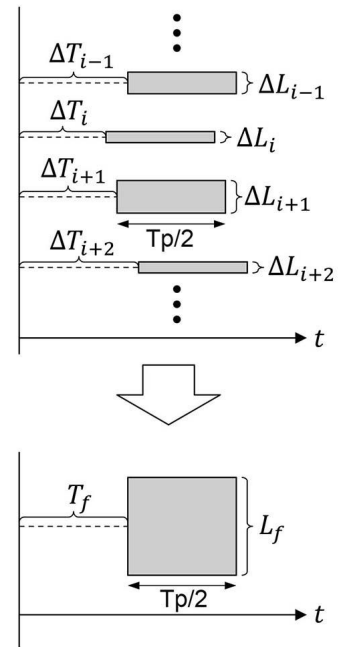
【図 6】

図6



【図 7】

図7



20

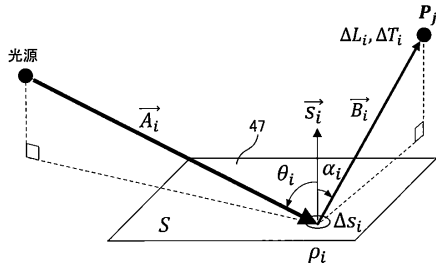
30

40

50

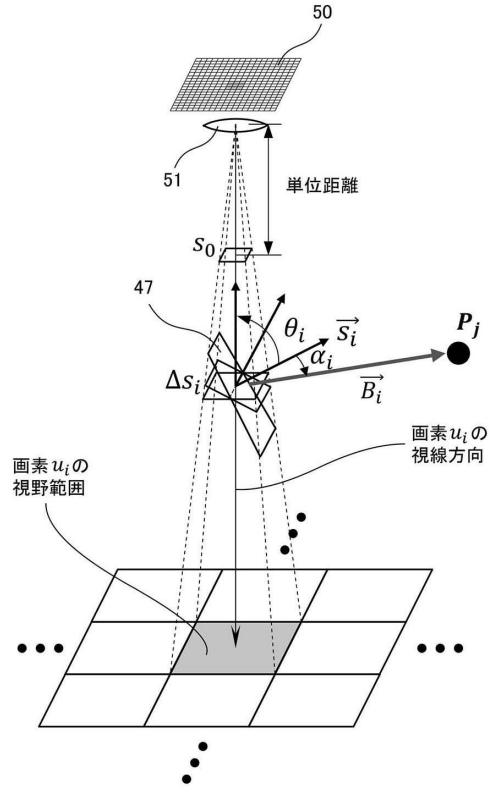
【 図 8 】

図8



【 図 9 】

図9

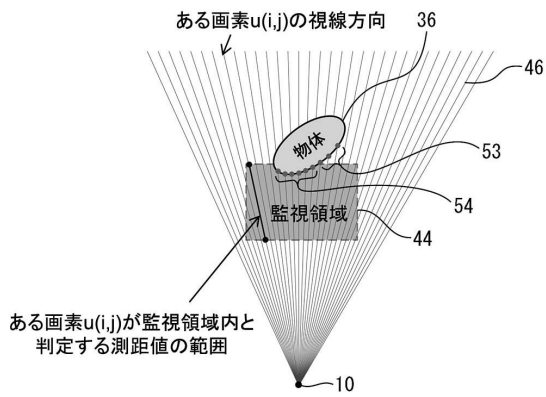


10

20

【 図 1 0 】

図10



ある画素u(i,j)が監視領域内と判定する測距値の範囲

【 図 1 1 】

図11

52

Pixel No.	Dnear	Dfar
u(1,1)	0	0
u(1,2)	0	0
u(5,5)	538.4	1538.5
u(5,6)	549.5	1549.7
u(5,7)	560.6	1560.9
u(5,8)	0	0
u(6,5)	539.5	1539.8
u(6,6)	550.6	1550.9
u(6,7)	561.7	1562.0
u(6,8)	0	0
u(m,n)	0	0

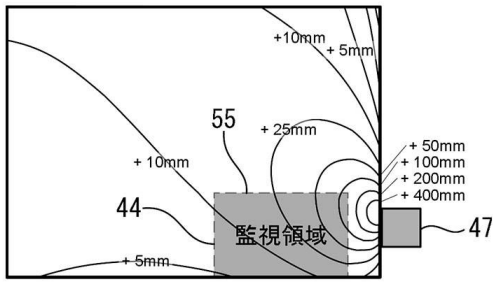
30

40

50

【図 1 2】

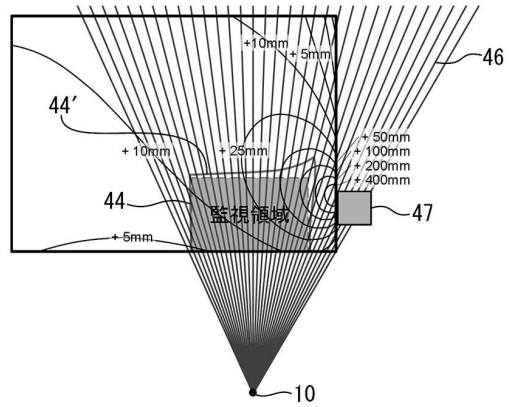
図12



● ~ 10

【図 1 3】

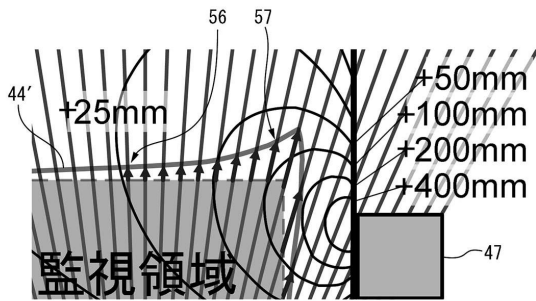
図13



10

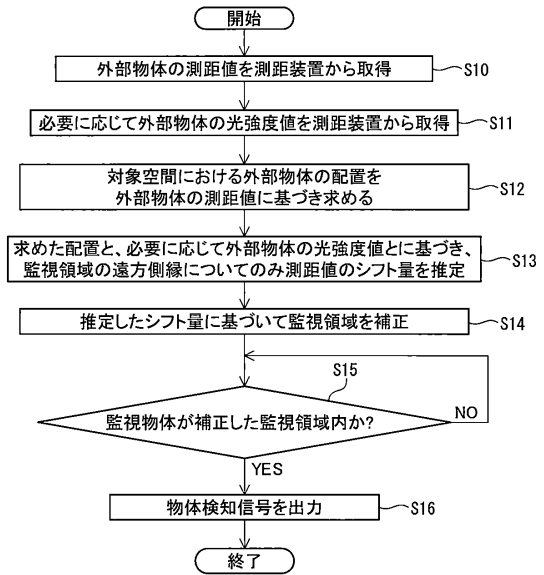
【図 1 4】

図14



【図 1 5】

図15



20

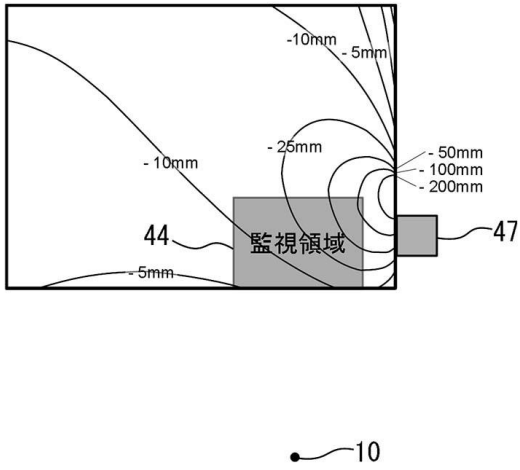
30

40

50

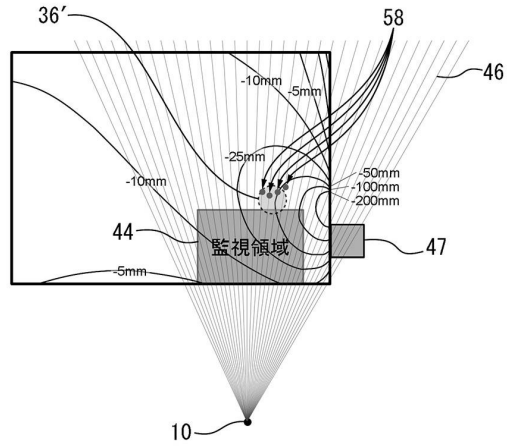
【圖 16】

圖16



【圖 17】

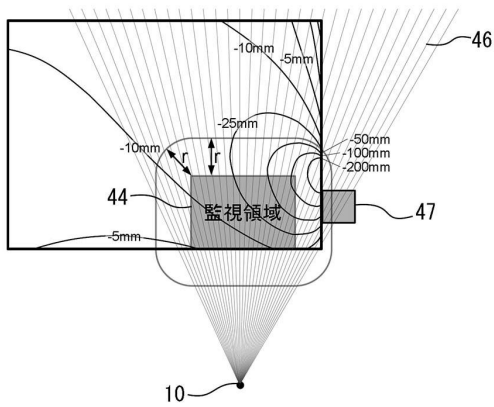
圖17



10

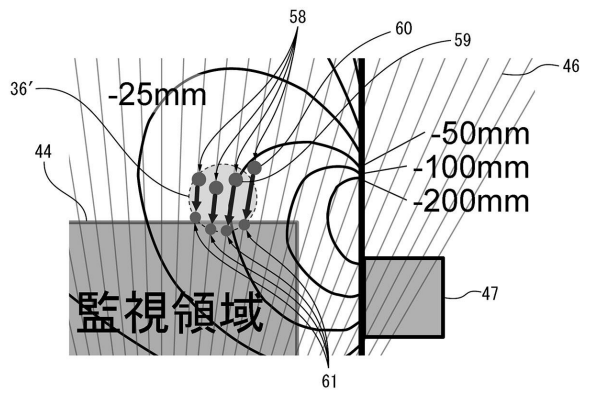
【圖 18】

圖18



【圖 19】

圖19



20

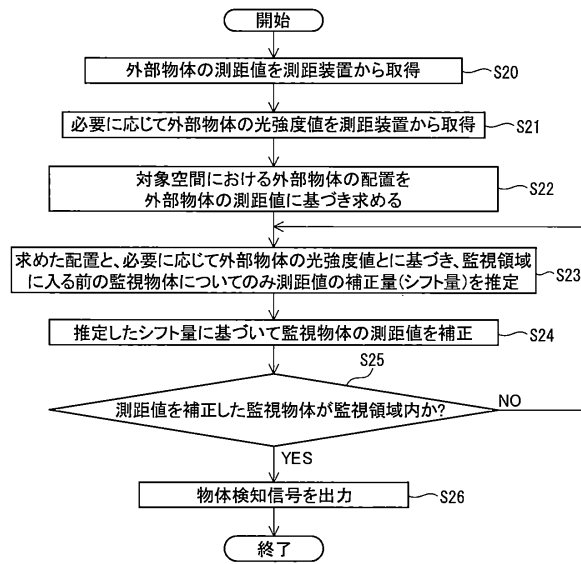
30

40

50

【図 20】

図20



10

20

30

40

50

## フロントページの続き

80番地 ファナック株式会社内

(72)発明者 高橋 祐輝

山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 ファナック株式会社内

合議体

審判長 岡田 吉美

審判官 居島 一仁

濱本 禎広

(56)参考文献 特開平9 - 113624 (JP, A)

特開平9 - 113623 (JP, A)

国際公開第2017/138032 (WO, A1)

特開2019 - 15706 (JP, A)

特開2013 - 3025 (JP, A)

中国特許出願公開第110456369 (CN, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

G01S 7/48 - 7/51

G01S 17/00 - 17/95

G01C 3/00 - 3/32