

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7119444号
(P7119444)

(45)発行日 令和4年8月17日(2022.8.17)

(24)登録日 令和4年8月8日(2022.8.8)

(51)国際特許分類 F I
G 0 1 C 3/06 (2006.01) G 0 1 C 3/06 1 3 0
G 0 1 C 3/06 1 4 0

請求項の数 16 (全30頁)

(21)出願番号	特願2018-45944(P2018-45944)	(73)特許権者	000006747 株式会社リコー 東京都大田区中馬込1丁目3番6号
(22)出願日	平成30年3月13日(2018.3.13)	(74)代理人	100107766 弁理士 伊東 忠重
(65)公開番号	特開2019-158616(P2019-158616 A)	(74)代理人	100070150 弁理士 伊東 忠彦
(43)公開日	令和1年9月19日(2019.9.19)	(72)発明者	関口 洋義 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株 式会社リコー内
審査請求日	令和3年1月18日(2021.1.18)	(72)発明者	横田 聡一郎 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株 式会社リコー内
		(72)発明者	齊所 賢一郎 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株 式会社リコー内 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 測距システム、測距方法、車載装置、車両

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

T O F (Time Of Flight) 方式で第一の距離情報を検出する距離情報取得部と、
複数の撮像部により撮像された複数の撮像画像を画像処理して得た第二の距離情報に、
前記距離情報取得部が取得した前記第一の距離情報を統合する画像処理部と、を有する測
距システムであって、

発光パルスを照射する照射部と、

前記発光パルスが対象物で反射した受光信号を検出する受光部と、を有し、

前記照射部が照射する発光パルスの幅を A、

前記受光部が前記受光信号をサンプリングするサンプリング周期を B とした場合、 A

B の関係があり、

前記画像処理部は、閾値未満の近距離側において前記第二の距離情報の距離分解能で前
記第一の距離情報と前記第二の距離情報を結合し、前記閾値以上の遠距離において前記第
二の距離情報の距離分解能より大きい分解能で前記第一の距離情報と前記第二の距離情報
を結合することを特徴とする測距システム。

【請求項2】

前記画像処理部は、前記閾値より遠距離において前記第一の距離情報の分解能で前記第一
の距離情報と前記第二の距離情報を結合する請求項1に記載の測距システム。

【請求項3】

前記照射部が照射する発光パルスの幅は、

10

20

前記受光部が前記受光信号を少なくとも1つ以上、サンプリングするために必要な時間以上であることを特徴とする請求項1又は2に記載の測距システム。

【請求項4】

前記受光部が前記受光信号をサンプリングするサンプリング周期は、発光パルスの幅に対し3つ以上の前記受光信号をサンプリングできるように決定されていることを特徴とする請求項3に記載の測距システム。

【請求項5】

前記照射部が照射する発光パルスの幅は、前記A Bの関係の下、
前記第一の距離情報の距離分解能が所定値以下になるように決定されていることを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載の測距システム。

【請求項6】

前記照射部が照射する発光パルスの幅は、
前記第一の距離情報の距離分解能が約3メートルになるように決定されていることを特徴とする請求項5に記載の測距システム。

【請求項7】

前記距離情報取得部は、各受光信号が取得されるまでの時間を距離情報に変換して前記距離情報に対する前記受光信号を前記画像処理部に出力し、

前記画像処理部は、前記距離情報に対する前記受光信号を値が大きいほど小さくなるコストに変換した後、前記画像処理により得たステレオマッチングコストと統合するか、又は、

前記画像処理により得たステレオマッチングコストを値が小さいほど大きくなるコストに変換して、前記距離情報取得部が出力した前記距離情報に対する前記受光信号と統合することを特徴とする請求項1～6のいずれか1項に記載の測距システム。

【請求項8】

前記画像処理部は、前記ステレオマッチングコストを、前記サンプリング周期で決まる距離分解能の間隔で補間し、

補間したステレオマッチングコストと、前記距離情報に対する前記受光信号の値が大きいほど小さくなるように変換されたコストとを統合することを特徴とする請求項7に記載の測距システム。

【請求項9】

前記距離情報取得部の距離分解能よりも前記画像処理部の距離分解能の方が小さい距離と、該距離より大きい距離では、前記ステレオマッチングコストの補間間隔を変更することを特徴とする請求項8に記載の測距システム。

【請求項10】

閾値未満の近距離側では前記画像処理部の距離分解能で距離を算出し、閾値以上の遠距離側では前記距離情報取得部の距離分解能で距離を算出することを特徴とする請求項8に記載の測距システム。

【請求項11】

前記距離情報取得部と前記複数の撮像部を有する前記画像処理部は、1つの筐体に収納されており、前記複数の撮像部の間に前記距離情報取得部が配置されていることを特徴とする請求項1～10のいずれか1項に記載の測距システム。

【請求項12】

前記複数の撮像部と前記距離情報取得部は直線上に配置され、
前記複数の撮像部と前記距離情報取得部を含む前記直線上の方向の全幅は、前記距離情報取得部の前記直線上の方向の幅より大きく、約30〔cm〕以下であることを特徴とする請求項11に記載の測距システム。

【請求項13】

前記複数の撮像部と前記距離情報取得部は直線上に配置され、
前記複数の撮像部と前記距離情報取得部を含む前記直線上の方向の全幅は、約8〔cm〕以上、約30〔cm〕以下であることを特徴とする請求項11又は12に記載の測距シス

10

20

30

40

50

テム。

【請求項 1 4】

T O F (Time Of Flight) 方式で第一の距離情報を検出する距離情報取得部と、
複数の撮像部により撮像された複数の撮像画像を画像処理して得た第二の距離情報に、
前記距離情報取得部が取得した前記第一の距離情報を統合する画像処理部と、を有する測
距システムが行う測距方法であって、

照射部が、発光パルス照射するステップと、

受光部が、前記発光パルスが対象物で反射した受光信号を検出するステップと、
前記画像処理部が、閾値未満の近距離側において前記第二の距離情報の分解能で前記第一
の距離情報と前記第二の距離情報を結合し、前記閾値以上の遠距離において前記第二の距
離情報の分解能より大きい分解能で前記第一の距離情報と前記第二の距離情報を結合する
ステップと、を有し、

10

前記照射部が照射する発光パルスの幅を A、

前記受光部が前記受光信号をサンプリングするサンプリング周期を B とした場合、A
B の関係があることを特徴とする測距方法。

【請求項 1 5】

車載装置であって、

T O F (Time Of Flight) 方式で第一の距離情報を検出する距離情報取得部と、
複数の撮像部により撮像された複数の撮像画像を画像処理して得た第二の距離情報に、
前記距離情報取得部が取得した前記第一の距離情報を統合する画像処理部と、

20

発光パルス照射する照射部と、

前記発光パルスが対象物で反射した受光信号を検出する受光部と、を有し、

前記照射部が照射する発光パルスの幅を A、

前記受光部が前記受光信号をサンプリングするサンプリング周期を B とした場合、A
B の関係があり、

前記画像処理部は、閾値未満の近距離側において前記第二の距離情報の分解能で前記第一
の距離情報と前記第二の距離情報を結合し、前記閾値以上の遠距離において前記第二の距
離情報の分解能より大きい分解能で前記第一の距離情報と前記第二の距離情報を結合し、

撮像画像の画素に距離値が対応付けられた距離画像を生成して車両の制御ユニットに送
出する車載装置。

30

【請求項 1 6】

T O F (Time Of Flight) 方式で第一の距離情報を検出する距離情報取得部と、
複数の撮像部により撮像された複数の撮像画像を画像処理して得た第二の距離情報に、
前記距離情報取得部が取得した前記第一の距離情報を統合する画像処理部と、

発光パルス照射する照射部と、

前記発光パルスが対象物で反射した受光信号を検出する受光部と、を有し、

前記照射部が照射する発光パルスの幅を A、

前記受光部が前記受光信号をサンプリングするサンプリング周期を B とした場合、A
B の関係があり、

前記画像処理部は、閾値未満の近距離側において前記第二の距離情報の分解能で前記第一
の距離情報と前記第二の距離情報を結合し、前記閾値以上の遠距離において前記第二の距
離情報の分解能より大きい分解能で前記第一の距離情報と前記第二の距離情報を結合し、

40

撮像画像の画素に距離値が対応付けられた距離画像を使って車両を制御する制御ユニッ
トを有する車両。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、測距システム、測距方法、車載装置、及び車両に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

50

ステレオカメラの視差計算アルゴリズムとして、特徴点のブロックマッチング方式やS G M (Semi - Global - Matching) 伝播方式などが知られている。これらの方式は、左右の画像の特徴点が探索される際の視差ごとにコストを算出する方式であり、探索視差空間においてコスト最小を与える視差を検出して、視差 D と距離 Z の対応式 ($Z = B F / D$) により各画素に対応する距離を計算する方式である (B は基線長、 F は焦点距離)。

【 0 0 0 3 】

しかし、これらの視差計算アルゴリズムで決定された視差から計算される距離は、遠方領域の距離分解能を確保することが難しく、また、測距値のばらつき (分散) も大きくなる傾向がある。

【 0 0 0 4 】

例えば、車載業界では、自動運転に代表されるように遠方での測距性能の向上が求められている。そこで、空間分解能は低い距離分解能は高い L i D A R (Light Detection and Ranging, Laser Imaging Detection and Ranging) と、空間分解能は高いが遠方の距離分解能が低いステレオカメラとの測定結果を統合 (これをフュージョンと呼ぶ場合がある) する試みが知られている (例えば、特許文献 1 参照。)。特許文献 1 には、L i D A R の距離情報を、撮像画像を構成する画素と関連付けておき、画素に関連付けられた距離情報に基づく値を、撮像画像を構成する画素の視差演算に用いて視差画像を生成する視差演算システムが開示されている。このようなフュージョンにより、3次元高分解能測距結果出力、物体測距値の低分散化、不連続面の検出高度化、小型化、及び、環境ロバスト性の向上等を図ることができる。

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

しかしながら、従来の技術では、フュージョンのためにステレオカメラと L i D A R が搭載される測距システムの小型化が困難であるという問題がある。まず、L i D A R では発光パルスが物体で反射して得られる受光信号が大きいほど受光信号に含まれるノイズが少なくなる。このため、L i D A R は発光素子や受光素子の搭載数が多く、大きい発光素子や受光素子を有することが好ましい。しかし、車両など何らかの装置に搭載されることを考えると、発光素子や受光素子の搭載数には限りがあるし、そもそも大きい発光素子や受光素子は搭載できない。受光素子の大きさや数に制限がある場合、受光信号は微弱であり、ノイズレベルと受光信号のレベルとが比較的近くなる (S / N が小さくなる)。このような受光信号から求められた距離は当然ながら精度が悪くなる傾向がある。

【 0 0 0 6 】

発光パルスを短パルス化すると距離の精度が向上するが、発光パルスが短くなりすぎると受光信号を A / D 変換するために高速なサンプリング周波数が必要となる。このため、技術的に製造が困難であったり、製造できるとしてもコスト増となったりするおそれがある。

【 0 0 0 7 】

また、ステレオカメラに関しては、小型化によりステレオカメラの基線長も短くなるため、遠方の距離分解能が粗くなり、また、キャリブレーションに要する手間が格段に上がってしまう。このように、従来は小型化の要請があっても測距システムを小型化することは困難であった。

【 0 0 0 8 】

本発明は、上記課題に鑑み、小型化が可能な測距システムを提供することを目的とする。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 9 】

上記課題に鑑み、本発明は、T O F (Time Of Flight) 方式で第一の距離情報を検出する距離情報取得部と、複数の撮像部により撮像された複数の撮像画像を画像処理して得た第二の距離情報に、前記距離情報取得部が取得した前記第一の距離情報を統合する画像処理部と、を有する測距システムであって、発光パルスを照射する照射部と、前記発光パルスが対象物で反射した受光信号を検出する受光部と、を有し、前記照射部が照射する発光

10

20

30

40

50

パルスの幅を A、前記受光部が前記受光信号をサンプリングするサンプリング周期を B とした場合、A B の関係があり、前記画像処理部は、閾値未満の近距離側において前記第二の距離情報の距離分解能で前記第一の距離情報と前記第二の距離情報を結合し、前記閾値以上の遠距離において前記第二の距離情報の距離分解能より大きい分解能で前記第一の距離情報と前記第二の距離情報を結合することを特徴とする。

【発明の効果】

【0010】

小型化が可能な測距システムを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】LiDARの発光パルスと受光信号を模式的に示す図の一例である。

【図2】戻り光量が微弱な場合におけるLiDARの発光パルスと受光信号を模式的に示す図の一例である。

【図3】FWHMが比較的広い発光パルスと受光信号を模式的に示す図の一例である。

【図4】一般的な視差空間を用いた場合に得られる距離を説明する図の一例である。

【図5】LiDARの距離情報とステレオカメラの距離画像の従来のフュージョン方法を説明する図の一例である。

【図6】本実施例のフュージョン方法を説明する図の一例である。

【図7】移動体の一例である自動車に搭載された測距システムを示す図の一例である。

【図8】レーザレーダ測距部によるレーザ光の照射範囲について説明する図の一例である。

【図9】ルームミラーの前方に車載された測距システムの外観図の一例である。

【図10】ステレオ画像演算部によるステレオ画像の撮像範囲を説明するための図である。

【図11】レーザレーダ測距部によるレーザ光の照射位置とステレオ画像演算部により撮像されたステレオ画像（基準画像）の画素位置との関係について説明する図の一例である。

【図12】レーザレーダ測距部の機能構成図の一例である。

【図13】サンプリング周期と距離分解能の関係を説明する図の一例である。

【図14】測距システムの構成図の一例である。

【図15】右カメラにより撮像された基準画像と、左カメラにより撮像された比較画像における、注目している画素 $p = (P \times 3, P y 5)$ のコストとして、SAD (Sum of Absolute Difference) を算出する例を示した図である。

【図16】ある注目している画素の視差ごとのSADの一例を示す図である。

【図17】SGM伝播方式を用いて伝播コストを算出する処理を模式的に示した図である。

【図18】測距システムの動作手順を説明するフローチャート図の一例である。

【図19】ステレオマッチングコストの一例を示す図である。

【図20】LiDARコストの算出方法を説明する図の一例である。

【図21】ステレオマッチングコストとLiDARコストのフュージョンを模式的に示す図の一例である。

【図22】エネルギーコストの算出方法を説明する図の一例である。

【図23】エネルギーコストの算出方法を説明する図の一例である。

【図24】エネルギーコストが最小となる距離の算出方法を説明する図の一例である。

【図25】Z空間の距離分解能について補足する図の一例である。

【図26】低距離側と高距離側の距離分解能を説明する図の一例である。

【図27】測距システムによる測距結果の効果を説明する図の一例である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、本発明を実施するための形態の一例として測距システム及び測距システムが行う測距方法について説明する。

【0013】

< LiDARを小型化することに関する補足 >

小型化されたLiDAR (Light Detection and Ranging、Laser Imaging Detecti

10

20

30

40

50

on and Ranging) の受光信号は微弱であり、受光信号の S/N 比が小さくなり、距離の精度が低下するおそれがある。そこで、精度の低下を補うために発光パルス短パルス化することが検討される。以下、発光パルスの幅が短い場合の不都合を説明する。

【 0 0 1 4 】

図 1 は、L i D A R の発光パルス T X と受光信号 R X を模式的に示す図の一例である。測距システムは、L i D A R が発光パルス T X を出力してから、受信信号が受信されるまでの時間から距離を求める。実際には受光信号 R X がいつ受光されるかは分からないので、発光パルス T X の出力の直後から受光信号 R X のサンプリングを開始する。図 1 の受光信号 R X の黒丸がサンプリングされた受光信号 R X である。

【 0 0 1 5 】

図 1 では、短パルス化された発光パルス T X に対し、十分な戻り光量が受光信号 R X に認められる。戻り光量とは受光信号 R X のパルスの大きさである。発光パルス T X が例えば車両に当たって戻ってくる受光信号 R X の F W H M (Full Width at Half Maximum) は、発光パルス T X の F W H M とほとんど変わらない。光から見た車両の速度は止まって見えるのでドップラー効果は考慮しなくてよいためである。

【 0 0 1 6 】

図 2 は、戻り光量が微弱な場合における L i D A R の発光パルス T X と受光信号 R X を模式的に示す図の一例である。対象物の光の反射率が小さいか、又は、遠距離にある場合、図 2 (a) に示すように受光信号 R X の戻り光量が微弱になる。図 2 では、受光信号 R X のピークが小さくなり戻り光量が小さくなっている。この場合、S/N 比が小さくなり距離の精度が低下するおそれがある。

【 0 0 1 7 】

また、例えば、西日などの影響で生じるノイズと受信信号のレベルが同程度の場合、戻り光量は大きくても受光信号 R X の特定が困難になる。図 2 (b) では、発光パルス T X の反射分に加え、西日などによるノイズを受光信号 R X が含むため、発光パルス T X の反射分と同等以上のピークが得られている。このような波形では、発光パルス T X が出力されてから受光信号 R X が受光されるまでの時間の精度が低下するおそれがある。

【 0 0 1 8 】

< 本実施形態の L i D A R の発光パルス T X と受光信号 R X >

図 2 のような受信信号に対しては、受光信号 R X のサンプリング周期を短くすることで、受光信号 R X の波形の復元がしやすくなる。しかし、演算負荷が高くなり L i D A R の製造難易度が上がり製造できるとしてもコスト増をもたらす。

【 0 0 1 9 】

そこで、比較的広い F W H M の発光パルス T X を採用することが検討される。これにより、受光信号 R X の F W H M も広がるため、A/D 変換のサンプリング周波数はそれほど速くなくてよい。つまり、比較的長いサンプリング周期でも受光信号 R X の復元が可能になる。この結果、F W H M が狭い L i D A R よりも、比較的安価なものを使用できる。

【 0 0 2 0 】

図 3 は、F W H M が比較的広い発光パルス T X と受光信号 R X を模式的に示す図の一例である。まず、図 3 (a) では、受光信号 R X の戻り光量が大きいので、精度のよい距離を算出できる。図 3 (b) は、対象物の光の反射率が小さいか、又は、遠距離にあるため、戻り光量が微弱な場合の、L i D A R の発光パルス T X と受光信号 R X を模式的に示す図の一例である。受光信号 R X の強さは図 3 (a) よりも低下しているが、F W H M が広く比較的容易に受光信号 R X の波形を復元できるため、距離の精度が低下しにくい。

【 0 0 2 1 】

図 3 (c) は、西日などの影響でノイズが多い L i D A R の発光パルス T X と受光信号 R X を模式的に示す図の一例である。ノイズの影響で受光信号 R X 以外のピークが見られるが、F W H M が広いので、受信信号とは関係なくピークを示すノイズをサンプリングする可能性が低下し、距離の精度が低下しにくいと考えられる。

【 0 0 2 2 】

10

20

30

40

50

本実施形態の測距システムは、図3(b)図3(c)に示すように、発光パルスTXの幅よりもサンプリング周期が短いことが特徴の1つとなる。発光パルスTXの幅で少なくとも1つ以上の受光信号RXをサンプリングし、好ましくは3点以上の受光信号をサンプリングする。受光信号RXのパルス幅を広く取れるため、受光素子の数や大きさの制限が少なくなり、測距システムの小型化が容易になる。

【0023】

また、受光信号RXのパルス幅を広く取れるため、A/D変換のサンプリング周波数もそれほど速くなくて済み、コスト増となりにくい。サンプリング周波数がそれほど早くないため、距離分解能を粗くすることが可能となり、距離演算時の演算負荷を低減できる。

【0024】

更に、発光パルスが広くて受光信号も広ければA/D変換のサンプリング周波数はそれほど速くなくて済むので、例えば、ノイズレベルと信号レベルが同程度の場合でも、ノイズレベル信号を取らずに済む可能性が上がる。

【0025】

<用語について>

TOF (Time Of Flight) 方式は、出力した信号が戻って来るまでの時間で距離を測定する方式を言う。

【0026】

サンプリングとは、連続したデータから一部を抽出することをいう。本実施形態では更にA/D変換することを含む。

【0027】

コストとは、このコストが算出された距離(あるいは視差)の選択されやすさの指標である。

【0028】

<LiDARとステレオカメラのフュージョン>

図4は、一般的な視差空間を用いた場合に得られる距離Zを説明する図の一例である。図4(a)はブロックマッチング及びSGM伝播方式により得られるコストC(p, d)と伝播コストLr(p, Z)を示す。横軸は視差dを単位とするシフト量である。図4(a)では探索範囲を64画素とする。pは注目画素、dは基準画像と比較画像のシフト量(探索視差)である。64画素の探索範囲で最も小さいコストC(p, d)又は伝播コストLr(p, Z)が注目している画素pの視差(整数視差)として採用される。

【0029】

図4(b)はZ空間におけるコストC(p, d)又は伝播コストLr(p, Z)を示す。図4(a)の視差dから式(1)により距離Zが求められる。

$$Z = BF / d \quad \dots (1)$$

なお、Bはステレオカメラにおける左右のカメラの光軸間距離、Fは左右のカメラの焦点距離である。図4(b)に示すように、Z空間では、コストC(p, d)又は伝播コストLr(p, Z)が得られる距離Zに疎密が生じる。これは距離Zを算出する式(1)の分母にdが含まれているため、距離Zがdに反比例し、dが0に近いと距離Zが大きく変化するためである。

【0030】

したがって、一般的なブロックマッチングは遠距離側で粗いコスト伝播をしているのと同義になり、遠距離で高精度を得ることが困難になる。

【0031】

図5はLiDAR9の距離情報とステレオカメラ8の距離画像の従来のフュージョン方法を説明する図の一例である。従来は、ステレオカメラ8がブロックマッチング等で距離画像を出力した後に、LiDAR9が測定する距離情報を後発的に追加するフュージョン方法が一般的であった。このフュージョン方法では、図4で説明したようにステレオカメラ8の距離画像にそもそも多くの誤差が含まれているため、LiDARの距離情報を加えても精度の向上に限界があった。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 2 】

そこで、本実施形態では、図 6 に示すようにステレオカメラ 8 がブロックマッチング等で距離画像を出力する前に L i D A R 9 が測定した距離情報をフュージョンさせる。図 6 (a) は本実施形態における L i D A R 9 の距離情報とステレオカメラ 8 の距離画像のフュージョン方法を説明する図の一例である。ステレオカメラ 8 は距離画像を出力する前に L i D A R 9 が出力する距離情報をコスト $C (p , d)$ にフュージョンさせる。

【 0 0 3 3 】

そして、図 6 (b) に示すように、このフュージョンの際、ステレオカメラ 8 は Z 空間でコスト $C (p , Z)$ を演算する。図 6 (b) は Z 空間におけるコスト $C (p , Z)$ 及び伝播コスト $L r (p , Z)$ の一例を示す。ブロックマッチング等で得られたコストを Z 空間でフュージョンさせるため、測距システムは Z 空間のコストを疎密の少なくなるように補間する。そして、この Z 空間でステレオカメラ 8 が算出したコスト $C (p , Z)$ と L i D A R 9 が検出したコストをフュージョンする。

10

【 0 0 3 4 】

したがって、Z 空間においてコストが最小の距離 Z を特定でき、近傍と遠方の距離分解能が高い距離画像が得られる。また、距離画像はもともと空間分解能が高いため、高密度かつ高分解能な距離画像が得られる。

【 0 0 3 5 】

このように、本実施形態の測距システム 1 0 0 は、ステレオカメラがブロックマッチング等で距離画像を出力する前に、Z 空間で L i D A R 9 が測定した距離情報をフュージョンさせることで高密度かつ高分解能な距離画像を実現できる。

20

【 0 0 3 6 】

< 測距システムの適用例 >

図 7 を用いて、測距システム 1 0 0 の適用例について説明する。図 7 は、移動体の一例である自動車 2 0 0 に搭載された測距システム 1 0 0 を示す図である。図 7 では、自動車 2 0 0 のフロントウィンドウの内側中央位置に、測距システム 1 0 0 が設定されている。測距システム 1 0 0 は、レーザレーダ測距部 1 1 0 とステレオ画像演算部 1 2 0 とを有する。レーザレーダ測距部 1 1 0 とステレオ画像演算部 1 2 0 はいずれも前方が測距範囲となるように設置されている。レーザレーダ測距部 1 1 0 は、ステレオ画像演算部 1 2 0 が有するステレオカメラ (2 つの撮像部) の間 (好ましくは中央) に配置されるものとする。

30

【 0 0 3 7 】

なお、レーザレーダ測距部 1 1 0 は上記の L i D A R と同等の機能を有する。本実施形態では特に断らない限り両者を区別しない。レーザレーダ測距部 1 1 0 は、レーザダイオードを使って可視スペクトル外の光のパルスを発射し、そのパルスが戻ってくる時間を計測することで距離を算出する。このような距離の算出方法を T O F 方式という。ある瞬間のパルスが反射した方向と距離を、レーザレーダ測距部 1 1 0 を中心とした 3 D 地図の中の点として記録する。

【 0 0 3 8 】

< レーザレーダ測距部のレーザの照射範囲 >

図 8 は、レーザレーダ測距部 1 1 0 によるレーザ光の照射範囲について説明する図の一例である。図 8 (a) は、自動車 2 0 0 を上方から見た上面図であり、図 8 (b) は、自動車 2 0 0 を側方から見た側面図である。

40

【 0 0 3 9 】

図 8 (a) に示すように、レーザレーダ測距部 1 1 0 は、自動車 2 0 0 の進行方向の前方の所定範囲 (横方向の照射範囲) を水平方向に走査しながらレーザ光を照射する。なお、レーザ光は光と捉えてもよいし電磁波と捉えてもよい。

【 0 0 4 0 】

また、図 8 (b) に示すように、レーザレーダ測距部 1 1 0 は、自動車 2 0 0 の進行方向の前方の所定範囲に向かってレーザ光を照射する。どの程度遠方までレーザが到達するかはレーザレーダ測距部 1 1 0 の出力によるが数百メートル程度の範囲で測距可能である

50

。近い側の検出範囲は1メートル未満から検出可能であるが、通常、これほどの近距離領域では測距の必要性が低いため適宜、距離を検出する範囲が設定されていてよい。

【0041】

レーザレーダ測距部110は、レーザ光の照射方向を、仰角方向に回転させながら水平方向に走査させることができるよう構成されている。これにより、レーザレーダ測距部110の設置位置を基準として、近傍から遠方までの照射範囲を照射することができる。

【0042】

<測距システムの大きさについて>

例えば車載されるような測距システム100は可能な限り小さいサイズであることが好ましい。ステレオカメラ8は車両の前方を撮像する必要があるため、設置位置が限られるためである。一般乗用車では車室内に設置されることも多く、限られたスペースに乗員の邪魔にならないように設置される。例えば、ルームミラーよりも前方でウィンドウガラス内に設置されることを考えると、ルームミラーを見たり操作したりする運転者が意識しないようなサイズであることが好ましい。

10

【0043】

図9は、ルームミラー501の前方に車載された測距システム100の外観図の一例である。車幅方向の中央、かつ、ルームミラー501とウィンドウガラスの間のシーリングに測距システム100が設置されている。また、右カメラと左カメラの間にレーザレーダ測距部110が配置されている。つまり、右カメラ、左カメラ、レーザレーダ測距部110が直線上に配置されている。このようにレーザレーダ測距部110とステレオ画像演算部120が1つの筐体に収納されることで、組み立て工程の数を低減できる。

20

【0044】

運転者が測距システム100を意識しないためには、測距システム100の幅がルームミラー501の幅よりも狭いことが好ましい。ルームミラー501のサイズは様々であるが、例えば、一般的なルームミラーが30〔cm〕であるとする、測距システム100の幅も30〔cm〕以下であることが好ましい。

【0045】

測距システム100の幅の下限として、右カメラと左カメラの間にレーザレーダ測距部110が配置されている形態では、レーザレーダ測距部110の幅より大きいことが必要になる。したがって、測距システム100の幅は、以下のようになる。

30

レーザレーダ測距部110の幅 < 測距システム100の幅 30〔cm〕

レーザレーダ測距部110の幅は、設計、製造技術、及び要求する精度などによって変わると言えるが、例えば、4、5〔cm〕以上は必要であると考えられる。したがって、測距システム100の幅は、以下のようになる。

【0046】

4～5〔cm〕 測距システム100の幅 30〔cm〕

一方、ステレオカメラの基線長があまり短いと遠方の距離分解能が粗くなることが知られている（距離分解能は画素ピッチ、焦点距離にも影響されるため一概に決まらない）。例えば、好ましい性能が得られるステレオカメラの基線長を8cmとすると、測距システム100の幅もこれ以上となる。したがって、測距システム100の幅は、以下のようになる。

40

【0047】

8〔cm〕 測距システム100の幅 30〔cm〕

このように、本実施形態の測距システム100は従来よりも大幅に小型化されたサイズで実現することができる。

【0048】

<ステレオ画像演算部の撮像範囲>

図10は、ステレオ画像演算部120によるステレオ画像の撮像範囲を説明するための図である。図10(a)は、自動車200の上面図である。ステレオ画像演算部120は、2つの撮像装置（カメラ）が自動車200の進行方向の前方に光軸を向けて設置されて

50

おり、進行方向の所定範囲の画像を撮像する。レーザ光の照射範囲とステレオカメラ 8 の撮像範囲は少なくとも一部が重複している。

【0049】

図 10 (b - 1) と図 10 (b - 2) は、ステレオカメラ 8 により撮像された基準画像 (右カメラの画像データ) と比較画像 (左カメラの画像データ) を示す。右カメラ 1 1 と左カメラ 1 2 は互いに、所定の間隔を介して水平に設置されている。このため、基準画像と比較画像は重複部分を有するが、撮像画像内のオブジェクトの位置が、左右方向にずれることになる。

【0050】

ステレオ画像演算部 1 2 0 は、基準画像と比較画像の各オブジェクトのずれ量 (これが視差となる) を算出することで、距離画像を生成し出力する。

10

【0051】

< レーザ光の照射位置とステレオ画像の画素位置との関係 >

次に、図 1 1 を用いて、レーザレーダ測距部 1 1 0 によるレーザ光の照射位置とステレオ画像演算部 1 2 0 により撮像されたステレオ画像 (基準画像) の画素位置との関係について説明する。図 1 1 (a) は、レーザ光の照射位置とステレオ画像 (基準画像) の画素位置との関係を説明する図の一例である。

【0052】

レーザレーダ測距部 1 1 0 によるレーザの照射方向と、基準画像の画素位置は予め対応付けておくことができる。図 1 1 (a) では側方から見た 2 つのオブジェクト O 1、O 2 が示されており、図 1 1 (b) はオブジェクト O 1、O 2 が撮像された基準画像の一例である。オブジェクト O 2、O 1 はレーザレーダ測距部 1 1 0 と右カメラ 1 1 の光軸に対し直線上にあるため、重なって撮像される。

20

【0053】

オブジェクト O 2 の高さ h_2 がオブジェクト O 1 の高さ h_1 のちょうど 2 倍で、オブジェクト O 2 の自動車 2 0 0 からの距離 L_2 がオブジェクト O 1 の自動車 2 0 0 からの距離 L_1 のちょうど 2 倍であるとする。オブジェクト O 1 と O 2 のサイズと距離が比例関係にあるため、画像データにはオブジェクト O 1 と O 2 が同じサイズで写り、また、オブジェクト O 1 と O 2 と自動車 2 0 0 の位置関係から重なって写る。したがって、レーザ光がオブジェクト O 1 と O 2 の上端を通過した場合、レーザ光はステレオ画像演算部 1 2 0 により撮像された基準画像のオブジェクト O 1、O 2 の上端に写るはずである (可視光でないため実際には写らない)。このようにオブジェクトまでの距離に関係なく、レーザ光の照射方向と、基準画像の画素位置は 1 対 1 に対応するので、両者を予め対応付けておくことができる。

30

【0054】

図 1 1 (c) は、基準画像の画素 P 1 ~ P 4 に対応する距離情報を示す。例えば、P 1 (x_1, y_1) の画素は水平方向 θ_1 、仰角 ϕ_1 の照射方向と対応し、P 2 (x_2, y_2) の画素は水平方向 θ_2 、仰角 ϕ_2 の照射方向と対応し、P 3 (x_3, y_3) の画素は水平方向 θ_3 、仰角 ϕ_3 の照射方向と対応し、P 4 (x_4, y_4) の画素は水平方向 θ_4 、仰角 ϕ_4 の照射方向と対応する。

40

【0055】

このため、レーザレーダ測距部 1 1 0 から照射方向と距離情報が出力されると、ステレオ画像演算部 1 2 0 は測定された距離情報を画素に関連付けることができる。

【0056】

< レーザレーダ測距部の機能構成 >

次に、図 1 2 は、レーザレーダ測距部 1 1 0 の機能構成図の一例である。レーザレーダ測距部 1 1 0 は信号処理部 6 0 1、仰角方向スキャンドライブユニット 6 0 2、モータ 6 0 3、仰角方向スキャンミラー 6 0 4、レーザ受光部 6 0 5、信号増幅器 6 0 6、時間間隔カウンタ 6 0 7、ADC サンプリング部 6 1 0、レーザ出力部 6 0 8、及び、レーザドライバ 6 0 9 を有する。

50

【 0 0 5 7 】

信号処理部 6 0 1 からの指示に基づいて、仰角方向スキャンドライブユニット 6 0 2 が、仰角方向スキャンミラー 6 0 4 を仰角方向に回転させるためのモータ 6 0 3 を駆動する。これにより、仰角方向スキャンミラー 6 0 4 は、仰角方向に回転する。

【 0 0 5 8 】

また、信号処理部 6 0 1 からの指示に基づいて、レーザドライバ 6 0 9 が駆動し、レーザ出力部 6 0 8 からレーザ光が出力される。このとき、レーザ光の出力タイミングは、時間間隔カウンタ 6 0 7 に一時的に保持される。レーザ出力部 6 0 8 から出力されたレーザ光は、仰角方向スキャンミラー 6 0 4 を介して、外部に出力されるため、所定の照射範囲を照射することになる。

10

【 0 0 5 9 】

外部に出力されたレーザ光は、照射方向の物体（対象物）で反射し、その反射光が仰角方向スキャンミラー 6 0 4 を介して、レーザ受光部 6 0 5 において受光される。レーザ受光部 6 0 5 は、垂直方向に配列された複数のフォトディテクタ（PD：Photo Detector）を有しており、レーザ光はいずれかのフォトディテクタで受光され電気信号に変換される。

【 0 0 6 0 】

変換された電気信号は、信号増幅器 6 0 6 において増幅され、ADC サンプリグ部 6 1 0 に入力される。ADC サンプリグ部 6 1 0 は、信号処理部 6 0 1 がレーザ光を出力させたことを契機に、信号処理部 6 0 1 からの指示により、信号処理部 6 0 1 から指示されたサンプリグ周期で電気信号（受光信号 RX）のサンプリグ（A/D 変換）を開始する。A/D 変換された受光信号 RX は時間間隔カウンタ 6 0 7 に入力される。

20

【 0 0 6 1 】

時間間隔カウンタ 6 0 7 では、レーザ出力部 6 0 8 より出力されたレーザ光の出力タイミングと、ADC サンプリグ部 6 1 0 によりサンプリグされた受光信号 RX の受光タイミングとに基づいて、時間間隔を算出する。

【 0 0 6 2 】

時間間隔カウンタ 6 0 7 において算出された時間間隔は、信号処理部 6 0 1 において距離情報に変換され、照射方向を示す情報と共に、ステレオ画像演算部 1 2 0 へ出力される。

【 0 0 6 3 】

< ADC サンプリグ部のサンプリグ周期について >

本実施の測距システム 1 0 0 は、発光パルス TX の幅よりもサンプリグ周期が短いことが特徴の 1 つだが、サンプリグ周期が短すぎると演算負荷が増大し、サンプリグ周期が長いと距離分解能が粗くなり物体の距離の精度が低下してしまう。したがって、発光パルス TX の幅に対し、適切なサンプリグ周期を設定することが好ましい。

30

【 0 0 6 4 】

図 1 3 はサンプリグ周期と距離分解能の関係を説明する図の一例である。図 1 3 (a) はサンプリグ周期に対応する距離分解能の算出例を示す。図 1 3 (a) ではサンプリグ周期と、サンプリグ周波数と、距離分解能がそれぞれ対応付けられている。例えば、サンプリグ周期が 1 [nsec] であっても光の速度から算出すると 0 . 3 [m] の距離分解能でしか測距できないことを示している。逆に、サンプリグ周期が 3 4 [nsec] の場合、光の速度から算出すると 1 0 . 2 [m] の距離分解能になる。

40

【 0 0 6 5 】

どの程度の距離分解能が必要とされるかは状況にもよるが、近距離側ではステレオ画像演算部 1 2 0 が密な距離分解能で測距できるため、遠距離側で実用的と考えられる距離分解能があることが好ましい。例えば、1 0 0 [m] 先にある物体では距離分解能が 1 0 [m] でも大きな支障がない場合もあるし、1 0 0 [m] 先でも 3 [m] 程度の距離分解能が欲しいと考えられる状況もありうる。

【 0 0 6 6 】

図 1 3 (b) はいくつかの想定される発光パルス TX の幅と距離分解能の対応を示す図

50

の一例である。図 1 3 (b) では、発光パルス T X の幅、受光信号 R X の幅、発光パルス T X の幅の間に 3 点の受光信号 R X をサンプリングする場合のサンプリング周期、サンプリング周波数、及び、距離分解能が対応付けられている。ここで、3 点の受光信号 R X をサンプリングする場合のサンプリング周期が示されているのは、受光信号 R X を復元するために 3 点程度の値があると復元が容易であるためである。

【 0 0 6 7 】

例えば、発光パルス T X の幅が 4 0 [nsec] の場合に、3 点の受光信号 R X をサンプリングするためには、サンプリング周期が 2 0 [nsec] 以下である必要がある。また、この時の距離分解能は 6 [m] である。

【 0 0 6 8 】

また、発光パルス T X の幅が 3 . 3 [nsec] の場合に、3 点の受光信号 R X をサンプリングするためには、サンプリング周期が 1 . 6 7 [nsec] 以下である必要がある。また、この時の距離分解能は 0 . 5 [m] である。

【 0 0 6 9 】

このように、3 点の受光信号 R X をサンプリングするためのサンプリング周期は発光パルス T X の幅によって変わるが、いずれの場合も、発光パルス T X の幅はサンプリング周期以上である。また、3 点の受光信号 R X をサンプリングする場合は、一例に過ぎず、発光パルス T X の幅の間に少なくとも 1 つ以上の受光信号 R X がサンプリングされればよい (発光周期は少なくとも 1 つ以上の受光信号 R X をサンプリングするために必要な時間以上である。)

設計者などは、発光パルス T X の幅が所定値以上になるように先に決定し、1 つ以上又は好ましくは 3 つ以上のサンプリングが可能なサンプリング周期を決定してよい。あるいは、距離分解能が所定値以下になるように先に決定し、この場合に 1 つ以上又は好ましくは 3 つ以上のサンプリングが可能な発光パルス T X の幅を決定してもよい。

【 0 0 7 0 】

< ステレオ画像演算部の機能構成 >

図 1 4 は、測距システム 1 0 0 の構成図を示す。また、図 1 4 ではステレオ画像演算部 1 2 0 の機能をブロック状に示している。測距システム 1 0 0 は測距する装置であるため測距装置ということができる。この他、距離測定装置、測距部などと呼ばれてもよい。

【 0 0 7 1 】

図 1 4 に示すように、ステレオ画像演算部 1 2 0 は、右カメラ 1 1、左カメラ 1 2、歪み補正部 1 3、及び、距離演算部 1 4 を有する。右カメラ 1 1 及び左カメラ 1 2 によりステレオカメラが形成されている。なお、本実施形態において、右カメラ 1 1 により撮像される撮像画像を基準画像として用い、左カメラ 1 2 により撮像される撮像画像を比較画像として用いる。

【 0 0 7 2 】

歪み補正部 1 3、及び、距離演算部 1 4 は専用の電子回路を用いて実現してもよいし、各部を実現するためのプログラムが C P U (コンピュータ) によって実行されることで実現されてもよい。したがって、ステレオ画像演算部 1 2 0 は情報処理装置の機能を有する。また、画像処理を行うという点から画像処理装置でもある。

【 0 0 7 3 】

歪み補正部 1 3 は、基準画像と比較画像に一般的な歪み補正を行う。この画像補正により、基準画像と比較画像は視差以外の差異が生じないように補正される。画像補正は事前のキャリブレーションにより可能になる。左カメラ 1 2 と右カメラ 1 1 は設置される際に、例えば、校正用の被写体 (例えば市松模様のチャート) を撮像する。2 つの画像を比較して、カメラのレンズ歪み、光軸ずれ、焦点距離ずれ及び撮像素子歪み等のハード的な内部誤差要因が最小になるように画像データを変換する幾何変換用の L U T (Look Up Table) が生成されている。歪み補正部 1 3 はこのような L U T を参照して画像補正を行う。

【 0 0 7 4 】

距離演算部 1 4 は基準画像と比較画像にブロックマッチングや S G M 伝播方式などのア

10

20

30

40

50

ルゴリズムを適用して視差を算出する。また、詳細は後述するが距離演算部 1 4 は、距離画像を出力する前にレーザレーダ測距部 1 1 0 が出力する距離情報で特定されるステレオマッチングコスト $C_{ST}(p, Z)$ と、LiDAR コスト $C_{LI}(p, Z)$ をフュージョン(統合)する。

【0075】

このため、距離演算部 1 4 は、ブロックマッチングで視差を算出するステレオマッチング部 1 4 a、SGM 伝播方式で視差を算出する SGM 部 1 4 b、ステレオマッチングコスト $C_{ST}(p, Z)$ と、LiDAR コスト $C_{LI}(p, Z)$ をフュージョンするフュージョン部 1 4 c、エネルギーコスト $S(p, d)$ を算出するエネルギーコスト算出部 1 4 d、及び、基準画像の画素に距離値が対応付けられた距離画像を生成する距離画像生成部 1 4 e を有している。

10

【0076】

図 1 4 では一例として、距離画像と基準画像が ECU 2 0 (Electronic Control Unit : 電子制御ユニット) に送出されている。ECU 2 0 は車両の電子制御ユニットである。なお、車載された測距システム 1 0 0 を車載装置という。ECU 2 0 は、測距システム 1 0 0 が出力する距離画像と基準画像を用いて各種の運転支援を行う。基準画像については種々のパターンマッチングを行い先行車両、歩行者、白線、信号機の状態の認識等を行う。

【0077】

運転支援は車両によって様々であるが、例えば、対象物の横位置が自車両の車幅と重なる場合、距離と相対速度から算出される TTC (Time To Collision) に応じて警報や制動などを行う。また、衝突までの停止が困難な場合、衝突を回避する方向にステアリングを操舵する。

20

【0078】

また、ECU 2 0 は、車速に応じた車間距離で先行車に追従走行する全車速車間距離制御を行う。先行車が停車したら自車両も停車させ、先行車が発進したら自車両も発進する。また、ECU 2 0 が白線認識などを行う場合、走行レーンの中央を走行するように操舵するレーンキープ制御や走行レーンから逸脱するおそれがあると走行方向を走行レーンに向けて変更する逸脱防止制御等を行うことができる。

【0079】

また、停車時に進行方向に障害物がある場合、急発進を抑制することができる。例えば、シフトレバーの操作位置により判断される進行方向に障害物があり、かつ、アクセルペダルの操作量が大きい場合、エンジン出力を制限したり警報したりすることで被害を軽減する。

30

【0080】

なお、図 1 4 の構成は一例にすぎず、レーザレーダ測距部 1 1 0 とステレオ画像演算部 1 2 0 が一体に構成されていてもよい。あるいはレーザレーダ測距部 1 1 0 の一部の機能をステレオ画像演算部 1 2 0 が有していてもよい。例えば、レーザの送信側をレーザレーダ測距部 1 1 0 に配置し、レーザ受光部 6 0 5、信号増幅器 6 0 6、ADC サンプリング部 6 1 0 をステレオ画像演算部 1 2 0 に配置する。また、ECU 2 0 がステレオ画像演算部 1 2 0 の機能を有していてもよい。

40

【0081】

< ブロックマッチングによる整数視差の演算 >

図 1 5 を用いてブロックマッチングによる整数視差の演算について説明する。図 1 5 は、右カメラ 1 1 により撮像された基準画像 4 2 0 と、左カメラ 1 2 により撮像された比較画像 4 1 0 における、注目している画素 $p = (P \times 3, P \times 5)$ のコストとして、SAD (Sum of Absolute Difference) を算出する例を示した図である。

【0082】

基準画像 4 2 0 と比較画像 4 1 0 では、撮像位置が異なるため、撮像画像上の同じ位置の注目している画素 $p = (P \times 3, P \times 5)$ であっても、同じオブジェクトを指し示すことはなく、左右方向にずれた位置を指し示すことになる。このため、ブロックサイズを 1

50

$\times 1$ 画素とした場合のSADである、基準画像420上の注目している画素 $p = (P \times 3, P y 5)$ の輝度値と、比較画像410上の注目している画素 $p = (P \times 3, P y 5)$ の輝度値との差分値は、大きな値となる。

【0083】

ここで、比較画像410上の注目している画素 p を1画素分、右方向にシフトさせる。つまり、視差 $d = 1$ としたときのSADを算出する。具体的には、比較画像410上の注目している画素 $p = (P \times 3 + 1, P y 5)$ の輝度値と、基準画像420上の注目している画素 $p = (P \times 3, P y 5)$ の輝度値との差分値を算出する。なお、図15の例では、 $d = 1$ の場合も、SADは大きな値となる。

【0084】

以下、同様に、 $d = 2, 3, \dots$ と変化させていき、それぞれにおいてSADを算出する。図15の例では、 $d = 3$ の場合に、基準画像420の注目している画素 $p = (P \times 3, P y 5)$ が指し示すオブジェクトと比較画像410の注目している画素 $p = (P \times 3 + 3, P y 5)$ が指し示すオブジェクトとが同じとなる。このため、 $d = 3$ とした場合のSADは、 $d = 3$ とした場合以外のSADと比べて小さくなる。

【0085】

図16(a)は、ある注目している画素 p の視差ごとのSADの一例を示す。SADがコスト $C(p, d)$ の一例となる。この注目している画素 p では $d = 3$ において、SADが最小なため、視差 d は3であると算出される。

【0086】

図16(b)は、別の注目している画素 p の視差ごとのSADの一例を示す。図16(b)では視差 d の変化に対するSADの変化が小さいため、距離演算部14が視差を抽出することができない。このように、ブロックマッチングだけでは、視差を特定することができない画素が生じるため、距離演算部14は、視差を顕在化させるためにエネルギー計算処理(SGM伝播方式)を行う。

【0087】

なお、図16のように視差ごとのSAD(コスト $C(p, d)$)が算出されたら、小数視差を求めることが好適である。小数視差を求める方法として高次多項式推定(6次)、高次多項式推定(4次)、又はパラボラフィッティング等を使用する算出方法がある。

【0088】

<SGM伝播方式>

距離演算部14は、SGM伝播方式と称されるアルゴリズムを用いて、伝播コスト L_r を算出し、当該伝播コスト L_r を用いて注目している画素 p のエネルギーコスト $S(p, d)$ を算出するエネルギー計算処理を行う。なお、SGM伝播方式はデンスアルゴリズムの一形態である。

【0089】

まず、図17を用いて、SGM伝播方式を用いて伝播コスト L_r を算出する処理について説明する。図17は、SGM伝播方式を用いて伝播コスト L_r を算出する処理を模式的に示した図である。

【0090】

図17の例では、注目している画素 p である画素1100に対して、4方向の伝播コスト L_r を求める場合を示している。具体的には、画素1100に対して、矢印1111方向の伝播コスト L_1 と、矢印1112方向の伝播コスト L_2 と、矢印1113方向の伝播コスト L_3 と、矢印1114方向の伝播コスト L_4 とを求める場合を示している。なお、画素1100に対して求める伝播コストの方向(r)は、4方向に限定されるものではなく、例えば、8方向であっても、あるいは2方向であってもよい。

【0091】

図17に示すように、矢印1111方向の伝播コスト L_1 は、下式により求めることができる。

【0092】

10

20

30

40

50

【数 1】

$$L_1(p, d) = C(p, d) + \min \left\{ L_1(p-1, d), L_1(p-1, d-1) + P_1, L_1(p-1, d+1) + P_1, \min_i L_1(p-1, i) + P_2 \right\}$$

10

... (2)

ただし、pは画素1100の座標を、dは視差を表している。このように、伝播コストL1(p, d)は、画素1100のコストC(p, d)と、画素1100の左側1画素に位置する画素の各視差(d-1~d+1)での伝播コストとによって算出することができる。つまり、矢印1111方向の伝播コストは、左方向から右方向へと順次、伝播コストが算出されていくことになる。なお、左方向から右方向へと伝播コストを伝播させていく際の伝播間隔は、1画素に限定されるものではない。つまり、画素1100の左側a画素に位置する画素の各視差での伝播コストを用いて、伝播コストL1(p, d)を算出するように構成してもよい。

【0093】

20

同様に、矢印1112方向の伝播コストL2は、上方向から下方向へと順次算出されていくことになる。また、矢印1113方向の伝播コストL3は、右方向から左方向へと順次算出され、矢印1114方向の伝播コストL4は、下方向から上方向へと順次算出されていくことになる。

【0094】

つづいて、エネルギー計算処理のうち、当該伝播コストLrを用いて注目している画素pのエネルギーコストS(p, d)を算出する処理について説明する。

【0095】

上記のようにして、各画素について算出された各方向からの伝播コストに基づいて、各画素のエネルギーコストS(p, d)が下式により算出される。

30

【0096】

【数 2】

$$S(p, d) = \sum_r L_r(p, d)$$

40

... (3)

したがって、図17の例では、S(p, d) = L1(p, d) + L2(p, d) + L3(p, d) + L4(p, d)により算出することができる。

【0097】

<本実施形態における距離の算出方法>

続いて、図18を参照して本実施形態の測距システム100が距離画像を生成する手順を説明する。図18は、測距システム100の動作手順を説明するフローチャート図の一例である。

【0098】

50

(ステップ S 1 ~ S 4)

ステップ S 1 に示すように、レーザレーダ測距部 1 1 0 が距離情報を取得する。レーザレーダ測距部 1 1 0 は右カメラ 1 1 及び左カメラ 1 2 の撮像範囲の重複部を少なくとも含むように走査して撮像範囲の距離情報を取得する。これと並行してステレオ画像演算部 1 2 0 の右カメラ 1 1 が基準画像を、左カメラ 1 2 が比較画像を撮像する (S 2)。歪み補正部 1 3 は視差以外の相違がなくなるようにそれぞれに歪み補正を行う (S 3)。次に、ステレオ画像演算部 1 2 0 がステレオマッチングコスト $C_{ST}(p, Z)$ を算出する (S 4)。

【 0 0 9 9 】

なお、ステップ S 1 ~ S 4 は同期して行われてもよいが、ステレオ画像演算部 1 2 0 はレーザレーダ測距部 1 1 0 の最新の距離情報を用いることにして非同期に行われてもよい。

10

【 0 1 0 0 】

図 1 9 は、ステレオマッチングコスト $C_{ST}(p, Z)$ の一例を示す図である。図 1 9 では、ステレオマッチングで得た視差空間のコストが Z 空間のステレオマッチングコスト $C_{ST}(p, Z)$ に変換されている。図 4 で説明したように、Z 空間の等間隔にステレオマッチングコスト $C_{ST}(p, Z)$ は得られない。そこで、距離演算部 1 4 はステレオマッチングで得たコストを等距離ごとに補間する。図 1 9 では丸がステレオマッチングで得たコストであり、四角形が補間で得たコストである。補間方法は、曲線近似に適した方法であればよく、例えば放物線 fitting、高次多項式、スプライン曲線などを適用できる。図 1 9 では、補間により例えば 3 メートルごとにステレオマッチングコスト $C_{ST}(p, Z)$ が算出されている。

20

【 0 1 0 1 】

補間を 3 メートルとするのは一例であり、この間隔は L i D A R の距離分解能と同程度とすることが 1 つの選択方法になる。

【 0 1 0 2 】

図 2 0 は、L i D A R コスト $C_{LI}(p, Z)$ の算出方法を説明する図の一例である。図 2 0 (a) は発光パルス T X を模式的に示し、図 2 0 (b) は定期的にサンプリングされた受光信号 R X を示し、図 2 0 (c) は L i D A R コスト $C_{LI}(p, Z)$ の一例を示す。レーザレーダ測距部 1 1 0 は発光パルス T X の出力を開始すると、受光信号 R X の定期的なサンプリングを開始する。1 回の発光パルス T X の出力に対し A D C サンプリング部 6 1 0 がサンプリングを継続する時間は予め決まっている。例えば、距離にして 1 2 0 [m] 等に相当する時間である。

30

【 0 1 0 3 】

時間間隔カウンタ 6 0 7 は発光パルス T X が出力されてから受光信号 R X の各サンプリング点がサンプリングされるまでの時間 T を測定する。時間 T と物体までの距離との間には以下の関係がある。

物体までの距離 = 光の速度 \times T / 2

したがって、信号処理部 6 0 1 は時間 T を距離情報に変換できる。

【 0 1 0 4 】

図 2 0 (b) に示す受光信号 R X と距離の関係は、受光信号 R X が大きいほどその距離に物体が存在する確率が高いことを意味する。一方、ステレオマッチングコストは、物体が存在する可能性が最も高い距離で最も小さくなる。したがって、フュージョンするには、受光信号 R X が小さいほど物体が存在する確率が高くなるような波形にすることが好ましい。このため、信号処理部 6 0 1 は、図 2 0 (b) の受光信号 R X を図 2 0 (c) に示す L i D A R コスト $C_{LI}(p, Z)$ に変換する。変換には種々の方法があるが、受光信号 R X が最も大きい距離で、L i D A R コスト $C_{LI}(p, Z)$ が最も小さくなればよい。簡単な例としては、例えば、受光信号 R X の一定値を中心に上下を反転させるような変換がある。

40

【 0 1 0 5 】

図 2 0 では、受光信号 R X が小さいほど物体が存在する確率が高くなるような波形に受

50

光信号 R X が変換されているが、ステレオマッチングコストの波形を、物体が存在する可能性が最も高い距離で最も大きくなるようにステレオ画像演算部 1 2 0 が変形してもよい。

【 0 1 0 6 】

(ステップ S 5)

次に、距離演算部 1 4 は、ステレオマッチングコスト $C_{ST}(p, Z)$ と L i D A R コスト $C_{LI}(p, Z)$ をフュージョンして、コスト $C(p, Z)$ を算出する。式では以下のように表すことができる。

$$C(p, Z) = A \times C_{LI}(p, Z) + B \times C_{ST}(p, Z) \quad \dots (4)$$

A : L i D A R コストの係数 (重み)

B : ステレオマッチングコストの係数 (重み)

10

係数 A と係数 B は L i D A R コストとステレオマッチングコストのどちらをフュージョンにおいて強く影響させるかという点で重要である。L i D A R とステレオマッチングにはそれぞれ精度がよい条件があるため、実験的に決定されてよい。また、環境条件 (時間帯、天候、現在地等) ごとに係数 A , B が予め定められているテーブルから読み出して係数 A と係数 B を設定してもよい。また、ステレオ画像演算部 1 2 0 が基準画像を物体認識することで基準画像の範囲ごとに写っているオブジェクトが分かるので、この範囲ごとに係数 A , 係数 B を切り替えてもよい。

【 0 1 0 7 】

図 2 1 は、ステレオマッチングコスト $C_{ST}(p, Z)$ と L i D A R コスト $C_{LI}(p, Z)$ のフュージョンを模式的に示す図の一例である。図 2 1 (a) は L i D A R コスト $C_{LI}(p, Z)$ を示し、図 2 1 (b) はステレオマッチングコスト $C_{ST}(p, Z)$ を示す。距離演算部 1 4 は、L i D A R コスト $C_{LI}(p, Z)$ に係数 A を乗じ、ステレオマッチングコスト $C_{ST}(p, Z)$ に係数 B を乗じて、同じ距離ごとに加算する。上記したステレオマッチングコスト $C_{ST}(p, Z)$ の補間と、A D C サンプルング部 6 1 0 のサンプルング周期により、ステレオマッチングコスト $C_{ST}(p, Z)$ と L i D A R コスト $C_{LI}(p, Z)$ はほぼ同じ距離にコスト値が得られている。必要であれば、L i D A R コスト $C_{LI}(p, Z)$ も同様に補間されてよい。

20

【 0 1 0 8 】

これにより、図 2 1 (c) に示すように、ステレオマッチングコスト $C_{ST}(p, Z)$ と L i D A R コスト $C_{LI}(p, Z)$ をフュージョンさせることができる。

30

【 0 1 0 9 】

(ステップ S 6)

次に、距離演算部 1 4 は伝播コスト $L_r(p, Z)$ を算出する。伝播コスト $L_r(p, Z)$ の算出式を以下に示す。

【 0 1 1 0 】

【数 3】

$$L_r(p, Z) = C(p, Z) + \min \left\{ L_r(p-r, Z), L_r(p-r, Z-1) + P_1, L_r(p-r, Z+1) + P_1, \min_i L_r(p-r, i) + P_2 \right\}$$

40

... (5)

伝播コスト $L_r(p, Z)$ の第 1 項はステップ S 5 で算出された、ステレオマッチングコスト $C_{ST}(p, Z)$ と L i D A R コスト $C_{LI}(p, Z)$ がフュージョンされたコスト $C(p, Z)$ である。第 2 項は Z 空間で行われる S G M 伝播方式による伝播コストである。第 1 項と第 2 項により、伝播コスト $L_r(p, Z)$ が算出される。

50

【 0 1 1 1 】

なお、本実施形態において、Z空間で行われるSGM伝播方式による伝播コストは必須でなく、SGM伝播方式による伝播コストは算出されなくてもよい。

【 0 1 1 2 】

(ステップS7)

距離演算部14は、全ての画素で伝播コスト $L_r(p, Z)$ を算出したか否かを判断する。全ての画素の処理が終了するまでは、ステップS5, S6を繰り返し実行する。

【 0 1 1 3 】

(ステップS8)

全ての画素で伝播コスト $L_r(p, Z)$ を算出すると、距離演算部14はエネルギーコスト $S(p, Z)$ を算出する。

$$S(p, Z) = L_r(p, Z) \quad \dots (6)$$

図22、23は、エネルギーコスト $S(p, Z)$ の算出方法を説明する図の一例である。画素ごとに伝播コスト $L_r(p, Z)$ が算出されたが、ある画素には周囲の伝播コスト $L_r(p, Z)$ が影響していると考えられる。そこで、注目している画素の周囲の伝播コスト $L_r(p, Z)$ を重ね合わせることで、注目している画素のより正確な伝播コスト $L_r(p, Z)$ を算出する。

【 0 1 1 4 】

図22では周囲8画素の伝播コスト $L_r(p, Z)$ が重ね合わされている。この場合、図23に示すように距離ごとに以下の計算が行われる。

$$S(p, Z) = L_0(p, Z) + L_{45}(p, Z) + L_{90}(p, Z) + L_{135}(p, Z) + L_{180}(p, Z) + L_{225}(p, Z) + L_{270}(p, Z) + L_{315}(p, Z), \quad \dots (7)$$

図23と式(7)が示すのは、注目している画素の周囲8画素の伝播コスト $L_r(p, Z)$ をZ空間で重ね合わせることである。これにより、注目している画素のエネルギーコスト $S(p, Z)$ が得られる。

【 0 1 1 5 】

なお、周囲8画素の伝播コスト $L_r(p, Z)$ の重ね合わせは一例に過ぎず、4画素、5画素、又は16画素などの周囲の何画素の伝播コスト $L_r(p, Z)$ を重ね合わせるかは、演算負荷と距離の正確さを考慮して決定されてよい。また、伝播コスト $L_r(p, Z)$ の重ね合わせを一切行わなくてもよい。

【 0 1 1 6 】

(ステップS9)

距離演算部14は、エネルギーコスト $S(p, Z)$ が最小となる距離 Z_0 を決定する。距離 Z_0 が注目している画素の距離値である。

【 0 1 1 7 】

図24はエネルギーコスト $S(p, Z)$ が最小となる距離 Z_0 の算出方法を説明する図の一例である。エネルギーコスト $S(p, Z)$ が最小となるZは注目している画素の距離値として最も確からしいと推定される。

【 0 1 1 8 】

なお、高次多項式推定(6次)、高次多項式推定(4次)、又はパラボラフィッティング等を使用して、少数以下の距離Zを算出してもよい。

【 0 1 1 9 】

(ステップS10)

全ての画素で算出されると図18の処理は終了する。

【 0 1 2 0 】

< Z空間の分解能について >

図25を用いてZ空間の距離分解能について補足する。図25(a)は距離分解能が密なZ空間を示し、図25(b)は比較のために示された距離分解能が粗いZ空間を示す。上記のようにステレオマッチングコストは補間されるため、LiDARコストとステレオマッチングコストは同程度の距離分解能になる。図25(a)の距離分解能は一例として

10

20

30

40

50

3メートルであり、図25(b)では0.5メートルとなっている。なお、3メートルと0.5メートルは一例である。

【0121】

図25(a)では114メートルの間に38個のコストが得られ、図25(b)では228個のコストが得られる。したがって、図25(b)の距離分解能の方が高くて好ましいが、3メートルの距離分解能でも遠方ではステレオマッチングコストの距離分解能よりも高分解能となっている(図4参照)。また、図25(a)のようにZ空間の分解能を粗くすることで、レーザレーダ測距部110の演算負荷を低減できる。また、レーザレーダ測距部110に搭載されるマイコンなども小型なものでよく、測距システム100を小型化しやすくなる。

10

【0122】

このように、3メートル程度の距離分解能であれば、受光信号RXのサンプリング周期を長くできるため、発光パルスTXの幅も長くてよく、測距システム100の小型化が容易になる。

【0123】

<<距離範囲に応じた距離分解能の変更>>

一方、距離分解能は全ての距離範囲で一定である必要はない。近距離側ではステレオ画像演算部120の距離分解能が高いことが知られており、近距離側もレーザレーダ測距部110の距離分解能に一致させると、高密度な距離情報を破棄することになる。

【0124】

図26は、レーザレーダ測距部110とステレオ画像演算部120それぞれの、低距離側と高距離側の距離分解能を示す図の一例である。図26(a)は距離と距離分解能の関係の一例を示す。なお、図26ではステレオカメラの基線長を16〔cm〕とした。この場合、距離が12〔m〕以下ではステレオ画像演算部120の距離分解能が0.5〔m〕以下である。レーザレーダ測距部110の距離分解能が0.5〔m〕である場合、12〔m〕以下ではステレオ画像演算部120の距離分解能の方が密である。

20

【0125】

ステレオ画像演算部120の距離分解能が0.5〔m〕の場合、レーザレーダ測距部110が120〔m〕までの距離を測定できるとすると、コスト空間数は $120 / 0.5 = 240$ 個である。

30

【0126】

図26(b)は一例として17〔m〕を境に空間分解能を変更した場合の距離分解能を示す。つまり、17〔m〕以下では0.5〔m〕を距離分解能としてフュージョンし、17〔m〕超では1.0〔m〕を距離分解能としてフュージョンする。この場合のコスト空間は、 $17 / 0.5 + (120 - 17) / 1.0 = 137$ 個である。したがって、低距離側では高密度な距離分解能が得られ、演算負荷も低減できる。

【0127】

ステレオマッチングコスト $C_{ST}(p, Z)$ とLiDARコスト $C_{LI}(p, Z)$ をフュージョンさせるため、ステレオ画像演算部120は、17〔m〕を境にして補間間隔を変更する。すなわち、17〔m〕以下では補間しないか補間間隔を密にして、17〔m〕超ではLiDARコスト $C_{LI}(p, Z)$ と距離分解能と同程度の間隔で補間する。なお、17〔m〕以下では、ステレオマッチングコストが得られている距離とLiDARコストが得られている距離が一致しないので、ステレオマッチングコストが得られている距離でLiDARコストが得られるようにLiDARコストを補間するとよい。

40

【0128】

図26(c)は一例として24〔m〕を境に空間分解能を変更した場合の距離分解能を示す。つまり、24〔m〕以下では0.5〔m〕を距離分解能としてフュージョンし、24〔m〕超では2.0〔m〕を距離分解能としてフュージョンする。この場合のコスト空間は、 $24 / 0.5 + (120 - 24) / 2.0 = 96$ 個である。したがって、低距離側では高密度な距離分解能が得られ、演算負荷も更に低減できる。

50

【 0 1 2 9 】

なお、近距離側と遠距離側の保管方法には他にも以下のような方法がある。以下のある距離は閾値の一例である。

- (i) ある距離から近距離側（閾値未満）ではステレオ分解能を使い、ある距離から遠距離（閾値以上）では所定分解能 1 を使う。
- (ii) ある距離から近距離側（閾値未満）では所定分解能 1 を使い、ある距離から遠距離（閾値以上）では所定分解能 2 を使う（所定分解能 1 の密度 > 所定分解能 2 の密度）。
- (iii) ある距離から近距離側（閾値未満）ではステレオ分解能を使い、ある距離 1 から遠距離では所定分解能 1 を使い、更にある距離 2（> 距離 1）から遠距離側では所定分解能 2 を使う。
- (iv) ある距離 1 から近距離側では所定分解能 1 を使い、ある距離 1 から遠距離では所定分解能 2 を使い、更にある距離 2 から遠距離側では所定分解能 3 を使う。

10

【 0 1 3 0 】

<ステレオマッチングコストとLiDARコストのフュージョンの別の例>

本実施形態では、ステレオマッチングコストとLiDARコストをフュージョンさせる際にSGMを使用した。しかし、これらのフュージョンではSGMを使わなくても良い伝播の方法もある。例えば、伝播の別の例として伝播コストLrの計算を省く以下の方法を用いてもよい。

$$C(p, Z) = A \times C_{LI}(p, Z) + B \times C_{ST}(p, Z)$$

$$S(p, Z) = C(p, Z) \dots (8)$$

20

距離ベースのSGMでは伝播コストLrの処理の負荷が高かった。これに対し、本実施形態ではLiDARコストにピークがあるため、式(8)のように式(5)の伝播コストLrの計算を省き、負荷を低減できる。

【 0 1 3 1 】

<効果について>

図27は、本実施形態の測距システム100による測距結果の効果を説明する図の一例である。図27において、チャートとは看板状の物体を意味する。チャートは、測距システム100から80、60、30の実測された位置に置かれている。本実施形態の測距システム100による測距平均値はそれぞれ80.26、61.14、30.89であり、測距標準偏差はそれぞれ0.25、2.02、0.25である。

30

【 0 1 3 2 】

従来技術であるステレオマッチングのみによる測距平均値はそれぞれ87.86、60.98、28.96であり、測距標準偏差はそれぞれ6.07、2.89、1.77である。したがって、60[m]のチャートの測距平均値以外で、本実施形態の測距システム100の精度が向上していることが確認される。

【 0 1 3 3 】

<まとめ>

本実施形態の測距システム100は、ステレオカメラによる測距方法から見ると以下のような効果がある。

- ・測距精度：物体面の低分散化、物体面のその周囲の面不連続性が向上するため遠方測距や遠方物体検出が行ないやすくなる。
- ・耐物標性：繰返しパターンや低テクスチャでの誤マッチングにより使えなかった画素が、フュージョンすることによって使えるようになる。
- ・耐環境性：夜間であっても遠方高精度測距が可能になる。
- ・SGMで伝播して物体が膨れるところがLiDARによる測距値で埋まる。

40

【 0 1 3 4 】

また、LiDARによる測距方法から見ると以下のような効果がある。

- ・空間分解能が増える。

【 0 1 3 5 】

更に、受光信号RXのパルス幅を広く取れるため、受光素子の数や大きさの制限が少な

50

くなり、測距システムの小型化が容易になる。また、例えば、レーザレーダ測距部 1 1 0 の距離分解能を 3 [m] とした場合、コスト空間数を粗くすることが可能となり、距離演算時の処理の負荷を低減できる。

【 0 1 3 6 】

更に、発光パルス T X が広くて受光信号 R X の幅も広ければ A D C サンプリング部 6 1 0 のサンプリング周波数をそれほど速くなくて済むので、例えば、ノイズレベルと信号レベルが同程度の場合でも、ノイズレベル信号を取らずに済む可能性が上がる。

【 0 1 3 7 】

< その他の適用例 >

以上、本発明を実施するための最良の形態について実施例を用いて説明したが、本発明はこうした実施例に何等限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々の変形及び置換を加えることができる。

10

【 0 1 3 8 】

例えば、測距システム 1 0 0 が搭載される移動体として自動車 2 0 0 を挙げたが、測距システム 1 0 0 は移動体に広く適用できる。例えば、少なくとも一部において人間が操作しなくても自律的に移動する移動体に有効である。例えば、飛行機、ドローン、船舶、ロボット等に適用できる。

【 0 1 3 9 】

また、測距システム 1 0 0 は移動体の前方に限られず、側方又は後方の距離画像を生成することもできる。前方、側方及び後方の全周囲の距離画像を生成することもできる。

20

【 0 1 4 0 】

また、距離画像はカラーでもモノクロでもよい。

【 0 1 4 1 】

また、レーザ光の波長については、測距に適した波長域の光を使用すればよく、可視光、赤外光、紫外光（人体に影響がない範囲で）でもよいし、光を電磁波と捉えてもよい。

【 0 1 4 2 】

また、本実施形態では、距離分解能の高い測距方式として L I D A R を説明したが、ミリ波又は超音波などを用いてもよい。

【 0 1 4 3 】

なお、ステレオ画像演算部 1 2 0 は画像処理部の一例であり、レーザレーダ測距部 1 1 0 は距離情報取得部の一例であり、図 2 0 のような距離に対する受光信号は第一の距離情報の一例であり、ステレオマッチングコストは第二の距離情報の一例であり、レーザ出力部 6 0 8 は照射部の一例であり、レーザ受光部 6 0 5 と信号増幅器 6 0 6 と A D C サンプリング部 6 1 0 は受光部の一例である。

30

【 符号の説明 】

【 0 1 4 4 】

8 ステレオカメラ
9 L i D A R
2 0 E C U
1 0 0 測距システム
1 1 0 レーザレーダ測距部
1 2 0 ステレオ画像演算部
2 0 0 自動車

40

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

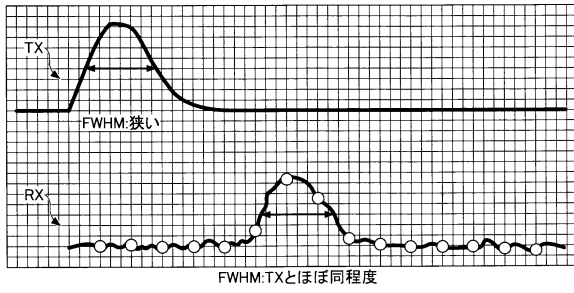
【 0 1 4 5 】

【 文献 】 特開 2 0 1 5 - 1 4 3 6 7 9 号公報

【 図 面 】

【 図 1 】

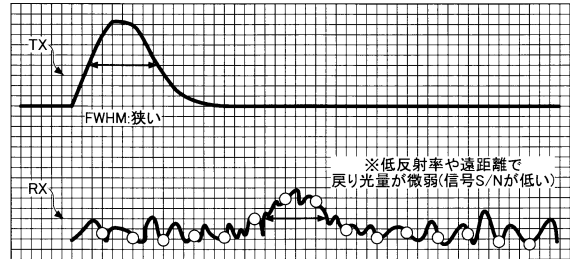
LiDARの発光パルスと受信信号を模式的に示す図の一例



【 図 2 】

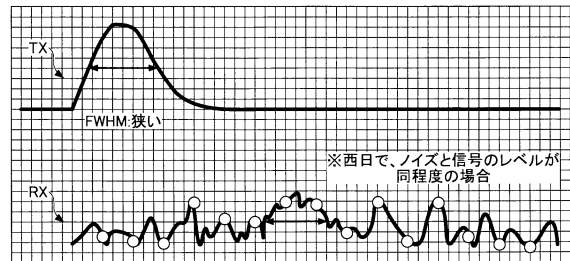
戻り光量が微弱な場合における LiDARの発光パルスと受信信号を模式的に示す図の一例

(a)



10

(b)



20

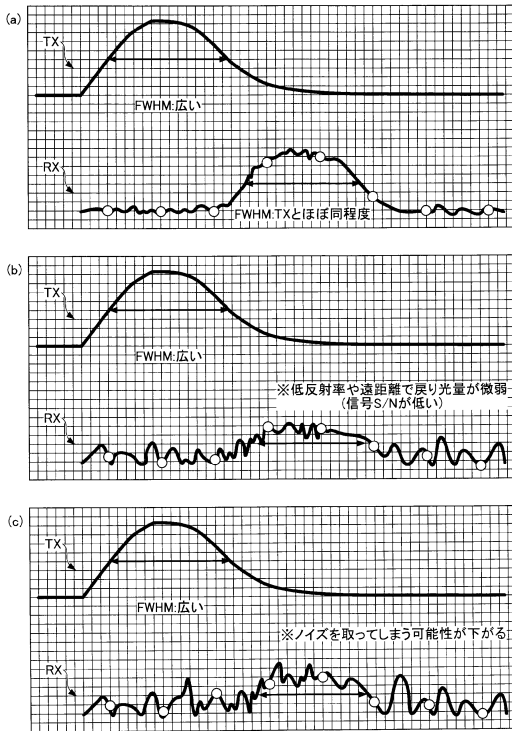
30

40

50

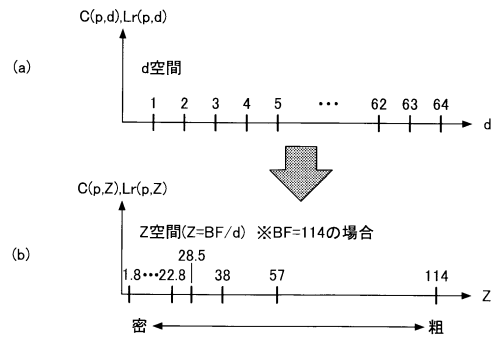
【 図 3 】

FWHMが比較的高い発光パルスと受光信号を模式的に示す図の一例



【 図 4 】

一般的な視差空間を用いた場合に得られる距離を説明する図の一例

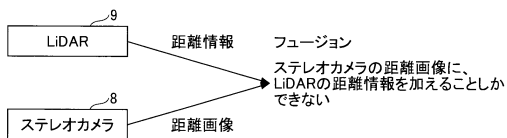


10

20

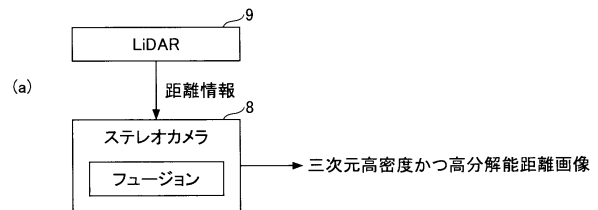
【 図 5 】

LiDARの距離情報とステレオカメラの距離画像の従来のフュージョン方法を説明する図の一例

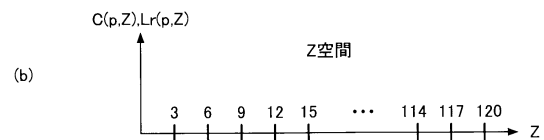


【 図 6 】

本実施例のフュージョン方法を説明する図の一例



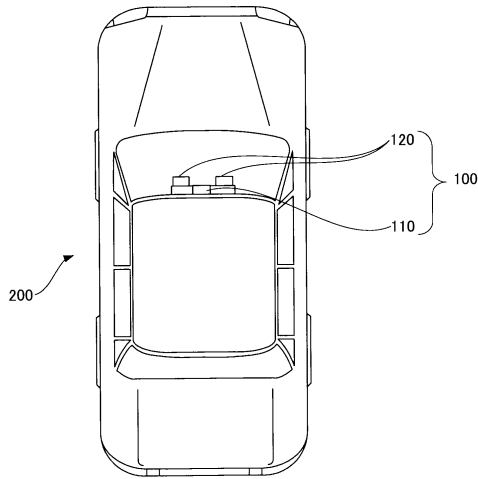
30



40

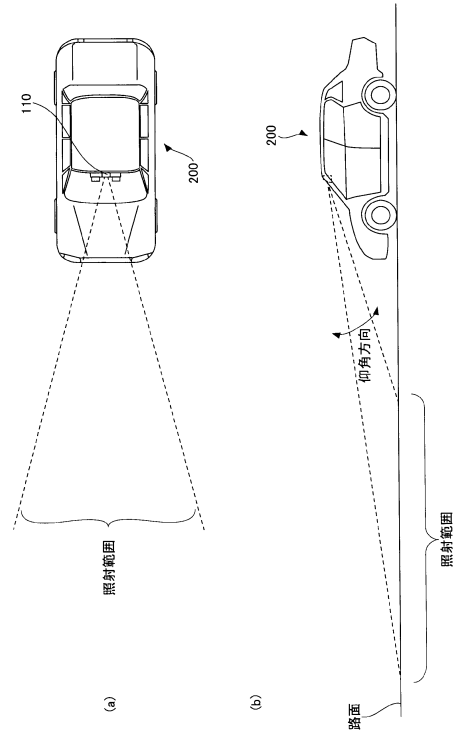
【 図 7 】

移動体の一例である自動車に搭載された測距システムを示す図の一例



【 図 8 】

レーザレーダ測距部によるレーザ光の照射範囲について説明する図の一例

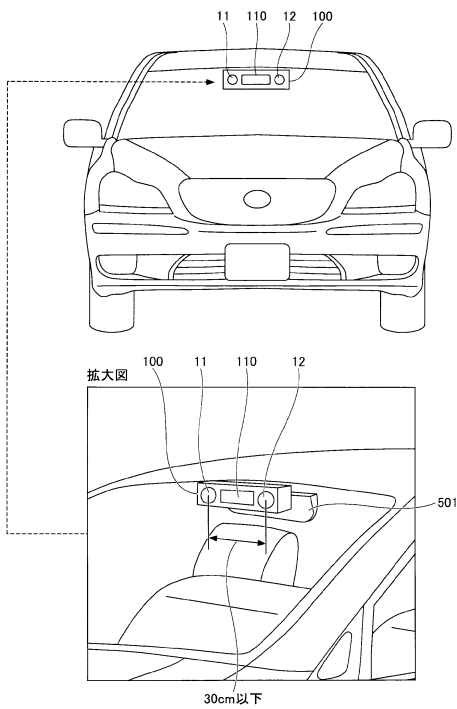


10

20

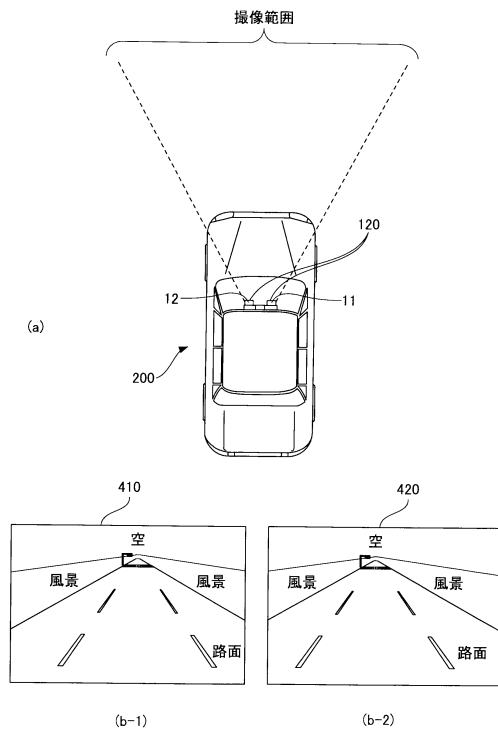
【 図 9 】

ルームミラーの前方に搭載された測距システムの外観図の一例



【 図 10 】

ステレオ画像演算部によるステレオ画像の撮像範囲を説明するための図



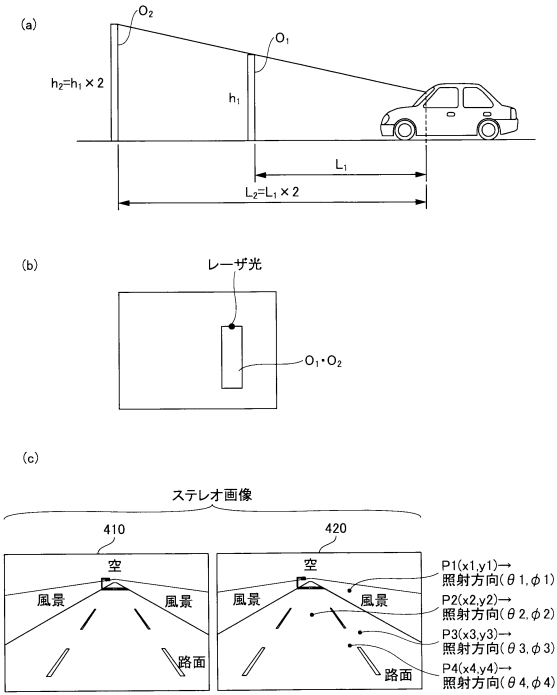
30

40

50

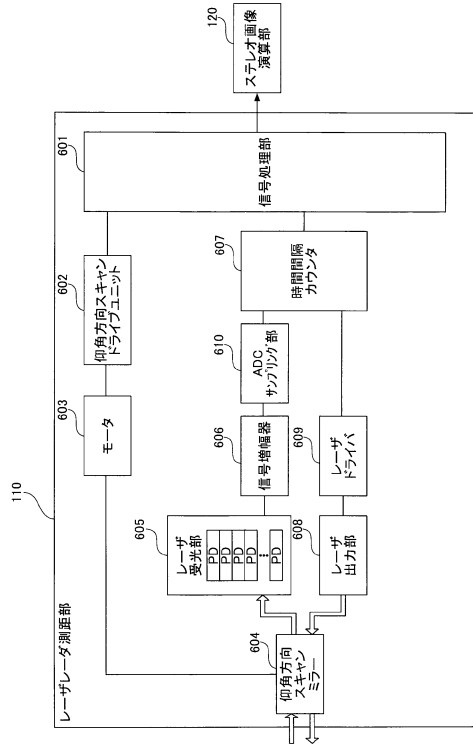
【 図 1 1 】

レーザー測距部によるレーザー光の照射位置とステレオ画像演算部により撮像されたステレオ画像(基準画像)の画素位置との関係について説明する図の一例



【 図 1 2 】

レーザー測距部の機能構成図の一例



10

20

【 図 1 3 】

サンプリング周期と距離分解能の関係を示す図の一例

(a) 光の速度=300000000m/sec

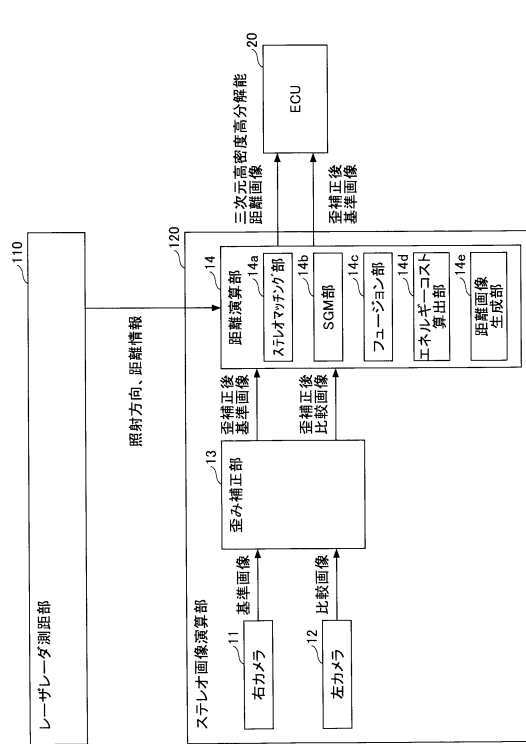
サンプリング周期(nsec)	サンプリング周期(sec)	サンプリング周波数(MHz)	対応距離分解能(m)
1	0.00000001	1000.00	0.3
2	0.00000002	500.00	0.6
3	0.00000003	333.33	0.9
4	0.00000004	250.00	1.2
5	0.00000005	200.00	1.5
6	0.00000006	166.67	1.8
7	0.00000007	142.86	2.1
8	0.00000008	125.00	2.4
9	0.00000009	111.11	2.7
10	0.00000010	100.00	3
11	0.00000011	90.91	3.3
12	0.00000012	83.33	3.6
13	0.00000013	76.92	3.9
14	0.00000014	71.43	4.2
15	0.00000015	66.67	4.5
16	0.00000016	62.50	4.8
17	0.00000017	58.82	5.1
18	0.00000018	55.56	5.4
19	0.00000019	52.63	5.7
20	0.00000020	50.00	6
21	0.00000021	47.62	6.3
22	0.00000022	45.45	6.6
23	0.00000023	43.48	6.9
24	0.00000024	41.67	7.2
25	0.00000025	40.00	7.5
26	0.00000026	38.46	7.8
27	0.00000027	37.04	8.1
28	0.00000028	35.71	8.4
29	0.00000029	34.48	8.7
30	0.00000030	33.33	9
31	0.00000031	32.26	9.3
32	0.00000032	31.25	9.6
33	0.00000033	30.30	9.9
34	0.00000034	29.41	10.2

(b)

発光信号パルス幅 (FWHM)[ns]	受光信号パルス幅 (FWHM)[ns]	3点ぐらい取るとした場合のサンプリング周期[ns]	サンプリング周波数[MHz]	距離分解能[m]
40	40	20.00	50.00	6
30	30	15.00	66.67	4.5
20	20	10.00	100.00	3
13.33333333	13.33333333	6.67	150.00	2
10	10	5.00	200.00	1.5
3.33333333	3.33333333	1.67	600.00	0.5

【 図 1 4 】

測距システムの構成図の一例



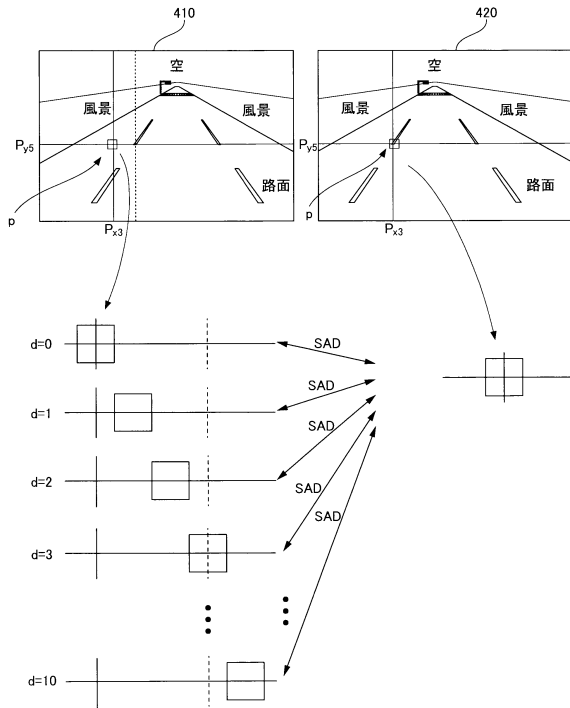
30

40

50

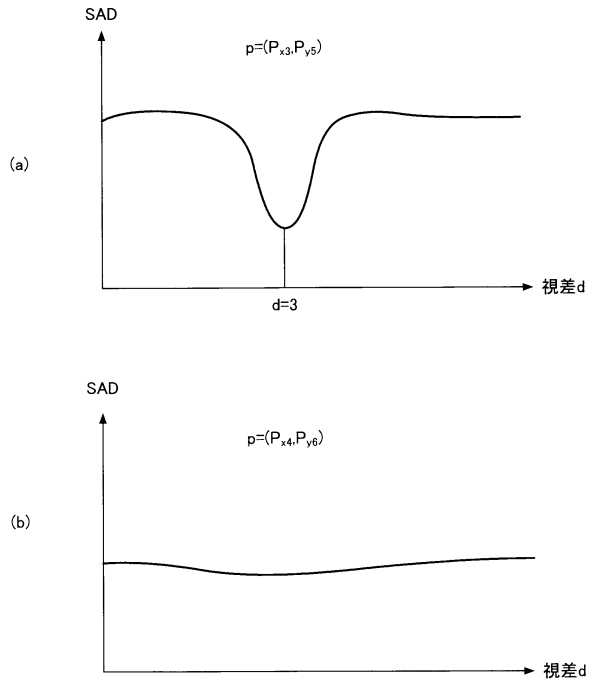
【図 15】

右カメラにより撮像された基準画像と、左カメラにより撮像された比較画像における、注目している画素 $p=(P_{x3}, P_{y5})$ のコストとして、SAD (Sum of Absolute Difference) を算出する例を示した図



【図 16】

ある注目している画素の視差ごとのSADの一例を示す図

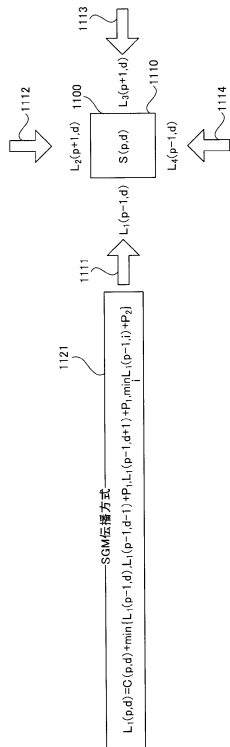


10

20

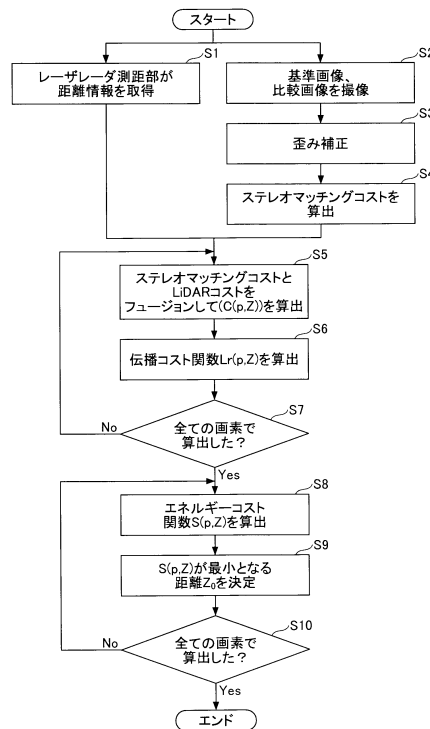
【図 17】

SGM伝播方式を用いて伝播コストを算出する処理を模式的に示した図



【図 18】

測距システムの動作手順を説明するフローチャート図の一例



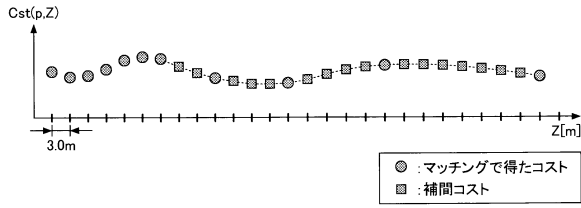
30

40

50

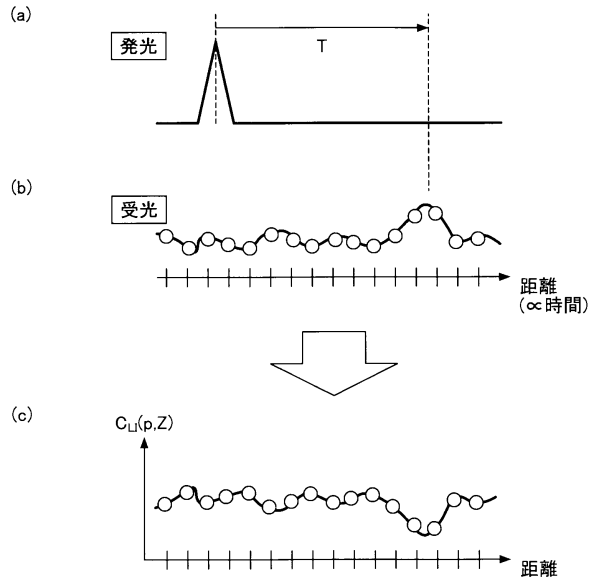
【 図 1 9 】

ステレオマッチングコストの一例を示す図



【 図 2 0 】

LiDARコストの算出方法を説明する図の一例

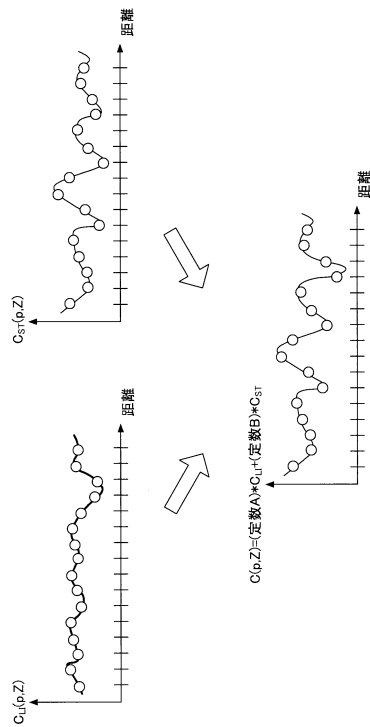


10

20

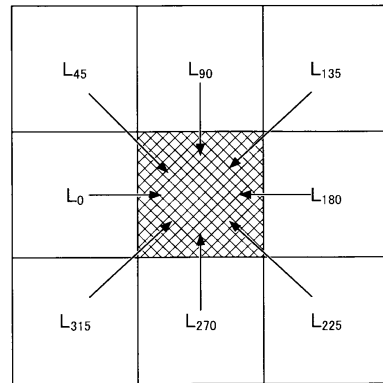
【 図 2 1 】

ステレオマッチングコストとLiDARコストのフュージョンを模式的に示す図の一例



【 図 2 2 】

エネルギーコストの算出方法を説明する図の一例



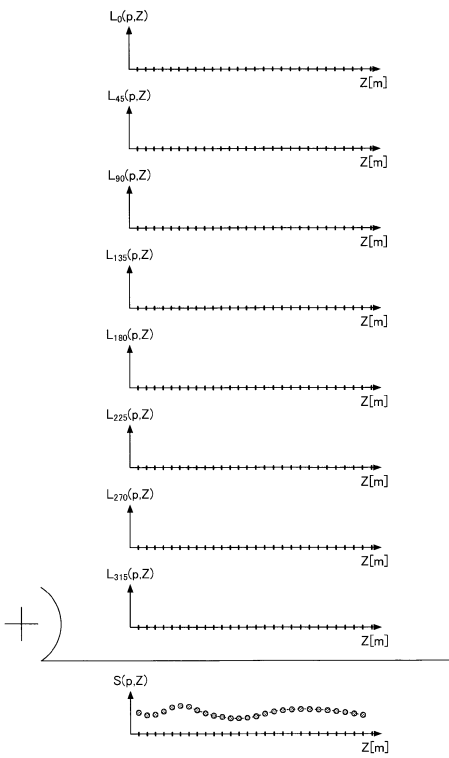
30

40

50

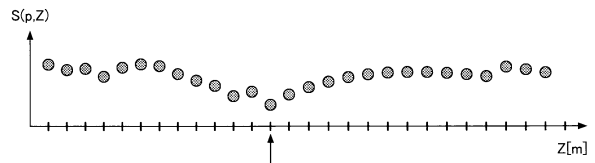
【 図 2 3 】

エネルギーコストの算出方法を説明する図の一例



【 図 2 4 】

エネルギーコストが最小となる距離の算出方法を説明する図の一例

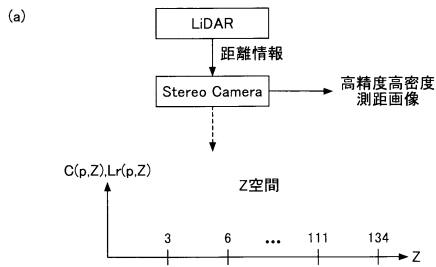


10

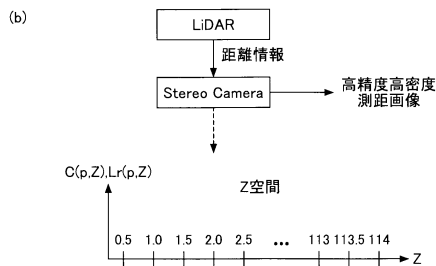
20

【 図 2 5 】

Z空間の距離分解能について補足する図の一例



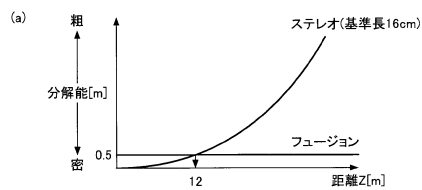
コスト空間(38個)で演算軽量化かつ、遠方はこれでも高分解能。



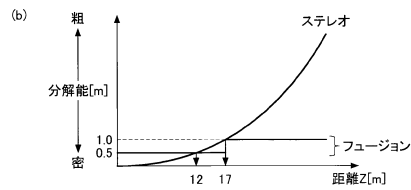
コスト空間(228個)が多く演算量が大きくなる。

【 図 2 6 】

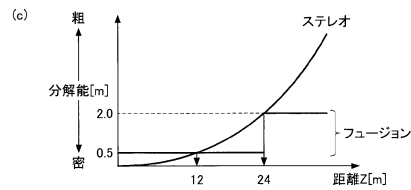
低距離側と高距離側の距離分解能を説明する図の一例



30



40



50

【図 27】

測距システムによる測距結果の効果を説明する図の一例

チャート距離 (m)	本発明		ステレオ演算のみ	
	測距平均値 (m)	測距標準偏差 (m)	測距平均値 (m)	測距標準偏差 (m)
80	80.26	0.25	87.86	6.07
60	61.14	2.02	60.98	2.89
30	30.89	0.25	28.96	1.77

10

20

30

40

50

フロントページの続き

式会社リコー内

審査官 櫻井 仁

- (56)参考文献 特開2018-017506(JP,A)
特開2000-028719(JP,A)
特開平09-033653(JP,A)
米国特許出願公開第2012/0314037(US,A1)
特開2013-120083(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
- G01C 3/06
G01B 11/00 - 11/30
G01S 7/48 - 7/51
G01S 17/00 - 17/95