

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3860412号

(P3860412)

(45) 発行日 平成18年12月20日(2006.12.20)

(24) 登録日 平成18年9月29日(2006.9.29)

(51) Int. Cl.		F I		
GO 1 B	11/24	(2006.01)	GO 1 B	11/24
GO 1 S	17/10	(2006.01)	GO 1 B	11/24
GO 1 S	17/89	(2006.01)	GO 1 S	17/10
			GO 1 S	17/89

請求項の数 29 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2000-526831 (P2000-526831)	(73) 特許権者	390039413
(86) (22) 出願日	平成10年11月14日 (1998.11.14)		シーメンス アクチエンゲゼルシャフト
(65) 公表番号	特表2002-500367 (P2002-500367A)		Siemens Aktiengesellschaft
(43) 公表日	平成14年1月8日 (2002.1.8)		ドイツ連邦共和国 D-80333 ミュンヘン ヴィッテルスバッハープラッツ 2
(86) 国際出願番号	PCT/DE1998/003344		Wittelsbacherplatz 2, D-80333 Muenchen, Germany
(87) 国際公開番号	W01999/034235	(74) 代理人	100061815
(87) 国際公開日	平成11年7月8日 (1999.7.8)		弁理士 矢野 敏雄
審査請求日	平成14年12月10日 (2002.12.10)	(74) 代理人	100094798
(31) 優先権主張番号	197 57 595.1		弁理士 山崎 利臣
(32) 優先日	平成9年12月23日 (1997.12.23)		
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)		
(31) 優先権主張番号	198 33 207.6		
(32) 優先日	平成10年7月23日 (1998.7.23)		
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)		
前置審査			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 3次元距離画像を撮影するための方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

各画素素子 (9) に存在する電子的短時間積分器を有する画素分解能光電センサ (4) を使用して空間的オブジェクトの 3 次元距離画像を撮影するための方法において、

積分時間は調整可能であり、前記方法は次のステップから成る、すなわち、

前記オブジェクト (1) は予め設定された持続時間 L の少なくとも 1 つの光パルス (2) によって照明されるステップと、

オブジェクト点 (G) から散乱されて戻ってくる光パルス (3) は前記センサ (4) の所属の画素において予め設定された短い積分時間 A 内に検出され、ただしここで $A < L$ であり、前記積分時間 A の開始時点は散乱されて戻ってくる最初の光パルス (3) の到達の前であり、該散乱されて戻ってくる最初の光パルス (3) は最も近くにあるオブジェクト点 (G) に相応するステップと、

光パルスの異なる伝播時間に相応して結果的に得られる前記散乱されて戻ってくる光パルス (3) の測定された異なる強度から、距離値がもとめられるステップとから成る、各画素素子 (9) に存在する電子的短時間積分器を有する画素分解能光電センサ (4) を使用して空間的オブジェクトの 3 次元距離画像を撮影するための方法。

【請求項 2】

各画素素子 (9) に存在する電子的短時間積分器を有する画素分解能光電センサ (4) を使用して空間的オブジェクトの 3 次元距離画像を撮影するための方法において、

積分時間は調整可能であり、前記方法は次のステップから成る、すなわち、

10

20

暗電流及び周囲光を表すセンサ信号の測定及び積分はこの測定及び積分の開始から予め設定された積分時間 T_2 まで行われるステップと、

オブジェクト (1) の露出の開始は照明装置 (5) によってセンサ (4) における前記センサ信号の測定及び積分の開始と同時であり、前記センサ (4) において受信される光の光強度上昇の内に積分時間 T_1 まで積分が行われ、ただしここで T_1 は T_2 よりも小さい、ステップと、

前記オブジェクト (1) の繰り返される露出は前記照明装置 (5) によって前記センサ (4) におけるセンサ信号の測定及び積分の開始と同時にに行われ、前記センサ (4) において受信される光の光強度上昇の内に積分時間 T_2 まで積分が行われるステップと、

時点 T_1 及び T_2 には全ての画素に対してセンサ信号のそれぞれ積分された値が読み出され格納されるステップと、 10

格納された値から各画素毎に前記照明装置 (5) から前記オブジェクト (1) を介して前記センサ (4) までの光の伝播時間 T_0 ならびに相応する距離値が計算されるステップとから成る、各画素素子 (9) に存在する電子的短時間積分器を有する画素分解能光電センサ (4) を使用して空間的オブジェクトの 3 次元距離画像を撮影するための方法。

【請求項 3】

個々の方法ステップはセンサ信号を得るためにそれぞれ複数回繰り返され、これらから結果的に得られる信号は個々の画素毎に積分され、多重露出の後で初めて前記センサ信号の読み出し、格納及び評価が行われる、請求項 1 又は 2 記載の方法。

【請求項 4】 20

格納される値はデジタル化される、請求項 1 から 3 のうちの 1 項記載の方法。

【請求項 5】

オブジェクト (1) のそれぞれの反射率に対するアダプティブな調整は次のことによつて行われる、すなわち、

全体画像の所定の数の画素において積分された強度値が T_1 及び T_2 において飽和に近づくまで、多重露出の数は増大されることによつて行われる、請求項 3 又は 4 記載の方法。

【請求項 6】

全体画像の各画素毎に T_1 及び T_2 において個々の積分された強度値が飽和に近づくまで、多重露出の数又はレーザービームの強度は増大される、請求項 5 記載の方法。 30

【請求項 7】

積分されたセンサ信号はランダムな画素アクセスにおいて各画素毎に又は画素のセグメント毎に読み出され、1 セグメントは光電センサの 1 行である、請求項 5 又は 6 記載の方法。

【請求項 8】

空間的オブジェクト (1) は該オブジェクトを部分的に照明する複数の光源 (10) によつて照明され、これらの光源 (10) は連続的に活性化され、評価は相応にそれぞれの照明の際に行われる、請求項 1 から 7 のうちの 1 項記載の方法。

【請求項 9】

積分時間は画素毎に調整可能である、請求項 1 から 8 のうちの 1 項記載の方法。 40

【請求項 10】

オブジェクト (1) の表面反射の同時的な又は後続の最適化のために、付加的に全ての散乱されて戻ってくる光パルス (3) が長い積分時間 T_B によつて完全に検出される、請求項 1、3 から 9 のうちの 1 項記載の方法。

【請求項 11】

積分時間 T_A ; T_B の開始は、送信パルスに対するトリガパルス遅延に結びつけられている、請求項 1、3 から 10 のうちの 1 項記載の方法。

【請求項 12】

積分時間 T_A は 100 ns よりも小さい、請求項 1、3 から 11 のうちの 1 項記載の方法。

【請求項 13】

積分時間 B はほぼ $1 \mu s$ である、請求項 1、3 から 12 のうちの 1 項記載の方法。

【請求項 14】

光パルス長は $100 ns$ よりも小さい、請求項 1 から 13 のうちの 1 項記載の方法。

【請求項 15】

3次元画像及びグレースケール値画像の同時撮影のために、センサ(4)において行毎に異なる積分時間 A 乃至は B 又は T_1 乃至は T_2 が調整される、請求項 1 から 14 のうちの 1 項記載の方法。

【請求項 16】

3次元画像及びグレースケール値画像の同時撮影のために、センサ(4)において画素毎に異なる積分時間 A 乃至は B 又は T_1 乃至は T_2 が交互に調整される、請求項 1 から 15 のうちの 1 項記載の方法。

10

【請求項 17】

オブジェクト(1)はレーザの光パルス又はパルス制御される発光ダイオードの光パルスによって照明される、請求項 1 から 16 のうちの 1 項記載の方法。

【請求項 18】

センサ(4)はランダムに読み出し可能である、請求項 1 から 17 のうちの 1 項記載の方法。

【請求項 19】

センサ(4)はCMOSセンサである、請求項 1 から 18 のうちの 1 項記載の方法。

20

【請求項 20】

センサ(4)から少なくとも1つの点までの距離が基準距離として既知である、請求項 1 から 19 のうちの 1 項記載の方法。

【請求項 21】

車両における使用の際に、基準点はドアフレームに位置決めされている、請求項 20 記載の方法。

【請求項 22】

静止オブジェクト及び/又は運動経過の識別が行われる、請求項 1 から 21 のうちの 1 項記載の方法。

【請求項 23】

空間内又は車両内の対象物又は人物のようなオブジェクトを監視する、請求項 22 記載の方法。

30

【請求項 24】

車両又はクレーン装置が監視される及び/又はナビゲーションシステムにおける一般的な位置測定が行われる、請求項 22 記載の方法。

【請求項 25】

車両における座席占有状態及び/又は例えば人物の座席位置が識別される、請求項 22 又は 23 記載の方法。

【請求項 26】

3次元距離画像の撮影のための装置において、該装置は次のものを有する、すなわち、照明装置(5)を有し、該照明装置(5)は予め設定された持続時間 L の光パルス(2)を光学系(6)を介してオブジェクト(1)に送信し、

40

前置接続された光学系(7)を有する光電センサ(4)を有し、該光電センサ(4)はオブジェクト点(G)から散乱されて戻ってくる光パルス(3)をセンサ(4)の所属の画素において検出し、前記センサ(4)は多数の画素素子(9)によって画素分解能を有して構成され、ランダムに読み出し可能であり、この結果、散乱されて戻ってくる光パルス(3)は予め設定された短い積分時間 A 内に検出され、ただしここで $A < L$ であり、

前記照明装置(5)と前記センサ(4)との間の時間的調整のためのトリガ装置(8)を有し、前記積分時間 A の開始時点は散乱されて戻ってくる最初の光パルス(3)の到

50

達の前であり、該散乱されて戻ってくる最初の光パルス(3)は最も近くにあるオブジェクト点(G)に相応し、

前記センサ(4)の前記画素素子(9)の相応の電荷から3次元画像を計算するための計算ユニットを有し、該計算ユニットは光パルスの異なる伝播時間に相応して結果的に得られる前記散乱されて戻ってくる光パルス(3)の測定された異なる強度から3次元距離画像の距離値をもとめる、3次元距離画像の撮影のための装置。

【請求項27】

センサ(4)の画素素子(9)において行毎に又は列毎に交互に短い積分時間 T_A 乃至は T_1 及び長い積分時間 T_B 乃至は T_2 が調整される、請求項26記載の装置。

【請求項28】

センサ(4)の画素素子(9)において交互に短い及び長い積分時間 T_A 乃至 T_B 又は T_1 乃至は T_2 が調整される、請求項26記載の装置。

【請求項29】

計算ユニットはセンサ(4)に設けられている、請求項26から28のうちの1項記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

本発明は空間的オブジェクトの3次元距離画像の撮影のための方法及び装置に関する。

【0002】

3次元で撮影し処理するセンサシステムは、産業技術の実に様々な課題設定においてますます重要性を持ちつつある。例えばレーザレーダのような周知の光学的レーダシステムは、レーザパルス伝播時間測定の原理又はオブジェクト距離の導出のために変調されたレーザ光の位相差の測定に基づく。3次元画像供給システムの構成のためには、付加的な機械的スキャン装置が必要である。これは比較的高価な電子的及び機械的コストをもたらす。このコストはこのような3次元システムの使用を数少ない特別な適用に限定する。

【0003】

CCDカメラ(電荷結合素子)を使用する方法が公知であり、この半導体カメラに対してはテレビジョン(TV)規準が使用される。従って、単に比較的に長い読み出し時間しか実現されない。

【0004】

本発明の課題は、3次元距離画像を撮影するための方法ならびに装置を提供して、コスト高な機械的装置なしで空間的オブジェクトに対する3次元距離画像を得るための迅速かつコスト的に有利な方法を提供することである。

【0005】

上記課題は請求項1、2乃至は請求項26の特徴部分記載の構成によって解決される。

【0006】

本発明は次のような認識に基づいている。すなわち、画素分解能(ピクセル分解能)を有しかつランダムに読み出し可能であり、さらに積分時間を詳細に調整可能である光電センサを使用することによって、3次元距離画像のきわめて迅速な画像撮影が可能である、という認識に基づいている。このために、オブジェクトは1つ又は複数の非常に短い光パルスで照明され、次いで同じ長さの光パルスがこのオブジェクトから散乱されて戻ってくる。これらの散乱されて戻ってくる光パルスは相応の光学系を介して光電チップに導かれる。センサからの異なるオブジェクト点の異なる距離に基づいて、それぞれの箇所に対応する散乱されて戻ってくる光パルスはそれぞれ異なる時間でセンサに到達する。距離測定に対しては、時間測定窓がオープンされる。この時間測定窓の持続時間は予め設定可能な積分時間に相応する。積分時間は、送信される光パルスの長さ、すなわち反射される光パルスの長さより小さいか又は等しい。従って、積分時間の終了時点には散乱されて戻ってくる光パルスの統一的なカットがセンサにおいて行われることが保障される。画素素子毎に時間遅延して入射する光パルスは後の方でカットされる。この結果、光電センサのラスタにおける異なる電荷に基づいて、異なる伝播時間が異なる電荷差に変換されうる。この電

10

20

30

40

50

荷差から3次元距離画像が計算される。

【0007】

本発明はまた次のように構成される。すなわち、定められた長さを有する光パルスの代わりに、急勾配のエッジを有する光強度上昇だけを使用し、センサにおいて相応に撮影し評価するように構成される。これによって、測定結果は光パルスの下がりエッジの経過に依存しなくなる。他方で例えばセンサ素子の動作熱により発生される暗電流の影響ならびに周囲光（妨害光）の成分が精確に各画素毎に補償される。全体として3回の連続する測定によってまず最初に暗電流及び周囲光が検出され、その後で露光との関連においてオブジェクトにより反射されセンサで受信された光量がセンサ信号の形式で積分される。これが続いて比較的大きい積分時間で繰り返される。ここから、相応の補間によって各オブジェクト点毎に光の伝播時間がもとめられる。これは伝播時間、すなわちオブジェクトまでの距離を同時に精確に測定することにおいて比較的少ない光出力の使用をもたらす。

10

【0008】

本発明の有利な実施形態では、非常に長い積分時間によって全ての光パルスをまず最初に記述した測定と同時に、又は、その後で時間シフトしてこれらの全ての光パルスの完全な長さで受信する。これは正規化に利用され、この結果、オブジェクトの反射特性における差異が識別され、補償される。

【0009】

他の実施形態は従属請求項から得られる。

【0010】

本発明の重要な利点は、例えば機械的なシャッタを省略できることである。極端に短い画像撮影時間が実現される。使用される光電センサは一般的にCMOSセンサと呼ばれ、これは半導体構成素子の技術的な名称でしかない。このようなセンサによって50nsecから30nsecまでの最小積分時間が実現される（ジッタはほぼ0.1%よりも小さい）。技術的な発展は積分時間においてさらに前進している。

20

【0011】

次に概略図に基づいて実施例を記述する。

【0012】

図1はCMOSセンサによる3次元距離画像の検出のための作動原理を示す。

【0013】

図2は積分窓に対して相対的な2つの光パルスの時間的ずれの概略図を示し、これらの2つの光パルスの所属のオブジェクト点はCMOSセンサに対して異なる距離を有する。

30

【0014】

図3はCMOSセンサによる3次元距離画像及び強度画像乃至はグレースケール値画像を同時に検出するためのセンサの概略図を示す。

【0015】

図4は3次元CMOSセンサによる車両内部空間監視を示す概略図を示す。

【0016】

図5は積分CMOSセンサによる距離測定を示し、送信側のレーザーダイオードの信号及び受信側のセンサ信号が図示されている。

40

【0017】

図6は積分CMOSセンサによる距離測定を示し、図6aではレーザーダイオードの送信側の動作が及び図6bではこのセンサにおいて継続される積分により得られるセンサ信号が図示されている。

【0018】

図7は送信側の照明と受信側のレーザーパルスの検出との間の関係を時間的相関において示しており、図7に下方に示された測定信号は短い積分時間との関連において及び非常に長い積分時間との関連において図示されている。

【0019】

図8はレーザーパルスの送信側及び受信側の図示を時間的相関において示し、センサの照明

50

制御に関連する2つの異なる短い積分時間が設けられている。

【0020】

短時間露出において光電センサによる空間的オブジェクトの強度画像及び3次元距離画像を連続的又は同時に検出乃至は生成するための方法を記述する。この方法は、3次元オブジェクトから散乱されて戻ってくる光パルスの伝播時間差を短い積分時間内のセンサにおける画素同期(ピクセル同期)検出において利用する。この場合、CMOSセンサが使用される。このセンサは例えば1mLuxの感光性を有する。さらに、このセンサは 10^7 までの高い強度ダイナミック特性を有し、個々の画素(ピクセル)へのランダムなアクセスならびに調整可能な積分時間(サンプル・アンド・ホールド)を有する。測定には、個々の画素の露出による電荷量 $Q(t)$ が使用される。

10

【0021】

CCDカメラを使用する方法に比べて、例えば強度画像及び3次元画像の平行な検出ならびに明らかにCCDカメラの読み出し時間を下回る短い画像撮影時間の実現のような特別な利点が得られる。さらに、このCMOSはコスト高な機械的シャッタを必要とせず、さらに短時間露出のために出力の高いレーザ光源を使用する必要もない。

【0022】

この方法は、空間監視、例えば車両内部/車両外部監視、クレーン装置の自動化ならびにナビゲーションにおいてとりわけ人物及び運動経過の識別に適している。

【0023】

基本的な動作構成を図1に基づいて説明する。まず最初に検出すべき空間的オブジェクトの照明に対して例えば短い光パルス $< 100\text{ ns}$ が供給される。この照明は例えばパルス制御されるレーザダイオードによるレーザ光によって又は例えばパルス制御されるLEDダイオードのような光源によって行われる。この方法は、照明の角度には依存しない。この照明を一般的な検出方向の中心部にどうしても行う必要はない。よって、例えば同軸的な照明及び検出においてもリング光を使用することが考えられる。図1に図示された装置は動作原理の概略的な説明のためだけに使用される。

20

【0024】

第1の画像撮影AはCMOSセンサにおける短い積分時間 t_A に結びつけられている。3次元シーンのオブジェクト点Gから散乱されて戻ってくる長さ L ($< 100\text{ nsec}$)の光パルス3はCMOSセンサの所属の画素9において調整された短い積分時間 t_A 内 t_L に検出される。電子的なトリガパルスによってこの場合送信された光パルス2とこのCMOSセンサにおける積分時間窓のオープンとの間には固定的な時間関係が形成される。光の伝播時間のために、オブジェクト距離Rに応じて異なる時間的ずれ

30

$$= 2R/V_c \quad (V_c = \text{光速})$$

が送信された光パルスとCMOSセンサにおいて検出される光パルスとの間に生じる。画素において積分時間 t_A 内に測定される電荷 Q_A はこれによってセンサとオブジェクト点Gとの間の距離Rに依存する。これについては図2を参照のこと。

【0025】

$$Q_A = I_0 \cdot O_R \cdot (t_L - (2R/V_c - t_D)) \quad (1)$$

I_0 送信された光パルスの強度、

40

O_R オブジェクト点Gにおける表面反射係数、

t_D 送信される光パルスとCMOSセンサにおける積分窓のスタートとの間のトリガ点時間遅延。

【0026】

同一の表面反射係数 O_R を有する複数のオブジェクト点Gに対しては、これらの距離Rに依存して異なる電荷 Q_A がCMOSセンサの所属の画素で測定される。これにより光パルスの小さい伝播時間差が電荷変化 Q_A に変換され、この結果、積分された電荷はそのそれぞれの距離 $R(1, \dots)$ を有するそれぞれのオブジェクト点Gを代理する。これらはCMOSセンサにおいて非常に感度が良く、高いダイナミック特性によって検出されうる。通常は3次元シーンのオブジェクトは異なる表面反射を有する。

50

【0027】

従って、距離画像の正規化のためにはさらに第2の画像撮影 Q_B が実施される。この第2の画像撮影 Q_B は3次元シーンのオブジェクトの表面反射にのみ依存する。

【0028】

長い積分時間 t_B を有する第2の画像撮影Bの実施は、3次元シーンの表面反射の正規化に使用され、原理的には従来の強度画像又はグレースケール値画像が使用される。このために第2の画像撮影の際にはCMOSセンサにおいて照明光パルスの長さに比べて非常に大きい積分時間 t_B が調整される； $t_B \ll t_L$ 、例えば1マイクロ秒。今や散乱されて戻ってくる全ての光パルス3はその伝播時間には無関係にその完全な大きさにおいてCMOSセンサにおいて検出される。画素において測定される電荷 Q_B は

$$Q_B = I_0 \cdot O_R \cdot t_B \quad (2)$$

である。得られる画像は、照明強度 I_0 、所属のオブジェクト点の表面反射係数 O_R 、ならびに光パルス長 t_L にのみ依存する。

【0029】

2次元距離画像 Q_R の生成は、画像撮影AとB乃至は Q_A と Q_B の差及び正規化から計算によって行われる。

【0030】

$$Q_R = (Q_A - Q_B) / Q_B \quad (3)$$

式(1)及び(2)から $t_D = 0$ によって次式

$$Q_R = (I_0 \cdot O_R \cdot t_A - I_0 \cdot O_R \cdot t_B) / (I_0 \cdot O_R \cdot t_B) \quad (4)$$

が得られる。この値は読み出し及びデジタル化ならびに全ての画素に対する付加的なスケールリングの後で直接的に距離画像 Q_R として出力される。トリガ遅延時間 t_D が0に等しくない場合、距離画像 Q_R の全ての点に一定のオフセット

$$R_D = t_D / (V_c \cdot t_L) \quad (5)$$

ただしここで R_D は t_D における距離値(電荷オフセット)、が加算される。

【0031】

強度画像及び3次元画像の同時撮影は強度値及び距離値の局所的に及び時間的にパラレルな検出の実施に関連している。このために、チップ・アーキテクチャ及びピクセル相対積分時間は次のように選択される。すなわち、CMOSセンサ上の図3に相応する直接隣接するピクセルAとピクセルBとは3次元シーンの散乱されて戻ってくる光パルス3を短い積分時間 t_A (ピクセルA)及び t_B (ピクセルB)で同時に検出するように選択される。チップ上に集積された電子回路によって直接的に割り当てられたピクセルA及びピクセルBの2次元距離画像

$$Q_R = (Q_A - Q_B) / Q_B \quad (6)$$

が計算され、出力される。

【0032】

図3は強度画像及び3次元距離画像のパラレルな検出のためのCMOSセンサ上の2つの可能な配置を概略的に示す。これに対して他の変形も可能である。強度画像及び3次元距離画像の同時検出はとりわけ移動する3次元シーンの分析において重要であり、例えば人物の身振り又はオブジェクト追跡の検出である。本発明の他の特別な特徴は、

- ・ 必要な場合には、周囲光に関する3次元距離画像の付加的な正規化を実施できる。このためにはまず最初に3次元シーン乃至はオブジェクトの照明なしで画素の電荷を短い積分時間及び長い積分時間で検出し、さらに照明によって測定された電荷 Q_A 及び Q_B から引く。続いて距離画像 Q_R の計算が行われる。

【0033】

- ・ 複数の光パルスの信号の時間的平均化によって、散乱して戻ってくる光強度が小さい場合にノイズに対してこの方法の感度の向上が達成される。

【0034】

- ・ 距離測定の測定不確定性はCMOSセンサの信号対ノイズ特性に依存する。これが予

10

20

30

40

50

期される場合、0.1 nsの間の伝播時間差がまだ検出されうる。ここから、測定不確実性は距離測定に対して3 cmよりも小さいと推論される。

【0035】

ここに記述される方法及び装置の基本的な使用は内部空間の監視、とりわけ体積測定評価方法に結びついた車両の内部空間の監視に関する。車両における光学的な内部空間監視の課題は、例えば人物、チャイルドシート、その他のオブジェクトのような座席占有状態の識別、人物の座席位置の検出及び盗難保護、すなわち、外部からの車両内部への不許可の侵入の検出である。人物及びその座席位置の識別はエアバック（スマート・エアバック）の段階的なトリガに対して安全性に関連して大いに意味があり、これは衝突事故において非常に確実にかつ短い測定時間で行われなければならない。本発明はこれらの要求を車両内部の3次元距離画像の迅速かつ確実な生成によって満たし、体積測定評価方法を使用する。この場合、立体角要素における距離値Rから、オブジェクト1により占められる車両内部空間における実効体積成分が、空っぽの車両内部空間における距離値に対する差として測定される（これについては図4参照）。

10

【0036】

この方法及び装置はさらに別の重要な利点を与える、すなわち、

- ・ 瞬時の座席占有状態の迅速な大局的な検出がオブジェクトなしの車両内部空間の3次元距離画像（3次元基準画像 Q_{R0} ）と人物又はその他のオブジェクトが座席にいる場合の瞬時に評価すべき3次元距離画像 Q_{Rp} との差形成によって行われる。この場合、座席占有状態の実効体積 V_p には次式が成り立つ：

20

【0037】

【数1】

$$V_p = \int_{\Omega} R_0(\Omega) * dF - \int_{\Omega} R_p(\Omega) * dF \quad (7),$$

【0038】

ただしここで R_0 は人物乃至はその他のオブジェクトなしの距離値であり、 R_p は人物乃至はその他のオブジェクトが座席にいる場合の距離値であり、 dF は微分面積である。

【0039】

- ・ 車両への人物の乗車の前及び後の相対的な距離変化の計算から座席占有状態をアダプティブに検出することが実施される。回帰的又は確率的評価方法を適用することによって、差検出の確実性がさらに向上する。

30

【0040】

- ・ 検出されるオブジェクトのサイズ検出及びオブジェクトの大局的な区別が体積比較クラス（Volumen- Vergleichsklassen）を介して可能である。

【0041】

- ・ 占有された体積成分の空間的割り当てが可能である。

【0042】

- ・ エアバックトリガの制御のために内部空間の占有された体積の空間的に最も外側の位置（Extrempositionen）（ x 、 y 、 z ）が決定される。

40

【0043】

- ・ 時間的に連続する画像撮影及び差形成における空間内の運動経過の体積測定的追跡。運動分析から人物及び身振りの識別。

【0044】

この積分体積考察は、空間におけるオブジェクト及び位置の大局的な検出を可能にし、さらに例えばオブジェクト識別のために画像における輪郭、角、辺のような特徴の検出に頼る必要がない。評価時間は3次元画像撮影及び体積測定的評価に10 msかからない。

【0045】

ここに記述した方法及び装置の適用分野としてはとりわけ車両内部空間が対象になる。この場合、例えば50 ns（ナノ秒）のLED光パルスによる3次元画像撮影においてオブジェ

50

クトが露出される。CMOSセンサにおける積分時間は画像撮影 Q_A に対して50 nsに選択され、画像撮影 Q_B に対して0.5 μ sに選択される。車両内部の検出すべきシーン・ダイナミック特性は200 : 1であるべきである。距離値Rは測定不確か性 < 1.5 cm (光パルスの相応する伝播時間差 = 1 ns) で1.5 m (伝播時間10 ns) までの測定領域において検出される。

【0046】

これらの装置によってCMOSセンサにおいて(10 × 200 =) 2000 : 1の強度ダイナミック特性が必要となる。3次元距離画像 Q_R のデジタル的検出はこれにより12ビットA/D変換器によって保障される。50 × 50画素のセンサ局所分解能に対して、短い積分時間を有する画像撮影A及び長い積分時間を有する画像撮影Bには最大 10^4 回の読み出し動作が必要不可欠である。この最大 10^4 回の読み出し動作は、例えば2 MHzの読み出し周波数において最大5 msの3次元距離画像の全画像撮影時間をもたらす。2500個の距離値からの差体積の計算は例えば200 MHzのペンティアムのような高速プロセッサによってさらに5 msで難なく実施可能である。

10

【0047】

図4には車両内部空間における本発明の適用事例の概略図が図示されている。破線の矢印は人物の座っていない時の座席を表す。直線の矢印は人物の座っている時の座席を表す。大局的オブジェクト識別及び位置測定においては、被覆実効体積成分は人物の座っている時の車両における3次元距離データ及び人物の座っていない時の車両における3次元距離データから決定される。自動車座席の人物又はその他のオブジェクトの実効体積 V_p は式(7)によって計算される。

20

【0048】

距離画像を撮影するためのこれまで記述してきた方法は差をもとめる方法に基づいており、伝播時間は $T_0 = U_p / U_{ges} * A$ である。ただしここで、 T_0 = 光伝播時間、 A = 積分時間、 $U_{ges} = B$ における測定信号マイナス B における暗電流成分、 $U_p = U_{ges}$ マイナス (A における測定信号成分マイナス A における暗電流成分) である。

【0049】

本発明のさらに別の重要な解決策は図8に図示されており、センサにおいて受信された測定信号を補間法によって評価する。この場合、光源からオブジェクトを介してセンサまでの光の伝播時間は、暗電流成分の曲線と交差する図8の測定信号の曲線の交点によって得られる。この光伝播時間には

30

$$T_0 = 2R / V_c$$

が成り立つ。これから距離値Rが得られる。

【0050】

画像処理の無数の工業的適用事例において必要な3次元画像データ検出はとりわけ空間、例えば自動車内部空間の自動監視にとって必要不可欠である。距離画像/間隔画像の精度にあまりにも高度な要求が課せられるわけではない。ほぼ1000画素を有する距離画像で大抵の場合には空間監視には十分である。通常三角測量法はこの場合コストの理由からならびに大きな必要不可欠な測定ベースのために除外される。

40

【0051】

図7に相応する照明形式も図8に相応する照明形式も3次元距離画像の迅速かつコスト的に有利な撮影を実現しうる。補間を介して評価に必要な不可欠な光の伝播時間をセンサ4の各画素毎に得る方法は例として図8に図示されている。ここでは、定められた長さを有する光パルスの代わりに、急勾配のエッジを有する光強度上昇だけが評価される。センサで受信されるオブジェクトから反射されたレーザパルスは2つの異なる積分時間によってカットされる。これによって、一方で測定信号は光パルスの下がりエッジの経過には依存しなくなり、さらに他方で例えばセンサの動作熱により生じる暗電流及び周囲光の影響が各画素毎に精確に補償される。

【0052】

50

図5は積分CMOS画像センサによる距離測定を示している。時間 t /センサ電圧 U の線図において、一方で送信側で照射するレーザダイオード乃至はこのレーザダイオードの矩形状に形成された光パルスが図示されている。その下には受信側で測定される測定信号が図示されている。座標系の原点から電圧 U_0 に向かう直線は実施された第1の測定であり、暗電流成分プラス未知の光成分を含んでいる。 U_0 は他の積分時間 T_1 よりも大きい積分時間 T_2 まで測定される。次いでオブジェクト1はレーザダイオードで照明され、この後まず最初に個々の画素において未知の光成分と共に暗電流だけが積分される。光伝播時間 T_0 に基づいて付加的な光がオブジェクト点Gから散乱されて戻ってくる場合、測定信号は時点 T_0 からそれぞれの画素の輝度に相応してより大きく上昇する。所定の積分時間 T_1 の後で全ての画素に対して電圧 U_1 が読み出され格納される。同一の過程が第1の暗電流測定から既知の積分時間 T_2 で繰り返される。 T_1 は例えば30nsであり、 T_2 は例えば60nsである。測定信号が時間 T_1 乃至は T_2 と交差する箇所において、もっともこれは受信された光パルスをカットすることによっても同じであるが、点 U_1 乃至は U_2 が得られる。関係式 $U = U_2 - U_1$ が成り立つ。光伝播時間 T_0 は図5に示されている公式によって計算される。点 U_1 及び U_2 を通る直線を延長すると、この直線は下の方へ向かって暗電流を示す直線にこの座標系の原点と電圧 U_0 との間で交差する。この交点において光伝播時間 T_0 が読みとれる。 U_1 及び U_2 乃至は U に対する全ての値は同様に全ての画素に対して読み出され格納される。比較的大きい暗電流 U_0 であっても、所定の積分時間 T_1 及び T_2 に関連して各画素毎に格納された電圧 U_0 、 U_1 、 U_2 及び U から明確に及び精確に各画素毎に伝播時間 T_0 が計算される。この場合、次式が成り立つ：

$$T_0 = (U_1 \cdot T - U \cdot T_1) / (U_0 \cdot T / T_2 - U)$$

これは伝播時間の、つまりオブジェクトへの距離の精確な同時測定において比較的小さい光出力の使用をもたらす。

【0053】

有利な実施形態では、コストの理由から大抵の場合クリティカルなレーザ出力の低減のために、上記の過程の複数回の繰り返しを連続して行う。 U_1 、 U_0 及び U の得られる値はCMOSセンサの多重露出の最後に初めて読み出され、デジタル化される。これについては図6a及び6bを参照のこと。CMOSセンサにおける多重露出に対するアナログ的な平均値形成は、後で行うデジタル的な平均化の際の比較的に長い読み出し時間を回避する。測定値の信号/ノイズ比の最適化に関するオブジェクトのそれぞれの反射率に対するアダプティブな調整は、次のことによって実現される。すなわち、少ないテスト画像において、全体画像の特定の個数の画素において値 $n(U_1 + U)$ の飽和が生じるまで露出の数を増大させることによって実現される。ただしここで n = 多重露出の数である。

【0054】

上記のステップによって、暗電流及び周囲光があっても光伝播時間 T_0 を精確に計算することは可能であることが可能になり、CMOSセンサの信号読み出しを多重露出の後で初めて行い、次いでデジタル化が行われることが可能になり、さらに、オブジェクト反射率に相応してアダプティブな調整が行われることが可能になる。これらの手段によってこれまで必要不可欠であったレーザ出力をファクタ10から20までだけ下げることができ、乃至は、精度を高めることができる。

【0055】

画像センサにおいて使用されるセンサ原理は例えば n^+ -p型フォトダイオードに基づく積分法である。このフォトダイオードは電子的短時間積分器の構成部材であり、この電子的短時間積分器はさらにコンデンサ及び複数のトランジスタを有する。回路構成は次のように行われる。すなわち、例えばこのコンデンサのキャパシタンスがこのフォトダイオードに入射する光に依存して放電されるように行われる。これはいわゆるシャッタ・トランジスタを介して制御される。次いで例えばこのコンデンサに残っている電位が読み出される。同期化された照明を保障するために、この電子的短時間積分器のタイミング制御部は光源を制御するためのいわゆるストロボ信号を発生する。センサ4の各画素素子に対して、このような電子的短時間積分器（電子的シャッタ）が使用される。測定の終了時にコンデ

10

20

30

40

50

ンサに残っている電位の代わりに、既に放電されてしまった電位を測定値として使用することもできる。

【0056】

図6 aには複数の連続してスイッチングされる送信側の光パルスが図示されている。図6 bには例として積分時間 T_1 とそれぞれの電圧 U_1 及び暗電流成分 U_0 との関係が図示されている。同じことは T_2 、 U_2 及び U_0 に対してもプロットできる。各露出乃至は多重露出に対して光伝播時間 T_0 の値が得られる。

【0057】

図7と図8を対比するとわかることだが、図8の補間法の方がより短い照明時間を有する。それぞれ真ん中に図示されている、図8の例えば30 ns及び60 nsのシャッタ時間及び図7の非常に長いレーザパルス時間と結びつくシャッタ時間60 nsがセンサにおける積分時間を決定することになる。図7において上方に送信側の照明とレーザパルスの受信側の入射との間の時間的な関係が図示されている。図5から8においてそれぞれ図示されている実施例はトリガ遅延時間を持たない。これは、受信側でセンサパルスの開始によって測定窓がオープンされることを意味する。これは、図7の図示においては、短時間シャッタ(60 ns)が受信されたレーザパルスを、それぞれオブジェクト点乃至は画素点に関して、時間 A でカットすることを意味する。このレーザパルスの持続時間は送信側でも受信側でも L である。明瞭なことは、様々な光伝播時間に基づいて、センサにおける電子的短時間積分器はそれぞれ電位を測定値として供給し、この伝播時間に依存して時点 T_0 から A の終わりまで積分が行われることである。積分時間 B は図7の場合にはオブジェクト1における反射率の相違を補償するために使用される。この場合、暗電流及び未知の光成分がもとめられ、この暗電流及び未知の光成分が測定信号から相応に引かれる。

【0058】

図8は図7に相応する図面を示しており、上方の線図は図7のそれと同一である。図8の真ん中には2つの短時間シャッタ時間が図示されている。これらは図7の場合と同じようにセンサ4に入射するレーザパルスをカットするために使用される。従って、比較的短い積分時間 T_1 及び比較的長い積分時間 T_2 が生じる。測定信号は図7及び8において暗電流及び未知の光成分を有する。従って、この測定信号はこの暗電流及び未知の光成分への光電流成分の加算から得られる。言い換えれば、光電流成分は、測定信号からこの暗電流及び未知の光成分を引くことによってもとめられる。光伝播時間 T_0 は、到達する反射光パルスによって測定信号が暗電流成分及び未知の光成分のノーマルな経過から逸脱する時間軸上の箇所において得られる。というのも、光電流成分はもはやゼロではないからである。光伝播時間 T_0 を得る評価は図5との関連において既に記述した。

【0059】

レーザ出力の明瞭な低減のために、測定オブジェクトは連続的に部分的に照明される。照明と評価とは同時に行われる。従って、オブジェクト1は部分的に連続的に照明され、そしてその都度評価される。その都度複数の光源10のうちの1つにオブジェクト1の所定の部分が割り当てられている。さらに光源10の、例えばレーザの強度の上昇時間は明瞭に短縮され、例えば0.1 nsに短縮される。

【0060】

図9は概略的に3つの光源10の配置を示し、これら3つの光源10はオブジェクト1をそれぞれ所定の領域11において照明する。センサ4はオブジェクト1の部分的な領域11に相応する反射された光成分を受信し、この光成分を後続処理する。この構成は、例えばレーザを有する照明ユニットのレーザ出力の制限を可能にする。連続的な照明及び検出はコスト的に有利に実現可能であり、所定の規準によって予め設定された最大レーザ出力を問題なく下回る。さらに、これに伴って、レーザ強度の上昇時間も明らかに例えば0.1 nsecに短縮される。

【図面の簡単な説明】

【図1】 図1はCMOSセンサによる3次元距離画像の検出のための作動原理を示す。

【図2】 図2は積分窓に対して相対的な2つの光パルスの時間的ずれの概略図を示し、

10

20

30

40

50

これらの2つの光パルスの所属のオブジェクト点はCMOSセンサに対して異なる距離を有する。

【図3】 図3はCMOSセンサによる3次元距離画像及び強度画像乃至はグレースケール値画像を同時に検出するためのセンサの概略図を示す。

【図4】 図4は3次元CMOSセンサによる車両内部空間監視を示す概略図を示す。

【図5】 図5は積分CMOSセンサによる距離測定を示し、送信側のレーザダイオードの信号及び受信側のセンサ信号が図示されている。

【図6】 図6は積分CMOSセンサによる距離測定を示し、図6aではレーザダイオードの送信側の動作が及び図6bではこのセンサにおいて継続される積分により得られるセンサ信号が図示されている。

10

【図7】 図7は送信側の照明と受信側のレーザパルスの検出との間の関係を時間的相関において示しており、図7に下方に示された測定信号は短い積分時間との関連において及び非常に長い積分時間との関連において図示されている。

【図8】 図8はレーザパルスの送信側及び受信側の図示を時間的相関において示し、センサの照明制御に関連する2つの異なる短い積分時間が設けられている。

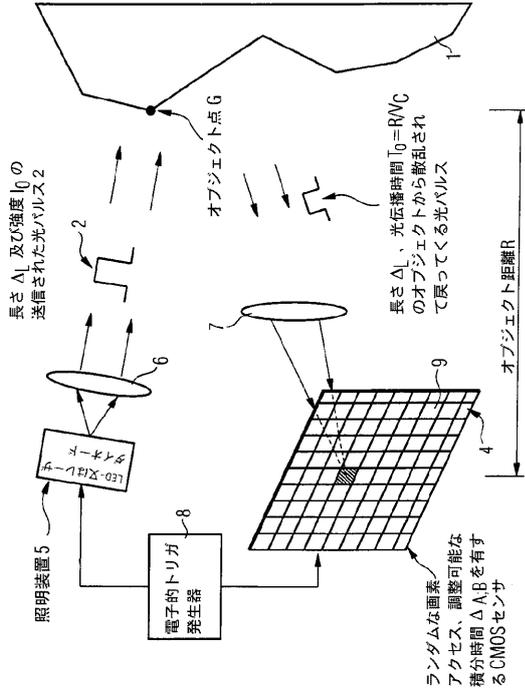
【図9】 図9は3つの光源の配置を概略的に示す。

【符号の説明】

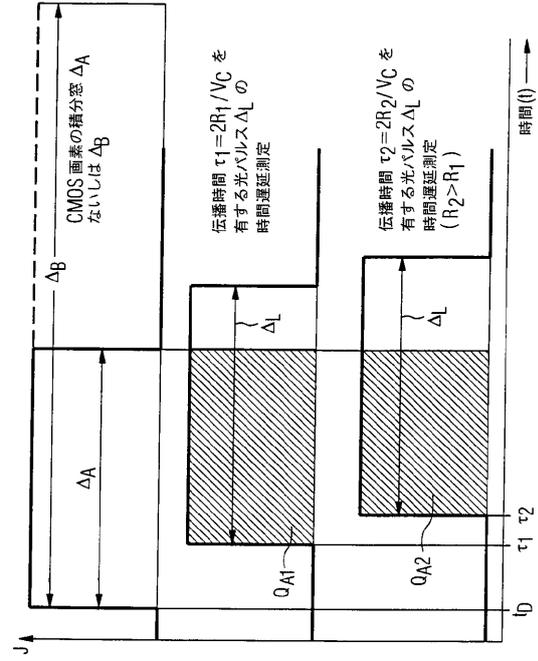
- 1 オブジェクト
- 2 光パルス
- 3 反射された光パルス
- 4 光電センサ
- 5 照明装置
- 6 光学系
- 7 光学系
- 8 電子的トリガ発生器
- 9 画素素子
- 10 光源
- 11 オブジェクトの所定の領域

20

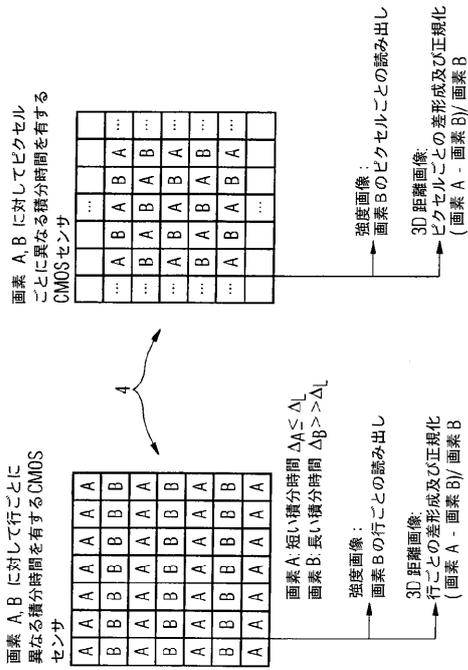
【 図 1 】



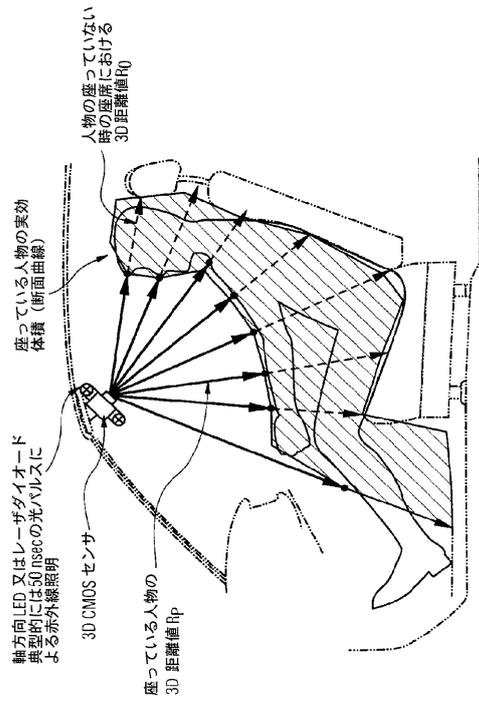
【 図 2 】



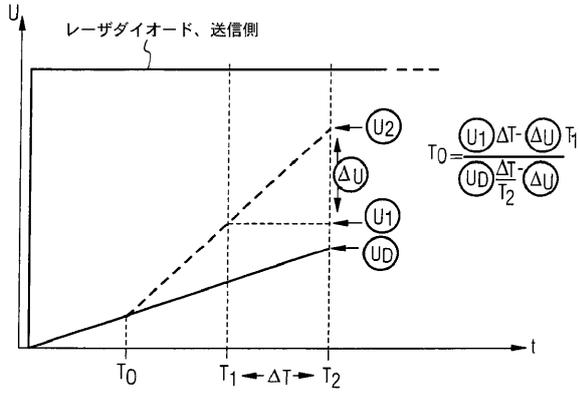
【 図 3 】



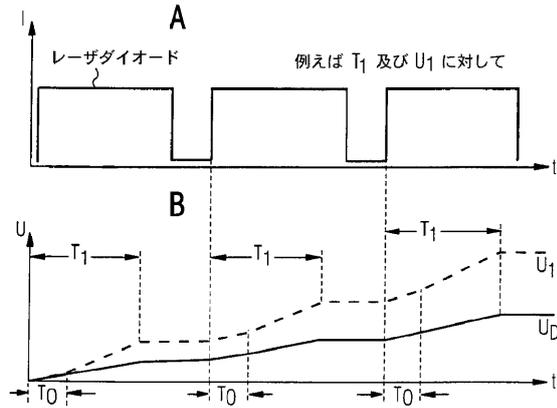
【 図 4 】



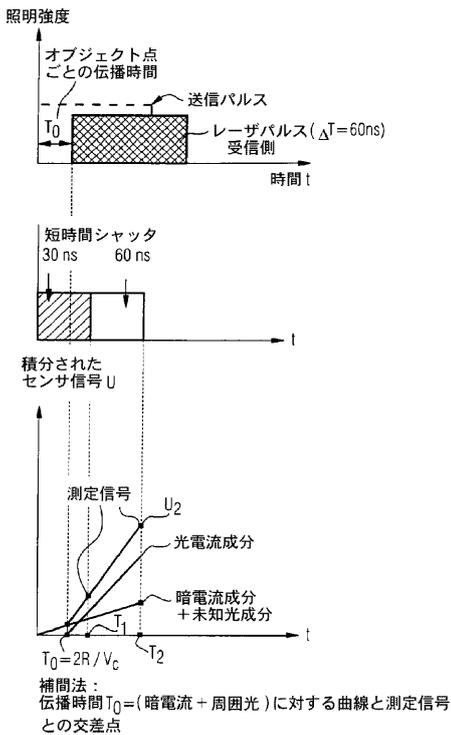
【 図 5 】



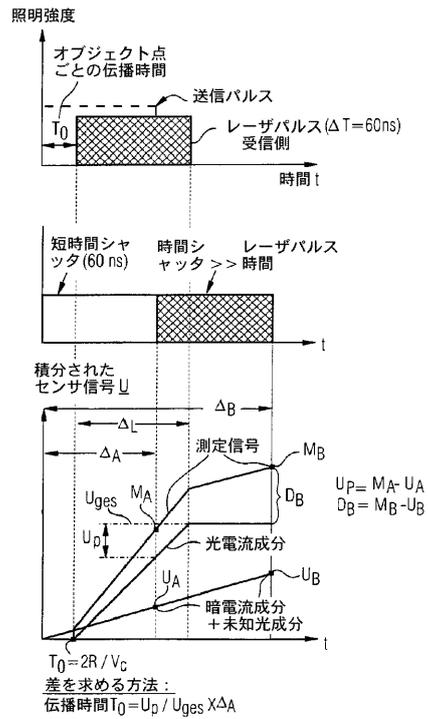
【 図 6 】



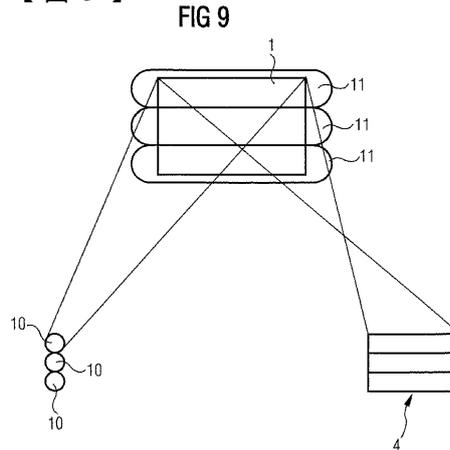
【 図 8 】



【 図 7 】



【 図 9 】



フロントページの続き

- (74)代理人 100099483
弁理士 久野 琢也
- (74)代理人 100114890
弁理士 アインゼル・フェリックス＝ラインハルト
- (74)代理人 230100044
弁護士 ラインハルト・アインゼル
- (72)発明者 ペーター メンゲル
ドイツ連邦共和国 アイヒェナウ ログゲンシュタイナーアレー 32
- (72)発明者 ギュンター デーメンス
ドイツ連邦共和国 ホルツキルヒェン アイヒェンフェルトシュトラッセ 4

審査官 山下 雅人

- (56)参考文献 特開昭64-037177(JP,A)
欧州特許出願公開第0363735(EP,A2)
特開昭64-72015(JP,A)
特開平02-211782(JP,A)
特開昭60-170778(JP,A)
特開2000-55632(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01B 11/00 - 11/30
H04N 5/335
G01S 17/00 - 17/95