

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4381186号
(P4381186)

(45) 発行日 平成21年12月9日 (2009. 12. 9)

(24) 登録日 平成21年10月2日 (2009. 10. 2)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 C 7/02 (2006. 01)	GO 1 C 7/02
GO 1 S 17/89 (2006. 01)	GO 1 S 17/89

請求項の数 8 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2004-77492 (P2004-77492)	(73) 特許権者	000135771
(22) 出願日	平成16年3月18日 (2004. 3. 18)		株式会社パスコ
(65) 公開番号	特開2005-265570 (P2005-265570A)		東京都目黒区東山 1 丁目 1 番 2 号
(43) 公開日	平成17年9月29日 (2005. 9. 29)	(74) 代理人	100128864
審査請求日	平成18年1月27日 (2006. 1. 27)		弁理士 川岡 秀男
(出願人による申告) 平成15年度、総務省、「次世代 G I S の実用化に向けた情報通信技術の研究開発」の委託研究、産業再生法第30条の適用を受ける特許出願		(74) 代理人	100093986
前置審査			弁理士 山川 雅男
		(72) 発明者	笹川 正
			東京都目黒区東山 1 丁目 1 番 2 号 株式会社パスコ内
		(72) 発明者	浅沼 俊一
			東京都目黒区東山 1 丁目 1 番 2 号 株式会社パスコ内
		審査官	須中 栄治
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 レーザ計測方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

飛行体に搭載したレーザスキャナから地表面をスキャンし、レーザパルス発射時の発射時刻データ、ミラー回転角データ、該レーザパルスに対するリターンパルスデータ及び飛行体の位置、姿勢情報を含む観測データを飛行体上で取得する工程と、

地上基地局において前記観測データを解析して地上の凹凸状態を演算する工程とを含み、

計測領域上空に設定した直線飛行航路を飛行体に飛行させて該直線飛行航路でのレーザスキャナによるスキャンを終了した後、飛行体を旋回させ、前記計測領域上空に設定される他の直線飛行航路に飛行体を移動させて再度レーザスキャナによるスキャンを開始して複数の直線飛行航路での観測データを取得するレーザ計測方法であって、

前記観測データの一部または全部を飛行体上でデータ圧縮して地上基地局に伝送した後地上基地局で復元し、

地上基地局による演算工程を飛行体の飛行中に行い、

かつ、前記飛行体の位置、姿勢情報に係るデータは、取得されるとストリーミングにより順次地上基地局に伝送されるレーザパルス発射時の発射時刻データ、ミラー回転角データ及び該レーザパルスに対するリターンパルスデータとは区別された伝送データ単位として、当該データが取得された直線飛行航路の飛行中においては蓄積されて前記直線飛行航路間の移動時間に地上基地局に伝送されるレーザ計測方法。

【請求項 2】

前記観測データに対する圧縮が、
レーザパルス発射時の発射時刻データ、ミラー回転角データ及び該レーザパルスに対するリターンパルスデータを対象として行われる請求項 1 記載のレーザ計測方法。

【請求項 3】

前記データ圧縮が、
レーザパルス発射時の発射時刻データ、ミラー回転角データ及びリターンパルスデータを各々分離データ列として分離し、
各分離データ列において隣接するデータ間の差分を保存データとして行われる請求項 2 記載のレーザ計測方法。

【請求項 4】

前記分離データ列が、レーザパルス発射時の発射時刻データ、またはミラー回転角データである場合、
隣接データ間の差分に代えて、該差分に対する 2 次差分を保存データとする請求項 3 記載のレーザ計測方法。

【請求項 5】

前記分離データ列が、レーザパルス発射時の発射時刻データである場合、
前記データ圧縮が、
隣接データ間の差分が負数となるデータ境界をデータブロックの終点とし、保存データ列をブロック単位で復元可能なデータブロックに区画する工程を含む請求項 3 または 4 記載のレーザ計測方法。

【請求項 6】

前記分離データ列が、同一発射レーザパルスに対し、地表での反射回数に対応する不定個数のリターンパルスデータを含む場合、
同一発射レーザパルスに対するリターンパルスデータ数を特定可能なヘッダ情報を各発射レーザパルスごとに付与し、取得したリターンパルスデータのみを保存データとする請求項 3、4 または 5 記載のレーザ計測方法。

【請求項 7】

請求項 6 記載のレーザ計測方法において、
k 次反射リターンパルスデータの保存データとして、k - 1 次反射リターンパルスデータとの差分を使用するレーザ計測方法。

【請求項 8】

レーザ計測部が搭載された飛行体を計測領域上空に設定した直線飛行航路で飛行させて該直線飛行航路でのレーザ計測部による計測を終了した後、飛行体を巡回させ、前記計測領域上空に設定される他の直線飛行航路に飛行体を移動させて再度レーザ計測部による計測を開始することにより複数の直線飛行航路においてレーザ計測部により取得した観測データを地上基地局に設置されたデータ解析部により解析して地上の凹凸状態を演算するレーザ計測システムであって、

飛行体に搭載され、観測データのうち、レーザスキャナによる地表面へのレーザパルスのレーザパルス発射時の発射時刻データ、ミラー回転角データ及び該レーザパルスに対するリターンパルスデータを圧縮し、該圧縮データを残部の観測データとともに地上基地局に送信する送信部と、

地上基地局に設置され、前記送信部からの伝送データ中の圧縮データを復元した後、他の伝送データと結合して観測データを再生してデータ解析部に送出するデータ再生部とを有し、

かつ、前記送信部は、前記圧縮データをストリーミングにより順次地上基地局に送信するとともに、観測データのうち、レーザスキャナによる地表面へのレーザパルス発射時の飛行体の位置、姿勢情報に係るデータを前記圧縮データとは区別された伝送データ単位として当該データが取得された直線飛行航路の飛行中においては蓄積しておいて前記直線飛行航路間の移動時間に地上基地局に送信するレーザ計測システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザ計測方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

航空機等の飛行体からレーザビームを照射して地上の凹凸情報を取得するレーザ計測方法としては、特許文献1に記載されたものが知られている。

この従来例において、航空機上でレーザセンサにより取得したデータは、航空機に搭載したデータ記録部に格納され、計測終了後に地上のデータ処理装置により処理、解析される。

10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

一般に飛行体上で取得する観測データは発射パルス単位に発射時刻、発射位置、発射方向、複数のリターンパルスを含みデータサイズは膨大なものになるために、地上基地局との観測データの受け渡しは飛行体の着陸を待つ必要があり、計測-着陸-データ解析の手順を踏む必要がある。この結果、データ解析には航空機の着陸をまつ必要があり、例えば災害時等のように、即応性が要求される場合での利用に限界がある。

【0004】

本発明は、以上の欠点を解消すべくなされたものであって、即応性を高めたレーザ計測方法の提供を目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明によれば上記目的は、

飛行体1に搭載したレーザスキャナ2から地表面をスキャンし、レーザパルス発射時の発射時刻データ(T_n)、ミラー回転角データ(θ_n)、該レーザパルスに対するリターンパルスデータ(P_{kn})及び飛行体1の位置、姿勢情報を含む観測データを飛行体1上で取得する工程と、

地上基地局において前記観測データを解析して地上の凹凸状態を演算する工程とを含み、

30

計測領域上空に設定した直線飛行航路を飛行体1に飛行させて該直線飛行航路でのレーザスキャナ2によるスキャンを終了した後、飛行体1を旋回させ、前記計測領域上空に設定される他の直線飛行航路に飛行体1を移動させて再度レーザスキャナ2によるスキャンを開始して複数の直線飛行航路での観測データを取得するレーザ計測方法であって、

前記観測データの一部または全部を飛行体1上でデータ圧縮して地上基地局に伝送した後地上基地局で復元し、

地上基地局による演算工程を飛行体1の飛行中に行い、

かつ、前記飛行体1の位置、姿勢情報に係るデータは、取得されるとストリーミングにより順次地上基地局に伝送されるレーザパルス発射時の発射時刻データ(T_n)、ミラー回転角データ(θ_n)及び該レーザパルスに対するリターンパルスデータ(P_{kn})とは区別された伝送データ単位として、当該データが取得された直線飛行航路の飛行中においては蓄積されて前記直線飛行航路間の移動時間に地上基地局に伝送されるレーザ計測方法を提供することにより達成される。

40

【0006】

本発明において、航空機、ヘリコプター等の飛行体1上でのレーザ計測により取得された観測データのうち一部は飛行体1上でデータ圧縮されて地上基地局に伝送され、地上基地局において飛行体1の着陸を待たずにデータ解析が行われる。

【0007】

この結果、飛行体1が計測中であっても、計測結果を地上で知ることができ、即応性を飛躍的に高めることができる。即応性の向上に伴って、飛行体1の飛行中に今回計測結果

50

と前回計測結果との比較を地上基地局で行い、これに基づいて飛行体 1 による計測範囲、あるいは計測精度の修正等を行うことも可能であり、災害時における利用範囲が広がる。

【 0 0 0 8 】

観測データの圧縮、伝送に際しては、飛行体 1 を使用したレーザ計測は、計測領域上空に設定した直線飛行航路で計測を行い、旋回等して他の直線飛行航路に移動して再度計測を開始することが行われるために、直線飛行航路間の移動時間を余裕時間として利用することができる。

【 0 0 0 9 】

データ圧縮対象は、伝送能力等を考慮して適宜決定可能であるが、レーザパルス発射時の発射時刻データ (T_n)、ミラー回転角データ (θ_n) 及び該レーザパルスの地物からの反射パルスを捕捉した時刻に相当するリターンパルスデータ (P_{kn}) (以下、発射時刻データ (T_n)、ミラー回転角データ (θ_n) 及びリターンパルスデータ (P_{kn}) を総称して「レーザデータ」という。) を一群として扱うことができる。この場合には、相互関連の強いレーザデータを一群として同時処理できるために、例えば、ヘッダ情報 (Head_n) エラーに伴うデータの結合エラー等の発生を確実に防止することができ、信頼性を向上させることが可能になる。なお、本明細書では、添え字 " n " はレーザパルス発射順序、" k " はリターンパルスの反射次数を示す。

【 0 0 1 0 】

また、これらレーザデータを評定要素となる飛行体 1 の位置、姿勢情報とは区別されたデータ単位として圧縮、伝送すると、伝送データ単位が、地上基地局での演算単位に一致させることができるために、データ解析部 5 での処理を効率的にすることが可能になる。

【 0 0 1 1 】

レーザデータの圧縮は、種々の圧縮アルゴリズムを適用して行うことが可能であるが、レーザパルス発射時の発射時刻データ (T_n)、ミラー回転角データ (θ_n) 及びリターンパルスデータ (P_{kn}) を各々分離データ列 (SD) として分離し、

各分離データ列 (SD) において隣接するデータ間の差分を保存データとして行うことができる。

【 0 0 1 2 】

一般にデータの統一性を保証するために、レーザデータは、図 3 (a) に示すように、発射パルスを単位にブロック化されたデータ群の連続体として出力される。このため、例えば、レーザパルス発射時間データ (T_n) の隣にミラー回転角データ (θ_n) が続くというように隣接データ間の数値的関連が比較的希薄であるという特性を有し、このままデータ圧縮を行っても高い圧縮率を得ることは難しい。これに対し、上述したように、レーザパルス発射時の発射時刻データ (T_n)、ミラー回転角データ (θ_n) 及びリターンパルスデータ (P_{kn}) という類似したデータを抽出分離すると、各分離データ列 (SD) は、例えば、図 5 (a) に示すように、連続関数での近似可能な分布をするために、差分値は原データに比して小さくなり、この差分を保存データに使用すると、圧縮効率を高めることが可能になる。

【 0 0 1 3 】

さらに、分離データ列 (SD) が、レーザパルス発射時の発射時刻データ (T_n)、またはミラー回転角データ (θ_n) である場合、

隣接データ間の差分に代えて、該差分に対する 2 次差分を保存データとすることができる。

【 0 0 1 4 】

また、分離データ列 (SD) が、レーザパルス発射時の発射時刻データ (T_n) である場合、

前記データ圧縮が、

隣接データ間の差分が負数となるデータ境界をデータブロック 3 の終点とし、保存データ列をブロック単位で復元可能なデータブロック 3 に区画する工程を含むことができる。

【 0 0 1 5 】

さらに、前記分離データ列 (SD) が、同一発射レーザパルスに対し、地表での反射回数に対応する不定個数のリターンパルスデータ (Pkn) を含む場合、

同一発射レーザパルスに対するリターンパルスデータ (Pkn) 数を特定可能なヘッダ情報 (Head_n) を各発射レーザパルスに付与し、取得したリターンパルスデータ (Pkn) のみを保存データとすることができる。

【0016】

このようにすることにより、予想されるリターンパルスデータ (Pkn) 数を予め想定し、リターンパルスデータ (Pkn) がない場合に例えば "0" で埋める場合に比して、圧縮率を向上させることが可能になる。

【0017】

この場合、k 次反射リターンパルスデータ (Pkn) の保存データとして、k-1 次反射リターンパルスデータ (Pk-1,n) との差分を使用することができる。

加えて、レーザ計測を行うためには、

レーザ計測部 4 が搭載された飛行体 1 を計測領域上空に設定した直線飛行航路で飛行させて該直線飛行航路でのレーザ計測部 4 による計測を終了した後、飛行体 1 を旋回させ、前記計測領域上空に設定される他の直線飛行航路に飛行体 1 を移動させて再度レーザ計測部 4 による計測を開始することにより複数の直線飛行航路においてレーザ計測部 4 により取得した観測データを地上基地局に設置されたデータ解析部 5 により解析して地上の凹凸状態を演算するレーザ計測システムであって、

飛行体 1 に搭載され、観測データのうち、レーザスキャナ 2 による地表面へのレーザパルスのレーザパルス発射時の発射時刻データ (Tn)、ミラー回転角データ (n) 及び該レーザパルスに対するリターンパルスデータ (Pkn) を圧縮し、該圧縮データを残部の観測データとともに地上基地局に送信する送信部 6 と、

地上基地局に設置され、前記送信部 6 からの伝送データ中の圧縮データを復元した後、他の伝送データと結合して観測データを再生してデータ解析部 5 に送出するデータ再生部 7 とを有し、

かつ、前記送信部 6 は、前記圧縮データをストリーミングにより順次地上基地局に送信するとともに、観測データのうち、レーザスキャナによる地表面へのレーザパルス発射時の飛行体の位置、姿勢情報に係るデータを前記圧縮データとは区別された伝送データ単位として当該データが取得された直線飛行航路の飛行中においては蓄積しておいて前記直線飛行航路間の移動時間に地上基地局に送信するレーザ計測システムが使用できる。

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、飛行体 1 の着陸を待たずに地上基地局における観測データの解析を行うことができるために、即応性を高めることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

図 1 に航空機、ヘリコプター等の飛行体 1 を使用したレーザ計測の概要を示す。図中 4 は飛行体 1 に搭載されたレーザ計測部であり、レーザスキャナ 2 と、反射波受信センサ 8 と、GPS/IMU (Global Positioning System/Inertial Measurement Unit) とを有する。レーザスキャナ 2 は、図外の制御部により所定時間間隔でレーザパルスを発射するレーザ発射部 2a と、レーザパルスを所定角度に振ってスキャンビームとする回転ミラー 2b とを備え、スキャンビームの地表からの反射パルスは、リターンパルスとして反射波受信センサ 8 により検出される。

【0020】

リターンパルスは、図 1 (b) に示すように、発射された 1 発のレーザパルスに対する地物による複数回 (通常 1 ないし 5 回程度) の反射パルスにより構成され、反射波受信センサ 8 からは照射パルスに対するリターンパルス捕捉の時刻情報がリターンパルスデータ (Pkn) として出力される。また、上記 GPS/IMU は、上記レーザスキャナ 2 のレーザパルス発射タイミングに同期して、レーザパルス発射時の飛行体 1 の GPS 位置、傾き

10

20

30

40

50

情報等を入力する。

【0021】

なお、レーザデータ及びGPS位置、傾き情報は、レーザ計測部4の構造により適宜無次元化された数値として出力されるものであってもよく、また、レーザパルス発射時刻、あるいはリターンパルス等の時刻情報は、例えば、計測開始からの経過時間であってもよい。

【0022】

これらリターンパルスデータ(Pkn)、GPS/IMU情報に加えてレーザパルスの発射時刻データ(Tn)、その時の回転ミラー2bのミラー回転角データ(n)は、観測データとして収集されて後段の送信部6から地上基地局に伝送される。後述するように、地上基地局では、GPS/IMU情報を評定要素として、リターンパルスデータ(Pkn)を中心とするレーザデータにより飛行体1と地表面との距離を演算し、地表の位置、高さを演算する。

10

【0023】

図2に飛行体1に搭載されるレーザ計測部4と送信部6の詳細を示す。上述したように、レーザ計測部4は、レーザスキャナ2、反射波受信センサ8及びGPS、IMUを備え、レーザスキャナ2におけるレーザパルスの発射時刻データとミラー回転角データ及び反射波受信センサ8における観測値はパルスデータ生成部9に、GPS、IMUにおける観測値はGPS/IMUデータ生成部10に各々出力される。

【0024】

20

図3(a)の上段にパルスデータ生成部9での出力フォーマットを、図3(b)にGPS/IMUデータ生成部10での出力フォーマットを示す。まず、パルスデータ生成部9は、上述したように、発射パルス(レーザパルス)を単位として、当該発射パルスに対応する各出力値を所定の順序で配置したデータ列を出力する。図示の例は、各発射レーザパルスに対して最大5次までのリターンパルスデータ(Pkn)を取得することを想定した場合のデータフォーマットを示すもので、先頭からレーザパルスの発射時刻データ(Tn)、ミラー回転角データ(n)、リターンパルスデータ(Pkn)の順に格納される。

【0025】

また、上述したように、リターンパルスデータ(Pkn)は必ずしも5次まで取得されるとは限らないために、取得できなかった次数の格納位置には、例えば"0"が割り当てられる(図8(a)参照)。

30

【0026】

一方、GPS/IMUデータ生成部10からは、図3(b)に示すように、GPS時間(TAj)、IMU時間(TBj)、x方向加速度(VXj)、x方向角度(AXj)、y方向加速度(VYj)、y方向角度(AYj)、z方向加速度(VZj)、z方向角度(AZj)が出力される。これらGPS/IMUデータ生成部10からの出力値は、添え字"j"を媒介として上記パルスデータ生成部9の出力値に関連付けられる。

【0027】

したがって、この実施の形態において、飛行体1によるレーザ計測が開始されると、レーザ計測部4での観測データは、パルスデータ生成部9、あるいはGPS/IMUデータ生成部10に出力されて所定のデータ列が生成され(ステップS1)、送信部6の圧縮部11に出力される。

40

【0028】

圧縮部11は、データ分離部11aと、圧縮処理部11bと、符号化処理部11cとを備え、パルスデータ生成部9からの出力値は、まず、データ分離部11aにおいて分離データ列(SD)として分割される(ステップS2)。圧縮部11における処理は、即時性の向上を配慮して、例えば、4(MByte)程度の全体に比べて比較的小さな単位で行われ、送信される。

【0029】

データ分離部11aにおいては、図3(a)に示すように、出力されたパルスデータを

50

レーザパルス発射時刻データ (T_n)、ミラー回転角データ (θ_n) 及びリターンパルスデータ (P_{kn}) の3種のデータ列に分割し、各々の分離データ列 $SD(T)$ 、 $SD(\theta)$ 、 $SD(P)$ を圧縮処理部 11b に出力する。図 3 (a) に示すように、レーザパルス発射時刻データ (T_n) とミラー回転角データ (θ_n) による分離データ列 $SD(T)$ 、 $SD(\theta)$ は、パルス発射順に並べられ、リターンパルスデータ (P_{kn}) は、反射次数順に並べられた 5 個を 1 組とするデータ群をパルス発射順に並べたフォーマットを有し、リターンパルスデータ (P_{kn}) の分離データ列 $SD(P)$ には、必要に応じ、データ群の境界にデータ終端マークが挿入される。

【0030】

圧縮処理部 11b においては、分離データ列 (SD) の特徴を利用して各々異なったアルゴリズムでデータ圧縮する (ステップ S3)。図 4 にレーザパルス発射時刻データ (T_n) の圧縮方法を示す。図 5 (a) に示すように、レーザパルス発射時刻データ (T_n) は、横軸にレーザパルス発射順序、縦軸に発射時刻を取ると、周期的に繰り返す右上がりの直線上に分布する傾向があるために、これを利用し、隣接する発射時刻データ (T_n) 間の差分 $T(n+1) - T_n$ に対する 2 次差分を保持データとすることによって可逆的な電送データ量の減少 (圧縮) を図る。

【0031】

圧縮に際し、まず、圧縮データ格納用のエリアをメモリ上に設定し、先頭に SOB (Start Of Block) マークを挿入する (ステップ ST1)。SOB は予め定められた所定のビット長を有しており、以下のデータエリアで出現することのないコードに設定される。この後、上記 SOB マークの後にレーザパルスの発射時刻 (T_1) を挿入する。なお、以下の説明で、第 n 発目のレーザパルスの発射時刻を (T_n)、1 次差分 $T(n+1) - T_n$ を $1,n$ 、2 次差分 ($1,n+1$) - ($1,n$) を $2,n$ と表記する。

【0032】

次いで、ステップ ST2 で $1,n$ を演算し、その正負を判定する (ステップ ST3)。上述したように、発射時刻データ (T_n) は、周期的に繰り返す右上がりの直線上に分布する傾向があるために、上記演算値が正のときには、 $T(n+1)$ と T_n とは右上がりの関係にあり、同一の右上がりの直線上に回帰できる。これに対し、上記演算値が負のときには、帰属直線の乗り換えがあったものと考えられ、この場合、 n 値を増加させた後、SOB マークを挿入し、同様の手順を繰り返す。この結果、SOB マークは評価対象の T 値が直前の T 値が帰属する直線からはずれて新たな回帰直線に移動したことを示すこととなり、データブロック 3 のデリミタとしての意味をもつことになる。

【0033】

上記ステップ ST3 での演算結果が正の時には、 T_1 の後に 1 次差分、すなわち、 $1,1$ を挿入し (ステップ ST4)、さらに、ステップ ST5 で $1,2$ を演算し、この正負を判定する (ステップ ST6)。ステップ ST6 の結果が負である場合には、上述したように、回帰直線の乗り移りと考えられるために、SOB マークを挿入し、同様の処理を繰り返す。

【0034】

これに対し、ステップ ST6 が正である場合には、2 次差分 $2,1$ を求め (ステップ ST7)、上記 $1,1$ の後に挿入した (ステップ ST8) 後、 n 値を増加させ (ステップ ST9)、さらに、圧縮データが残っている場合には (ステップ ST10)、同様の手順を繰り返す。

【0035】

この結果、レーザパルス発射時刻に対する分離データ列 (SD) は、図 5 (b) に示すように、SOB マークに仕切られた複数のデータブロック 3 の集合として得られる。各データブロック 3 には、最初に初期値として時刻データ (T_n) が所定のデータ長 (図示の例では 4 バイト長) でそのまま配置され、この後、1 次差分値 ($1,n$) が続き、さらに、2 次差分値 ($2,n$) が連続する。

【0036】

10

20

30

40

50

なお、以上においては、2次差分を保存値とする場合を示したが、2次差分を使用することなく、SOBマーク、1,n、1,n+1、・・・、SOBマークというデータ構造とすることも可能である。

【0037】

次に、ミラー回転角データ(n)に対する圧縮操作を説明する。ミラー回転角データ(n)は、横軸にレーザパルス発射順序をとった、レーザパルス発射順序-ミラー回転角線図は正弦曲線に近似可能であり、連続性に着目して、2次差分を保存データとする。また、回帰線図が上述したレーザパルス発射時刻と異なり、全領域に不連続点が存在しない。このため、跳躍点での差分値保存によってデータ長が過度に大きくなる心配がないので、データブロック3を考える必要がなく、単に2次差分値を連ねるだけで足りる。また、各圧縮値から元データを算出可能とするために、圧縮データの最初には、元データが、次に1次差分値が挿入され、これに続いて2次差分値が記述される。

10

【0038】

図6(a)は、圧縮例を示すもので、左が元データと演算経過、右に保存データ(圧縮データ)を示す。元データは縦に並べて示されており、“行”コラムがレーザパルスの発射順序に対応し、例示のミラー回転角データ(n)は、1発目が100で、この後、200、301、400・・・と続くことを示している。

【0039】

このような元データがある場合、まず、先頭の元データ(100)を保存データ1として抽出する(ステップS1)。この後、ステップS2で第2元データ(200)と先頭元データとの差分(1次差分)を演算(100)し、これを保存データ2として保存データ1の後続データとして登録する。次いで、第3元データ(301)と第2元データ(200)との1次差分(101)と、上記ステップS2で求めた1次差分(100)の2次差分(1)を保存データ3として保存データ2に続けて登録する(ステップS3)。以後、ステップS3と同様の手順を繰り返し、2次差分を順次登録して処理を完了する。

20

【0040】

図6(b)に、以上の手順により得られる圧縮データの2次差分収納分のデータフォーマットを示す。上述したように、この前に、第1元データ、1次差分データが存在するが、これは図示を省略する。図に示すように、2次差分は、小さな値であるために、6ビット程度で表現可能であり、これに2種類の状態判定ビットを付加した8ビット(1バイト)長で格納される。

30

【0041】

上記状態判定ビットは各々1ビット長をもつ正負判定ビットとエラー判定ビットであり、正負判定ビットは、2次差分の正負により決定される。また、エラー判定ビットは、6ビット長で記述不可能な場合をエラー値として格納したことを示す。この実施の形態において、エラービットがたっている状態においては、2次差分は2バイト長拡張され、後続する2バイトを含む計3バイトの領域に格納される。

【0042】

図7、8に、リターンパルスデータ(Pkn)の圧縮手順を示す。図7の最上段に、図3(a)で示した分離データ列SD(P)を再掲する。図8(a)に示すように、分離データ列SD(P)には、1発のレーザパルスに対して5個のリターンパルスデータ(P1n、P2n・・・P5n)の領域が確保され、リターンパルスデータ(Pkn)のない部分には“0”が格納されている。図1(b)に示すように、リターンパルスは、森林等における樹木での葉の間から漏れたレーザパルスが、さらに地表側に位置する他の反射物に反射して得られるもので、全ての領域が埋まることは比較的少なく、さらに、“0”等の小さな値で“値なし”を示した場合であっても、他のリターンパルスデータ(Pkn)を格納するに要する所定のビット長の領域を必要とする。

40

【0043】

このような、データ構造に伴うデータの冗長性を解消するために、まず、データ構造を

50

変更する（ステップ S P 1）。ステップ S P 1の実施に際して、n 発目のレーザパルスに対するリターンパルスデータ群（P 1n、P 2n・・・P 5n）を格納する領域中でのデータ充填を表示するヘッダ情報（Head_n）を導入し、“値なし”データを削除する。この実施の形態において、ヘッダ情報（Head_n）には1バイトの領域が与えられ、下位5ビットで最終次数を示す。例えば、1次リターンパルスデータ（P 1n）のみが存在し、2次以降が“値なし”である場合には、ヘッダ情報（Head_n）は、“0 0 0 0 0 0 0 1”で与えられ、3次リターンパルスデータ（P 3n）までが存在するときには、“0 0 0 0 0 1 0 0”、全て埋まっている場合には、“0 0 0 1 0 0 0 0”で与えられる。

【0 0 4 4】

この結果、データ列は、ヘッダ情報（Head_n）と、実データ（P 1 n、P 2 n・・・P 5 n）とにより記述されることとなり、次いで、ステップ S P 2において、データ間の差分をとって保存データとする。

【0 0 4 5】

ステップ S P 2は、図7の最下段に示すように、Q計算と、R計算とを行いながら保存データを決定していき、圧縮データ列は、パルス番号“n”に対するヘッダ情報（Head_n）、Q値（Q 1n）、R値（R kn）の順に格納される。R値（R kn）の添え字“k”は、リターン次数を示す。後述するように、1次のリターンパルスデータ（P 1n）に対しては、直前の1次リターンパルスデータ（P 1,n-1）との差分を保存データとするために、“k”は2以上、5以下の整数となる。

【0 0 4 6】

Q計算及びR計算を図8に示す例で説明する。図8（a）は元データを示す図で、レーザパルス番号“1”に対して1次リターンパルスのみが得られ、その値は“1 0 0”であることが示されている。また、レーザパルス番号“7”に対しては5次までのリターンパルスが捕捉され、その値は、1次側から、“7 0 0，8 0 0，8 1 0，8 2 0，8 5 0”であることが分かる。

【0 0 4 7】

まず、初期情報として、レーザパルス番号“1”のリターンパルスは1次のみが取得されているために、ヘッダ情報（Head_n）に“0 0 0 0 0 0 0 1”を格納した後、1次リターンパルスデータ（P 11）＝“1 0 0”をそのまま格納する。説明を容易にするために、保存データはk行n列の配列C m p、元データはk行n列の配列O r gとして示されており、先頭データ（1 0 0）が保存データとして格納されたことは、C m p（1，1）にO r g（1，1）が代入されていることで知ることができる。

【0 0 4 8】

この後、ヘッダ情報（Head_1）は1次パルスデータのみを格納していることを示しているために、2次リターンパルスを検索することなく1発目のレーザパルスに対する処理が終了し、次に2発目（n＝2）のレーザパルスの処理に移行する

n＝2以降では、まず、Q計算をおこなう。Q計算は、隣接するレーザパルスに対する1次リターンパルス間の差分を求める演算であり、

$$Q \text{ 値 } (Q 1, n) = (P 1, n) - (P 1, n-1)$$

で与えられる。

【0 0 4 9】

この例では、n＝2であるから、

$$\begin{aligned} Q 12 &= P 1,2 - P 1,1 \\ &= O r g (1, 2) - O r g (1, 1) \\ &= 2 0 0 - 1 0 0 = 1 0 0 \end{aligned}$$

で与えられ、これがC m p（1，2）に代入される。

【0 0 5 0】

Q計算が終了すると、同一のn値でR計算を行う。R計算は、O r g配列の同一行での隣接値間の差分を取る演算で、

$$R \text{ 値 } (R kn) = (P k, n) - (P k-1, n)$$

10

20

30

40

50

で与えられ、この例では、

$$\begin{aligned} R_{22} &= P_{2,2} - P_{1,2} \\ &= \text{Org}(2, 2) - \text{Org}(1, 2) \\ &= 300 - 200 = 100 \end{aligned}$$

が $\text{Cmp}(2, 2)$ に代入される。

【0051】

R 計算は、同一レーザパルス番号のリターンパルスデータ (P_{kn}) が終了するまで続けられ、この後、上述した手順、すなわち、ヘッダ情報 (Head_n) の付与、1 回の Q 計算、適数回の R 計算が繰り返される。

【0052】

このようにして得られた配列 Cmp は、1 次元配列 (ビット列) に並べられ圧縮対象のデータ列にされる。

以上のようにして各々の分離データ列 (SD) に対する圧縮処理が終了すると、結合処理がなされて 1 ファイルにまとめられ、次いで、図 2 に示すように、符号化処理部 11c における符号化を行う (ステップ S4)。符号化処理にはエントロピー符号化等が利用できる。

【0053】

符号化処理が終了すると、まず、データ伝送中での地上基地局での解析を可能にするためにストリーミング部 12 におけるストリーミングが行われ (ステップ S5)、次いで、伝送データ変換処理部 13 において搬送波の整形が行われ (ステップ S6)、出力部 14 から伝送される (ステップ S7)。

【0054】

なお、以上の実施の形態においては、パルスデータのみが圧縮処理されて GPS / IMU データについては計測航路への旋回、移動の期間を使用して GPS / IMU データを直接伝送するように構成した場合を示したが、GPS / IMU データに対する圧縮処理を行って伝送することも可能である。

【0055】

また、上記送信部 6 及びパルスデータ生成部 9、GPS / IMU データ生成部 10 は、コンピュータに当該機能を発揮させるコンピュータプログラムを使用して達成可能である。

【0056】

飛行体 1 からの伝送情報を受領する地上基地局のブロック図を図 9 に示す。地上基地局は受信処理部 15 と復元処理部 16 とからなるデータ再生部 7 を有する。受信処理部 15 の受信部 15a で上記飛行体 1 からの圧縮データを受信すると、受信しながら後段のデータ解析を行うことができるように、ストリーミング処理部 15b においてストリーミング処理を行い (ステップ SG1)、復元処理部 16 の復号部 16a に出力する (ステップ SG2)。図 10 に示すように、復号部 16a では、上記圧縮データファイルの符号化と結合化を解除して符号化前の状態に戻し、さらに、復元部 16b で復元処理を行う (ステップ SG3)。復元処理により、図 10 の中段に示すように、発射時刻データ (T_n)、ミラー回転角データ (θ_n) 及びリターンパルスデータ ($P_{k,n}$) は各々分離データ列 (SD) の状態となり、これをデータ結合部 16c においてデータ結合すると (ステップ SG4)、図 10 の最下段に示すように、パルスデータ生成部 9 からの出力が再現される。

【0057】

この結合データは、データ解析部 5 において解析されてリターンパルス群による計測結果が演算される。解析に際して、観測データは一旦パルスデータ、GPS / IMU データ格納部 5a に格納され (ステップ SG5)、実距離化、座標化処理部 5b で実位置等が演算される (ステップ SG6)。実距離化、座標化処理部 5b は、飛行体 1 の光学系の特性に基づく内部評定要素、および GPS / IMU データに基づく外部評定要素を利用してリターンパルスの反射部の所定投影空間上での位置、高さを演算する。なお、一般に GPS / IMU からのデータ数は、レーザパルス発射数に比して少数であり、一対一対応しない

10

20

30

40

50

ために、上述したように、添え字 " j " に対応するレーザデータ以外のレーザデータに対する外部評定要素には、取得された G P S / I M U データに対する補間値が使用される。

【 0 0 5 8 】

このようにして得られた各ポイントデータは 3 次元情報を有しているために、これを使用して地表面を点描状に表示することも可能であり、これらの用に供するために、ポイントデータはポイントデータ格納部 1 7 に格納される (ステップ S G 7) 。

【 0 0 5 9 】

さらにこの実施の形態において、地上基地局には、3 D 処理部 1 8 が設けられる。3 D 処理部 1 8 は、上記ポイントデータ群をもとに、例えば、3 次元ポリゴン、テクスチャ等を備えた 3 D 画像を形成するための 3 D データ生成部 1 8 a を備える。この 3 D データ生成部 1 8 a での生成データは生成 3 D データ 1 8 b に格納され、所望により 3 D データ表示部 1 8 c で表示される。

【 0 0 6 0 】

また、地上基地局には、即応性を利用して例えば地殻変動、災害等の情報を直ちに得ることができるように、比較部 1 9 を備える。比較部 1 9 は、既存 3 D データ 1 9 a と、差分データ生成部 1 9 b と、上記 3 D データ表示部 1 8 c とを有して構成される。3 D データ生成部 1 8 a からの出力は、差分データ生成部 1 9 b において既存 3 D データ 1 9 a との比較が行われ、画像上の相違点を検出する。検出結果は、上記 3 D データ表示部 1 8 c に表示し、必要に応じて上空の飛行体 1 に再計測、あるいは計測範囲の拡大等を指示することができる。

【 0 0 6 1 】

なお、以上において、データ再生部、データ解析部、3 D 処理部及び比較部は、当該機能を発揮させるようにコンピュータを動作させるコンピュータプログラムによっても達成可能である。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 6 2 】

【図 1】本発明を示す図で、(a) はレーザ計測を示す説明図、(b) はリターンパルスを示す説明図である。

【図 2】レーザ計測システムの飛行体搭載部を示すブロック図である。

【図 3】データ生成部でのデータフォーマットを示す図で、(a) はパルスデータ生成部からの出力と、データ分離部の動作を示す図、(b) は G P S / I M U データ生成部からの出力を示す図である。

【図 4】発射時刻データの圧縮手順を示すフローチャートである。

【図 5】発射時刻データを示す図で、(a) は発射順序-発射時刻線図、(b) は圧縮フォーマットを示す図である。

【図 6】ミラー回転角データの圧縮手順を示す図で、(a) は実例、(b) は圧縮フォーマットを示す図である。

【図 7】リターンパルスデータの圧縮手順を示す図である。

【図 8】リターンパルスデータの圧縮手順を示す実例である。

【図 9】レーザ計測システムの地上基準局側の構成を示すブロック図である。

【図 1 0】圧縮データの復元手順を示す説明図である。

【符号の説明】

【 0 0 6 3 】

- 1 飛行体
- 2 レーザスキャナ
- 3 データブロック
- 4 レーザ計測部
- 5 データ解析部
- 6 送信部
- 7 データ再生部

10

20

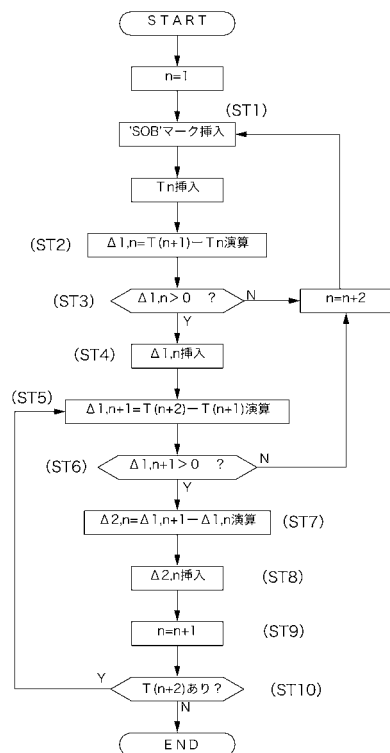
30

40

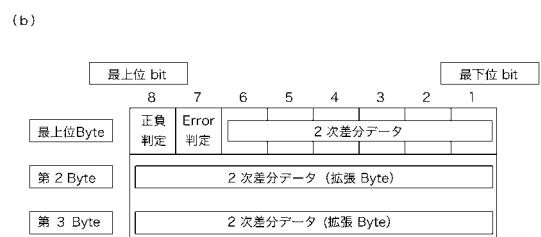
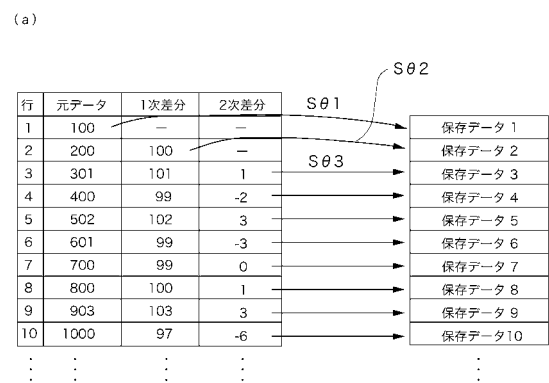
50

Head_n	ヘッダ情報
S D	分離データ列
T n	発射時刻データ
n	ミラー回転角データ
P k, n	リターンパルスデータ

【 図 4 】



【 図 6 】



【図 8】

(a)

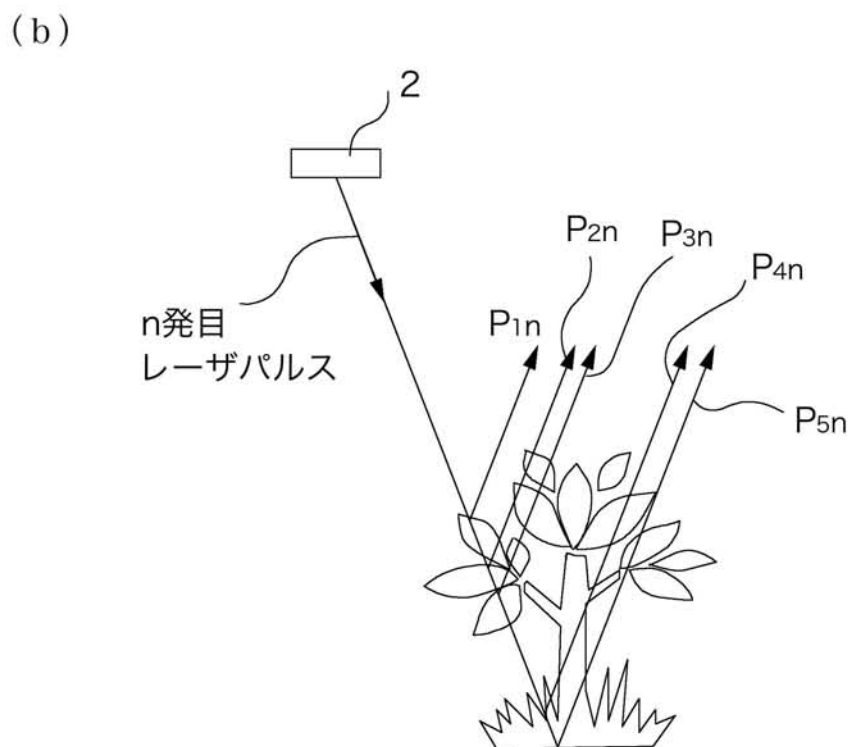
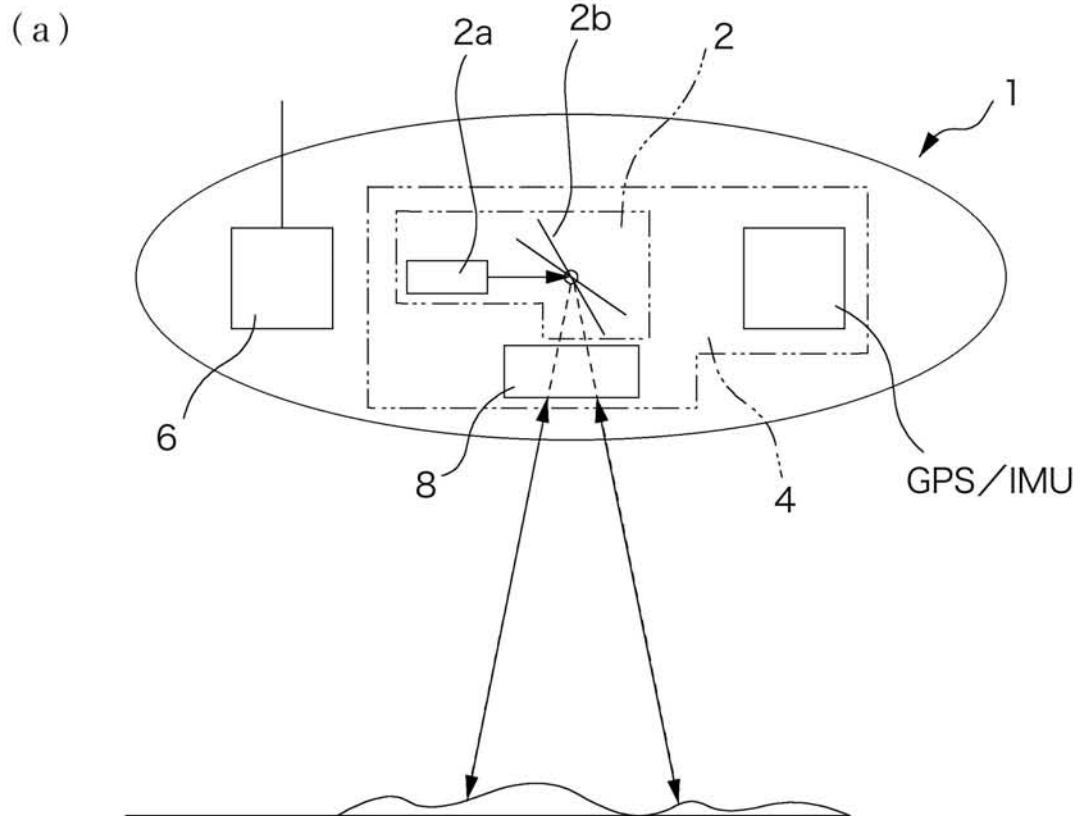
SD(P)

行	距離 1	距離 2	距離 3	距離 4	距離 5
1	100	0	0	0	0
2	200	300	0	0	0
3	301	0	0	0	0
4	400	450	500	0	0
5	0	0	0	0	0
6	601	0	0	0	0
7	700	800	810	820	850
8	800	0	0	0	0
9	903	940	0	0	0
10	1000	0	0	0	0

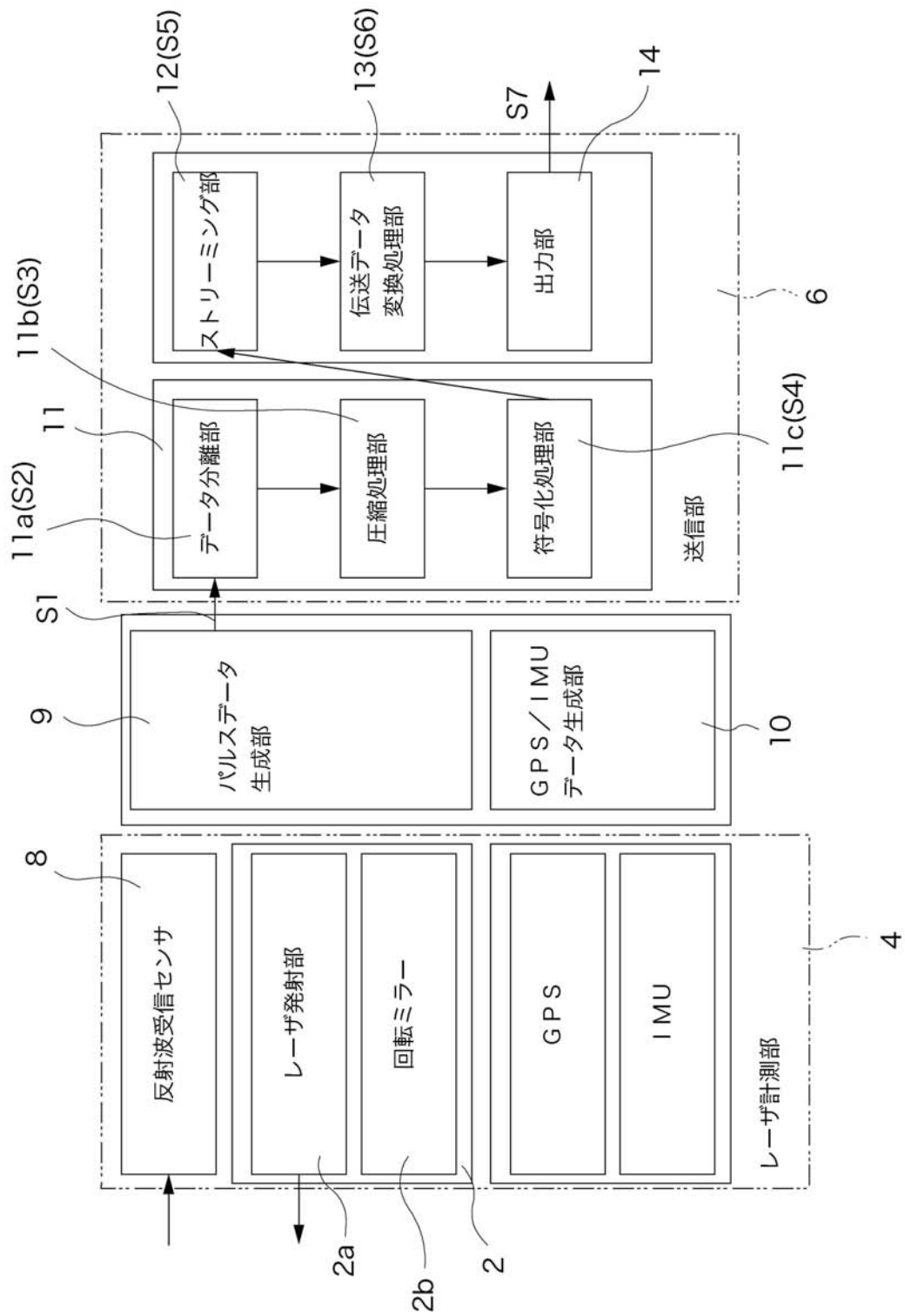
(b)

行	保存データ 1	保存データ 2	保存データ 3	保存データ 4	保存データ 5
1	100	—	—	—	—
2	100	100	—	—	—
3	101	—	—	—	—
4	99	50	50	—	—
5	—	—	—	—	—
6	201	—	—	—	—
7	99	100	10	10	30
8	100	—	—	—	—
9	103	37	—	—	—
10	97	—	—	—	—

【図 1】

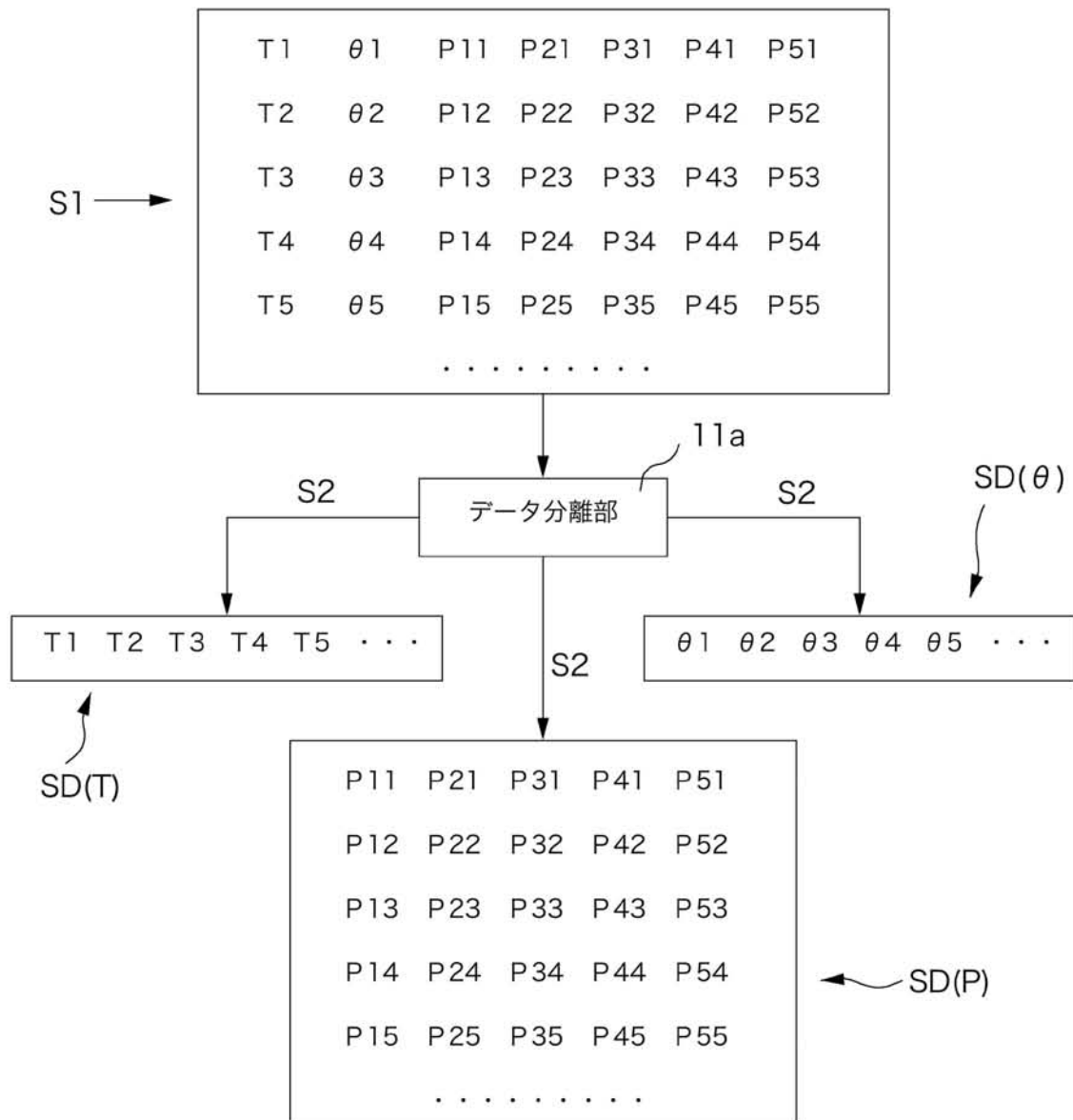


【図2】



【図3】

(a)

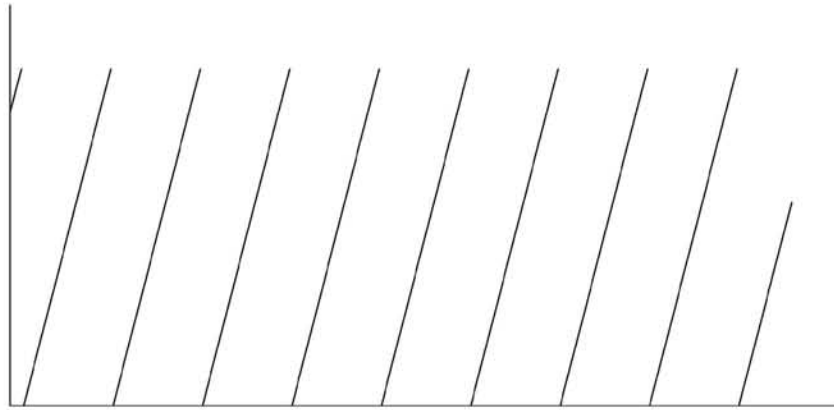


(b)

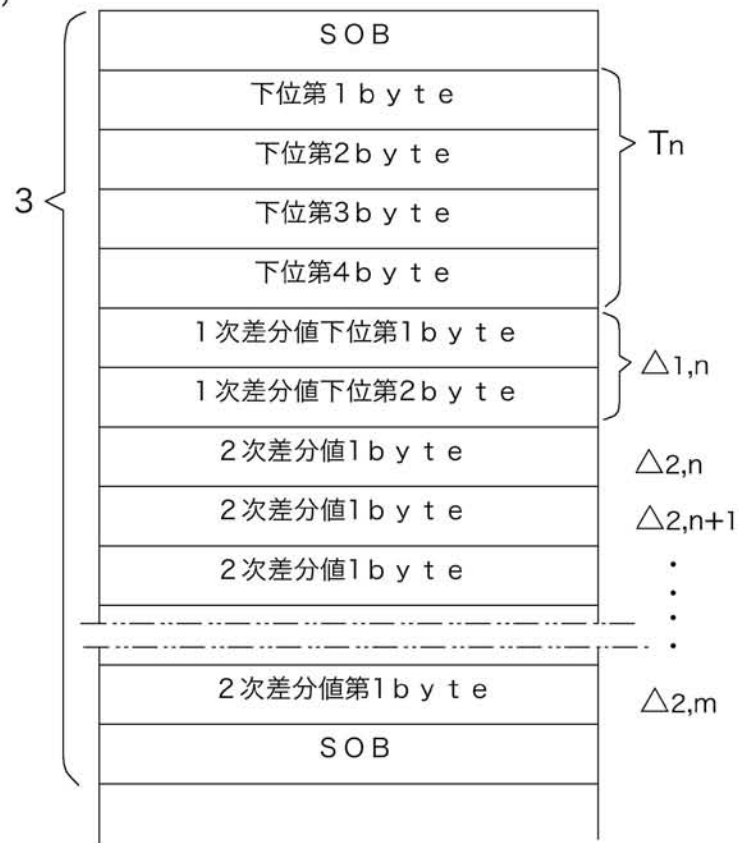
TA1	TB1	VX1	AX1	VY1	AY1	VZ1	AZ1
TA2	TB2	VX2	AX2	VY2	AY2	VZ2	AZ2
TA3	TB3	VX3	AX3	VY3	AY3	VZ3	AZ3
TA4	TB4	VX4	AX4	VY4	AY4	VZ4	AZ4
TA5	TB5	VX5	AX5	VY5	AY5	VZ5	AZ5

【図5】

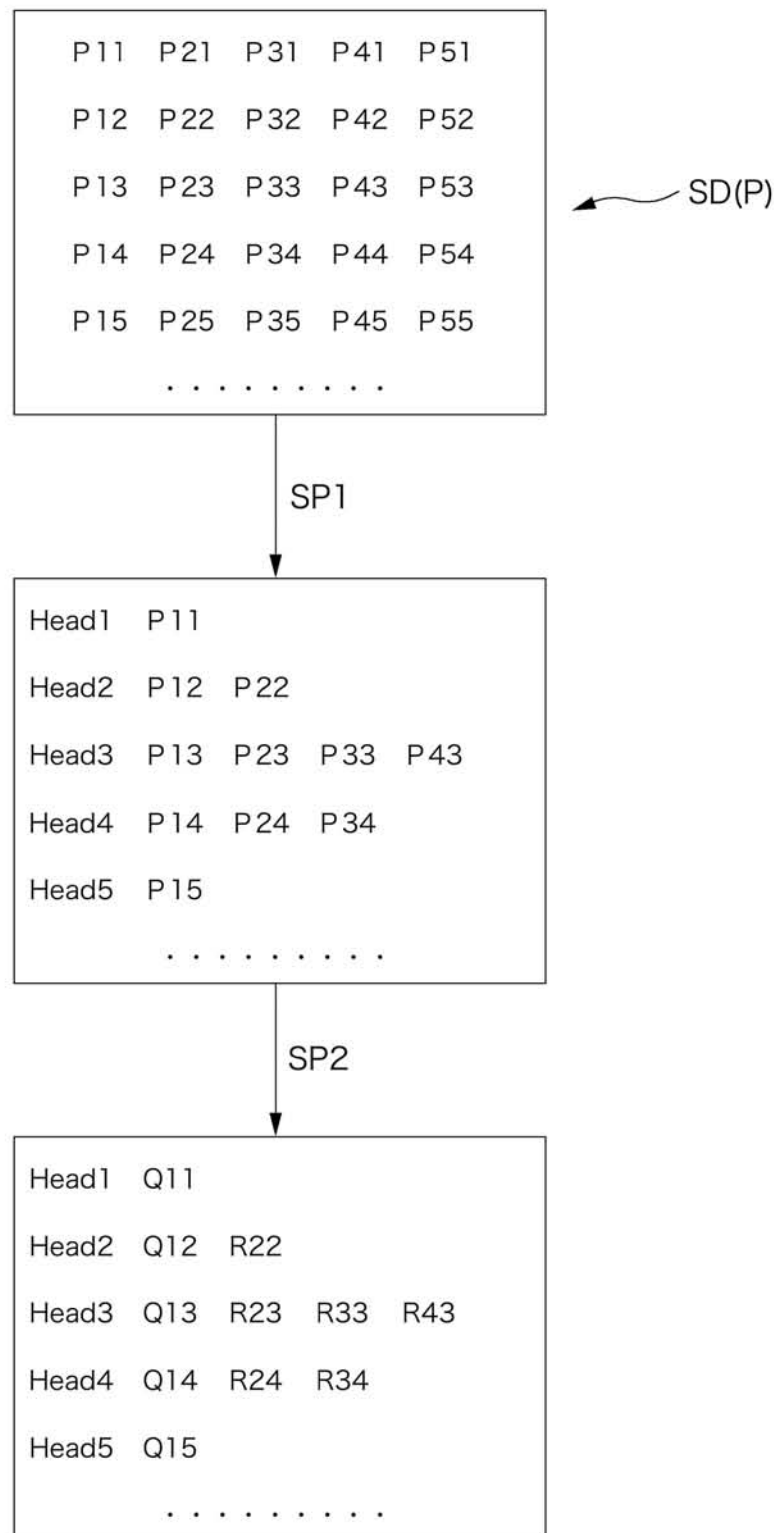
(a)



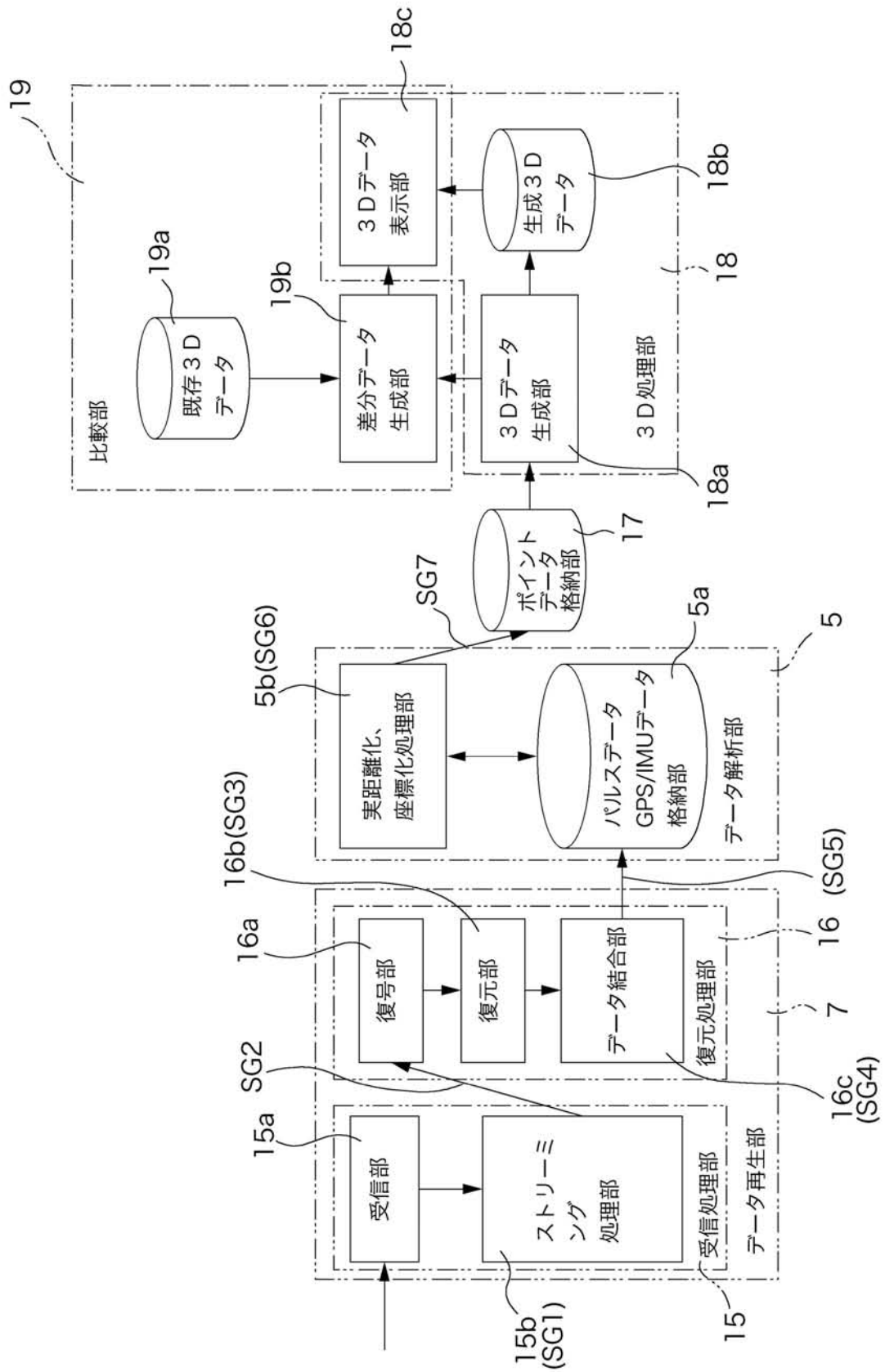
(b)



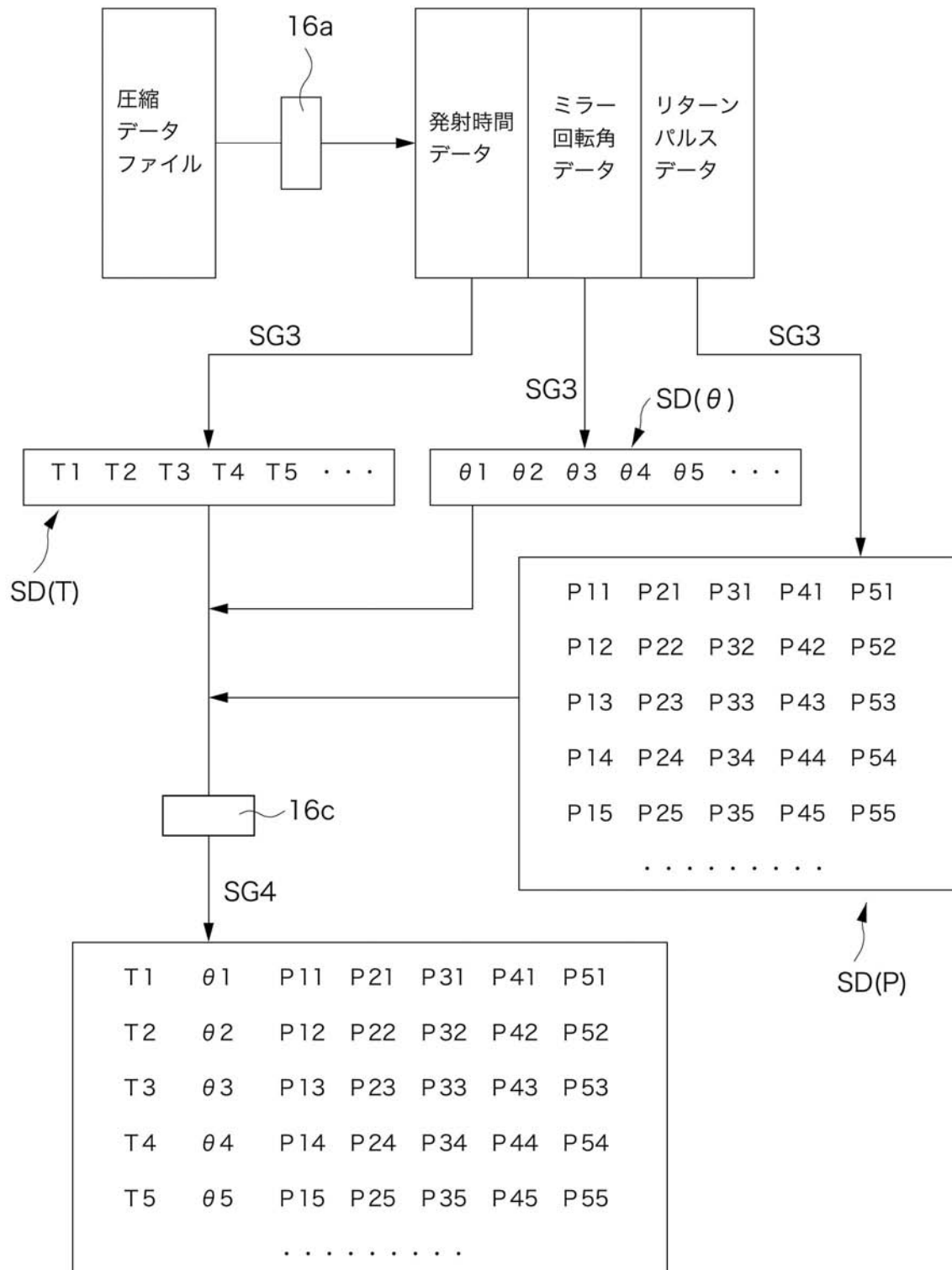
【図 7】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平 1 1 - 0 2 3 2 6 3 (J P , A)
特開 2 0 0 2 - 3 5 4 4 6 2 (J P , A)
特開 2 0 0 2 - 2 2 3 1 8 6 (J P , A)
特開平 0 3 - 2 9 5 3 6 4 (J P , A)
特開平 0 9 - 1 9 6 6 6 7 (J P , A)
特開平 0 6 - 3 1 3 7 1 5 (J P , A)
特開 2 0 0 3 - 1 5 6 3 3 0 (J P , A)
特開平 0 4 - 1 7 6 2 8 9 (J P , A)
特開平 1 1 - 1 8 7 4 0 3 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 1 C 7 / 0 2 ; 7 / 0 4

G 0 1 S 7 / 4 8 - 7 / 4 9 9 ; 1 7 / 0 0 - 1 7 / 9 5