

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-201958

(P2013-201958A)

(43) 公開日 平成25年10月7日(2013.10.7)

(51) Int.Cl.		F I	テーマコード (参考)
A01B	69/00	(2006.01)	A01B 69/00 303M 2B043
G05D	1/02	(2006.01)	G05D 1/02 L 3D232
B62D	6/00	(2006.01)	G05D 1/02 K 5B057
G06T	1/00	(2006.01)	A01B 69/00 303F 5H301
B62D	113/00	(2006.01)	B62D 6/00

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 19 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2012-74034 (P2012-74034)
 (22) 出願日 平成24年3月28日 (2012.3.28)

(71) 出願人 501203344
 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構
 茨城県つくば市観音台3-1-1
 (74) 代理人 100105924
 弁理士 森下 賢樹
 (72) 発明者 堀 圭二
 埼玉県さいたま市北区日進町1丁目40番地2 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 生物系特定産業技術研究支援センター内

最終頁に続く

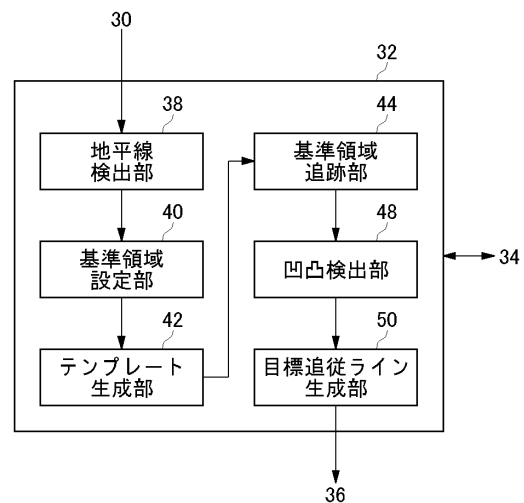
(54) 【発明の名称】 走行制御装置

(57) 【要約】

【課題】車両を自動走行させる制御を簡易にすることができる走行制御装置を提供する。

【解決手段】画像処理部32は、車両走行中に撮像部により異なる位置で撮像した複数の撮像画像を処理し、車両走行の目標となる目標追従ラインを導出する。走行制御部は、目標追従ラインに沿って走行するように車両の走行を制御する。画像処理部32の基準領域設定部40は、撮像画像において複数の画素値から構成されて直線状に並ぶ複数の基準領域を設定する。基準領域追跡部44は、基準領域が設定された撮像画像とは異なる位置で新たに撮像された撮像画像において基準領域と実空間上で同じ領域であると判定された参照領域の撮像画像上の位置情報を算出する。凹凸検出部48は、参照領域の複数の位置情報にもとづいて実空間上の地面の凹凸を検出する。目標追従ライン生成部50は、検出された凹凸にもとづいて目標追従ラインを生成する。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

車両走行の目標となる方向の地面を撮像する撮像部と、
車両走行中に前記撮像部により異なる位置で撮像した複数の撮像画像を処理し、車両走行の目標となる目標追従ラインを導出する画像処理部と、

前記目標追従ラインに沿って走行するように車両の走行を制御する走行制御部と、を備え、

前記画像処理部は、

前記撮像画像において複数の画素値から構成されて直線状に並ぶ複数の基準領域を設定する基準領域設定部と、

前記基準領域が設定された前記撮像画像とは異なる位置で新たに撮像された撮像画像において前記基準領域と実空間上で同じ領域であるとして検出された参照領域の撮像画像上の位置情報を算出する基準領域追跡部と、

前記参照領域の複数の位置情報にもとづいて実空間上の地面の凹凸を検出する凹凸検出部と

検出された前記凹凸にもとづいて前記目標追従ラインを生成する目標追従ライン生成部と、を有することを特徴とする走行制御装置。

【請求項 2】

前記画像処理部は、前記撮像画像に含まれる地平線を設定する地平線設定部を有し、

前記基準領域設定部は、一列の前記基準領域の集合を前記地平線に平行に設定することを特徴とする請求項 1 に記載の走行制御装置。

【請求項 3】

前記凹凸検出部は、前記参照領域の撮像画像上の位置情報の分布によって、前記基準領域の実空間上の地面の高さ分布を算出し、前記高さ分布にもとづいて前記凹凸を検出することを特徴とする請求項 2 に記載の走行制御装置。

【請求項 4】

前記目標追従ライン生成部は、新たな撮像画像ごとに前記目標追従ラインを生成することを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれかに記載の走行制御装置。

【請求項 5】

前記基準領域設定部は、前記撮像部から新たな撮像画像を受け取った場合に新たな前記基準領域を設定することを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれかに記載の走行制御装置。

【請求項 6】

前記凹凸検出部は、前記基準領域を設定した前記撮像画像と異なる位置で撮像した前記撮像画像において複数の前記参照領域の位置の比較により実空間上の地面の凹凸を検出することを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれかに記載の走行制御装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、車両の走行を制御する走行制御装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

農用車両による播種、移植、畝立て、畦塗りおよび資材散布などの作業では、その作業の精度や能率向上のためや、それ以降の管理や収穫などの作業のために、各行程を直進かつ平行に行うことが重要である。これらの作業は広い圃場で長時間にわたることが多く、やり直すことができない作業もあるため、作業への肉体的、精神的な負担が大きく、熟練を必要とする。そのため、農用車両を自動的に直進する技術へのニーズが多い。

【0003】

車両の自動走行を制御する技術として、以下に示すような技術がある。たとえば、特許文献 1 には、進行方向前方にある目標ランプをカメラにより撮像し、画像処理により目標ランプを検出して、目標ランプに向かって自動走行する走行制御装置が開示される。

10

20

30

40

50

【0004】

特許文献2には、GPSシステム、光ファイバジャイロ及び地磁気方位センサをトラクタに搭載し、トラクタの位置、方位情報及び車両傾斜を検出して、往復直進作業などを行うべく定めた作業経路を無人走行する無人作業方法が開示される。

【0005】

特許文献3には、田植機の左右には緑色を選択して透過する光学フィルターを備えたビデオカメラが設けられ、ビデオカメラにより既植苗列を撮影して既植苗列と田植機との位置関係を判定し、苗列の距離を所定値に維持するようアクチュエータを駆動する田植機が開示される。

【0006】

特許文献4には、車両に搭載されたステレオカメラで圃場を撮像し、生成された距離画像を解析して地面の位置を検出し、地面より高い立体物を農作物候補として抽出し、農作物候補の並び方から農作物の列を検出する農作物検出装置が開示される。

【0007】

特許文献5には、自動車の前方に単眼カメラを搭載し、移動前に撮像した画像上の物体を、移動後に撮像した画像から探索し、移動前後の物体の方向と自動車の移動量から物体の位置を検出する測距機能付き車載カメラシステムが開示される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2010-200674号公報

【特許文献2】特開平10-66405号公報

【特許文献3】特開平9-154313号公報

【特許文献4】特開2004-12233号公報

【特許文献5】特開2006-349554号公報

【非特許文献1】川西亮輔、外2名、"全方位カメラを用いた同一特徴点の複数計測結果の統合による環境モデリング"、第13回画像センシングシンポジウム講演論文集

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

特許文献1において目標ランプを設定して目標ランプに向かって自動走行を制御しているが、その1行程目の走行を終えた後、2行程目の自動走行を制御する技術が求められている。特許文献2において、GPSシステム、光ファイバジャイロ及び地磁気方位センサを用いているためコストがかかる。

【0010】

本発明はこうした状況に鑑みてなされたものであり、その目的は、車両を自動走行させる制御を簡易にすることができる走行制御装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記課題を解決するために、本発明のある態様の走行制御装置は、車両走行の目標となる方向の地面を撮像する撮像部と、車両走行中に撮像部により異なる位置で撮像した複数の撮像画像を処理し、車両走行の目標となる目標追従ラインを導出する画像処理部と、目標追従ラインに沿って走行するように車両の走行を制御する走行制御部と、を備える。画像処理部は、撮像画像において複数の画素値から構成されて直線状に並ぶ複数の基準領域を設定する基準領域設定部と、基準領域が設定された撮像画像とは異なる位置で新たに撮像された撮像画像において基準領域と実空間上で同じ領域である参照領域を抽出または検出して撮像画像上の位置情報を算出する基準領域追跡部と、参照領域の複数の位置情報にもとづいて実空間上の地面の凹凸を検出する凹凸検出部と、検出された凹凸にもとづいて目標追従ラインを生成する目標追従ライン生成部と、を有する。

【0012】

10

20

30

40

50

この態様によると、撮像部により撮像した撮像画像から、実空間上の地面の凹凸、たとえば畦や畝を検出し、畦や畝に沿った自動走行を制御できる。基準領域は、実空間上では地面の高さが異なるものの、撮像画像上では直線状に並ぶように基準領域設定部により設定される。撮像部の撮像位置が変化すると、実空間上の地面の高さの差が撮像画像上の各参照領域の相対的な位置に表出するため、参照領域の位置情報をもとに撮像画像から地面の凹凸を検出することができる。また、撮像画像を画像処理することで目標追従ラインを算出できるため、自動走行を簡易に低コストで実現できる。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、走行制御装置において車両を自動走行させる制御を簡易にすることができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】実施形態に係る走行制御装置の側面図である。

【図2】走行制御装置の上面図である。

【図3】実施形態に係るECUの機能構成を示す図である。

【図4】実施形態に係る画像処理部の機能構成を示す図である。

【図5】基準領域追跡部における基準領域の探索方法を説明するための図である。

【図6】図6(a)は、基準領域を設定した第1撮像画像を示す図であり、図6(b)は、新たに撮像された第2撮像画像であって、基準領域の位置と基準領域に対応する参照領域を示す図である。

20

【図7】図7(a)および(b)は、図6(a)および(b)に示す撮像画像を写真で示す図である。

【図8】基準領域について説明するための図である。

【図9】図9(a)は、地面の高さの分布を示す第2撮像画像の図であり、図9(b)は、特徴的な凹凸および目標追従ラインを示す第2撮像画像の図である。

【図10】図10(a)および(b)は、図9(a)および(b)に示す撮像画像を写真で示す図である。

【図11】撮像画像から地面の高さ分布を算出する方法を説明するための図である。

【図12】車両に設けられたマーカについて説明する図である。

30

【図13】目標追従ラインを算出する画像処理のフローチャートを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

作業車両は、通常の一般車両と比べて、牽引力および旋回力に優れる一方、直進性能が低い場合がある。また、運転者は、作業車両の後部に備えられる作業機の作業状態を確認するため、後方に振り返りつつ、直進運転をすることを強いられる。農場によっては500m以上の長さがあり、この距離を直進させるのは運転者の負担が大きい。そこで、実施形態の走行制御装置は、進行方向を撮像した画像から畝や畦など走行の目標となるラインを算出し、そのラインに追従して車両を自動的に走行させることで、運転者の負担を軽減させる。

40

【0016】

図1は、実施形態に係る走行制御装置20の側面図である。図2は、走行制御装置20の上面図である。図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を適宜省略する。車両1は、車両客室3、左前輪8aと右前輪8b(以下、総称する場合は「前輪8」という)、左後輪10aと右後輪10b(以下、総称する場合は「後輪10」という)、作業機16を有する。走行制御装置20は、車両1に搭載され、左ブレーキ機構6aと右ブレーキ機構(不図示)(以下、総称する場合は「ブレーキ機構6」という)、カメラ11、ECU(Electronic control unit)12、操舵駆動機構14およびステアリング機構15を備える。

【0017】

50

車両 1 は、農用トラクタや土木用作業車両などの作業車両であってよく、車両 1 の後方には作業機 1 6 が取り付けられる。作業機 1 6 は、たとえば、圃場 4 において播種や畝立てなどの作業をする。

【0018】

ステアリング機構 1 5 は、ステアリングホイール（不図示）、ステアリングシャフト（不図示）、およびステアリングシャフトの動きを前輪の動きに変換するギヤ装置（不図示）と、を有する。ステアリング機構 1 5 は、ハンドルとしてのステアリングホイールの回動を前輪 8 の転舵運動に変換する。ステアリングホイールは、車両客室 3 内に設けられ、運転者によって回動操作される。ステアリングシャフトは、ステアリングホイールとともに回転するように一端がステアリングホイールに連結されており、ステアリングホイールの回動をギヤ装置に伝達する回転軸として機能する。

10

【0019】

操舵駆動機構 1 4 は、舵角センサ（不図示）およびモータ（不図示）を備える。操舵駆動機構 1 4 は、モータを駆動し、ステアリング機構 1 5 に転舵力を与える。舵角センサは、ステアリングシャフトや前輪 8 などに設けられ、ステアリングホイールの操舵角および操舵方向を検出する。操舵駆動機構 1 4 は ECU 1 2 に接続されている。舵角センサの検出値は、ECU 1 2 に出力される。なお、操舵駆動機構 1 4 は、液圧式であってよく、液圧ポンプを駆動して、ステアリング機構 1 5 に転舵力を与えてよい。

【0020】

ブレーキ機構 6 は、運転者のブレーキペダル（不図示）の操作量に応じて後輪 1 0 に制動力を与える。ブレーキペダルは、左後輪用ブレーキペダルと右後輪用ブレーキペダルを有する。運転者が各ブレーキペダルを操作することで、左後輪 1 0 a と右後輪 1 0 b に対して個別に制動力を与えることができる。たとえば、車両 1 を右方向に旋回するとき、運転者が、右後輪用ブレーキペダルを踏み込んで右後輪 1 0 b に制動力を与えることで、右後輪 1 0 b を軸として車両 1 を小回りさせることができる。ブレーキ機構 6 は、ECU 1 2 に接続され、ECU 1 2 により後輪 1 0 に与える制動力を制御される。なお、車両 1 の前輪 8 に、ブレーキ機構は無くてもよい。更に、ブレーキ機構 6 は ECU 1 2 に接続され、ECU 1 2 によって左または右のブレーキ機構 6 が動作され、車両 1 を旋回させることができる。

20

【0021】

車両客室 3 の上部には、単眼のカメラ 1 1 が配置される。カメラ 1 1 は、撮像部として機能し、車両走行の目標となる進行方向の地面および地平線を撮像する。カメラ 1 1 は、撮像した画像を ECU 1 2 に出力する。

30

【0022】

図 2 では、1 行程目の畝を作成し終え、2 行程目の畝を車両 1 が作成している状態を示し、圃場 4 に 1 行程目の畝の段差 2 4 と 2 行程目の畝の段差 2 6 が作成されている。また、車両 1 に設けられたマーカ 1 8 により、3 行程目の畝を作成する際に基準となる窪んだライン 2 8 が形成されている。

【0023】

図 2 に示す車両 1 は、カメラ 1 1 によりライン 2 2 を走行の目標となる目標追従ラインとして検出して、ライン 2 2 に沿って走行するように制御されている。ライン 2 2 は 1 行程目の畝を作成したときにマーカ 1 8 により作成された窪んだラインであり、1 行程目の畝の段差 2 4 に沿っている。

40

【0024】

運転者が ECU 1 2 に接続された自動走行スイッチ（不図示）をオンしたときの車両 1 の位置を車両 1 の初期位置といい、走行制御装置 2 0 による走行制御を開始する位置をいう。運転者は 1 行程目の畝を作成した後、自動走行スイッチをオフし、車両 1 を操舵して方向転換し、次の畝を作成するための位置に車両 1 を移動させ、自動走行スイッチをオンして、走行制御装置 2 0 により自動走行を開始して 2 行程目の畝を作成する。

【0025】

50

なお、運転者による自動走行スイッチのオン/オフにより、走行制御装置 20 による走行制御が実行/停止される。たとえば運転者が自動走行スイッチをオンすると、ECU 12 は、カメラ 11 から出力された撮像画像から段差 24 やライン 22 を目標追従ラインとして検出し、目標追従ラインに追従する走行制御が実行される。

【0026】

ECU 12 は、撮像された撮像画像を処理する画像処理手段として機能し、車両 1 の走行を制御する走行制御手段として機能する。ECU 12 は、各種演算処理を実行する CPU、各種制御プログラムを格納する ROM、データ格納やプログラム実行のためのワークエリアとして利用される RAM、エンジン停止時にも記憶内容を保持できるバックアップ RAM 等の不揮発性メモリ、入出力インターフェース、各種センサ等から入力されたアナログ信号をデジタル信号に変換して取り込むための A/D コンバータ、計時用のタイマ等を備えるものである。なお、画像処理手段と走行制御手段は、それぞれ画像処理装置と走行制御装置とする、別のユニットであってよい。

10

【0027】

図 3 は、実施形態に係る ECU 12 の機能構成を示す。ECU 12 は、画像取得部 30、画像処理部 32、記憶部 34 および走行制御部 36 を備える。画像取得部 30 は、カメラ 11 が所定の撮像周期で撮像した撮像画像を取得する。

【0028】

画像処理部 32 は、画像取得部 30 から受け取った撮像画像を処理する。画像処理部 32 は、撮像画像からライン 22 を導出し、走行制御部 36 に供給する。記憶部 34 には撮像画像の情報が記憶される。

20

【0029】

走行制御部 36 は、操舵駆動機構 14 を介して操舵を制御する操舵制御部と、ブレーキ機構 6 を介して制動力を制御して旋回力を発生させるブレーキ制御部とを備える。ブレーキ制御部は、左右の後輪 10 に設けられたブレーキ機構 6 の制動力を独立に制御して旋回力を発生させる。操舵制御部は、操舵駆動機構 14 を駆動し、前輪 8 の操舵を制御する。

【0030】

走行制御部 36 は、画像処理部 32 から受け取ったライン 22 に沿って車両 1 の初期位置から走行するように制御する。走行制御部 36 は、車両 1 がライン 22 に並行して走行するように前輪 8 を操舵する。なお走行制御部 36 の操舵は、特開 2010-200674 号公報に記載の走行制御方法によって、車両 1 のヨー角および横偏差にもとづいて車両の走行を制御してよい。

30

【0031】

図 4 は、実施形態に係る画像処理部 32 の機能構成を示す。画像処理部 32 は、地平線設定部 38、基準領域設定部 40、テンプレート生成部 42、基準領域追跡部 44、凹凸検出部 48、および目標追従ライン生成部 50 を有する。

【0032】

地平線設定部 38 は、撮像画像上の地平線を設定する。たとえば地平線設定部 38 は、水平角度を検出するセンサの検出結果から撮像した時のカメラ 11 の水平角度を取得し、撮像時の水平角度をもとに撮像画像上の横方向に伸びる境界線を地平線として設定する。

40

【0033】

基準領域設定部 40 は、撮像画像の複数の画素値から構成される複数の基準領域を設定する。一つの基準領域は、例えば縦 10 画素、横 5 画素の領域である。基準領域設定部 40 に設定される複数の基準領域は、直線状に一行に配列された集合である。直線状の基準領域の集合は、新たな撮像画像ごとに新たに設定され、複数列になる。これにより、目標追従ラインを更新でき、目標追従ラインに誤差が生じてもその影響を抑えることができる。基準領域の画素値および位置情報は記憶部 34 に記憶される。

【0034】

新たに撮像された撮像画像では、車両 1 が移動して撮像位置が異なるため、基準領域と実空間上で同じ領域は拡大および変形する、とくに縦方向に大きく変形する。そこで、テ

50

ンプレート生成部 4 2 は、基準領域にもとづいてテンプレートを生成する。テンプレートは、基準領域の画素値に拡大、変形、補間などの処理にて生成される。

【0035】

基準領域のテンプレートは記憶された基準領域をもとに、同じ領域であると判定されるたびに、撮像画像毎のテンプレートの変位量に応じて補間されて記憶部 3 4 に記憶される。これは、車両 1 が進行するにつれて、新たな撮像画像上のテンプレートと同じ領域が拡大していくからである。なお、テンプレート生成部 4 2 は、新たな撮像画像において基準領域と実空間上の同じであると検出された参照領域の画素値と位置情報により、新たなテンプレートを生成してもよい。これにより、テンプレートと、新たな撮像画像における基準領域と実空間上同じ領域との誤差を抑えることができる。テンプレート生成部 4 2 は、

10

【0036】

基準領域追跡部 4 4 は、新たな撮像画像が取得されるたびに、設定された基準領域のテンプレートと同じ画素値分布を持つ領域があるか追跡する。新たな撮像画像において基準領域と実空間上の同じ領域は、基準領域と無限遠点とを結ぶ放射線の直線上を移動すると推定され、その線上にテンプレートの推定位置を設定する。基準領域追跡部 4 4 は、推定位置の周囲の領域に対し、テンプレートと同じような輝度分布をもつ領域があるかどうか探索する。

20

【0037】

基準領域追跡部 4 4 は、テンプレートと、新たな撮像画像上のウィンドウで取り出した領域との画素値が、正規化相関法などの手法を用いて、一致度が所定レベル以上で、かつ最も高い領域を、テンプレートと実空間上の同じ領域であると判定して参照領域とする。また基準領域追跡部 4 4 は、1 画素単位より小さい画素単位まで参照領域の位置を探索することも可能である。図 5 を用いてその探索方法の詳細を説明する。

【0038】

図 5 は、基準領域追跡部 4 4 における基準領域の探索方法を説明するための図である。図 5 の縦軸は、テンプレートと新たな撮像画像上のウィンドウとの画素値の一致度を示し、横軸は、ウィンドウの位置を示す。たとえばウィンドウ位置 s_1 、ウィンドウ位置 s_2 、ウィンドウ位置 s_3 は 1 画素ずつ移動して設定される。

30

【0039】

図 5 に示すように、ウィンドウ位置 s_2 は、1 画素単位の探索において基準領域追跡部 4 4 によりテンプレートと最も一致度が高い領域であると検出されている。最も一致度が高いウィンドウ位置 s_2 と、2 番目に一致度が高いウィンドウ位置 s_1 との間に、参照領域の正確なウィンドウ位置 s_4 があると推測される。ウィンドウ位置 s_2 とウィンドウ位置 s_3 を結ぶ直線 l_1 と、ウィンドウ位置 s_1 を通り直線 l_1 に対して縦軸に線対称である直線 l_2 と、の交点の位置が、参照領域の正確なウィンドウ位置 s_4 である。このように、基準領域追跡部 4 4 は 1 画素未満の単位で詳細に参照領域の画素位置を算出することができる。ここに示した探索方法以外に、1 画素未満の単位で探索する他の探索方法を用いてもよい。

40

【0040】

図 4 に戻る。凹凸検出部 4 8 は、基準領域の位置情報と、新たな撮像画像において基準領域と実空間上で同じ領域である参照領域の複数の位置情報にもとづいて、基準領域の集合の実空間上の地面の高さ分布を算出する。詳細な凹凸算出方法は後述する。基準領域設定部 4 0 において直線状の基準領域の集合を複数列設定しているため、高さ分布もその集合の列数に応じた数だけ算出される。地面の高さ分布をもとに地面の凹凸を算出するため、天候などの要因による土壌表面の色の変化に影響されずに精度良く地面の凹凸を算出できる。

【0041】

凹凸検出部 4 8 は、算出した高さ分布から特徴的な地面の凹凸をそれぞれ検出する。た

50

例えば凹凸検出部 48 は、高さのデータ列を最小二乗法で直線に近似し、近似した直線から所定値以上大きく分散している高さを有する部分を凹凸として抽出する。最初に基準領域を直線状に設定しているため、凹凸を精度良く検出することができる。凹凸検出部 48 は、検出した凹凸の位置情報および形状を記憶部 34 に記憶させる。凹凸検出部 48 は、検出した凹凸の位置情報および形状をもとに、凹凸を検出した基準領域とは別の基準領域の高さ分布から、パターンマッチングの手法を用いて同様な凹凸形状を持つ部分を検出する。

【0042】

目標追従ライン生成部 50 は、実空間上で同じ種類の凹凸であると判定された各高さ分布の凹凸をつないで目標追従ラインを生成する。目標追従ラインは複数生成されてよく、目標追従ライン生成部 50 は複数の目標追従ラインをもとに消失点の位置を算出してよい。目標追従ライン生成部 50 は、生成した目標追従ラインを走行制御部 36 に送付する。このように画像処理部 32 において、車両 1 の走行の目標となるライン 22 を導出できる。撮像画像を参照して画像処理について詳細に説明する。

【0043】

図 6 (a) は、基準領域を設定した第 1 撮像画像 60 を示す図であり、図 6 (b) は、ある時間を経過して新たに撮像された第 2 撮像画像 68 であって、基準領域の位置と基準領域と実空間上で同じ領域を示す図である。また、図 7 (a) および (b) は、図 6 (a) および (b) に示す撮像画像を写真で示す図である。第 1 撮像画像 60 および第 2 撮像画像 68 には、地平線 62、畝 64 および畦 66 が撮像されている。地平線 62 上には進行方向の目標となる消失点が畝 64 および畦 66 の延長にある。

【0044】

図 6 (a) には、設定された基準領域が第 1 集合 102、第 2 集合 104 および第 3 集合 106 として示されている。すなわち、基準領域の直線状の一系列の集合が 3 本設定されており、1つの集合において基準領域は 100 個以上設定される。第 1 集合 102、第 2 集合 104 および第 3 集合 106 は、地平線 62 に平行であり、実空間上で等間隔になるように設定されている。これにより、各基準領域と地平線の距離が一定となり、凹凸検出部 48 により凹凸を容易に検出できる。ここで基準領域の第 1 集合 102 について図 8 を参照して説明する。

【0045】

図 8 は、基準領域について説明するための図である。基準領域の第 1 集合 102 の一部を示している。第 1 集合 102 に含まれる基準領域 114 は、縦方向に 10 画素、横方向に 5 画素の大きさである。基準領域 114 には基準領域 114 の位置の基準となる基準画素 117 が含まれる。たとえば基準画素 117 は、いずれも基準領域 114 の下端中央に設定され、位置情報が記憶される。基準領域設定部 40 により基準領域 114 が設定された場合、テンプレート生成部 42 によりテンプレート 116 が生成される。

【0046】

新たな撮像画像において基準領域 114 に対応する領域は拡大および変形するため、その変化に応じたテンプレート 116 が基準領域 114 をもとにして生成される。またテンプレート 116 の推定位置 117 a も算出される。テンプレート 116 は、車速や撮像周期により算出される車両 1 の移動距離に応じて基準領域 114 から変形されてよい。

【0047】

図 6 に戻る。図 6 (b) に示す第 2 撮像画像 68 では、基準領域追跡部 44 により追跡された基準領域と同じ領域であるウィンドウの位置が示される。また、図 6 (b) には、第 1 撮像画像における各基準領域の位置を示す。基準領域追跡部 44 によって第 1 集合 102 の各基準領域は、第 1 集合 108 の各ウィンドウに移動したことが検出され、第 2 集合 104 の各基準領域は、第 2 集合 110 の各ウィンドウに移動したことが検出され、第 3 集合 106 の各基準領域は、第 3 集合 112 の各ウィンドウに移動したことが検出される。

【0048】

図6(a)に示すように第3集合106の基準領域の縦座標は j_a であり、地平線62の縦座標は j_v である。ここで画像上の i_j 座標を説明する。図6(a)に示すように画像の左下隅を原点とし、上方向に j 座標、右方向に i 座標を設定する。 i_j 座標の単位は画素であり、図6および後述する図9に例示する画像は、横640画素、縦480画素のサイズである。第3集合106の基準領域は、いずれも縦座標 j_a である。図6(b)に示すように、地面の高い地点の参照領域の縦座標は j_{bh} であり、畦66の低い地点の参照領域の縦座標は j_{bl} である。

【0049】

畝64や畦66が存在する位置の基準領域は、第2撮像画像68において他の基準領域と比べて縦方向の移動量が小さい。これは畝64や畦66などの溝の底の部分はカメラ11からの距離が遠くなり、撮像画像上の移動が小さくなるためである。このように直線であった基準領域の集合の縦方向の位置が、新たな撮像画像では地面の凹凸に応じて直線上の位置から変化する。

【0050】

図9(a)は、地面の高さの分布を示す第2撮像画像68の図であり、図9(b)は、特徴的な凹凸および目標追従ラインを示す第2撮像画像68の図である。また、図10(a)および(b)は、図9(a)および(b)に示す撮像画像を写真で示す図である。図9(a)では、図6(b)に示す第1集合108の基準領域の位置情報から導出した第1高さ分布118と、第2集合110の基準領域の位置情報から導出した第2高さ分布120と、第3集合112の基準領域の位置情報から導出した第3高さ分布122とを示す。

【0051】

第1高さ分布118は、直線状の基準領域の第1集合102が設定された実空間上の地面の高さ分布を示す。凹凸検出部48により算出された高さ分布は、畝64および畦66の位置で凹んでいる。ここで、高さ分布の算出方法を図11を参照しつつ説明する。

【0052】

図11は、撮像画像から地面の高さ分布を算出する方法を説明するための図である。第1撮像画像60を撮像したカメラ位置 C_a および、第2撮像画像68を撮像したカメラ位置 C_b の高さ CAH は既知である。カメラ11が向く方向は水平方向である。

【0053】

車両1は、第1撮像画像60から第2撮像画像68を撮像するまでの間に移動した距離 Z_0 は車速や撮像周期によっても算出できる。例えば、高さ G_1 の平坦な地面の上に高さ dH の畝が存在したとする。この畝の地面からの高さ dH が求めれば、高さ分布を算出できる。

【0054】

カメラ位置 C_a から撮像した撮像画像には、角度 a の方向に畝の上の領域 P_h および平坦な地面の上の領域 P_l があり、撮像画像上では同じ縦座標にあるが、領域 P_h および領域 P_l は実空間では異なる高さである。カメラ11から基準領域 P_h 、基準領域 P_l までの実空間上の水平距離 Z_{ah} 、 Z_{al} は下式で計算される。

$$Z_{al} = CAH / \tan(a) \cdots (1)$$

$$Z_{ah} = (CAH - dH) / \tan(a) \cdots (2)$$

また、画像との関係は、式(3)で計算される。ここで、 PWV は1画素の垂直方向の視野角の \tan 値である。

$$\tan(a) = PWV(j_v - j_a) \cdots (3)$$

【0055】

車両が距離 Z_0 ほど前進した点 C_b の位置から実空間上の領域 P_h 、領域 P_l を見ると、上から見下ろす形となり、その方向には差異が生じる。領域 P_h 、領域 P_l において、それぞれの角度を b_h 、 b_{l1} 、撮像画像上の縦座標を j_{bh} 、 j_{bl} を用いて実空間上の水平距離 Z_{bh} 、 Z_{bl} は(1)~(3)式と同様に下式の関係になる。

$$Z_{bl} = CAH / \tan(b_{l1}) \cdots (4)$$

$$Z_{bh} = (CAH - dH) / \tan(b_h) \cdots (5)$$

10

20

30

40

50

$$\tan(\theta_{bl}) = PWV(jv - j_{bl}) \cdots (6)$$

$$\tan(\theta_{bh}) = PWV(jv - j_{bh}) \cdots (7)$$

【0056】

領域 P_h と領域 P_l の水平距離 Z_{hl} は変化しないので、下式が得られる。

$$Z_{hl} = Z_{al} - Z_{ah} = Z_{bl} - Z_{bh} \cdots (8)$$

(8) 式に (1) (2) (4) (5) 式を代入して高低差 d_H で整理すると (9) 式になる。

【数1】

$$dH = \frac{CAH(1/\tan(\theta_{bl}) - 1/\tan(\theta_{bh}))}{1/\tan(\theta_a) - 1/\tan(\theta_{bh})} \cdots (9)$$

【0057】

(9) 式に (3) (6) (7) 式を代入すると (10) 式になり、j_{bh} を (11) 式のように書きかえて整理すると (12) 式になる。d_j は、領域 P_h と領域 P_l の第2撮像画像 68 上の縦座標の差である。(12) 式を見ると走行距離 Z₀ とカメラ 11 の視野角 PWV の値が直接的には不要となる点が注目される。

【数2】

$$dH = \frac{CAH(1/(PWV(jv-j_{bl})) - 1/(PWV(jv-j_{bh})))}{1/(PWV(jv-j_a)) - 1/(PWV(jv-j_{bh}))} \cdots (10)$$

$$j_{bh} = j_{bl} - d_j \cdots (11)$$

【数3】

$$dH = \frac{CAH \cdot d_j \cdot (jv - j_a)}{(j_a - j_{bl} + d_j) \cdot (jv - j_{bl})} \cdots (12)$$

【0058】

ここで、CAH = 1970 mm、j_v = 380 画素、j_a = 250 画素、j_{bl} = 230 画素を (12) 式に代入すると (13) 式になる。

【数4】

$$dH = \frac{d_j \cdot 1970 \cdot 130}{(20 + d_j) \cdot 150} = \frac{d_j \cdot 1707.3}{d_j + 20} \cdots (13)$$

高さ d_H は縦座標差 d_j に依存する値となる。基準領域を横一直線に設定しているため、同じ集合であれば (j_v - j_a) の値は変化せず、d_j の値の分布のみからその地面の高さ分布が算出できる。また参照領域の縦座標 j_{bl}、j_{bh} を図5で説明した1画素未満の単位までの座標の探索方法で算出することにより、いっそう精度良く高さ分布を算出できる。

【0059】

領域 P_l の撮像画像上の縦座標差 d_j を式 (11) により算出するにあたって、領域 P_h は、領域 P_l の横方向に隣の領域であってよく、横座標で中央に位置する領域であってよい。また、縦座標差 d_j は、領域 P_l の縦座標と、同じ集合の参照領域の縦座標の平均値との差であってもよい。また、同じ集合の参照領域の位置情報から最少二乗法により標準直線を算出し、その標準直線と、領域 P_l の縦座標との差により縦座標差 d_j を算してもよい。このような領域 P_h を比較対象となる領域といい、比較領域は、領域 P_l と同じ集合の参照領域から定められ、任意の参照領域であってよく、同じ参照領域の集合を平均化または標準化した参照領域であってよい。これにより、元は直線状に設定した基準領

10

20

30

40

50

域から、撮像位置が移動したことによる参照領域の縦方向の相対的な位置の比較により算出された縦座標差 d_j にもとづいて高さ分布を算出することができる。

【0060】

第1撮像画像60と第2撮像画像68では地平線62の位置が異なり、地平線の縦座標 j_v は変化し、また検出値に誤差を生じる場合もある。しかしながら基準領域の集合を同じ時刻に地平線62と平行に設定しているため、式(12)に示す高低差 d_H を計算する方法において、 $(j_v - j_a)$ の項には同じ値と同じ誤差が入力されるため、高さ分布に全体的な拡大および縮小の誤差が生じても、相対的な誤差を抑えることができる。このため高さ分布の形状から畝や畦、マーカ跡などの特定の形状の検出などを高い精度で行うことが可能となる。また、高さ分布に誤差による不規則な凹凸が減るので、特徴的な凹凸の抽出にも有利となる。

10

【0061】

なお、各参照領域は高さ方向(縦座標)のみでなく、前後方向の位置 Z 、左右方向(横座標)の位置 X の3次元位置も下式で計算される。

$$Z = (CAH - d_H) / (PWV \cdot (j_v - j_{bh})) \quad \dots (14)$$

$$X = Z \cdot PWH (i_{bh} - i_v) \quad \dots (15)$$

ここで、 PWH は1画素の水平方向の視野角の \tan 値、 i_{bh} は第2撮像画像68の参照領域の横座標、 i_v は撮像画像上の中央の横座標であって、車両の前方面の横座標である。これにより、目標追従ラインの3次元位置も算出できる。ここで、3次元空間での XYZ 座標は次のように設定する。まず、カメラ11の直下の地面上を原点とし、垂直上向きに Y 座標または高さ H 、車両の前方面方向を Z 座標、左右方向を X 座標とする。

20

【0062】

このように図9(a)に示す高さ分布を参照領域の縦座標にもとづいて算出することができる。次に凹凸検出部48は高さ分布から特徴的な凹凸を抽出する。図9(b)には、第3高さ分布122から第1凹部122aおよび第2凹部122bが抽出されている。カメラ11に近い位置の高さ分布では、基準領域の位置が大きく変化するため、凹凸が検出しやすい。凹凸検出部48は、第1凹部122aおよび第2凹部122bの形状を記憶する。

【0063】

次に、凹凸検出部48は、第3高さ分布122の第1凹部122aおよび第2凹部122bと同じ凹部を第1高さ分布118および第2高さ分布120に対してパターンマッチングを行うことによって検出する。これにより、第1高さ分布118から第1凹部118aおよび第2凹部120bが抽出され、第2高さ分布120から第1凹部120aおよび第2凹部120bが抽出される。

30

【0064】

図9(b)に示すように目標追従ライン生成部50は、第1凹部118a、第1凹部120aおよび第1凹部122aをつないで第1目標追従ライン72を算出し、第2凹部118b、第2凹部120bおよび第2凹部122bをつないで第2目標追従ライン74を算出し、記憶する。第1目標追従ライン72および第2目標追従ライン74の交点に消失点70(無限遠点)が検出される。目標追従ライン生成部50は、第1目標追従ライン72および第2目標追従ライン74の情報を走行制御部36に出力する。画像処理部32は、画像取得部30から新たな撮像画像を受け取るごとに目標追従ラインを算出して走行制御部36に出力する。

40

【0065】

ここで、実空間上でカメラ11から遠方の位置に基準領域を設定したときは、縦座標 j_a と縦座標 j_{b1} の変化は小さく、縦座標差 d_j の値も小さい。このため式(12)の分母の $(j_a - j_{b1} + d_j)$ の値はゼロに近くなり、高低差 d_H が乱れる可能性がある。よって、 j_a と j_{b1} の変化量が20画素程度になるまで車両1を所定距離前進させて撮像した撮像画像を用いて高さ分布を算出することが好ましい。

50

【 0 0 6 6 】

車両 1 が大きく前進して $j a$ と $j b 1$ の差が大きくなると、 $d j$ の値も比例的に大きくなり、基準領域追跡部 4 4 での検出結果は安定する。しかし、テンプレートの生成処理において、元の基準領域からの変形量も大きくなり、テンプレートの誤差が大きくなる。このテンプレートの生成処理で生じた誤差が、基準領域追跡部 4 4 での検出結果に悪影響する程度が大きくなる。そのため、基準領域設定部 4 0 は、所定の条件を満たすと該基準領域を破棄する。所定の条件として、例えば基準領域設定部 4 0 は基準領域に対するテンプレートの拡大率が所定値を越えると、基準領域を破棄し、その基準領域の集合の追跡を終了する。また、所定の条件として、例えば基準領域設定部 4 0 は、車両 1 の進行距離が所定距離を越えると基準領域を破棄し、その基準領域の集合の追跡を終了してよい。

10

【 0 0 6 7 】

図 1 2 は、車両 1 に設けられたマーカ 1 8 について説明する図である。図 2 にも図示するが、図 1 2 には車両 1 の左方向または右方向に張り出したマーカ 1 8 が図示される。マーカ 1 8 の先端は地面に接触しており、マーカ 1 8 は車両 1 の移動とともに地面に溝を形成する。車両走行時に、作業機 1 6 によって作業跡 8 2 が形成されるとともに、マーカ 1 8 によってマーカ溝 8 0 が作業跡 8 2 と平行に形成される。マーカ溝 8 0 は、次の行程の目標となる。

【 0 0 6 8 】

ここでマーカ溝 8 0 などは、そのおおまかな形状が既知である。このように予め推測できる形状は、その登録形状を記憶部 3 4 に登録させ、パターンマッチングにより高さ分布から一致度が所定レベル以上高い部分を同じ領域であると判定して検出してよい。これにより容易に追跡すべき地面の凹凸を検出することができる。

20

【 0 0 6 9 】

図 1 3 は、目標追従ラインを算出する画像処理のフローチャートを示す図である。画像取得部 3 0 は、自動走行スイッチがオンであるか判定し (S 1 0)、オフであれば本処理を終了する (S 1 0 の N)。スイッチがオンであれば (S 1 0 の Y)、画像取得部 3 0 は新たな撮像画像を取得し、画像処理部 3 2 に撮像画像の情報を出力する (S 1 2)。

【 0 0 7 0 】

画像処理部 3 2 の地平線設定部 3 8 は、撮像画像における地平線の位置を検出する (S 1 4)。基準領域設定部 4 0 は、新たな撮像画像に複数の基準領域を、直線状に一列に配列して設定する (S 1 6)。

30

【 0 0 7 1 】

テンプレート生成部 4 2 は、設定された基準領域に応じたテンプレートを車両走行距離にもとづいてそれぞれ生成する (S 1 8)。なおテンプレート生成部 4 2 は、テンプレートの拡大率が所定値を越える場合、設定された基準領域を破棄してよい。

【 0 0 7 2 】

基準領域追跡部 4 4 は、車両走行中に新たな撮像画像において設定した基準領域と実空間上で同じ領域を追跡する (S 2 0)。基準領域追跡部 4 4 は、テンプレートと新たな撮像画像の参照領域とを比較して所定レベル以上一致すると判定すれば、基準領域と実空間上で同じ領域であると判定し、撮像画像上の参照領域の位置情報を記憶する。

40

【 0 0 7 3 】

凹凸検出部 4 8 は、参照領域の複数の位置情報にもとづいて高さ分布を算出する (S 2 2)。凹凸検出部 4 8 は、参照領域の縦座標の位置情報と他の参照領域の縦座標の位置情報の差にもとづいて高さ分布を算出する。

【 0 0 7 4 】

凹凸検出部 4 8、算出した高さ分布から特徴的な凹凸を検出する (S 2 4)。目標追従ライン生成部 5 0 は、同じ凹凸をつないで目標追従ラインを生成する (S 2 6)。目標追従ライン生成部 5 0 は、生成した目標追従ラインの情報を走行制御部 3 6 に出力する。これにより、車両走行の目標となる目標追従ラインを生成することができる。ステレオカメラの視差で立体物を検出する方法と比較して、遠くの位置の凹凸を精度良く検出でき、単

50

眼カメラを用いることでステレオカメラよりコストを抑えることができる。また、複数列に設定した地面の高さに着目することで、畝が部分的に途切れても目標追従ラインを算出することができる。

【0075】

以上、本発明を実施例をもとに説明した。この実施例は例示であり、それらの各構成要素の組合せにいろいろな変形例が可能なこと、またそうした変形例も本発明の範囲にあることは当業者に理解されるところである。

【0076】

また、車両1の位置が初期位置にある場合、検出されたヨー角によって、車両1の向きがライン22に平行であるかどうかを判定してよい。車両1の向きがライン22に平行でなければ、走行制御部36は、後輪10の一方に制動力を与え、車両1の向きがライン22に平行になるように車両1を旋回させてよい。

10

【0077】

また、走行制御装置20は、撮像時の車両のロール角を検出するセンサ、車両のピッチ角を検出するセンサを有してよい。画像処理部32は、新たな撮像画像を取得すると、該撮像画像の撮像時の車両状態（ロール角およびピッチ角）にもとづいて新たな撮像画像を補正してもよい。地平線設定部38は、補正した撮像画像から水平線を検出する。これにより、撮像画像ごとの水平線の位置ずれを抑えることができる。

【0078】

実施形態では、基準領域を横方向（水平方向）に直線状に設定する態様を説明したが、これに限られない。直線状に基準領域を設定するのであれば、縦方向（鉛直方向）に設定してもよく、放射線状に斜めに設定してもよい。たとえば基準領域を斜め方向に直線に設定した場合、各参照領域の位置座標から最少二乗法により標準直線を算出し、その標準直線と、任意の参照領域の縦座標との差により縦座標差を算出して、高さ分布を算出することができる。

20

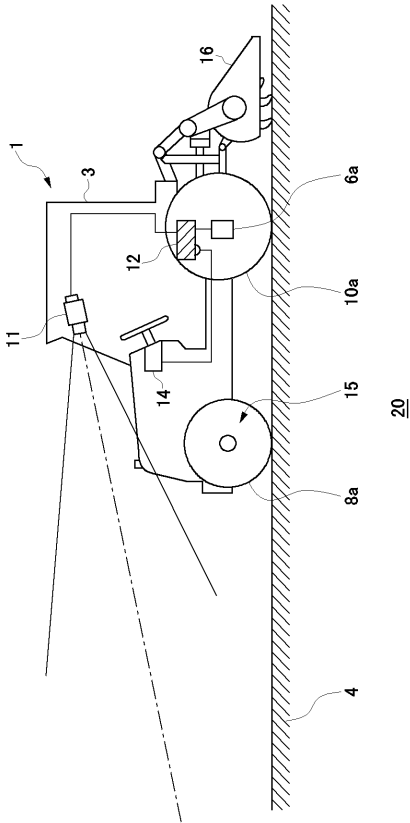
【符号の説明】

【0079】

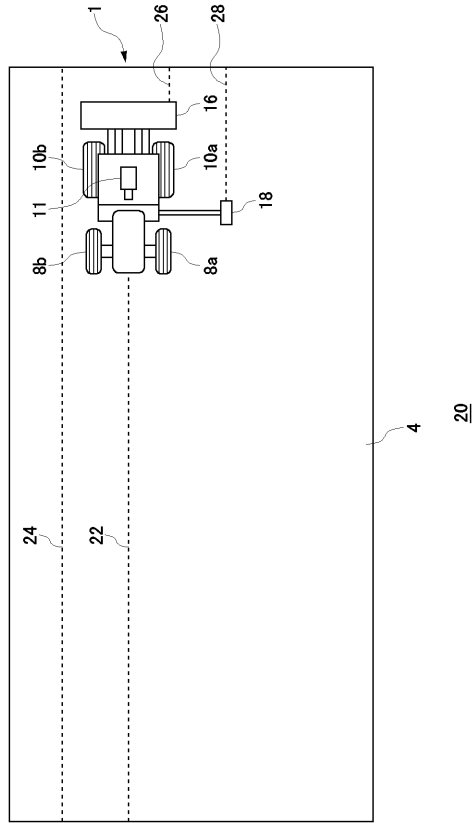
1 車両、 3 車両客室、 4 圃場、 6 ブレーキ機構、 8 前輪、 10 後輪、 11 カメラ、 12 ECU、 14 操舵駆動機構、 15 ステアリング機構、 16 作業機、 18 マーカ、 20 走行制御装置、 30 画像取得部、 32 画像処理部、 34 記憶部、 36 走行制御部、 38 地平線設定部、 40 基準領域設定部、 42 テンプレート生成部、 44 基準領域追跡部、 46 高さ算出部、 48 凹凸検出部、 50 目標追従ライン生成部、 60 第1撮像画像、 62 地平線、 64 畝、 66 畦、 68 第2撮像画像、 70 消失点、 72 第1目標追従ライン、 74 第2目標追従ライン、 80 マーカ溝、 82 作業跡、 102 第1集合、 104 第2集合、 106 第3集合、 108 第1集合、 110 第2集合、 112 第3集合、 114 基準領域、 116 テンプレート、 118 第1高さ分布、 120 第2高さ分布、 122 第3高さ分布。

30

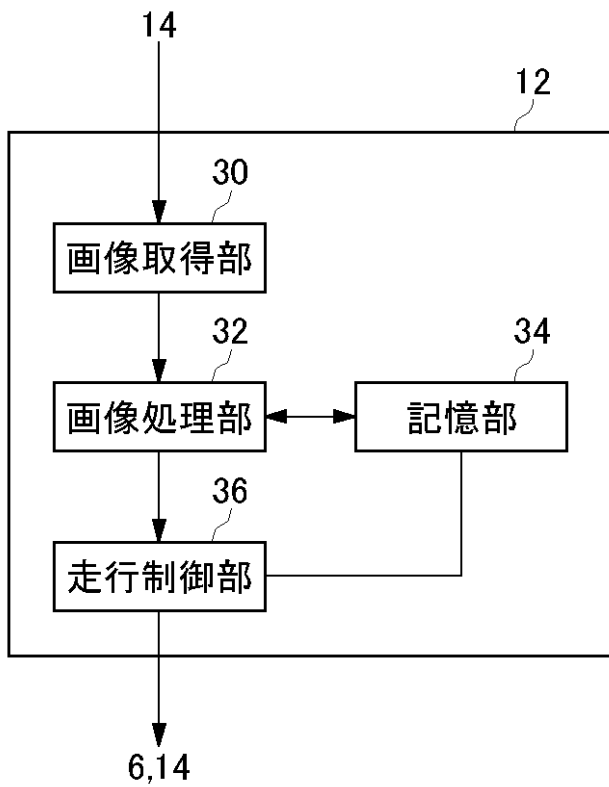
【図1】



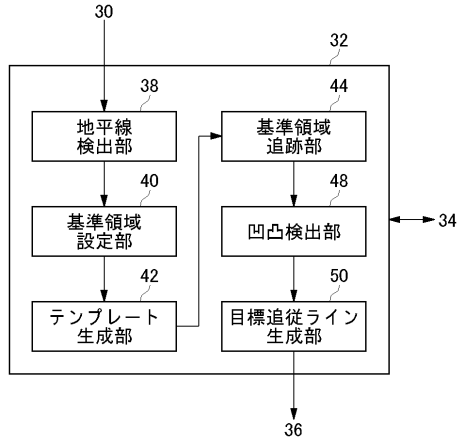
【図2】



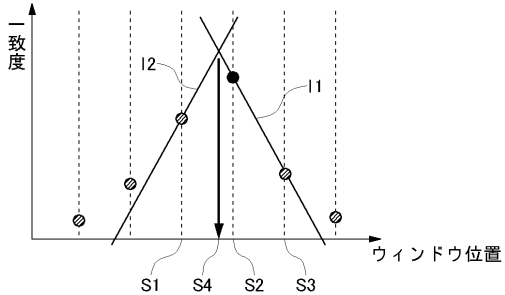
【図3】



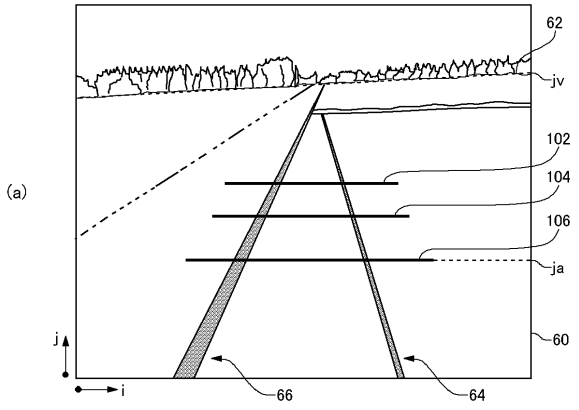
【図4】



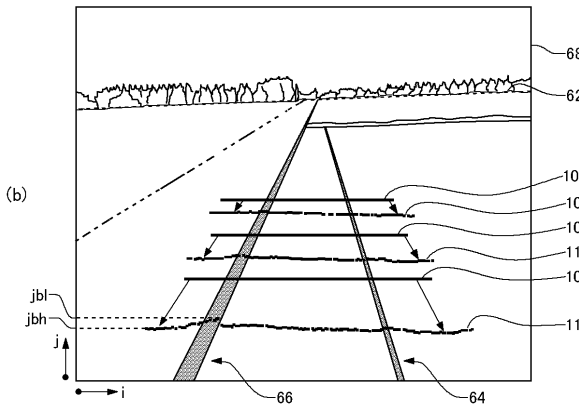
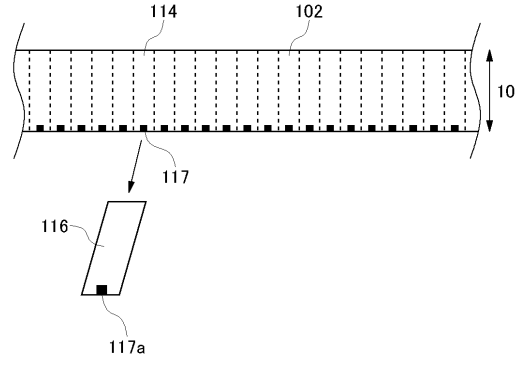
【図5】



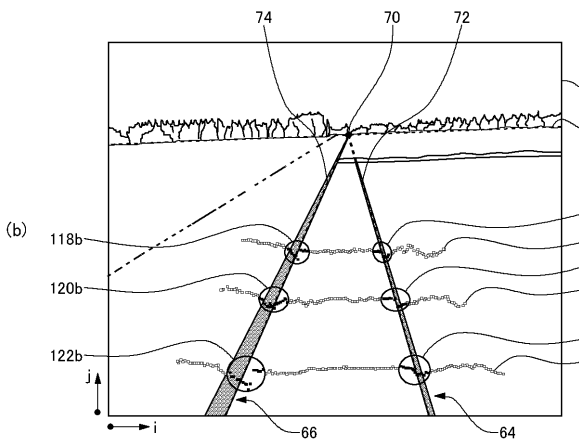
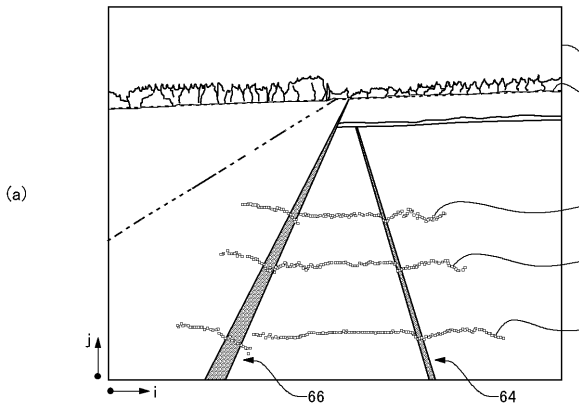
【 図 6 】



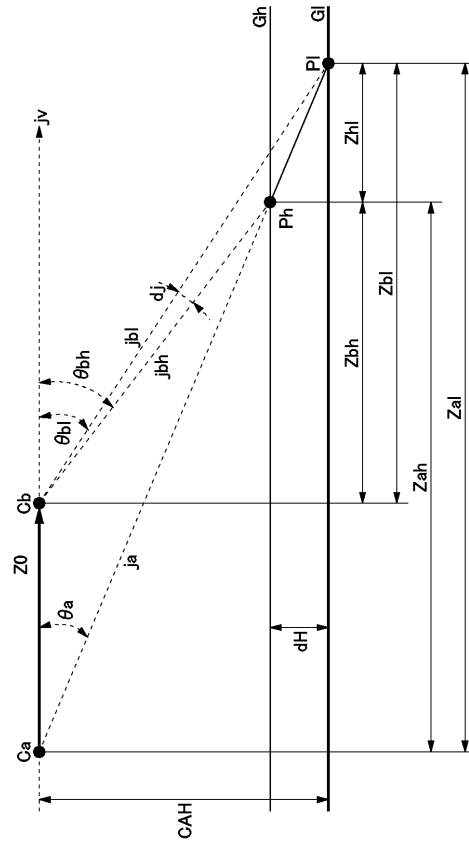
【 図 8 】



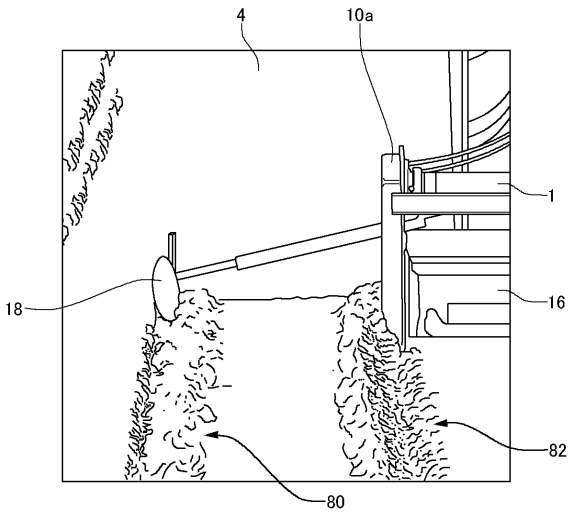
【 図 9 】



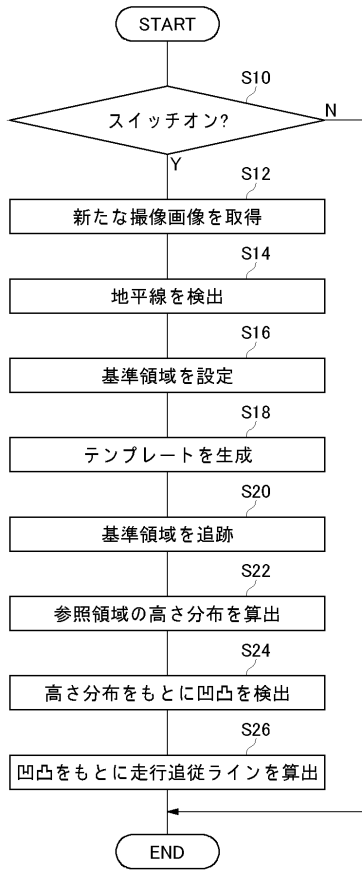
【 図 11 】



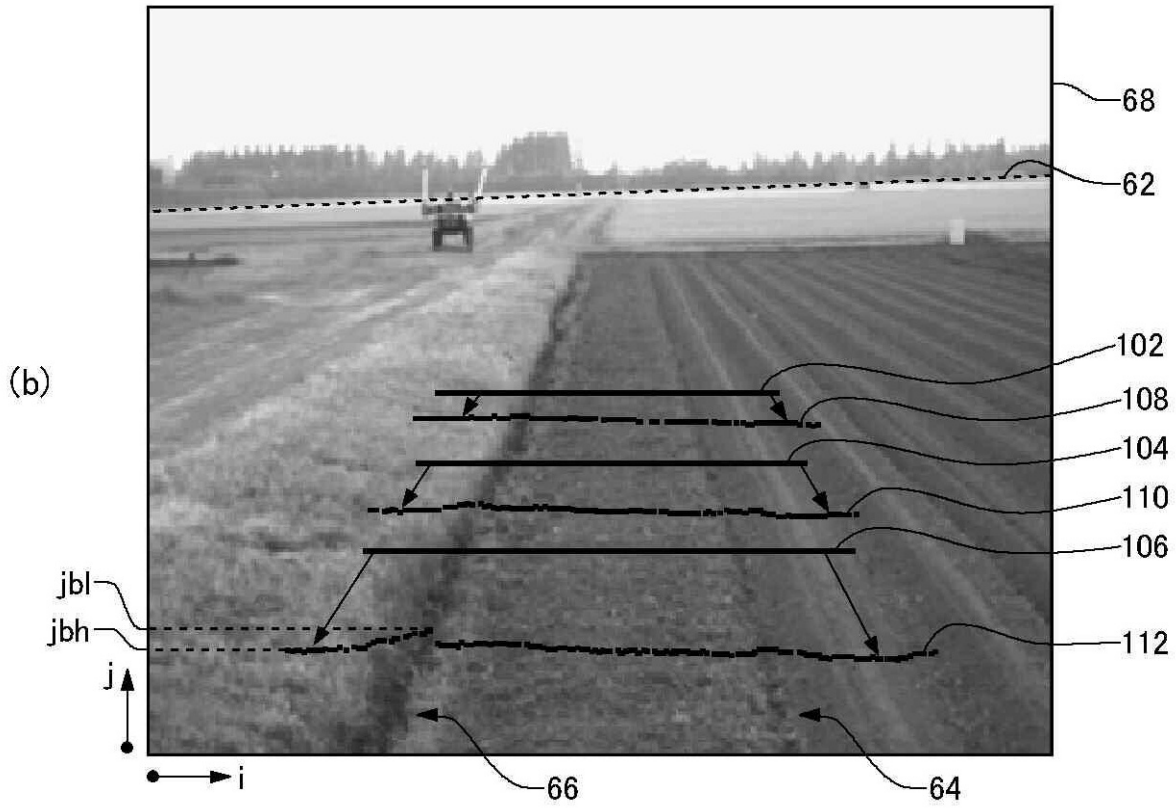
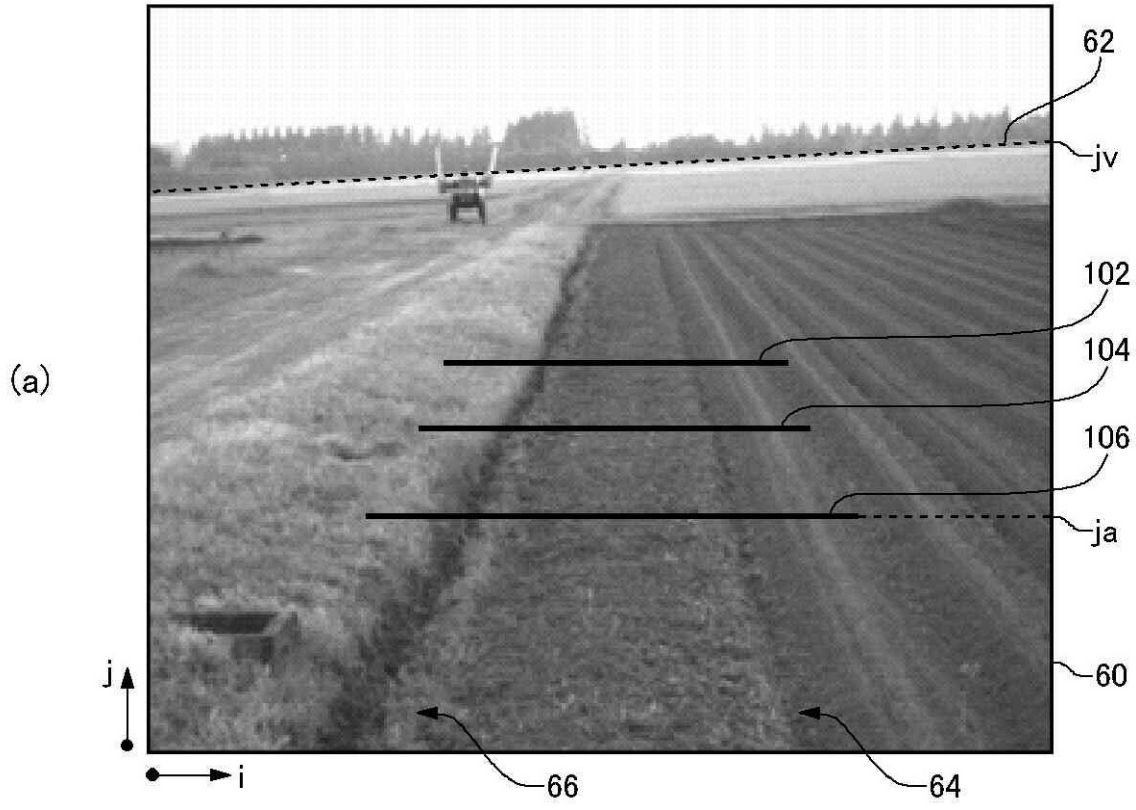
【 図 1 2 】



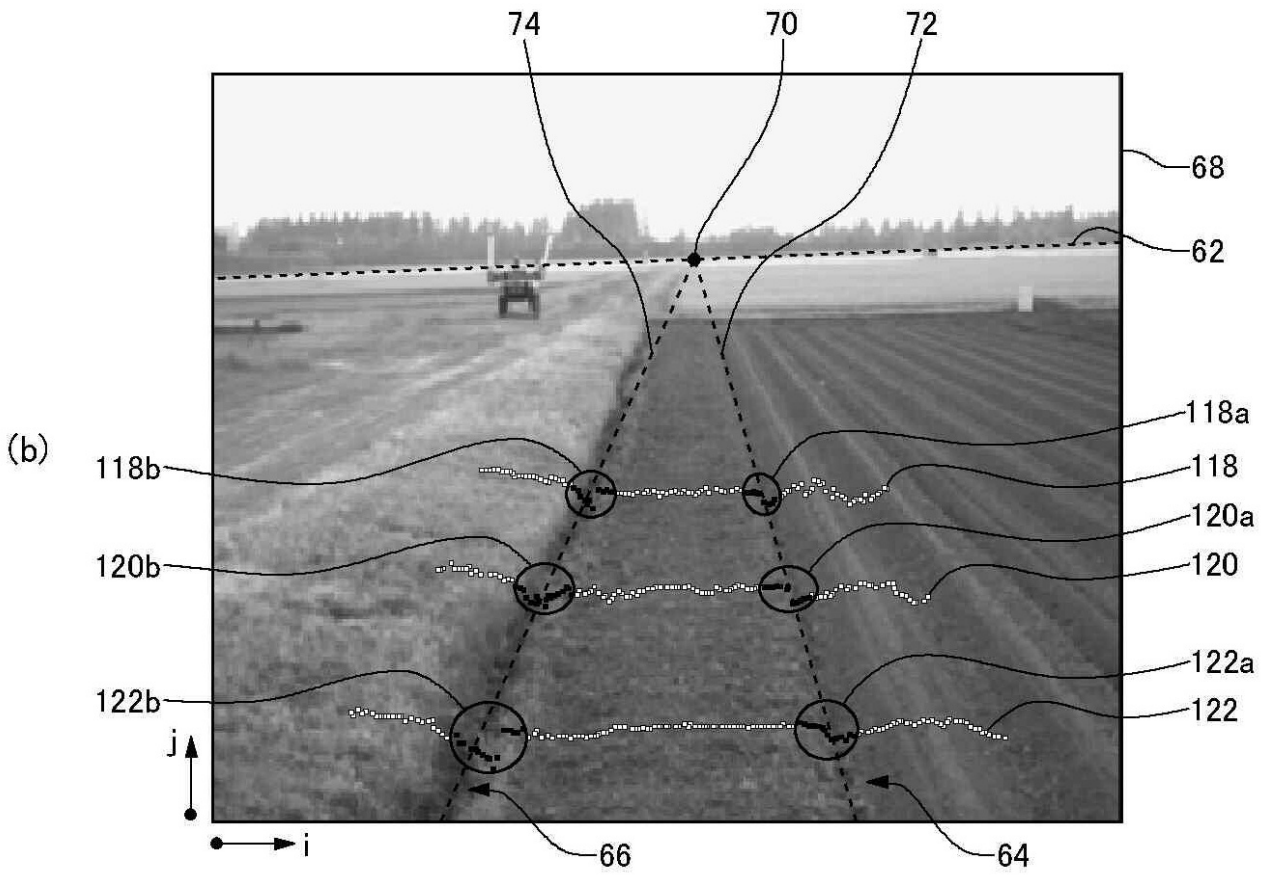
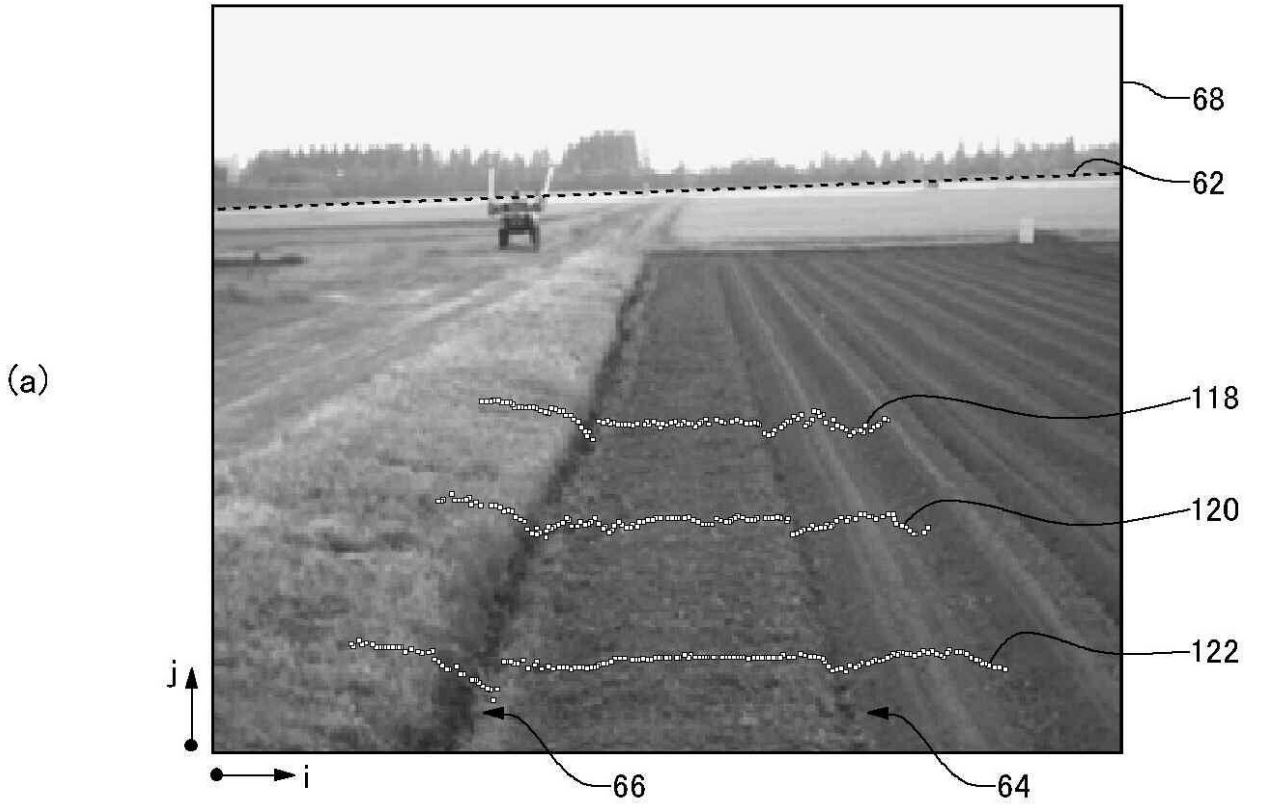
【 図 1 3 】



【 図 7 】



【 図 1 0 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード(参考)
G 0 6 T 1/00 3 1 5
B 6 2 D 113:00

(72)発明者 山下 貴史

埼玉県さいたま市北区日進町1丁目40番地2 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター内

Fターム(参考) 2B043 AA04 AB07 BA02 BB03 DC03 EA03 EB18 EC12 EC16 ED12
EE01
3D232 CC20 DA03 DA83 DA88 EB04 FF01 GG11
5B057 AA15 DA07 DA08 DB03 DB06 DB09 DC34
5H301 AA03 AA10 BB01 GG01